

Новости

4 News

Юбилеи

Anniversaries

К юбилею Уздина А. М.

8 For the Uzdin A. 70th Birthday

Теоретические и экспериментальные исследования

Theoretical and experimental studies

А.Г. Тяпин, А.В. Наумкин

Проектное и максимальное расчетные сейсмические воздействия: нормальное и аномальное соотношения

Tyapin A., Naumkin A.
9 Operational Basis Earthquake and Design Basis Earthquake: Normal and Abnormal Relations

В.А. Лапин, С.Е. Ержанов

Динамика объекта полигона сейсмоизоляции: здание на кинематических фундаментах

Lapin V., Yerzhanov S.
16 Dynamics of the Object of Polygon of Seismic Isolation: Building at Kinematic Foundations

Мансур Алаа Эльдин

Динамический анализ симметричной круглой пластины при силовом воздействии, изменяющемся по гармоническому закону с помощью обобщенного метода конечных разностей

Alaeldin Mansour
23 Dynamic Analysis of a Symmetrical Circular Plate under Forced Harmony by Means of Generalized Finite Difference Method

Г.П. Тонких

Предложения по использованию периода собственных колебаний каркасных зданий при малоинтенсивных воздействиях

Tonkikh G.
28 Suggestions for Use the Period of Oscillation of Frame Buildings in Low-intensity Effects

В.К. Востров

Линейные и нелинейные колебания оснований с периодическими и почти периодическими сейсмическими воздействиями

Vostrov V.
33 Linear and Nonlinear Oscillations of Bases with Periodic and almost Periodic Seismic Effects

З.А. Альдреби

Методика расчета культовых сооружений с учетом их заполняемости применительно к мечетям Ближнего Востока

Aldrebi Z.A.
43 The Method of Calculation of Religious Buildings, Taking into Account their Occupancy in Relation to the Mosques at the Middle East

О.С. Царёва

Оценка точности определения координат деформационных марок и расстояний между ними

Tsareva O.
49 Evaluation of the Accuracy of Determining the Coordinates of Deformation Marks and the Distances Between Them

Интервью

Interview

А. Кабанов

«Именно репутационные аспекты будут определять будущее научных журналов»: российско-американский химик о технологии и экономике научных публикаций

Kabanov A.
57 «Just Reputation Aspects will Determine the Future of Scientific Journals»: Russian-American Chemist on Technology and Economics of Scientific Publications

28 марта, Пекин, КНР

Серия подземных толчков магнитудой 5,0 зафиксирована в четверг, 28 марта, в китайской провинции Цинхай. Об этом сообщило Главное сейсмологическое управление КНР.

Согласно заявлению ведомства, первые толчки были зафиксированы в 05:36 по местному времени (00:36 мск) вблизи города Маннай в составе Хайси-Монгольского-Тибетского автономного округа провинции. Очаг землетрясения залегал на глубине 9 км.

В 07:00 по местному времени (02:00 мск) произошло повторное землетрясение магнитудой 4,2.

Информации о разрушениях и пострадавших на территории Хайси-Монгольского-Тибетского автономного округа, население которого превышает полмиллиона человек, не поступало.

<https://www.gismeteo.ru/news/stihiyne-yavleniya/31131-v-tsentralnom-kitae-proizoshlo-zemletryasenie/>

11 апреля 2019, Москва

Своды правил

К концу 2020 года будут приняты 5 новых сводов правил для обеспечения безопасного строительства в Арктике. Актуализация нормативной базы в строительстве в зоне Арктики в 2019-2020 годах в России будет продолжена, в том числе в части внедрения новых материалов и технологий. Об этом сообщил директор ФАУ «ФЦС» Андрей Басов на круглом столе «Строительство на Севере. Долговечность и надежность». Круглый стол состоялся 10 апреля в рамках V Международного арктического форума «Арктика – территория диалога» в Санкт-Петербурге. В 2019 году форум посвящен теме «Арктика. Океан возможностей» и реализации проекта «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации на период до 2020 года».

«Задачи Минстроя России в этом проекте связаны с обеспечением безопасности строительства и эксплуатации строящихся в Арктической зоне объектов - министерство с 2018 года является исполнителем основного мероприятия «Обеспечение хозяйствования в условиях вечномерзлых грунтов». Это комплексная задача, сложность решения которой связана с изменением состояния мерзлых грунтов из-за повышения температуры и техногенной нагрузки. В 2019-2020 годах будет продолжена актуализация нормативной базы в строительстве в зоне Арктики, в первую очередь в части внедрения новых материалов и технологий. К концу 2020 года будет разработано пять новых сводов правил, касающихся требований к инженерным изысканиям, правилам проектирования и строительства, обследования технического состояния и эксплуатации зданий на многолетних мерзлых грунтах», – сообщил Андрей Басов.

Он пояснил, что негативные воздействия уменьшают прочностные свойства грунтов, что приводит к деформациям зданий и сооружений. Уже сегодня это сказывается на состоянии существующего фонда зданий в регионе. В рамках программ Минстроя России выполнен ряд

важных исследований. В том числе составлен прогноз изменения температуры грунтов на территории Арктической зоны на 50 лет, который показал, что мощность слоя сезонного оттаивания на территории городского округа Воркута и Чукотского автономного округа увеличивается на 0,5-1,5 м; температура поднимается в зависимости от региона на +1+4° С.

«Для системного решения этой проблемы необходима разработка глобальной системы геотехнического мониторинга с применением автоматизированных систем контроля параметров грунтов оснований и несущих конструкций. Аккумулирование данных в общую базу в периоды строительства и эксплуатации позволит обеспечить устойчивость зданий и сооружений, своевременно выявляя и устраняя возникающие нештатные ситуации», – отметил Андрей Басов.

Он рассказал, что сегодня ведутся научно-исследовательские работы по созданию и внедрению новых материалов, конструкций и испытаний для совершенствования технологий строительства и обеспечения безопасной эксплуатации в течение всего жизненного цикла зданий и сооружений в современных арктических условиях. Они должны быть закреплены современной нормативной базой. «В перспективе необходимо отработать сценарии управления рисками на протяжении жизненного цикла объектов с использованием цифровых моделей (геоинформационных, имитационных, геоэкологических, экономических), к разработке этой задачи мы приступаем в рамках проекта цифровизации строительной отрасли», – отметил в заключении глава ФАУ «ФЦС».

<http://www.minstroyrf.ru/press/k-kontsu-2020-goda-budut-prinyaty-5-novykh-svodov-pravil-dlya-obespecheniya-bezopasnogo-stroitelstva/>

11 апреля 2019, Москва

Всероссийский практический семинар «Градостроительная деятельность – 2019» начнет работу в Москве 21 мая.

Всероссийский практический семинар «Градостроительная деятельность – 2019» пройдет в Москве с 21 по 23 мая 2019 года при поддержке Минстроя России.

В пленарном заседании «Законодательное и нормативно-правовое регулирование градостроительной деятельности» планирует принять участие заместитель министра строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации Дмитрий Волков.

Организатором семинара выступает Университет Минстроя НИИСФ РААСН.

В работе Семинара принимают участие ведущие министерства и ведомства Российской Федерации, а также представители научного, экспертного и бизнес сообществ.

В процессе итоговых совместных обсуждений будут выработаны предложения по совершенствованию и перспективам развития градостроительной деятельности.

В программе семинара предусмотрены следующие секции:

1. Градостроительная деятельность в 2019 г.: территори-

альное планирование, градостроительное зонирование, планировка территории.

2. Комплексное и устойчивое развитие территорий.

3. Земельные отношения: землепользование, сделки, кадастровый учет.

4. Информационное обеспечение и проектное управление в градостроительстве. В рамках мероприятия проводится повышение квалификации «Градостроительная деятельность – 2019» с выдачей Удостоверения о повышении квалификации Университета Минстроя НИИСФ РААСН.

Расписание и программу семинара можно посмотреть на сайте

<https://niisf.org/anonsy/vpsgd2019>

<http://www.minstroyrf.ru/press/vserossiyskiy-prakticheskiy-seminar-gradostroitel'naya-deyatelnost-2019-nachnet-rabotu-v-moskve-21-ma/>

15 апреля, Гренландия



Ледотрясения показали массу айсбергов, отколовшихся от Гренландии

Оказалось, что за 20 лет остров потерял 370 гигатонн льда. По массе это больше 800 астероидов Югу. Ученые рассчитали объем всего льда, который откололся от Гренландии за период с 1993 по 2013 год. Для этого они использовали данные о сейсмических колебаниях, которые появляются в тот момент, когда айсберг откалывается от ледника.

Площадь Гренландского ледяного щита, второго по размеру после антарктического, составляет более 1 700 000 км². Он покрывает почти всю территорию острова. Из-за глобального потепления его площадь каждый год уменьшается на несколько десятков квадратных километров.

Со временем это происходит все быстрее: за период с 2002 по 2011 год Гренландия потеряла в четыре раза больше льда, чем с 1991-го по 2001-й. Ледник сжимается в основном из-за двух процессов – таяния и образования айсбергов, которые откалываются от кромки щита и уплывают в море. Когда айсберг отделяется от ледника, происходит ледовое землетрясение магнитудой до 5 баллов. Соотношение роли таяния и отрыва айсбергов определить сложно, однако ученые из Франции, Швейцарии и Великобритании придумали способ, как это сделать. Авторы новой статьи взяли данные сейсмологических наблюдений в Гренландии за период с 1993 по 2013 год и проследили все случаи «ледовых землетрясений», всего 444 события. Они использовали модель образования айсберга, которую описали раньше в другой статье, и сопоставили свою модель с показаниями сейсмодат-

чиков. Таким образом ученые смогли приблизительно выяснить площадь и массу отколовшихся от Гренландии кусков льда. Оказалось, что за весь период остров потерял примерно 367 гигатонн льда, отколовшегося от щита. Как отмечают ученые, основные потери несет западное побережье острова. До 2010 года запад и восток были на равных, но в последние годы случаи образования айсбергов участились именно за счет западной кромки щита. Хотя потери из-за айсбергов сейчас составляют 20% от всего льда, утраченного Гренландией, ученые считают, что в будущем все большую роль будет играть именно отрыв льда из-за потепления вод Мирового океана.

https://chrk.ru/news/icequakes?utm_referrer=https%3A%2F%2Fzen.yandex.com

16 апреля, Москва



АРБИТРАЖНЫЙ СУД ГОРОДА МОСКВЫ

16 апреля 2019 года в Арбитражном суде г. Москвы было рассмотрено дело №А40-126361/17-91-1097 по заявлению Заболоцкой Елены Николаевны к Российской Ассоциации по сейсмостойкому строительству и защите от природных и техногенных воздействий (РАСС) о запрете ответчику издавать и распространять журнал «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений»; изъятии незаконно подготовленных макетов и изданных экземпляров журнала; обязанности ответчика удалить с принадлежащего ему сайта <http://www.seismic-safety.ru> всю информацию о журнале. <...>

Рассмотрев материалы дела, выслушав объяснения представителей лиц, участвующих в деле, оценив представленные доказательства в совокупности, суд приходит к следующим выводам. <...>

Учитывая материалы дела, издание и распространение журнала «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений» ведется Издателем (ответчиком) в полном соответствии с действующим законодательством Российской Федерации, действиями Ответчика не нарушены какие-либо права истца. <...>

Суд решил:

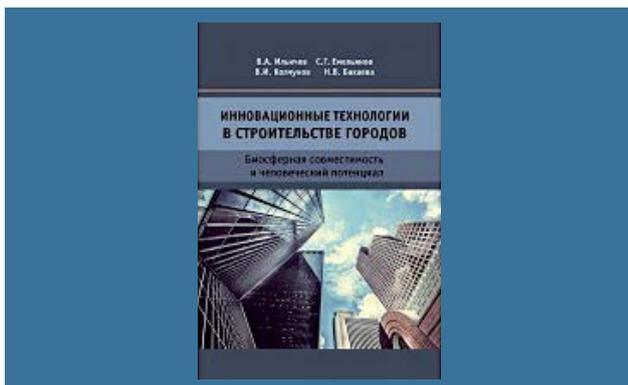
В удовлетворении иска отказано.

Взыскать с Заболоцкой Елены Николаевны в пользу Российской Ассоциации по сейсмостойкому строительству и защите от природных и техногенных воздействий (РАСС) судебные расходы.

В остальной части заявления отказать.

Полный текст решения Арбитражного суда города Москвы:

http://kad.arbitr.ru/PdfDocument/61abbfb-2108-4524-8073-c4ac38883ecd/468fa5aa-427e-4b44-9181-4bf81b2a46fb/A40-126361-2017_20190416_Reshenija_i_postanovlenija.pdf



Вышла в свет новая книга членов РААСН «Инновационные технологии в строительстве городов. Биосферная совместимость и человеческий потенциал»

В издательстве АСВ вышла в свет книга авторского коллектива в составе академика РААСН Вячеслава Александровича Ильичева, члена-корреспондента РААСН Сергея Геннадьевича Емельянова, академика РААСН Виталия Ивановича Колчунова и советника РААСН Натальи Владимировны Бакаевой под названием «Инновационные технологии в строительстве городов. Биосферная совместимость и человеческий потенциал» (объем книги - 208 страниц).

Рассмотрены теоретические вопросы и современные технологии самоподдерживающегося развития городов и поселений, базирующиеся на фундаментальной парадигме симбиоза градостроительных систем с окружающей их природной средой. Приведены базовые принципы преобразования городов в биосферосовместимые и развивающие человека. Изложены методика мониторинга состояния городской среды и алгоритмы расчета интегрального показателя биосферной совместимости урбанизированных территорий. Рассмотрен механизм реализации и оценки эффективности программ развивающего инвестирования и внедрения инноваций на основе принципов программно-целевого управления.

Пособие содержит примеры численного анализа реализуемости функций биосферосовместимого города (на примере жилых микрорайонов) и количественной оценки доступности городских объектов населению.

Авторы полагают, что решение задач прогрессивного развития людей на урбанизированных территориях следует начинать с системы образовательно-воспитательных, духовно-нравственных, биолого-демографических, социально-экономических и гуманитарных механизмов развития. Поэтому отдельный раздел пособия посвящен анализу системы современного высшего образования как главного вектора решения задач безопасности жизнедеятельности.

Рекомендовано Российской академией архитектуры и строительных наук в качестве учебного пособия для студентов образовательных организаций высшего образования, обучающихся по направлениям подготовки (специальностям) 07.03.04 «Градостроительство» (уровень бакалавриата), 07.04.04 «Градостроительство» (уровень магистратуры), 08.03.01 «Строительство» (уровень бакалавриата), 08.04.01 «Строительство» (уровень магистратуры), 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений» (уровень специалитета), 08.06.01 «Техника и технологии строительства» (уровень подготовки кадров высшей квалификации).



XXII конкурс Российской академии архитектуры и строительных наук на лучшие научные и творческие работы в области архитектуры, градостроительства и строительных наук за 2018 год

Редколлегия журнала «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений» поздравляет уважаемых коллег и авторов с высокими наградами!

Диплом РААСН

в области строительных наук за 2018 год «Железобетонные конструкции» в 2-х частях в номинации – «Лучший учебник» (учебное пособие)

Кодыш Эмиль Нухимович, Трекин Николай Николаевич, Федоров Виктор Сергеевич, Терехов Иван Александрович (авторский коллектив – Москва)

Серебряная медаль РААСН

в области строительных наук за 2018 год. Серия научных работ «Расчет ответственных сооружений на сейсмические воздействия» в номинации – «Лучшая научная работа»

Тяпин Александр Георгиевич (автор – Москва)

Примите наши искренние поздравления и пожелания дальнейших профессиональных и научных успехов!





St. Petersburg, 1-6 July, 2019

16 WCSI | 16th World Conference on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures

Please contact us:

For registration problems
For paper submission problems
For payment problems
For exhibitors and sponsors
For other questions

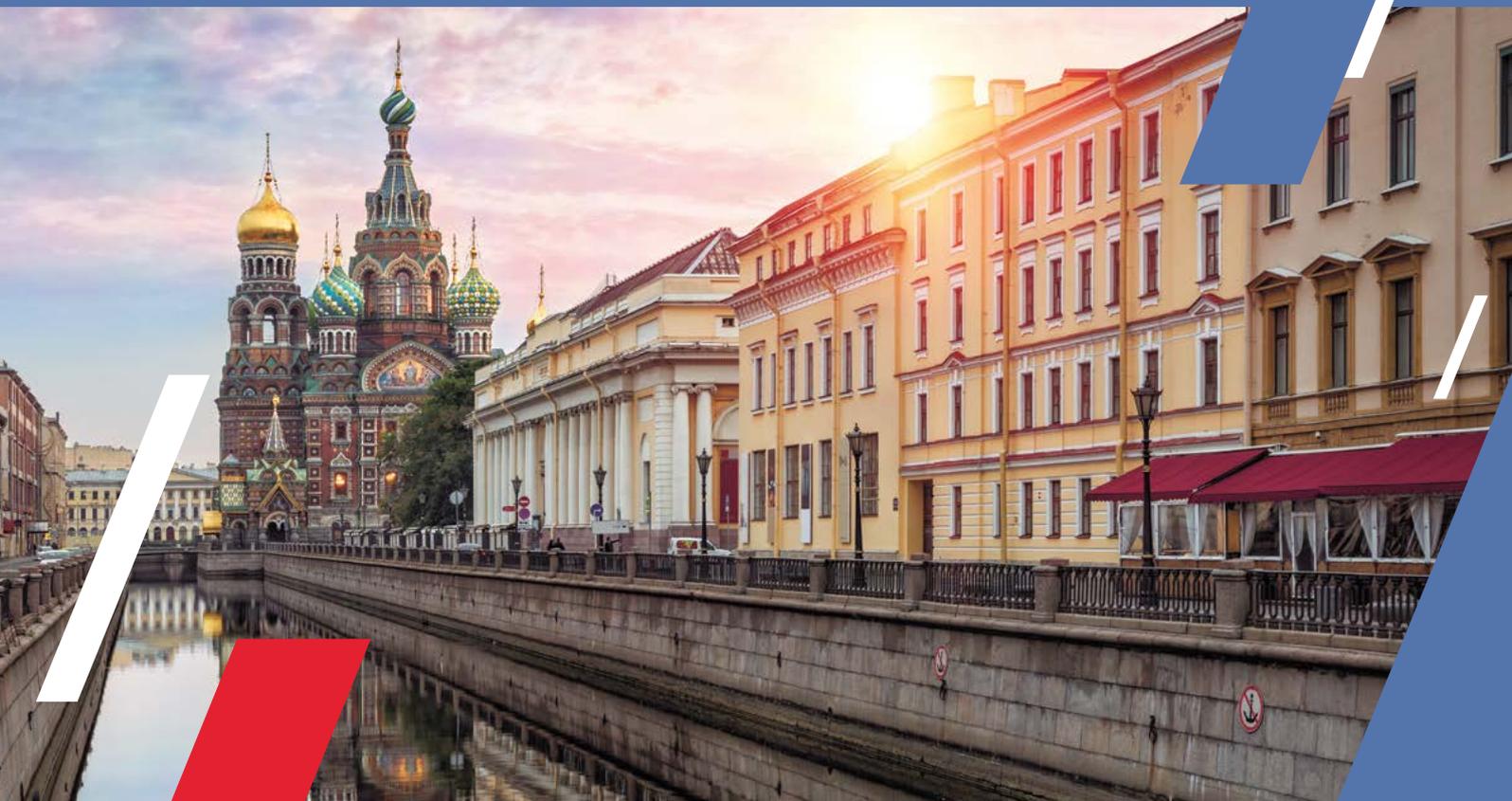
registration@16wcsi.org
submission@16wcsi.org
finance@16wcsi.org
exhibition@16wcsi.org
info@16wcsi.org

www.16wcsi.org

+7 (968) 595 44 51



RESEARCH CENTER
OF CONSTRUCTION
Joint Stock Company





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 Уздина Александра Моисеевича!

22 апреля 2019 года свой 70-летний юбилей отметил один из корифеев сейсмостойкого строительства Российской Федерации, доктор технических наук, профессор кафедры «Механика и прочность материалов и конструкций» Петербургского государственного университета путей сообщения императора Александра I Александр Моисеевич Уздин.

Окончив в 1970 году факультет «Мосты и тоннели» Ленинградского института инженеров железнодорожного транспорта (ЛИИЖТ), Александр Моисеевич начал свой профессиональный путь в должности инженера Ленгипротрансмоста. Далее была служба в рядах Советской армии, после которой его профессиональная и научная деятельность на протяжении почти двух десятилетий проходила в стенах и на испытательных полигонах НИИ Мостов. В эти же годы А.М. Уздин под руководством Савинова Олега Александровича подготовил и защитил кандидатскую диссертацию, а позднее, в 1992 году, докторскую. Накопив значительный багаж знаний и опыт в вопросах, связанных с сейсмостойким строительством, динамикой оснований и фундаментов и транспортных сооружений, Александр Моисеевич с 1992 года и по настоящее время ведет активную научную и преподавательскую деятельность в Петербургском государственном университете путей

сообщения императора Александра I, подготовив не одно поколение инженеров-строителей.

При этом большое внимание он уделяет деятельности в ряде научных и общественных организаций и профессиональных сообществ, как в России, так и за рубежом, среди них такие общепризнанные, как РОМГГиФ и ISSMGE, Российская и Европейская ассоциации по сейсмостойкому строительству, EERI и ASSISI.

Кроме этого, Александр Моисеевич является аттестованным экспертом РОМГГиФ по специальности «Сейсмостойкость и динамика оснований и фундаментов» и экспертом международного уровня лиги экспертов Межправительственного совета по сотрудничеству в строительной деятельности стран СНГ.

За годы своей профессиональной и научной деятельности А.М. Уздин подготовил более 350 научных трудов, в том числе 5 монографий, 3 учебника, 45 зарубежных публикаций, 25 авторских свидетельств и патентов. Под его научным руководством были защищены 11 кандидатских и одна докторская диссертация, по более чем 10 кандидатским диссертациям он осуществлял научное консультирование.

Тесное сотрудничество связывает его с журналом «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений», членом редакционной коллегии которого он является уже более двадцати лет.



В этот прекрасный весенний день мы от всей души поздравляем Александра Моисеевича с юбилеем!

Желаем крепкого здоровья, новых творческих успехов, благополучия!



А.Г. Тяпин
доктор технических наук

А.В. Наумкин
кандидат технических наук

АО «Атомэнергoproject», Москва, Россия

УДК 624.042.7

Проектное и максимальное расчетные сейсмические воздействия: нормальное и аномальное соотношения

Аннотация: В статье разбирается неожиданный эффект, встретившийся в практических расчетах: спектр ответа в сооружении, вычисленный для проектного землетрясения (ПЗ), на определенных частотах оказался выше спектра ответа, вычисленного для максимального расчетного землетрясения (МРЗ). Выясняется, что причина такого «аномального» соотношения кроется в «аномальном» соотношении амплитудных спектров Фурье воздействия, а это, в свою очередь, яв-

ляется результатом независимого синтеза акселерограмм воздействия по целевым спектрам ответа ПЗ и МРЗ. «Нормальное» соотношение спектров ответа при независимых псевдослучайных фазах не гарантирует «нормального» соотношения амплитудных спектров Фурье на всех частотах. Рассматриваемый эффект является нефизичным и паразитическим. Авторы дают рекомендации, как избежать его в будущих расчетах.

Ключевые слова: расчет на сейсмические воздействия, спектр Фурье, спектр ответа, синтез акселерограмм.

Tyapin Alexander G.
Doctor of Technical Science, JSC "Atomenergoproject", Moscow, Russia
Naumkin Alexander V.
PhD in Engineering Science

Operational Basis Earthquake and Design Basis Earthquake: Normal and Abnormal Relations

Abstract: The authors study the unexpected effect occurred in the practical design: the in-structure response spectrum for OBE proved to exceed the response spectrum for DBE at certain frequencies. It turns out that the reason is in the «abnormal» relation between Fourier spectra for the OBE and DBE time-histories. Such behavior was the result of the independent syntheses of the OBE and DBE time-histories

matching target response spectra. «Normal» behavior of the response spectra does not guarantee «normal» behavior of the amplitude Fourier spectra throughout the whole frequency range, if phase Fourier spectra are independent. The «abnormal» effect under consideration is non-physical. The authors give some recommendations to avoid it in the future analyses.

Keywords: seismic analysis, Fourier spectra, response spectra, synthesis of the time-histories.

Прежде всего, дадим определение рассматриваемым воздействиям, поскольку в них до сих пор существуют разночтения, порожденные неудачной терминологией в прошлой редакции СП 14.13330 2014 года [1]. В редакции СП 2018 года [2] уже говорится о расчетном и контрольном землетрясениях (РЗ и КЗ соответственно) вместо использованных в редакции СП 2014 г. проектного землетрясения (ПЗ) и максимального расчетного землетрясения (МРЗ). Разница между парами РЗ/КЗ и ПЗ/МРЗ принципиальна и фундаментальна: в новой редакции СП, в сущности, рассматривается одноуровневый расчет, т.е. РЗ и КЗ – это одно и то же землетрясение с точки зрения средних периодов повторяемости. Разница между РЗ и КЗ – не в периодах повторяемости, а в формате задания движения грунта (в виде спектров ответа ускорений для РЗ или в виде акселерограмм для КЗ). Соответственно, и расчеты ведутся разными методами: линейно-спектральным методом в случае РЗ и во времени в случае КЗ. В первом случае нелинейные эффекты учитываются приближенно коэффициентом K_1 , а во втором случае – явным моделированием нелинейностей в элементах конструкции. В то же время, как следует из базовых предположений, результаты расчетов на РЗ и на КЗ должны быть в разумном соответствии между собой, поскольку описывают одну и ту же физическую ситуацию (просто описывают ее по-разному). Возможно, рассматриваемые две расчетные ситуации лучше называть не парой «РЗ и КЗ» (все-таки создается иллюзия, что речь идет о двух разных землетрясениях), а парой «ПР и КР», т.е. «проектный расчет» и «контрольный расчет». Что касается коэффициента K_0 , повышающего максимальные ускорения при расчете на акселерограммы КЗ, то его, наверное, лучше трактовать не как переход к другому событию, а как описывающий повышенную обеспеченность оценок при том же физическом событии.

В отличие от СП, в тексте настоящей статьи в соответствии с нормами атомной энергетики [3] проектные и максимальные расчетные землетрясения (т.е. ПЗ и МРЗ) – это два физически разных сейсмических воздействия на рассматриваемой площадке, характеризующиеся совершенно разными средними периодами повторяемости. В самом распространенном варианте период повторяемости ПЗ – 1000 лет, период повторяемости МРЗ – 10000 лет. Таким образом, МРЗ во всех своих возможных форматах, о которых речь впереди, должно быть более (по крайней мере, уж никак не менее) сильным, чем ПЗ. Это следует хотя бы из того, что набор сейсмических событий за более долгий период повторяемости МРЗ включает в себя события ПЗ как подмножество. Соотношение между МРЗ и ПЗ, описанное выше, будем называть «нормальным», обратную ситуацию – «аномальной».

Ответственные объекты атомной энергетики рассчитываются на оба эти воздействия. Может показаться, что расчет на более слабое воздействие ПЗ не нужен, если есть расчет на более сильное воздействие МРЗ. Однако к сейсмическим реакциям проектируемого объекта на эти два разных воздействия предъявляются разные требования. Реакция на воздействие ПЗ должна быть такой, чтобы объект продолжал функционировать в нормальном режиме. Реакция на воздействие МРЗ должна быть такой, чтобы объект даже при частичном разрушении и потере своей функциональности не стал бы источником радиоактивной опасности для

населения и окружающей среды. Разумеется, это требования не к воздействиям (уж какие есть в природе для данной площадки), а к проекту самого сооружения и оборудования.

Теперь обратимся к тому, как задаются эти два воздействия. Основным видом информации о воздействии были и остаются записи движения основания в некоторой точке на свободной поверхности или на некоторой условной глубине, соответствующей определенным параметрам нижележащего грунта. Эти записи с точки зрения формата могут задаваться в нескольких вариантах. Первый вариант – акселерограммы (обычно трехкомпонентные), т.е. зависимости ускорений от времени. Каждую компоненту акселерограммы можно представить в виде комплексного спектра Фурье (или в виде пары действительных спектров Фурье – амплитудного и фазового). При использовании быстрого преобразования Фурье этот спектр является конечным и дискретным [4].

Второй вариант описания той же компоненты акселерограммы – спектр ответа ускорений, построенный для определенного демпфирования в осцилляторах. В данной статье термин «спектры ответа» авторы вынуждены употреблять полностью (а не ограничиваться термином «спектры», как часто поступают в теории сейсмостойкости), поскольку наряду со спектрами ответа будут рассматриваться и другие спектры – спектры Фурье.

Особенности того и другого спектров (спектра Фурье и спектра ответа) описаны в книге [4]. Частично они будут описаны ниже в настоящей статье. Принципиальное различие между двумя видами спектров заключается в том, что спектры Фурье являются «клавишными», т.е. то, что происходит на определенной частоте Фурье, никоим образом не связано с тем, что происходит на соседних частотах. Напротив, спектры ответа являются «усредняющими»: для заданной компоненты акселерограммы то, что происходит со спектром ответа на определенной частоте, практически является усреднением с весами того, что происходит со спектрами Фурье на интервале частот с центром в этой самой определенной частоте.

В случае, когда воздействие задается спектром ответа, а для расчета требуется акселерограмма, для получения этой акселерограммы используются те или иные специальные технологии синтеза. Наиболее популярной технологией такого рода является задание акселерограммы в виде произведения реализации стационарного случайного процесса на некоторую плавно меняющуюся во времени огибающую функцию. При этом стационарный случайный процесс задается в виде суммы ряда гармоник (в практике автора – около 300). Фазы этих гармоник задаются псевдослучайным образом как равномерно распределенные на отрезке от нуля до 2π (и в связи с этим каждый конкретный набор фаз характеризуется точкой входа в датчик псевдослучайных равномерно распределенных на отрезке чисел). После такого задания фазового спектра синтез акселерограммы сводится к тому, что амплитуды этих гармоник итерационным образом «настраиваются» так, чтобы получающийся спектр ответа был бы возможно ближе к целевому спектру ответа. Из этого описания читатель видит, что в процессе синтеза акселерограммы задействовано демпфирование в осцилляторах – оно обязательно участвует в спектрах ответа (целевом и вычисляемом).

Исторически на протяжении десятилетий реально задавалось только одно из двух рассматриваемых воздействий

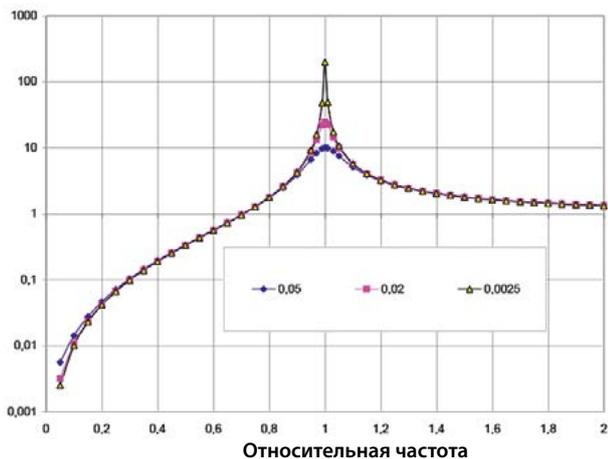


Рисунок 1 — Модуль передаточной функции f при разном демпфировании λ в осцилляторе

Figure 1 — Absolute value of the transfer function f for different damping λ in oscillator

(обычно МРЗ), а второе воздействие задавалось простым масштабированием первого. Чаще всего встречалась ситуация, когда ПЗ принималось в виде половины МРЗ. Такой подход, будучи применен к акселерограммам, гарантировал, что и спектры ответа, и амплитудные спектры Фурье, заданные для акселерограмм МРЗ, будут точно так же масштабироваться для акселерограмм ПЗ. Ни о какой «аномальности» в воздействиях речи быть не могло.

А что с реакциями? Разумеется, любая линейная система при масштабировании воздействия должна давать масштабированную реакцию. Однако на практике здесь все не так просто: чаще всего, на ПЗ и МРЗ рассчитывались все-таки несколько разные модели одной и той же физической системы «сооружение-основание». Назовем два различия между этими моделями. Во-первых, приближенный эквивалентно-линейный подход к описанию поведения грунта приводит к тому, что эффективные жесткости и материальное демпфирование в слоях грунта оказываются зависящими от интенсивности сейсмического воздействия, поэтому они для ПЗ и МРЗ несколько различаются. Для МРЗ все слои грунта несколько мягче по сравнению с ПЗ; внутреннее демпфирование в них несколько больше. Во-вторых, и в сооружении внутреннее демпфирование задается по-разному при расчетах на ПЗ и на МРЗ - скажем, в железобетоне без преднапряжения это 4% для ПЗ и 7% для МРЗ. В результате такой разницы в моделях системы «сооружение-основание» вычисленные реакции этой системы на ПЗ и МРЗ имеют несколько разный частотный состав (для МРЗ немного сдвинутый в сторону более низких частот). Кроме того, амплитуды реакций на ПЗ и МРЗ различаются не во столько же раз, во сколько различались исходные воздействия (обычно при различии воздействий ПЗ и МРЗ в два раза вычисленные реакции различались примерно в 1,7-1,8 раза). Тем не менее, авторам не встречались на практике случаи, когда реакция на ПЗ в каком-то формате превышала реакцию на МРЗ.

Все изменилось в последние примерно десять лет, когда в рамках последовательного внедрения вероятностных подходов сейсмические воздействия от ПЗ и МРЗ стали задаваться независимо друг от друга. Господствующим форма-

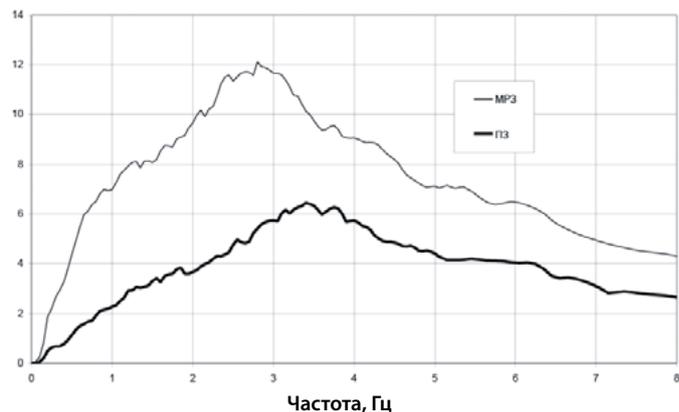


Рисунок 2 — Спектры ответа ускорений ПЗ и МРЗ для демпфирования 5%

Figure 2 — Acceleration response spectra of OBE and DBE for 5% damping

том остался формат задания спектров ответа для ускорений. Спектральные ускорения с разными периодами повторяемости, разумеется, остались в «нормальном» соотношении: на кривых сейсмичности большему периоду повторяемости соответствуют большие спектральные ускорения. Однако формы получающихся спектров ответа для ПЗ и МРЗ стали разными (т.е. отношение спектральных ускорений стало разным для разных частот). Синтез искусственных акселерограмм под спектры ПЗ и МРЗ стал выполняться независимо. Отметим, что на практике сейсмологи задают спектры и проводят синтез акселерограмм обычно с использованием демпфирования в осцилляторах 5%.

И вот здесь-то проявилась «маскировочная» особенность спектров ответа, на опасность которой указывал В.В.Болотин еще на заре создания спектральной теории сейсмостойкости в 50-е годы прошлого века. Как отмечалось выше, на самом деле полной характеристикой акселерограммы (ограничимся рассмотрением одной компоненты) является комплексный спектр Фурье – в виде пары амплитудного и фазового спектров. Спектр же ответа, описывая максимальную по модулю реакцию одномассового осциллятора на воздействие данной акселерограммы, фактически фильтрует спектр Фурье исходного воздействия. В частотном диапазоне (ω – текущая частота) спектр Фурье воздействия умножается на некоторую передаточную функцию, зависящую от собственной частоты ω_0 и относительно демпфирования λ в осцилляторе:

$$f(\omega, \omega_0, \lambda) = (\omega_0^2 + 2i\lambda\omega_0\omega) / (\omega_0^2 - \omega^2 + 2i\lambda\omega_0\omega) \quad (1)$$

Введя относительную частоту $\theta = \omega_0 / \omega$, можно переписать (1) в виде

$$f(\theta, \lambda) = (\theta^2 + 2i\lambda\theta) / (\theta^2 - 1 + 2i\lambda\theta) \quad (2)$$

В числителе и знаменателе (1) и (2) стоят комплексные числа – i означает мнимую единицу.

Добротность этого фильтра зависит от демпфирования в осцилляторе: реакция осциллятора практически усредняет амплитудный спектр Фурье воздействия на некотором частотном интервале вокруг собственной частоты осциллято-

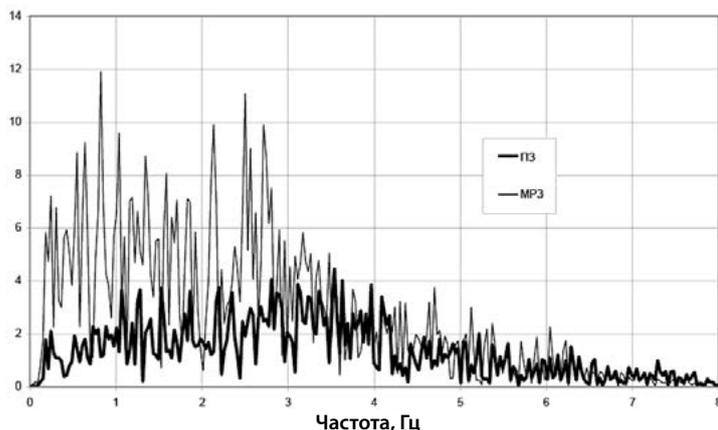


Рисунок 3 — Амплитудные спектры Фурье ускорений ПЗ и МРЗ

Figure 3 — Fourier spectra of OBE and DBE accelerations

ра, и размер этого интервала растет с ростом демпфирования. На рис.1 показан вычисленный по формуле (2) модуль передаточной функции f при разном демпфировании λ в осцилляторе.

Именно этот модуль передаточной функции выполняет функцию веса при усреднении амплитудного спектра Фурье воздействия вокруг собственной частоты осциллятора. Мы видим, как с уменьшением демпфирования в осцилляторе растет роль центральной частоты. Отметим, что графики на рис.1 имеют логарифмическую ось ординат.

Возможна ситуация, когда на одной и той же частоте у двух воздействий амплитудные спектры Фурье будут различаться в одну сторону, а спектры ответа при определенном демпфировании – в другую. Таким образом, спектр ответа при достаточно большом демпфировании способен как бы «маскировать» узкополосные выбросы спектра Фурье.

Применительно к ПЗ и МРЗ при независимом синтезе двух акселерограмм целевые и вычисленные спектры ответа при том «целевом» уровне демпфирования в осцилляторах, который задавался для целевых спектров ответа при синтезе, на любой частоте осцилляторов всегда будут соотноситься «нормально». Но при этом может оказаться, что амплитудные спектры Фурье для тех же двух акселерограмм на какой-то частоте окажутся в «аномальном» соотношении. Иными словами, амплитудный спектр Фурье на этой частоте (назовем ее тоже «аномальной») для ПЗ окажется выше, чем для МРЗ. Разумеется, такая аномалия возможна только на узком частотном интервале, а при быстром преобразовании Фурье (БПФ) вообще, возможно, на отдельной частоте – в противном случае она проявилась бы при вычислении спектров ответа.

Теперь для тех же двух акселерограмм (ПЗ и МРЗ), полученных при синтезе, будем строить спектры ответа не с целевым демпфированием, а постепенно уменьшать демпфирование в осцилляторах. Мы увидим, что соотношение спектральных ускорений при уменьшении демпфирования в осцилляторах будет стремиться к соотношению между амплитудными спектрами Фурье на этой же «аномальной» частоте, т.е. начиная с какого-то уровня демпфирования, соотношение спектральных ускорений изменится с «нормального» на «аномальное». Назовем этот уровень демпфирования «пороговым».

Приведем пример из практики. В качестве воздействия на фундаменте сооружения заданы две акселерограммы – ПЗ и МРЗ. Не будем сейчас останавливаться на их происхождении. Спектры ответа для демпфирования 5% показаны на рис.2.

Демпфирование на рис. 2 соответствует тому целевому демпфированию, для которого проводился синтез акселерограмм. Дискретный набор частот определяется числом Фурье 8192 и шагом по времени акселерограммы 0,004 с – шаг дискретизации по частоте оказывается равен примерно 0,0305 Гц. Казалось бы, «нормальное» соотношение между спектрами реакции на рис.2 не сулит неприятностей. Но посмотрим на амплитудный спектр Фурье тех же двух акселерограмм – он показан на рис.3.

Мы наблюдаем на рис.3 выброс амплитуды Фурье ПЗ за амплитуду МРЗ сразу в нескольких диапазонах частот, например, в районе 3,8 Гц, 4,9 Гц, 5,2 Гц, а также 7,2 Гц – т.е. соотношение амплитудных спектров Фурье становится «аномальным», причем сразу на нескольких соседних частотах из дискретного набора. Посмотрим, что будет со спектрами ответа на «аномальных» частотах, если уменьшать демпфирование в осцилляторах от «целевого» значения 5%. На рис.4 показаны спектры ответа с демпфированием 2%, а на рис.5 – с демпфированием 0,25%.

Мы видим то, о чем говорилось выше: соотношение между спектрами ответа при уменьшении демпфирования в осцилляторах стремится к соотношению между амплитудными спектрами Фурье, т.е. на «аномальной» частоте при каком-то демпфировании оно становится «аномальным» (см. рис.5, частоты в районе 4 Гц и 7,4 Гц).

Читатель спросит: «Ну и что? Ведь спектральная теория гарантирует, что при «нормальном» соотношении спектров ответа двух воздействий максимальные реакции системы на эти два воздействия тоже будут в таком же «нормальном» соотношении, если только демпфирование в системе соответствует демпфированию, которое использовалось при построении спектров ответа воздействия!». Это действительно так, но относится только к максимальным реакциям. Если построить спектр ответа ускорений в точке системы, то «нормальное» соотношение спектров ответа воздействия гарантирует такое же «нормальное» соотношение только между «хвостами» спектров ответа реакции в точке (т.е. между максимальными ускорениями в этой точке), но не между полными спектрами ответа, построенными в этой же точке системы на всех частотах. А ведь такие спектры ответа (и их производные – т.н. «постажные спектры») являются одним из форматов выдачи результатов расчета на сейсмические воздействия. Их вычисляют проектировщики-строители и передают проектировщикам оборудования в качестве исходных данных о воздействии.

Последствия «аномального» соотношения между амплитудами Фурье акселерограмм ПЗ и МРЗ для реакции в определенной точке системы достаточно очевидны: на «аномальной» частоте амплитуда Фурье реакции на ПЗ окажется больше, чем амплитуда Фурье реакции на МРЗ. И это даже при одинаковых передаточных функциях от воздействия к реакции. На самом же деле передаточные функции в случае МРЗ могут дополнительно способствовать уменьшению реакции на МРЗ за счет большего демпфирования и

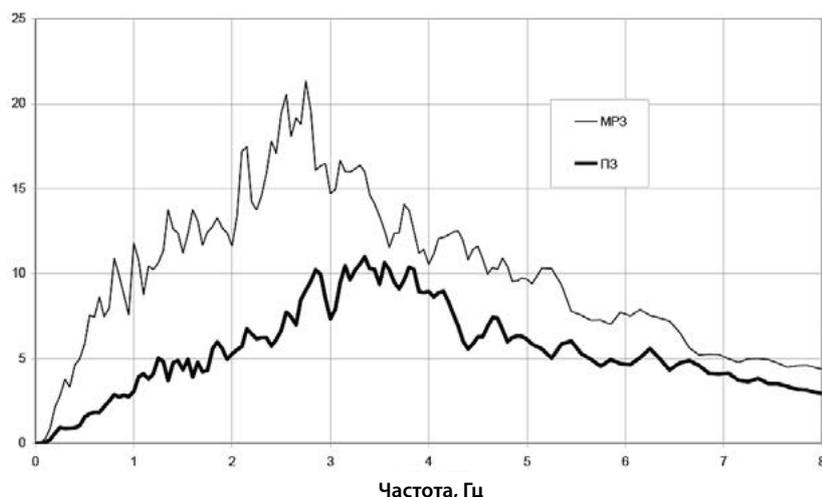


Рисунок 4 — Спектры ответа ускорений ПЗ и МРЗ для демпфирования 2%

Figure 4 — Acceleration response spectra of OBE and DBE for 2% damping

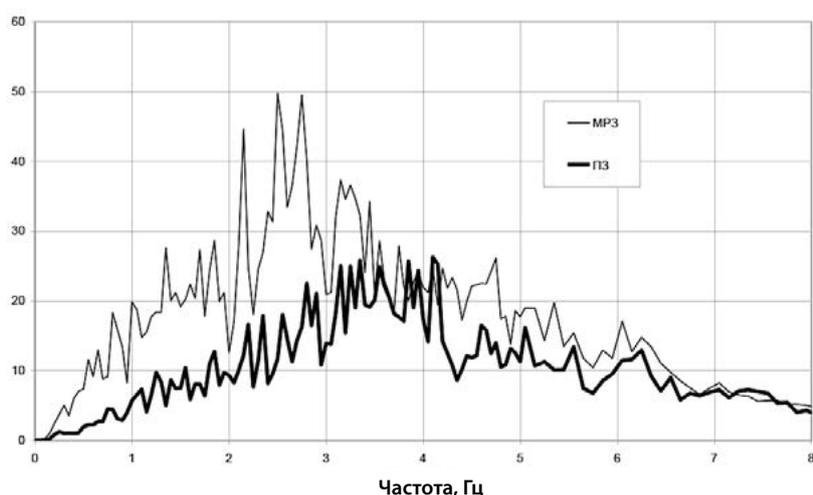


Рисунок 5 — Спектры ответа ускорений ПЗ и МРЗ для демпфирования 0,25%

Figure 5 — Acceleration response spectra of OBE and DBE for 0.25% damping

сдвига резонансных частот в меньшую сторону. Проявится ли это в максимальной по времени реакции (с учетом того, что сейсмическая реакция всегда имеет не моногармонический характер) зависит как от демпфирования в системе, так и от воздействия.

Сложнее вопрос со спектрами ответа в рассматриваемой точке сооружения. На рис.6 показаны спектры ответа реакции в одной из точек сооружения с демпфированием в осцилляторах 5%. Воздействие то же, что рассматривалось выше.

На рис.7 показаны спектры с демпфированием 2%, на рис.8 – с демпфированием 0,25%. Мы видим, что значение порогового демпфирования для реакции (по сравнению с воздействием) явно сдвинулось вверх. Если для воздействия пороговое демпфирование составляло порядка 0,25%, то для реакции уже при демпфировании в 5% мы видим anomalous соотношение спектров в районе 7 Гц. Как и для воздействия, уменьшение демпфирования в осцилляторах ведет к расширению и появлению новых частотных интервалов «аномальности» вокруг «аномальных» частот амплитудного спектра Фурье.

Следующий вопрос такой. Когда расчетчик сталкивается с новым явлением, принципиально возможны две разные ситуации. Первая ситуация – когда новое явление физическое, реальное. В этом случае от инженера требуется разработать способ его учета в расчетах. Вторая ситуация – если это явление нефизическое, паразитическое, порожденное нежелательными особенностями расчетной техники. В этом случае требуется понять, как избежать его появления в расчетах. С чем мы имеем дело на этот раз?

Мы выяснили происхождение «аномального» соотношения – оно связано с техникой синтеза искусственных акселерограмм. Является ли это явление физическим? Представляется, что не является. В начале статьи уже говорилось о том, что более редкое воздействие по физическому смыслу должно быть сильнее более частого воздействия во всех возможных форматах – это следствие того, что при обработке статистических выборок одна выборка войдет подмножеством в другую. Но если мы говорим обо всех форматах, то это должно относиться и к формату спектров Фурье. Другое дело, что они не используются сейсмологами при построении

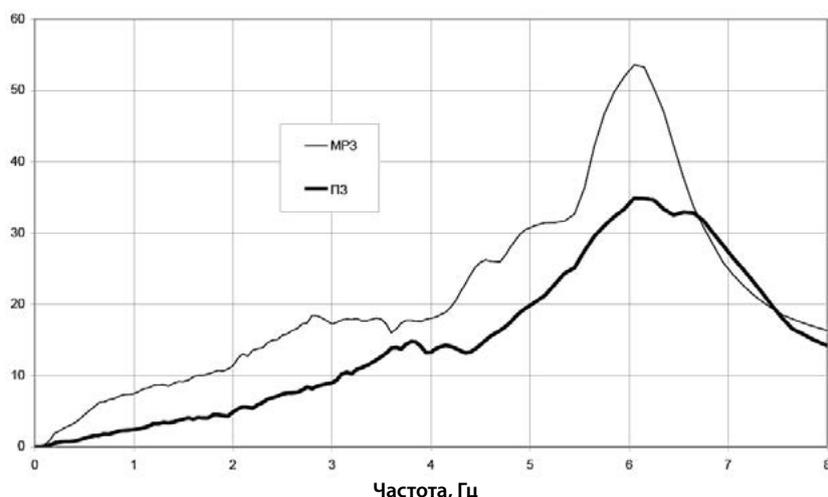


Рисунок 6 — Спектры ответа в точке сооружения. Демпфирование в осцилляторах 5%
Figure 6 — In-structure acceleration response spectra of OBE and DBE for 5% damping

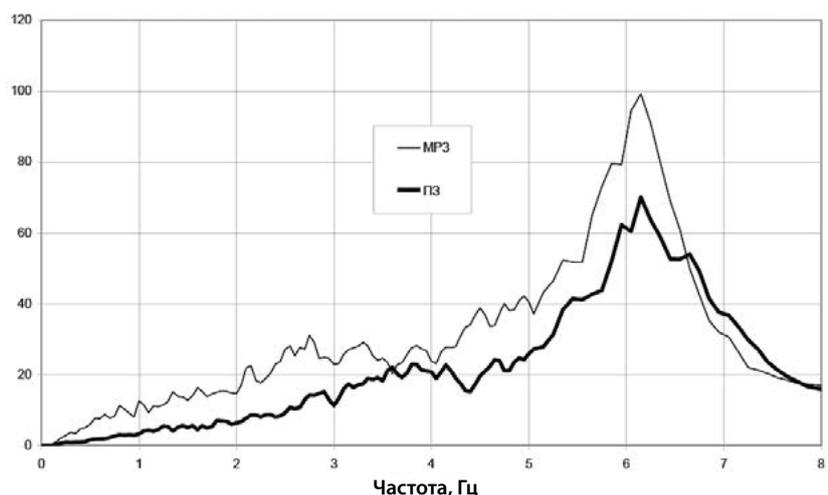


Рисунок 7 — Спектры ответа в точке сооружения. Демпфирование в осцилляторах 2%
Figure 7 — In-structure acceleration response spectra of OBE and DBE for 2% damping

нии кривых сейсмичности, это просто вопрос применяемых методов.

Отдельный вопрос – всегда ли можно утверждать, что реакция на более сильное сейсмическое воздействие больше реакции на более слабое воздействие. Для линейных систем положительный ответ очевиден. Но даже для нелинейных систем с немонотонными зависимостями реакции от воздействия представляется, что ответ останется положительным. В обоснование этого можно вспомнить, что сейсмическое воздействие конечно по времени; оно начинается с небольших ускорений, которые сначала растут со временем, а потом затухают. Таким образом, модуль ускорений воздействия за время своего действия проходит от нуля до некоторых максимальных ускорений. Даже если какая-то реакция зависит от воздействия не монотонно, более слабый уровень воздействия все равно окажется неким промежуточным уровнем более сильного воздействия.

Что же делать, чтобы избежать отрицательных послед-

ствий (нефизических по сути своей, как выясняется) в расчетах на сейсмические воздействия? Представляется, что наборы акселерограмм, синтезированные для ПЗ и МРЗ, должны быть определенным образом согласованы между собой. Авторы рекомендуют проводить анализ Фурье акселерограмм для ПЗ и МРЗ, вычислять отношение амплитуд по каждой частоте и проверять, не появилось ли на каких-то частотах «аномальное» соотношение. Альтернатива – сравнивать спектральные плотности, которые по сути являются квадратами амплитудных спектров.

В качестве возможного более практичного варианта авторы предлагают использовать при синтезе акселерограмм для ПЗ и МРЗ одинаковые наборы генерирующих частот и входов в датчики псевдослучайных чисел, используемых для выбора фазовых соотношений. Наборы акселерограмм для МРЗ и для ПЗ предлагается синтезировать параллельно. Тогда даже при некоторых различиях в формах целевых спектров ПЗ и МРЗ повторение фазовых спектров практи-

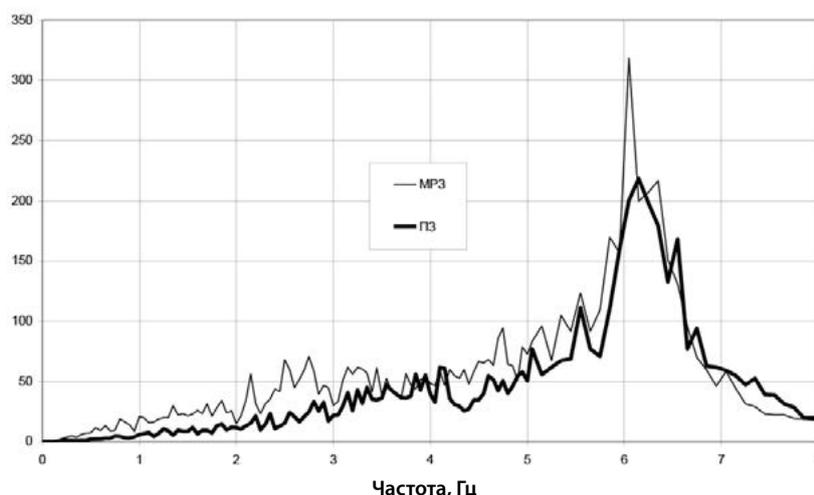


Рисунок 8 — Спектры ответа ускорений ПЗ и МРЗ для демпфирования 2%
Figure 8 — In-structure acceleration response spectra of OBE and DBE for 0.25% damping

чески гарантирует, что даже для наборов акселерограмм квантили реакции с одинаковой обеспеченностью будут находиться в «нормальном» соотношении.

И еще две рекомендации. В тех случаях, когда у расчетчика появляется выбор, под какой уровень демпфирования в целевом спектре проводить синтез (на практике обычно приходится выбирать между 2% и 5%), авторы рекомендуют выбирать наименьшее возможное демпфирование. Это обеспечит большую близость спектра ответа к амплитудному спектру Фурье.

Наконец, заключительная рекомендация – использовать как можно больше генерирующих частот при синтезе акселерограмм – не в смысле расширения частотного диапазона, а в смысле уплотнения спектра. Это позволит минимизировать флуктуации амплитудного спектра Фурье.

Перейдем к выводам. Обнаружен эффект превышения реакции на ПЗ реакции на МРЗ (в формате поэтажных спектров ответа в точке сооружения). Исследование показало, что причина этого эффекта коренится в «ано-

мальном» превышении амплитудным спектром Фурье акселерограммы ПЗ соответствующего спектра Фурье для акселерограммы МРЗ на определенных частотах. Это превышение стало возможным благодаря независимому синтезу акселерограмм ПЗ и МРЗ под целевые спектры ответа, а также благодаря «маскировочному» свойству спектра ответа как формата.

Авторы оценивают данный эффект как принципиально нефизичный, паразитический, поскольку более редкое землетрясение МРЗ обязано быть не слабее более частого землетрясения ПЗ во всех форматах, включая формат амплитудных спектров Фурье. Поэтому авторы предлагают проверять соотношение амплитудных спектров Фурье ПЗ и МРЗ на всех частотах. При синтезе же акселерограмм авторы предлагают пользоваться для ПЗ и МРЗ одинаковыми наборами генерирующих частот и одинаковыми точками входа в датчики псевдослучайных чисел, используемых для фазовых спектров Фурье.

Литература

1. Свод правил СП 14.13330.2014. «Строительство в сейсмических районах» СНиП II-7-81*. Издание официальное. М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства, 2014.

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.

3. Seismic Analysis of Safety-Related Nuclear

Structures and Commentary. ASCE/SEI 4-16. Reston, Virginia, USA. 2017.

4. Тяпин А.Г. Расчет сооружений на сейсмические воздействия с учетом взаимодействия с грунтовым основанием. Научное издание. М.: Издательство АСВ, 2013. 392 с.

References

1. Standard SP 14.13330.2014. "Construction in Seismic Regions" SNiP II-7-81*. Official edition. Moscow: Ministry of Construction and Utilities. 2014. [In Russian]

2. Standard SP 14.13330.2018. "Construction in Seismic Regions" SNiP II-7-81*. Official edition. Moscow: Ministry of Construction and Utilities. 2018. [In Russian]

3. Seismic Analysis of Safety-Related Nuclear

Structures and Commentary. ASCE/SEI 4-16. Reston, Virginia, USA. 2017. [In Russian]

4. Tyapin A.G. Seismic analysis of structures considering soil-structure interaction. Scientific edition – Moscow: ASV, 2013. 392 p. [In Russian]

Для цитирования: Тяпин А.Г., Наумкин А.В. Проектное и максимальное расчетные сейсмические воздействия: нормальное и аномальное соотношения // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2019. № 2. С. 9-15.

For citation: Tyapin A.G., Naumkin A.V. Operational Basis Earthquake and Design Basis Earthquake: Normal and Abnormal Relations. Seismostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety], 2019, no. 2, pp. 9-15. (In Russian).



В.А. Лапин

кандидат технических наук, директор Центра научных исследований, ученый секретарь АО «КазНИИСА», член-корреспондент НИИ РК и МИА

С.Е. Ержанов

кандидат технических наук, советник генерального директора по науке АО «КазНИИСА», член-корреспондент НИИ РК и МИА

АО «КазНИИСА», Алматы, Республика Казахстан

УДК 699.841:624.15

Динамика объекта полигона сейсмоизоляции: здание на кинематических фундаментах

Аннотация: Для исследования сейсмоизолирующих свойств зданий в г. Алматы функционирует специальный полигон. Он включает здания с обычными ленточными фундаментами с системой перекрестных лент, сейсмоизолирующими кинематическими фундаментами и опорами с прокладками из фторопласта. На зданиях установлены станции инженерно-сейсмодатрической службы. Анализируются результаты экспериментальных исследований дома на кинематических фундаментах, выполненных в конце 80-х годов. Результаты

сравниваются с инструментальными записями при землетрясениях 31 мая 2012 и 16 августа 2014 годов. Период максимума спектра совпадает с резонансным на начальных этапах вибрационных испытаний 0,45-0,51 сек. Установлено, что поэтажные перекосы этажей здания уменьшаются с высотой. С использованием одномассовой расчетной схемы с учетом нелинейной диаграммы деформирования выполнен расчет динамической модели здания на воздействие в виде акселерограмм указанных землетрясений в уровне фундамента.

Ключевые слова: сейсмоизоляция, виброиспытания, акселерограмма, безопасность.

Lapin Vladimir A.

PhD in Engineering Science, Director of Center for Scientific Research in Building Industry, Corresponding Member of International Engineering Academy and National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan, KazNIISA JSC, Almaty, Republic of Kazakhstan

Yerzhanov Syrymgali E.

PhD in Engineering Science, Adviser to Director General, Corresponding Member of International Engineering Academy and National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan, KazNIISA JSC, Almaty, Republic of Kazakhstan

Dynamics of the Object of Polygon of Seismic Isolation: Building at Kinematic Foundations

Abstract: To study the seismic insulating properties of buildings in Almaty there is a special polygon. It includes buildings with

conventional strip foundations with a system of cross-belts, seismic kinematic and supports with PTFE gaskets. The buildings

are equipped with stations of engineering and seismometric service. The results of experimental studies at home on KF, performed in the late 80-ies. The results are compared with the instrumental records of the earthquakes of May 31, 2012 and August 16, 2014. The period of maximum spectrum coincides with the resonance in the initial stages of vibration

tests-0.45-0.51 seconds. It is established that floor distortions of floors of the building decrease with height. With the use of a one-mass calculation scheme, taking into account the nonlinear deformation diagram, the dynamic model of the building is calculated for the impact in the form of accelerograms of the specified earthquake at the Foundation level.

Keywords: seismic isolation, vibration tests, accelerogram, safety.

В АО «КазНИИСА» исследования оценки эффективности систем сейсмоизоляции различных типов выполняются на постоянно действующем специальном полигоне. В 1989 году на трех построенных домах с одинаковой надфундаментной частью (9-ти этажные крупнопанельные дома серии 158), но различными фундаментами: обычными ленточными с системой перекрестных лент, сейсмоизолирующими кинематическими [1-6] и опорами с прокладками из фторопласта, были установлены станции инженерно-сейсмометрической службы (ИСС).

Типовое здание представляет собой крупнопанельный жилой дом серии 158, одноподъездная блок-секция. Габариты здания: длина – 17,4 м, ширина – 12,9 м, высота – 31,5 м. Здание имеет 9 этажей высотой 3 м каждый с дополнительным техническим подпольем и полупроходным чердаком. На здании кинематические фундаменты опираются на перекрестную ленту в местах пересечения стен. Глубина заложения 3,8 м.

Каждое здание запроектировано для районов сейсмичностью 9 баллов.

Грунтовые условия на площадке строительства – валуногалечники, 2-й категории по сейсмическим свойствам. Уровень грунтовых вод – 20 м.

16 августа 2014 года в 03 час. 42 мин. сетью сейсмических станций ГУ «Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан» зарегистрировано землетрясение. Эпицентр был расположен в 41 км на восток от г. Алматы с координатами 43°30' с.ш. и 77°40' в.д., энергетическим классом $K=12,0$, магнитудой $MPV=5,2$, глу-

биной 5 км. Подземные толчки ощущались в г. Алматы 4-5 баллов по шкале MSK-64.

В таблице 1 и на рисунке 1 приведены величины спектральных ускорений при данном землетрясении. Величина 0,45 сек является начальным периодом свободных колебаний здания.

31 мая 2012 года почти всеми сейсмостанциями службы ИСС было записано сейсмическое событие.

Сила толчков при землетрясении в Алматы составила около 4-5 баллов. В эпицентре магнитуда землетрясения составила 5,7 баллов, по данным Европейско-средиземноморского сейсмического центра. Координаты эпицентра 43,388°N, 78,773°E (148 км от Алматы, 183 км от Талдыкоргана, 1028 км от Астаны), глубина эпицентра – 25 километров.

В таблице 2 приведены максимальные величины ускорений по каждой из точек регистрации. Строки 1-3 соответствуют ускорениям, записанным датчиками ОСП, 4-6 – ускорения, полученные двойным дифференцированием смещений. Ось ОХ соответствует направлению поперек здания, ОУ – вдоль. На рисунке 2 показаны спектральные кривые.

По действующей шкале MSK-64(К) 5-балльному землетрясению соответствует интервал значений ускорения 16-35 $см/с^2$ с медианным значением 25 $см/с^2$. По величинам ускорения в уровне фундамента интенсивность землетрясения можно оценить как 4-5-балльное.

На графиках спектральных кривых четко выражены некоторые закономерности. На всех спектральных кривых, независимо от точки регистрации, ярко выражены 2 максимума – на периодах 0,1-0,18 сек и 0,51 сек. Это может быть связано с конструктивными особенностями данного дома – наличием сейсмои-

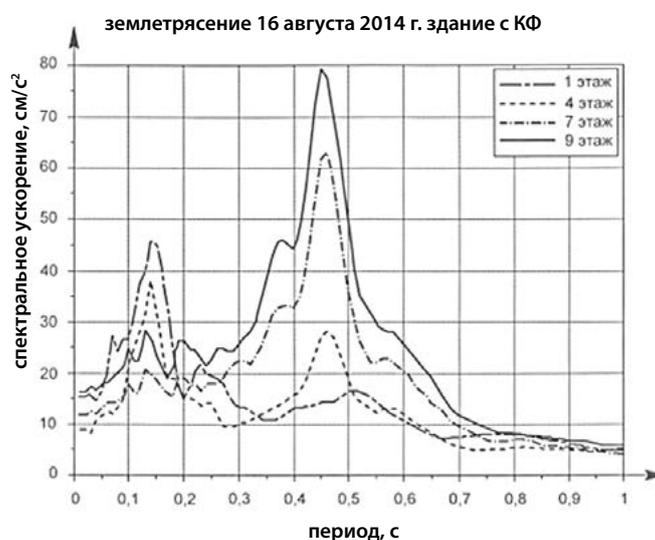


Рисунок 1 — Спектральные ускорения для землетрясения 16 августа 2014 года

Figure 1 — Spectral accelerations for an earthquake on August 16, 2014

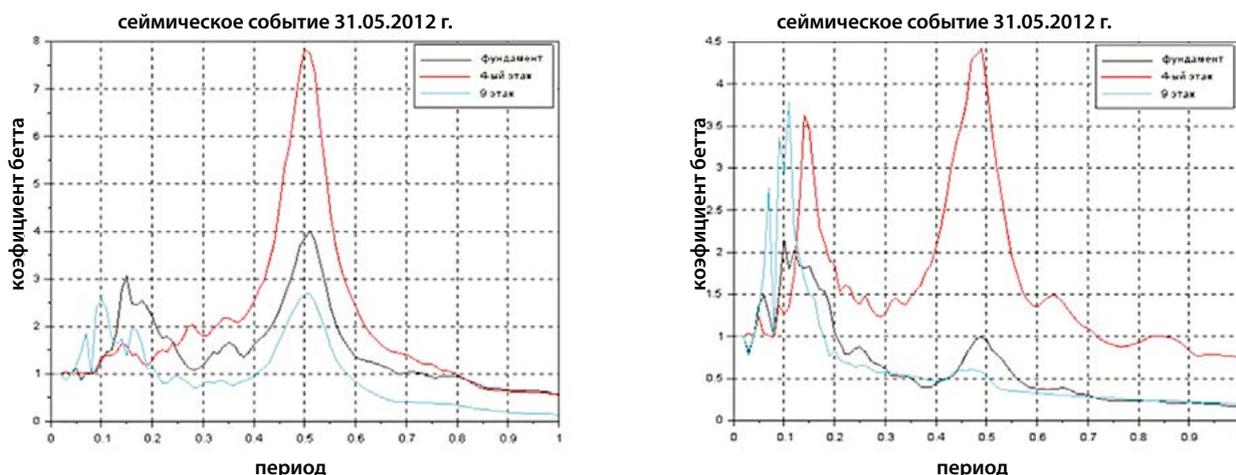


Рисунок 2 — Спектральные кривые сейсмических событий 31 мая 2012 г. (рисунок слева – ось OX, рисунок справа – ось OY)
Figure 2 — The spectral curves of seismic events of May 31, 2012 (picture on the left – OX axle, drawing on the right – the axis OY)

золирующих кинематических фундаментов. Один из пиков может быть связан с работой надфундаментной части здания, второй – кинематических фундаментов. Причем для случая направления поперек здания все 3 спектральных кривых вложены друг в друга на периоде 0,51 сек. Для уточнения высказанных предположений необходима обработка инструментальных записей такой же или большей интенсивности.

Для целей сопоставления ниже приводятся данные вибрационных испытаний дома-аналога, выполненные в 1988 году (участвовал один из авторов статьи) [5]. Результаты исследований ввиду их важности приведены достаточно подробно.

В таблицах 3-6 приведены амплитуды горизонтальных перемещений в уровне каждого перекрытия при различных значениях моментов эксцентров вибромашины В-3.

Здесь T , f , ω , A , \dot{A} , \ddot{A} – период, частота, круговая частота, амплитуда смещения, скорости, ускорения, соответствующие максимальной реакции здания. P_d – возмущающая сила вибратора; I – инерционные силы в уровнях перекрытия; Q – поперечная сила, \mathcal{E} – энергия колеблющейся системы.

Моменты эксцентров вибромашины менялись от 600 до 3600 кг·м, при этом максимальные значения возмущающих инерционных сил находились в пределах 63–207 кН. Периоды собственных колебаний зданий изменялись в пределах от 0,55 до 0,83 сек, амплитуды горизонтальных перемещений в уровне покрытия от 3 до 19 мм, перемещений основания от 0,55 до 0,31 мм, амплитуды перерезывающих сил в уровне фундаментов от 750 до 2540 кН.

Таблица 1 — Максимальные величины ускорений и параметры акселерограмм

Table 1 — Maximum sizes of accelerations and parameters accelerograms

| Инструментальная запись | Ускорение, см/с ² | Эффективная длительность, с | Спектральное ускорение, см/с ² | Период максимума спектра, с |
|---------------------------------|------------------------------|-----------------------------|---|-----------------------------|
| здание с КФ, станция №21 | | | | |
| 89-КФ-1-1х, фундамент | 15,08 | 1,60 | 45,76 | 0,14 |
| 89-КФ-4-4х, 4-й этаж | 8,53 | 2,81 | 38,72 | 0,14 |
| 89-КФ-7-7х, 7-ой этаж | 11,88 | 14,04 | 63,23 | 0,46 |
| 89-КФ-9-9х, 9-ый этаж | 16,38 | 4,16 | 79,45 | 0,45 |

Таблица 2 — Максимальные величины ускорений и параметры акселерограмм

Table 2 — Maximum sizes of accelerations and parameters accelerograms

| № | Запись | Ускорение, см/с ² | Эффективная длительность, с | Спектральный коэффициент | Период максимума спектра, с |
|---|-------------------------|------------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| 1 | 86-21-1-12х, фундамент | 13,31 | 6,4 | 4,01 | 0,51; 0,18 |
| 2 | 86-21-4-19у, 4-й этаж | 7,14 | 6,4 | 4,42 | 0,49 |
| 3 | 86-21-7-20х, 7-й этаж | 11,91 | 10,2 | 7,83 | 0,50 |
| 4 | 86-21-1-5уу2, фундамент | 21,10 | 12,88 | 2,14 | 0,10 |
| 5 | 86-21-9-7ух, 9-й этаж | 39,49 | 9,84 | 2,69 | 0,51 |
| 6 | 86-21-9-8уу, 9-й этаж | 2,96 | 6,0 | 3,78 | 0,11 |

В таблице 6 приведены амплитуда горизонтальных перемещений в уровне каждого перекрытия и вертикальные перемещения в уровне фундаментов при испытаниях малой вибромашинной, стоящей на фундаменте. Момент эксцентров вибромашинной равнялся 16 кг м. Амплитуды перемещения перекрытия – 0,0017 мм; период резонансных колебаний системы здание-грунт по первой форме 0,46 сек, при этом амплитуды горизонтального смещения и ускорения основания составили 0,00094 мм и 0,18 мм/сек² соответственно. Период собственных колебаний системы по второй форме 0,15 сек.

Периоды резонансных колебаний увеличиваются от этапа к этапу с увеличением возмущающей силы в 1,6 раза. При снижении нагрузки этот период уменьшается, однако остается больше начального значения в 1,1 раза. Такой характер работы свидетельствует о том, что изменение периода собственных

колебаний происходит в основном за счет свойств кинематических фундаментов. Незначительные необратимые изменения периода происходят за счет обмятия шайбы шарнира. Такие изменения лишь улучшают динамические характеристики системы здание-грунт.

Свидетельством уменьшения жесткости К при динамическом приложении нагрузки является факт, что амплитуды поперечных сил в уровне фундаментов при испытаниях вибромашинной В-3 меньше внешней горизонтальной силы, которую прикладывали к ростверку, чтобы сместить его на такое же расстояние, примерно на 20–30%.

Результаты экспериментов с малой вибромашинной, установленной на фундаменте, показывают, что КФ вносят повышенное затухание в систему здание-грунт. Так, при вынужденных колебаниях с периодом Т=0,46 сек собственных колебаний

Таблица 3 — Результаты динамических испытаний здания на КФ при моменте эксцентров вибратора
 $m_e = 600 \text{ кг} \cdot \text{м}; T = 0,55 \text{ сек}; f = 1,82 \text{ Гц}; \omega = 11, 42; P_d = 78,2 \text{ кН}$

Table 3 — Results of dynamic tests on building KF moment when the vibrator eccentrics
 $m_e = 600 \text{ кг} \cdot \text{м}; T = 0,55 \text{ сек}; f = 1,82 \text{ Гц}; \omega = 11, 42; P_d = 78,2 \text{ кН}$

| Этаж | A мм | \dot{A} мм/сек | \ddot{A} мм/сек ² | I кН | Q кН | Э кН·м |
|------------|------|------------------|--------------------------------|-------|--------|--------|
| перекрытие | 3,85 | 43,9 | 501,3 | 135,4 | 135,4 | 0,260 |
| 9 | 3,8 | 43,4 | 495,6 | 133,8 | 269,2 | 0,254 |
| 8 | 3,65 | 41,7 | 470,5 | 127,0 | 396,2 | 0,234 |
| 7 | 3,5 | 39,9 | 455,7 | 123,0 | 519,2 | 0,214 |
| 6 | 3,4 | 38,8 | 443,1 | 119,6 | 638,8 | 0,203 |
| 5 | 3,25 | 37,1 | 423,7 | 114,4 | 753,2 | 0,186 |
| 4 | 3,1 | 35,4 | 404,3 | 109,1 | 862,3 | 0,169 |
| 3 | 2,8 | 31,9 | 364,3 | 98,4 | 960,7 | 0,137 |
| 2 | 2,5 | 28,5 | 325,5 | 87,8 | 1048,5 | 0,109 |
| 1 | 2,1 | 23,9 | 272,9 | 73,7 | 1122,2 | 0,078 |
| фундамент | 0,15 | 1,71 | 19,6 | - | - | - |

Таблица 4 — Результаты динамических испытаний здания на КФ при моменте эксцентров вибратора
 $m_e = 1800 \text{ кг} \cdot \text{м}; T = 0,65 \text{ сек}; f = 1,538 \text{ Гц}; \omega = 9,66; P_d = 167,9 \text{ кН}$

Table 4 — Results of dynamic tests on building KF moment when the vibrator eccentrics
 $m_e = 1800 \text{ кг} \cdot \text{м}; T = 0,65 \text{ сек}; f = 1,538 \text{ Гц}; \omega = 9,66; P_d = 167,9 \text{ кН}$

| Этаж | A мм | \dot{A} мм/сек | \ddot{A} мм/сек ² | I кН | Q кН | Э кН·м |
|------------|------|------------------|--------------------------------|-------|--------|--------|
| перекрытие | 10,9 | 105,3 | 101,7 | 274,5 | 274,5 | 1,49 |
| 9 | 10,9 | 105,3 | 101,7 | 274,5 | 549 | 1,49 |
| 8 | 10,3 | 99,5 | 961 | 259,5 | 808,5 | 1,33 |
| 7 | 9,9 | 95,6 | 923 | 249,2 | 1057,7 | 1,23 |
| 6 | 9,5 | 91,7 | 886 | 239,2 | 1296,9 | 1,13 |
| 5 | 9,0 | 86,9 | 839 | 226,5 | 1523,4 | 1,02 |
| 4 | 8,5 | 82,1 | 793 | 214,1 | 1737,5 | 0,91 |
| 3 | 8,3 | 80,1 | 773 | 208,7 | 1946 | 0,86 |
| 2 | 7,6 | 73,4 | 709 | 191,4 | 2137 | 0,72 |
| 1 | 6,2 | 59,8 | 578 | 156,0 | 2293 | 0,48 |
| фундамент | - | 2,03 | 19,6 | - | - | - |

Таблица 5 — Результаты динамических испытаний здания на КФ при моменте эксцентриков вибратора
 $m_e = 3600 \text{ кг} \cdot \text{м}$; $T = 0,83 \text{ сек}$; $f = 1,2 \text{ Гц}$; $\omega = 7,0$; $P_d = 207 \text{ кН}$

Table 5 — Results of dynamic tests on building KF moment when the vibrator eccentrics
 $m_e = 3600 \text{ кг} \cdot \text{м}$; $T = 0,83 \text{ сек}$; $f = 1,2 \text{ Гц}$; $\omega = 7,0$; $P_d = 207 \text{ кН}$

| Этаж | $A \text{ мм}$ | $\dot{A} \text{ мм/сек}$ | $\ddot{A} \text{ мм/сек}^2$ | $I \text{ кН}$ | $Q \text{ кН}$ | $\mathcal{E} \text{ кН}\cdot\text{м}$ |
|------------|----------------|--------------------------|-----------------------------|----------------|----------------|---------------------------------------|
| перекрытие | 18,6 | 152 | 1155 | 311,8 | 311,8 | 3,119 |
| 9 | 18,1 | 144 | 1094 | 295,4 | 606,2 | 2,794 |
| 8 | 17,8 | 140 | 1064 | 287,2 | 893,4 | 2,646 |
| 7 | 17,5 | 133 | 1010 | 272,7 | 1166,1 | 2,388 |
| 6 | 17,2 | 125 | 950 | 256,5 | 1422,6 | 2,109 |
| 5 | 16,8 | 122 | 927 | 250,3 | 1672,9 | 2,109 |
| 4 | 15,0 | 114 | 866 | 233,8 | 1906,7 | 1,754 |
| 3 | 14,1 | 110 | 836 | 225,7 | 2132,4 | 1,633 |
| 2 | 13,5 | 103 | 783 | 211,4 | 2343,8 | 1,423 |
| 1 | 13,0 | 99 | 752 | 2031 | 2546,8 | 1,323 |
| фундамент | - | 2,36 | 17,9 | - | - | - |

Таблица 6 — Результаты динамических испытаний здания на КФ при моменте эксцентриков вибратора
 $m_e = 16 \text{ кг} \cdot \text{м}$; $T = 0,46 \text{ сек}$; $f = 2,7 \text{ Гц}$; $\omega = 13,6$; $P_d = 3,00 \text{ кН}$

Table 6 — Results of dynamic tests on building KF moment when the vibrator eccentrics
 $m_e = 16 \text{ кг} \cdot \text{м}$; $T = 0,46 \text{ сек}$; $f = 2,7 \text{ Гц}$; $\omega = 13,6$; $P_d = 3,00 \text{ кН}$

| Этаж | $A \text{ мм}$ | $\dot{A} \text{ мм/сек}$ | $\ddot{A} \text{ мм/сек}^2$ | $I \text{ кН}$ | $Q \text{ кН}$ | $\mathcal{E} \text{ кН}\cdot\text{м}$ |
|------------|----------------|--------------------------|-----------------------------|----------------|----------------|---------------------------------------|
| перекрытие | 0,0017 | 0,023 | 0,31 | 83,7 | 83,7 | 0,0714 |
| 9 | 0,0016 | 0,022 | 0,29 | 78,3 | 162 | 0,0653 |
| 8 | 0,0015 | 0,022 | 0,29 | 78,3 | 240,3 | 0,0653 |
| 7 | 0,0015 | 0,020 | 0,27 | 72,9 | 313,2 | 0,0540 |
| 6 | 0,0014 | 0,019 | 0,25 | 67,5 | 380,7 | 0,0487 |
| 5 | 0,0013 | 0,017 | 0,23 | 62,1 | 442,8 | 0,039 |
| 4 | 0,0012 | 0,016 | 0,22 | 59,4 | 502,2 | 0,0346 |
| 3 | 0,0011 | 0,015 | 0,2 | 54,0 | 556,2 | 0,0331 |
| 2 | 0,00098 | 0,013 | 0,18 | 48,6 | 604,8 | 0,0228 |
| 1 | 0,00094 | 0,013 | 0,18 | 48,6 | 653,4 | 0,0228 |
| фундамент | 0,00098 | - | 0,18 | - | - | - |

по первой форме проявляются колебания и по второй форме с периодом $T=0,15$ сек. Причем амплитуды колебаний точек системы по первой и второй форме примерно одинаковы. Горизонтальные перемещения точек здания образуются за счет деформаций здания и за счет поворота здания на грунте, причем перемещения за счет поворота составляют 10-15% общих горизонтальных перемещений.

Междуэтажные перемещения увеличиваются сверху вниз пропорционально увеличению поперечной силы.

В процессе проведения вибрационных испытаний возникли вертикальные остаточные перемещения фундаментов – осадка, которые составили 3-5 мм.

Статические испытания проводились в целях проверки прочности КФ на вертикальную нагрузку и построения диаграммы деформирования в уровне КФ.

Вертикальная статическая нагрузка на один КФ в 9-этажном здании составляла 158 т. Расчетная вертикальная нагрузка с учетом сейсмической равнялась 280 т. Испытания натуральных образцов КФ выявили значительный запас прочности. При нагрузке 480 т наблюдались только волосяные трещины без каких-либо признаков разрушения и потери несущей способности.

Для построения диаграмм деформирования в уровне КФ были проведены испытания на горизонтальную нагрузку, создаваемую специальным силовым устройством. Горизонтальная сила прикладывалась в уровне перекрытия первого этажа с помощью 4-х гидравлических домкратов, для которых в торце дома предусматривалось специальное упорное устройство. Статические испытания проводились по мере возрастания количества этажей здания. Диаграммы деформирования для различных вертикальных нагрузок приведены на рисунке 3.

С целью исследования диссипативных свойств КФ при статических испытаниях выполнялся сброс нагрузок. Выявлены диссипативные свойства кинематических фундаментов. Величина логарифмического декремента колебаний составляет 0,3-0,7 в зависимости от амплитуды динамического воздействия.

Испытания показали работоспособность кинематических фундаментов. Наблюдались поворот и перекачивания КФ по опорной плите. Вследствие горизонтальных перемещений дома в целом между нагруженными стенами цокольного этажа и грунтом образовались щели. Повреждения конструктивных узлов не зафиксированы. В аналогичном здании на ленточном фундаменте отмечены деформации сдвига в панелях стен и панелей по шву относительно друг друга.

Характер перемещения этажей здания, как при статических, так и при динамических нагрузках свидетельствует о преобладании поступательных перемещений над фундаментной частью здания как твердого тела. Поэтажные деформации значительно меньше аналогичных деформаций зданий на обычных ленточных фундаментах. Для выполнения расчетов приемлемой оказывается одномассовая расчетная схема.

С использованием одномассовой расчетной схемы с учетом нелинейной диаграммы деформирования (рис.3) выполнен расчет динамической модели здания на воздействие,

в виде зарегистрированной акселерограммы землетрясения в уровне фундамента (рис.4). Нелинейная диаграмма деформирования моделировалась кусочно-линейной зависимостью из 5 линейных участков. Вес $Q=2430$ т. Интегрирование нелинейного дифференциального уравнения выполнялось с помощью интеграторов системы компьютерной математики SCILAB.

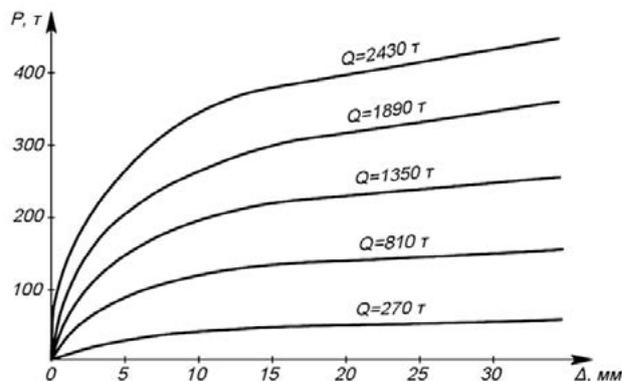


Рисунок 3 — Диаграмма деформирования в уровне КФ при различной вертикальной нагрузке

Figure 3 — Graph deformation level in KF at different vertical load

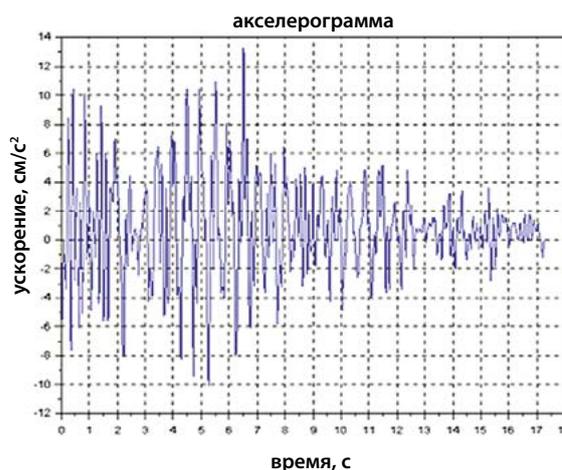
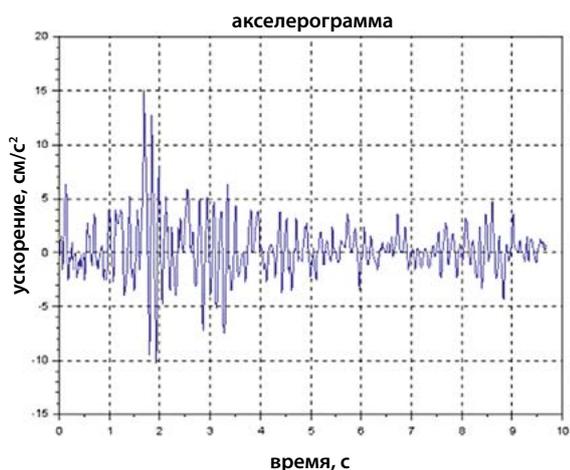


Рисунок 4 — Акселерограммы 89-KF-1-1x и 86-21-1-12x, записанные в уровне фундамента

Figure 4 — Accelerograms 89-KF-1-1x and 86-21-1-12x, recorded at the level of the foundation

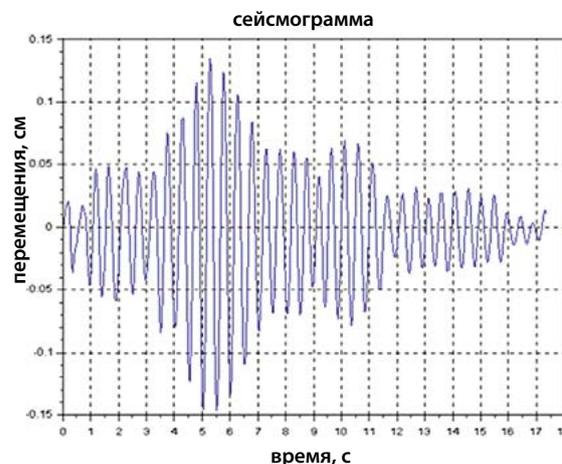
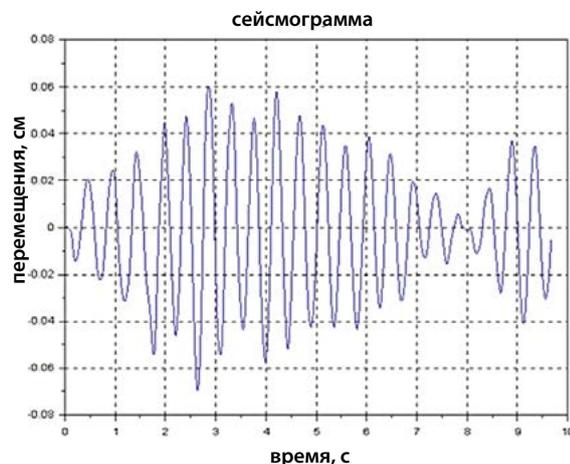


Рисунок 5 — Расчетные сейсмограммы при воздействии акселерограмм 89-KF-1-1x и 86-21-1-12x

Figure 5 — Calculated seismograms when exposed accelerograms 89-KF-1-1x and 86-21-1-12x

На рисунке 5 приведены результаты расчета – сейсмограмма перемещений при воздействии акселерограммы 89-KF-1-1x из таблицы 1. Максимальное перемещение составляет 0,06 см.

При воздействии в виде акселерограммы 86-21-1-12x из таблицы 2 максимальное перемещение составляет 0,13 см.

Следовательно, принимая среднюю величину перемещения $(0,06+0,13)/2=0,095$ см можно сделать вывод, что интенсивность вибрационных испытаний (таблица 3) превышала балльность каждого из двух зарегистрированных землетрясений. Однако при испытании малой вибрационной машиной (таблица 6), наоборот, интенсивность колебаний меньше балльности зарегистрированных землетрясений. При сопоставлении использованы перемещения в уровне верхнего яруса здания.

Таким образом, для 9-этажного крупнопанельного здания на кинематических фундаментах получена экспериментальная информация о поведении при вибрационных воздействиях, статическая диаграмма деформирования в уровне кинематического фундамента и накапливается инструментальная информация по 5-ти точкам регистрации ускорений при местных землетрясениях. Все это создает предпосылки для дальнейшего изучения поведения данного здания при прогнозируемых реальных землетрясениях.

Такого рода исследования будут проведены для двух других объектов полигона сейсмоизоляции – здания-аналога и здания на сейсмоизолирующих фторопластовых прокладках.

ВЫВОДЫ

1. По объекту полигона сейсмоизоляции в г. Алматы для здания на кинематических фундаментах, оснащенного станцией инженерно-сейсмометрической службы (сейсмостанция № 21), выполнен комплекс экспериментальных исследований, включающий динамические вибрационные испытания, статические исследования и наблюдения в ждущем режиме с помощью станции инженерно-сейсмометрической службы.
2. Поэтажные перекосы этажей здания на кинематическом фундаменте уменьшаются по высоте здания.
3. Величина периода колебания здания по данным инженерно-сейсмометрической службы 0,45–0,51 сек, что достаточно соответствует данным виброиспытаний при минимальной нагрузке дебалансов – 0,55 сек (таблица 3) и при испытаниях малой вибрационной машиной (таблица 6) – 0,45 сек.
4. При увеличениях интенсивности динамического (сейсмического воздействия) ожидается смещение периода максимума спектра к величинам 0,61–0,83 сек.
5. Ручная оцифровка акселерограмм землетрясения выполнена корректно.

Исследования выполнялись с использованием средств гранта AP 05130702 Министерства образования и науки Республики Казахстан.

The research was carried out using the grant AP 05130702 of the Ministry of education and science of the Republic of Kazakhstan.

Литература

1. Черепинский Ю.Д., Лапин В.А. Основы сейсмоизоляции в строительстве. Иркутск, «Элит». 1995. 204 с.
2. Черепинский Ю.Д. Экспериментальные исследования, расчетно-теоретический анализ и внедрение в строительство сейсмоизолирующих конструктивных систем КФ. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Новосибирск. 1998. 46 с.

3. Черепинский Ю.Д. Сейсмоизоляция жилых зданий. Алматы: KazGASA, 2003. 157 с.
4. Ержанов С.Е., Лапин В.А., Даугавет В.П. Исследование динамики сейсмоизолированного дома с помощью станций инженерно-сейсмометрической службы // В сб. трудов Международной научно-практической конференции «Новые строительные тренды в XXI веке». Алматы, 2017. С.82-89.
5. Лапин В.А., Черепинский Ю.Д., Филиппов О.Р.

- Сейсмостойкость 9-этажных домов серии 158 на кинематических фундаментах. Алматы. 1991. Серия жилищно-гражданское строительство (республиканский опыт). С.1-7.
6. Ержанов С.Е., Лапин В.А., Даугавет В.П. Изучение динамики сейсмоизолированных зданий с помощью станций инженерно-сейсмометрической службы // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2018. №1. С.40-45.

References

1. Cherepinsky Yu.D., Lapin V.A. Fundamentals of Seismic Isolation in Construction. Irkutsk: ELITE Publishing House, 1995. 204 p. [In Russian].
2. Cherepinsky Yu.D. Experimental studies, design and theoretical analysis and introduction of seismically isolating structural systems of kinematic foundations in construction. Synopsis of thesis for Academic Degree of the Doctor of Technical Sciences. Novosibirsk, 1998. 46 p. [In Russian].

3. Cherepinsky Yu.D. Seismic isolation of residential buildings. Almaty: KazGASA, 2003. 157 p. [In Russian].
4. Yerzhanov S.Y., Lapin V.A., Daugavet V.P. Dynamic study of seismically isolated house with the aid of the stations of engineering seismometric service // In the collected papers of the International scientific and practical conference «New construction trends in the XXI century». Almaty, 2017. Pp.82-89. [In Russian].

5. Lapin V.A., Cherepinsky Yu.D., Filippov O.R. Earthquake resistance of 9-storey houses of the 158 series on kinematic foundations. Almaty, 1991. Civil and Housing Construction Series (Republican Experience). Pp.1-7. [In Russian].
6. Yerzhanov S.Y., Lapin V.A., Daugavet V.P. Studing the dynamics of seismically isolated buildings with the aid of the stations of engineering seismometric service // Earthquake engineering. Constructions safety. 2018. №1. P.40-45. [In Russian].

Для цитирования: Лапин В.А., Ержанов С.Е. Динамика объекта полигона сейсмоизоляции: здание на кинематических фундаментах // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2019. № 2. С. 16-22.

For citation: Lapin V.A., Erzhanov S.E. Dynamics of the Object of Polygon of Seismic Isolation: Building at Kinematic Foundations. Seismostoi koe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety], 2019, no. 2, pp. 16-22. (In Russian).



Alaaeldin Mansour
Dipl-Ing., MSc, postgraduate (PhD) researcher

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Department of Structural and Theoretical Mechanics, Moscow, Russia

УДК 624.073-422.11

Dynamic Analysis of Symmetrical Circular Plates under Forced Harmony by Means of Generalized Finite Difference Method

Abstract: In This paper, a simplified numerical analysis procedure for a circular plate / polar domain(s) acting under dynamic harmony through generalized (modernized) finite difference method (FDM) is developed.

Nowadays, FDM predominates in the numerical solutions of partial differential equations (PDE) as it is used not less in comparison with the method of finite elements (FEM). This wide-famous mathematical-discretization method is economic to compute and simple to code, regarding less computation tools in hands and how powerful/less they are. Since it bases on replacing each derivative

by a difference algebraic quotient in a classical formulation. In a sense, a finite difference formulation offers a more direct approach to the numerical solution of the PDE, especially in polar coordinates domain problems considering curvilinear dimensions that even FEM does not.

The generalized approach of FDM considers many parameters that are regarded-less by the classical one. The thing, which negatively affected the accuracy (convergence to the exact solution values) and consequently; tendency of results that classical method generates & the generalized one improves.

Keywords: Generalized finite difference method (approach), Numerical method(s), Dynamic (harmonic) loads, Applied mathematics, Circular plate(s).

Мансур Алаа Эльдин
Аспирант, НИУ МГСУ, кафедра теоретической и строительной механики, Москва, Россия

Динамический анализ симметричной круглой пластины при силовом воздействии, изменяющемся по гармоническому закону с помощью обобщенного метода конечных разностей

Аннотация: В статье разработан упрощенный алгоритм численного анализа гармонических колебаний круглых пластин по-

средством обобщенного (модернизированного) метода конечных разностей. В настоящее время метод конечных разностей

предпочтительней, чем метод конечных элементов в численных решениях уравнений в частных производных. Это широко известный метод математической дискретизации, который является менее трудоёмким для вычисления, простым в написании кода и не зависит от мощности вычисленных инструментов. Поскольку он основан на замене каждой производной разностным алгебраическим фактором в классической формулировке. В некотором смысле, конечно-разностная формули-

ровка предлагает более прямой подход к численному решению, особенно в задачах с полярными координатными областями, с учетом криволинейных размеров. Классический метод не учитывает многие параметры, которые оказывают влияние на сходимость (сходимость к точным значениям решения), что негативно влияет на точность полученных результатов. Обобщённый метод конечных разностей позволяет учесть данные параметры при расчёте и получить более точные результаты.

Ключевые слова: обобщенный метод конечных разностей, численные методы, динамические (гармонические) нагрузки, прикладная математика, круглая пластина.

A FORCED VIBRATION OF A PLATE [1, 2, 3] [Numbers shown in such parentheses refer to the corresponding number in the List of References by the end of this research paper.]

A forced vibration analysis of a circular plate can easily be expressed in differential mathematical boundary value problems. It involves solution of determining the dynamic response of such plates to external exciting forces $P_z(R, \theta, \tau)$; seeking an expression for the deflections $w(R, \theta, \tau)$ from which other quantities, such as velocities & accelerations can be derived.

$$P_z(R, \theta, \tau) = P_z(R, \theta) \sin \omega \tau$$

Since the solution in that case of harmonically excited plates reduces to the homogeneous differential equation of the form

$$D \nabla_r^2 \nabla_r^2 w(R, \theta, \tau) + \bar{m} \cdot \frac{\partial^2 w(R, \theta, \tau)}{\partial \tau^2} = P_z(R, \theta, \tau) \quad (1)$$

For manual (hand) & semi-automatic calculations, the previous 4th order homogenous differential is recommended to be divided into a pair of differentials of the 2nd one. This is proceeded with the aim of

- Dis-sophisticating the calculation process as; solving even a couple of equations, of differential type, of the 2nd order is easier than solving a single one of the 4th order instead.
- Generating the straining actions (Bending moments, Shear forces, etc.) co-phased with deflections directly.

On bases of that previously stated, the paired equations can be formulated as

$$\nabla_r^2 m(R, \theta, \tau) + \bar{m} \cdot \nabla_r^2 w(R, \theta, \tau) = P_z(R, \theta, \tau) \quad (1.1)$$

$$D \nabla^2 w(R, \theta, \tau) = m(R, \theta, \tau) \quad (1.2)$$

Numerical approximation of the solution equations by means of generalized FDM

A proposed numerical approximation for the solution equations on each node on the integration polar domain mesh can be categorized as per its position (Figure 1) involving the effect of the velocity & acceleration [10] as well as load function discontinuities into the numeric terms [4,5,6,7] of the difference equations [11]; such that

A) For Central nodes, approximation is shaped as

$$-P_{0,j} - \frac{2}{\tau} \dot{w}_{0,j-1} - \frac{2}{\tau^2} (w_{0,j-1} - w_{0,j}) = \frac{4}{h^2} [m_{1,j} - m_{0,j}] \quad (2.1)$$

$$\frac{w_{0,j}}{D} = \frac{4}{h^2} [w_{1,j} - w_{0,j}] \quad (2.2)$$

B) For an Intermediate (non-central) node, approximation takes the form

$$\begin{aligned} & 1/4 [p_{i,k,j}^I + p_{i,k,j}^{II} + p_{i,k,j}^{III} + p_{i,k,j}^{IV}] + 1/8 [\Delta p_{i,k,j}^{I-III} + \\ & + 1/8 [\Delta p_{i,k,j}^{I-III} + \Delta p_{i,k,j}^{II-IV} + \Delta p_{i,k,j}^{I-II} + \\ & \Delta p_{i,k,j}^{III-IV}] + \frac{2}{\tau} \cdot \bar{m} \cdot \dot{w}_{i,k,j-1} + \frac{2}{\tau^2} (w_{i,k,j-1} - w_{i,k,j}) = \\ & = + \frac{1}{h} \left(\frac{1}{h} - \frac{1}{2 \cdot r_i} \right) m_{i-1,k,j} - \\ & 2 \frac{m_{i,k,j}}{h^2} + \frac{1}{h} \left(\frac{1}{h} + \frac{1}{2 \cdot r_i} \right) m_{i+1,k,j} + \frac{1}{2h^2} [\Delta m_{i,k,j}^{I-III} + \\ & + \Delta m_{i,k,j}^{II-IV}] + \frac{1}{2(r_i \theta)^2} [\Delta m_{i,k,j}^{I-II} + \\ & \Delta m_{i,k,j}^{III-IV}] + \frac{1}{h} (\vec{Q})_{i,k,j}^R + \frac{1}{r_i \theta} (\vec{Q})_{i,k,j}^\theta \end{aligned} \quad (2.3)$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{4D} [m_{i,k,j}^I + m_{i,k,j}^{II} + m_{i,k,j}^{III} + m_{i,k,j}^{IV}] \\ & + \frac{1}{8D} [\Delta m_{i,k,j}^{I-III} + \Delta m_{i,k,j}^{II-IV} + \Delta m_{i,k,j}^{I-II} + \Delta m_{i,k,j}^{III-IV}] \\ & = + \frac{1}{h} \left(\frac{1}{h} - \frac{1}{2 \cdot r_i} \right) w_{i-1,k,j} - 2 \frac{w_{i,k,j}}{h^2} + \frac{1}{h} \left(\frac{1}{h} + \frac{1}{2 \cdot r_i} \right) w_{i+1,k,j} \\ & + \frac{1}{2h^2} [\Delta w_{i,k,j}^{I-III} + \Delta w_{i,k,j}^{II-IV}] + \frac{1}{2(r_i \theta)^2} [\Delta w_{i,k,j}^{I-II} + \Delta w_{i,k,j}^{III-IV}] \\ & + \frac{1}{h} (\vec{\varphi})_{i,k,j}^R + \frac{1}{r_i \theta} (\vec{\varphi})_{i,k,j}^\theta \end{aligned} \quad (2.4)$$

C) Boundary conditions are treated as standard as classical **FDM**.

Solution procedure

On bases of plate's lower frequency, the process can be summarized as

- A complete cycle of the exciting harmony that act's on the plate; is determined & measured in comparison to the free vibration of its 1st mode shape (occurring at the lowest natural frequency of the plate).
- The determined excitation harmony cycle is being discretized into a number of time-steps. So that each time-step (τ) equals a complete time period of excitation (T) over the total number of desired time-steps ($n\tau$), thus ;

$$\tau = \frac{T}{n_\tau}$$

- For each time-step, the plate domain is completely integrated with the aids of Eqs. (2.1-2.4) on every calculation node, each per its position via method of

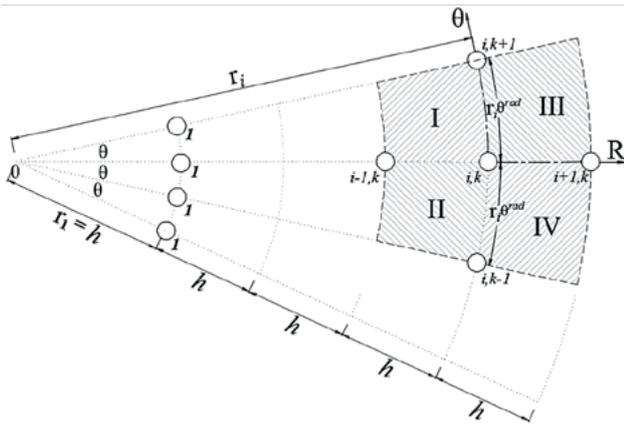


Figure 1 — A Sector of plate; indicates different positioning calculation nodes

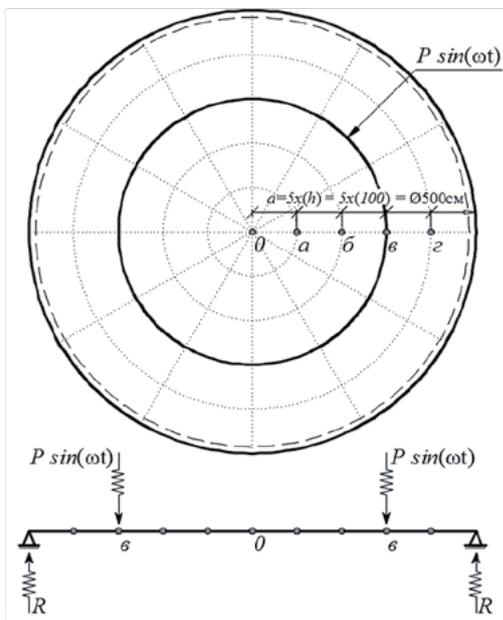


Figure 2 — A meshed plate with a step $h = (a/5) = 1\text{m}$; under ring formed dynamic load

mode shapes [8, 9], using the so called DYNAMIC LOADING FACTOR (ψ) (abbreviated next as – DLF).

- The generated equations; forming a linear system of algebraic equations that can tackled / easy solved together.

Numerical verification

In this part, a simple verification problem had been accurately chosen to express how easy the presented technique can estimate dynamic deflections of a circular plate showing high accuracy compared to other methods in common engineering use.

As per that shown in (Figure 2), a steel circular plate ($E=2.04 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$, $\nu=1/3$) of dimensions ($a=5\text{m}$, thickness = 2cm) with a hinged perimeter, acts under a dynamic ($P \sin \omega t$) harmony of an amplitude ($P=1\text{kN}$) that frequent by ($f=20 \text{ cycle/min.}$) on a ring of a (3m) radius.

- Angular Frequency of the free vibration of the lowest frequency

$$\omega_0 = (1.2404 \text{ Cyc. /sec.})^\dagger \times (2\pi) = 2,481\pi \text{ rad/sec.}$$

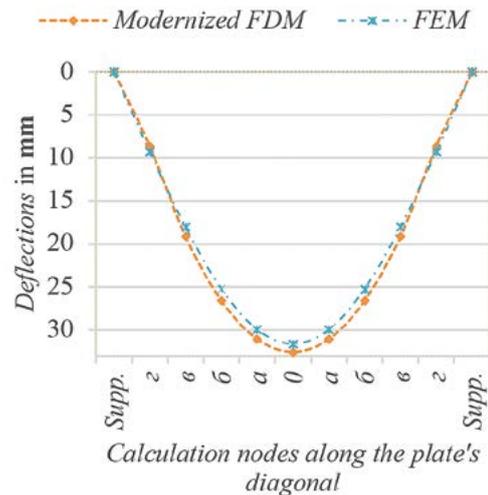


Figure 4 — Diagonal section along the investigated plate

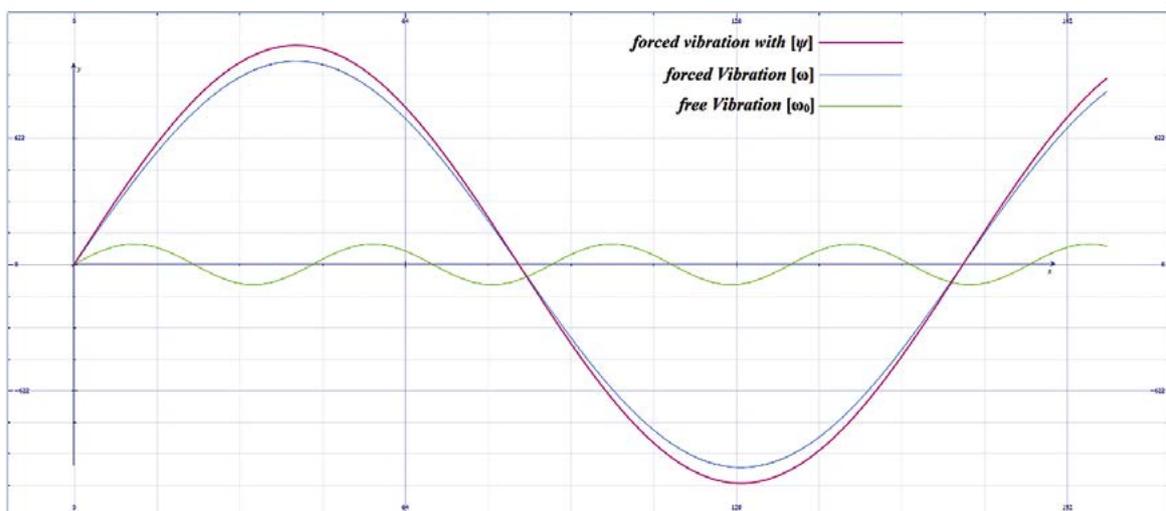


Figure 3 — (Free & forced vibration) Vs (time) Plot for the plate under-study

Table 1 — Time Step Loading

| Time-step ordinate (j) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--|---------|---------|---------|---------|---|----------|----------|----------|----------|----|
| $P \cdot \sin(\omega)t$ [TON _(force)] | 0.06335 | 0.10251 | 0.10251 | 0.06335 | 0 | -0.06335 | -0.10251 | -0.10251 | -0.06335 | 0 |

Table 2 — Results Comparison & error Estimation

| Calculation node | *Maximum deflections along calculation nodes section in mm | | Difference in results % |
|------------------|--|---------|-------------------------|
| | Modernized FDM | FEM** | \Delta |
| 0 | 32.5351 | 31.5876 | 2.912 |
| a | 31.0478 | 29.9388 | 3.572 |
| б | 26.5858 | 25.2142 | 1.398 |
| в | 19.1239 | 18.0240 | 5.751 |
| г | 8.6197 | 9.2664 | 6.979 |
| \Delta | | | 4.122 |

*Positive sign conversion (+) refers to deflection down.
** Calculations been carried out on a FEM package "SOFISTIK" model of the same material properties, dimensions, mesh-sizing and all other characteristics.

(‡ Value of the lowest natural frequency of the plate been calculated on bases of the tabulated frequency at [9] – Refer to the List of References by the end of this research paper for chapter, section & page(s))

- Angular Frequency of the exciting harmony

$$\omega = \left(\frac{20}{60} \text{ Cyc. /sec.}\right) \times (2\pi) = 0.667\pi \text{ rad/sec.}$$

Consequently: Total excitation period = 3 sec., $\psi = 1.0778$;
Considering 10 time-steps analysis, thus; $\tau = 0.3$ sec. Loading values for each time-step can be tabulated as shown in (table.1)

In general, all the problem pre-calculated data for free & forced vibration of the plate under study, can be brought together showing (Figure 3).

Results evaluation

Here the verification action as a main task explained through evaluating the resulted Maximum Deflection values precision all over the calculated nodes in comparison to that coming-out of other technique(s), tabulated in (table 2).

Nomenclature

| | |
|------------------------|--|
| $i \rightarrow R$ | Ordinates (i), (k), (j) on axes: |
| $k \rightarrow \theta$ | $R, \theta \rightarrow$ Polar coordinate system |
| $j \rightarrow \tau$ | $\tau \rightarrow$ time Axis |
| f, ω | External excitation frequency values [rational & radial (angular)] respectively |
| ω_0 | The angular value of the lowest natural (<i>resonance</i>) Frequency of the investigated plate |
| ψ | The Dynamic load factor (ψ) [3, 9] |

Conclusion

The proposed algorithm is based on a generalization (modernization) of finite difference equations; clearly verified for circular plates calculations.

Looking backward to the numerical verification section, significantly figuring out that the super advantage of that proposal doesn't only conclude the precision of the results it comes up with; compared to that outcomes of other similar methods and how far it converges the exact solution, but also the solution equations new terms which consider discontinuity parameters (e.g. Point loads in single dimensional problems & line loads in bi-dimensional ones – as that considered in the numerical verification example) that never been considered by the classical FDM, the thing which allows the proposed procedure to analyse plates with more complexed loads (in forms & patterns) that classical fails to solve.

Finally, it's not hard to solve problems using numerical techniques especially the above proposed one, just a matter of getting the continuous right hand side of an original differential equation be with next to its derivatives in discrete. A small number of divisions (segments); also, high accuracy speaks up about the possibility of using the new developed method together besides the method of finite elements.

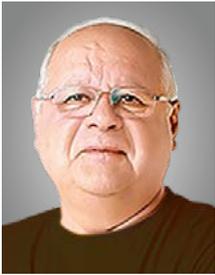
| | |
|--|--|
| $\nabla_r^2 \nabla_r^2 U = \nabla_r^4 U$ | The 4 th derivative of a function (U) with respect to axis (R) |
| T, τ, n_τ | Total Excitation Period & Duration of a single time-step (time-step value) & the total number of time stepping, respectively |
| $\vec{\Phi}_{i,k,j}^R, \vec{\Phi}_{i,k,j}^\theta$ | Angle of rotation between the Vertical plane & normal to the plate at node (i,k,j) on both axes R, θ ; respectively |
| $\vec{Q}_{i,k,j}^R, \vec{Q}_{i,k,j}^\theta$ | Shear Forces value (<i>line load intensity</i>) along the axes R, θ at node (i,k,j); respectively |
| h, r, θ_j | Mesh dimensions on Axes R, θ for a node (J), respectively |
| $D = \left(\frac{Et^3}{12(1-\nu^2)} \right)$ | Cylindrical rigidity "Stiffness" of a circular plate |
| E, ν, t, a | Elasticity (<i>Young's</i>) Modulus, Poisson's ratio and Plate thickness, Plate Radius respectively |
| $p_{i,k,j}^n, m_{i,k,j}^n, w_{i,k,j}^n$ | The values of <ul style="list-style-type: none"> • A uniformly distributed load with an intensity (p) • an acting bending moment (m) • an acting deflection (w) on segment (n) for the calculation node ordinated at i, k, j |
| $\Delta p_{i,k,j}^{n-v}, \Delta m_{i,k,j}^{n-v}, \Delta w_{i,k,j}^{n-v}$ | The difference in values of <ul style="list-style-type: none"> • A uniformly distributed load with an intensity (p) • an acting bending moment (m) • an acting deflection (w) on segments (n) & (v) for the calculation node ordinated at i, k, j |
| \bar{m} | Areal Unit mass of the plate material as per its dimensions |
| $\dot{W}_{i,k,j}$ | Velocity value for the calculation node i, k @ time step j [10] |

References

1. LEISSA A. W. *Vibration of Plates. National Aeronautics and Space Administration, NASA SP-160. Washington, D.C., 1969.*
2. Szilard R. *Theories and Applications of Plate Analysis: Classical, Numerical and Engineering Methods. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2004.*
3. Fried I. *Numerical solution of differential equations. Academic Press, Inc., New York, 1979.*
4. Alaa El-Din Mansour. *Generalized finite difference approach verification on circular plates, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 365 (2018) 042030 [doi:10.1088/1757-899X/365/4/042030]*
5. Gabbasov R.F., Filatov V.V., Alaa El-Din Mansour. *A numerical solution for geometrically nonlinear bending plates problems subjected to local-loads. Part of issue: MATEC Web Conf., Volume 117, 2017, RSP 2017 – XXVI R-S-P Seminar 2017 Theoretical Foundation of Civil Engineering [https://doi.org/10.1051/mateconf/201711700115]*
6. Gabbasov R.F., Filatov V.V., Ovarova N.B., Mansour A.M. *Dissection Method Applications for Complex Shaped Membranes and Plates. Part of special issue: XXV Polish – Russian – Slovak Seminar "Theoretical Foundation of Civil Engineering" [https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.150]*
7. Gabbasov R.G., Gandzhuntsev M., Filatov V.V., Dzhurakulov M., Alaa El-Din Mansour. *A numerical solution for plain problems of theory of elasticity. Part of issue: MATEC Web Conf. Volume 106. 2017 International Science Conference SPbWOSCE-2016 "SMART City" Section 4 Applied Mechanics in Construction and Material Science [https://doi.org/10.1051/mateconf/201710604015]*
8. Bezukhov N. I., Luzhin O.V., Kolkunov N.V. *Ustoichivost' i dinamika sooruzhenii v primerakh izadachakh [Stability and dynamics of structures in examples and tasks]. USSR 1987. 371 p. (In Russian).*
9. Korenev B.G., Rabinovich I.M. *Spravochnik po dinamike sooruzheniya (handbook for Structural Dynamics). Moscow. 1972. Pp. 233-234. (In Russian).*
10. Gabbasov R.F., Gabbasov A.R., Filatov V.V. *Chislennoe postroenie razryvnykh reshenii zadach stroitel'noi mekhaniki [Numerical discontinuous solutions of structural mechanics problems]. Moscow. 2008. 280 p. (In Russian).*
11. Varvak P.M. *Razvitie i prilozhenie metoda setok k raschotu plastinok [Development and application of finite difference method on plate calculations]. USSR. 1949. Part 1. P.136. (In Russian).*

For citation: Мансур Алаа Эльдин. Динамический анализ симметричной круглой пластины при силовом воздействии, изменяющемся по гармоническому закону с помощью обобщенного метода конечных разностей // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2019. № 2. С. 23-27.

Для цитирования: Alaaeldin Mansour. *Dynamic Analysis of a Symmetrical Circular Plate under Forced Harmony by Means of Generalized Finite Difference Method. Seismostoiokoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety], 2019, no. 2, pp. 23-27. (In Russian).*



Г.П. Тонких
доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник

НИЦ ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (Федеральный центр науки и высоких технологий), Москва, Россия

УДК 699.841

Предложения по использованию периода собственных колебаний каркасных зданий при малоинтенсивных воздействиях

Аннотация: В настоящей статье приводятся данные о влиянии несущих конструкций на амплитудно-частотные характеристики каркасных зданий при проведении динамических испытаний с использованием малоинтенсивных нагрузок. На основании экспериментальных исследований

предложено вводить поправочный коэффициент к экспериментально определенному периоду собственных колебаний здания. Кроме этого сделаны предложения, в каких случаях целесообразно проведение динамических испытаний с использованием малоинтенсивных нагрузок.

Ключевые слова: принцип подобия, период собственных колебаний, малоинтенсивные нагрузки, модель каркасного здания, техническое состояние.

Tonkikh Gennadii P.
Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief researcher
Federal state budgetary institution «All-Russian research Institute on civil defense and emergency situations of EMERCOM of Russia» (Federal center of science and high technologies), Moscow, Russia

Suggestions for Use the Period of Oscillation of Frame Buildings in Low-intensity Effects

Abstract: This article presents data on the impact of non-load-bearing structures on the amplitude-frequency characteristics of frame buildings during dynamic tests using low-intensity loads. On the basis of experimental studies, it is proposed to introduce a

correction factor to the experimentally determined period of the building's natural oscillations. In addition, proposals are made in which cases it is advisable to conduct dynamic tests using low-intensity loads.

Keywords: principle of similarity, the period of oscillation, low-intensity load, the model frame buildings, technical condition.

В соответствии с требованиями ГОСТ 31937 [1] при детальном обследовании зданий и сооружений, выполненных, в том числе, в каркасном исполнении, а также при мониторинге их технического состояния предлагается определять динамические параметры, в состав которых входят периоды основного тона собственных колебаний вдоль продольной и поперечной осей, а также вдоль вертикальной оси. В соответствии с приведенными требованиями предлагается проводить сравнение текущих динамических параметров с предыдущими, определенными по результатам ранее проведенных обследований. При этом, если показатели определяемых параметров будут отличаться более чем на 10%, то данный факт должен служить основанием для более детального обследования данного участка здания или отдельной конструкции.

В большинстве случаев динамические параметры определяют при воздействии на конструкции зданий и сооружений малоинтенсивной динамической нагрузкой в виде ударов мешка с песком весом 30-40 кг, в различных частях зданий, как по длине, так и по высоте. При этом, ускорения и амплитудно-частотные характеристики замеряют с помощью одно, двух и трех компонентных акселерометров, установленных в определенных местах по длине и высоте зданий и сооружений.

Расчетные схемы зданий, возводимых в сейсмически опасных регионах, определяются их конструкцией и характеризуются понятиями «жесткие» или «гибкие». При этом здания, характер деформированного состояния которых может быть решен в жестких диафрагмах с относительно малыми деформациями, близкими по форме к сдвигу, период собственных колебаний которых $T \leq 0,5$ с, носят название «жестких конструктивных схем». Здания, период собственных колебаний которых $T > 0,5$ с, носят название «гибких конструктивных схем». К первым преимущественно относятся здания с несущими каменными стенами и крупнопанельные здания, ко вторым – каркасные здания.

Динамические характеристики, частоты и периоды основного тона собственных колебаний зданий «гибких конструктивных схем» при малоамплитудных колебаниях отличаются от тех, которые проявляются в этих зданиях при воздействии расчетных землетрясений. Причиной этого является существенное влияние несущих конструкций, перегородок и навесных стеновых панелей, которые при малоинтенсивных воздействиях включаются в совместную работу с каркасом. Совместность малоамплитудных колебаний несущего каркаса и несущих конструкций происходит из-за наличия между ними связей: стыки между перегородками и колоннами при отделке заполняются цементно-песчаным раствором; навесные стеновые панели устанавливаются на опорные столики колонн и т.п. При малоинтенсивных воздействиях, в отличие от колебаний при землетрясениях расчетного уровня, данные связи не выключаются, что приводит к получению завышенных частотных характеристик зданий [2,3,4] и получению на их основе завышенных показателей сейсмостойкости каркасных зданий в соответствии с СП 14.13330.2014 [5].

Для оценки влияния несущих конструкций на динамические параметры каркасных зданий и сооружений при малоинтенсивных воздействиях были проведены испыта-

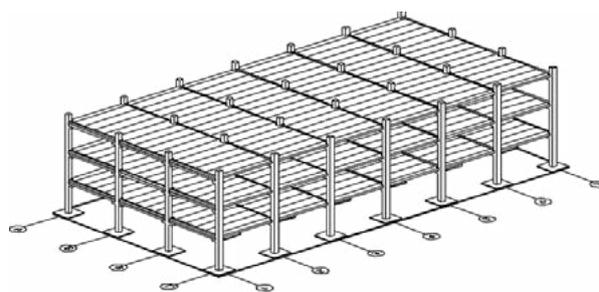


Рисунок 1 — Аксонометрическая схема модели

Figure 1 — Axonometric diagram of the model

ния натуральных зданий и моделей, с учетом соблюдения основных принципов подобия:

1. Физические явления в натуре и модели должны описываться одинаковыми уравнениями (уравнениями связи) и иметь одинаковые критерии подобия;
2. Критериальные уравнения должны быть численно равны у подобных явлений;
3. У натуре и модели должно быть соблюдено равенство условий однозначности (граничных условий, начальных параметров, условий загрузки и т.п.).

Соблюдение принципов подобия при испытаниях на модели было достигнуто изготовлением геометрически подобной модели в определенном масштабе к натурному объекту, когда все размеры модели уменьшаются в определенное число раз по сравнению с соответствующими размерами натуре, а также подобным приложением воздействий [6,7].

В качестве натурального здания для аналога модели было выбрано каркасно-панельное 3-х этажное здание казармы, выполненное по серии 1.020.1-2С. Данная серия (усовершенствованная серия ИИС-04) предназначена для возведения зданий жилищного, социально-культурного и промышленного назначений, эксплуатирующихся в сейсмически опасных регионах с интенсивностью 7-9 баллов.

Несущими конструкциями здания являются колонны и ригели, образующие поперечные рамы с жесткими узлами (рамная конструктивная схема), а также диафрагмы жесткости (рамно-связевая конструктивная схема).

При масштабе моделирования 1:20 детально изготовить все конструкции и узлы их взаимного крепления у модели в абсолютном подобии натурному зданию невозможно. Кроме того, исследование влияния несущих конструкций на частотные характеристики модели каркасного здания не требует проверки на прочность и деформативность элементов каркаса, узлов их соединения, оценки работы конструкции за пределами упругой стадии.

На основании этого было принято, что для исследования изменения частотных характеристик каркасного здания при его заполнении несущими конструкциями достаточным условием станет достижение динамического подобия модели по частотному признаку, при условии выполнения их в полном геометрическом подобии с соблюдением принципиальных требований, предъявляемых к конструированию каркасных зданий.

Все элементы каркасного здания были смоделированы с соблюдением подобия по размерам, массе и жесткости. При этом учитывался собственный вес конструкций, а также вес полезной распределенной нагрузки на перекрытия.

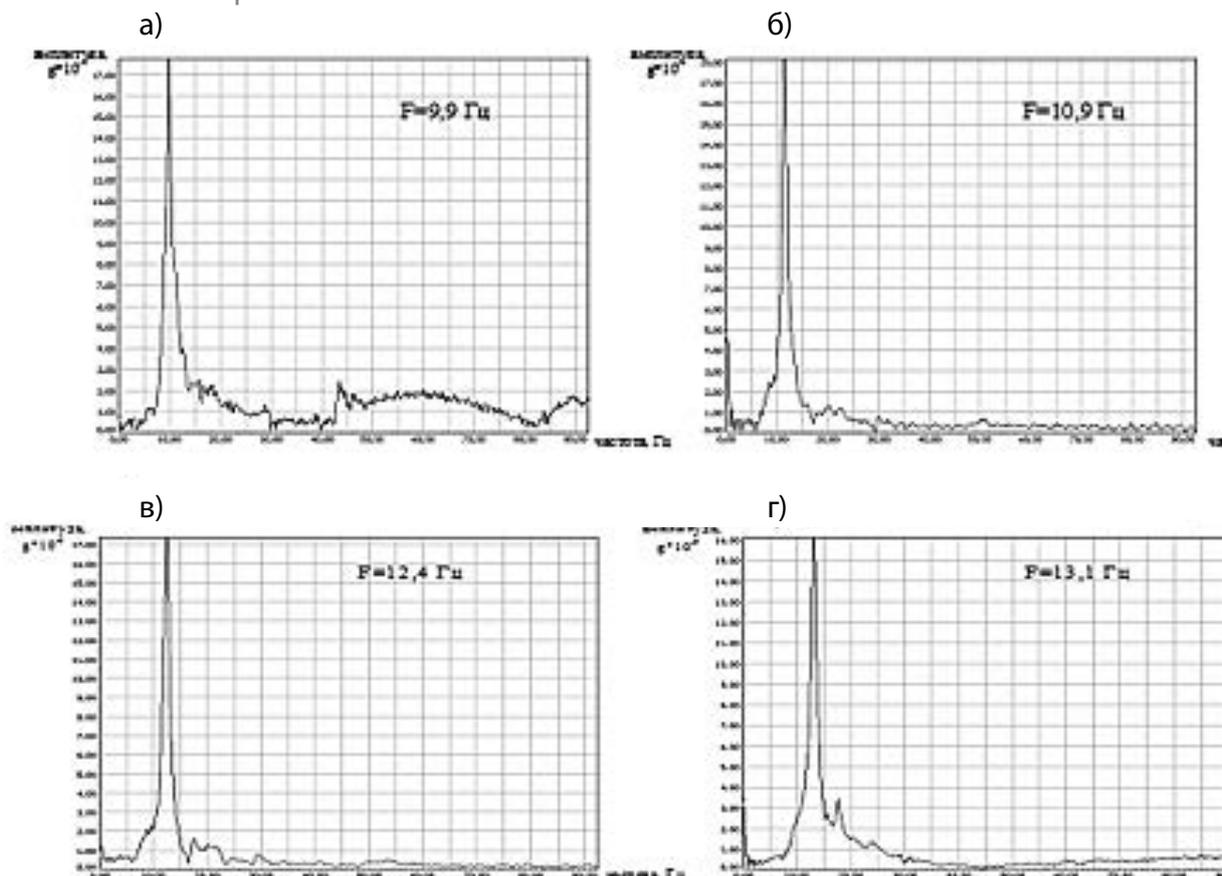


Рисунок 2 — Заполнение 1 этажа модели рамной конструктивной схемы с самонесущими стенами в продольном направлении: а) на 16.5% (2 перегородки); б) на 33% (4 перегородки); в) на 50% (6 перегородок); г) на 100% (12 перегородок)

Figure 2 — Filling the 1st floor of the model frame design scheme with self-supporting walls in the longitudinal direction: a) 16.5% (2 partitions); b) 33% (4 partitions); c) 50% (6 partitions); d) 100% (12 partitions)

На рис. 1 представлена аксонометрическая схема модели из оргстекла с указанием разбивочных осей.

На основании проведенных расчетов, в соответствии с принятыми принципами подобия, установлено, что для определения частоты собственных колебаний элементов натурального здания необходимо будет частоты собственных колебаний модели – ν умножить на коэффициент подобия, равный 0,1146.

Проведенные испытания показали, что периоды собственных колебаний первой формы модели казармы из оргстекла составили – 0,04 сек в продольном направлении и 0,055 сек в поперечном направлении. При пересчете к периодам натурального здания, с применением коэффициента 8,726 ($T = 1/\nu$), данные значения составили в продольном направлении – 0,35 сек и в поперечном направлении – 0,48 сек.

В результате динамических испытаний натурального здания этой же серии [3,4] было установлено, что период собственных колебаний первой формы составляет: в продольном направлении – 0,33 сек и в поперечном направлении – 0,45 сек.

Сравнительный анализ представленных результатов показывает, что их различие составляет 6-6,6%. Данное отклонение полученных значений может быть признано незначительным и свидетельствовать о том, что подобие модели и натурального здания обеспечивается и перенос результатов, полученных на модели к натуре, возможен.

При проведении исследований было установлено, что с размещением несущих конструкций и увеличением их числа частота колебаний повышалась. При этом, характер

расположения несущих конструкций оказывал влияние на характер повышения частоты собственных колебаний. Например, перегородки, размещенные во всех пролетах на первом этаже, повысили частоту колебаний модели в продольном направлении на 44% (с 9,1 Гц до 13,1 Гц). Перегородки, размещенные на 3 этаже, повысили частоту на 40% (с 9,1 Гц до 12,7 Гц), и т.д. Примеры значения частоты собственных колебаний, соответствующие некоторым вариантам заполнения модели несущими конструкциями, представлены на рис. 2.

На основании выполненных исследований и полученных зависимостей изменения частоты собственных колебаний модели каркасного здания предлагается при проведении натуральных испытаний каркасных зданий воздействиями малой интенсивности, для оценки влияния несущих конструкций, использовать коэффициент влияния K_B [2]. Значения коэффициента K_B выбираются в зависимости от фактического заполнения несущими конструкциями здания в плане, на этажах и наличия навесных стеновых панелей.

Значение фактического периода собственных колебаний здания по первой форме рекомендуется определять в соответствии с выражением:

$$T_{\phi} = T_3 K_B$$

где T_{ϕ} – фактический период собственных колебаний;

T_3 – период собственных колебаний, определенный экспериментально;

K_B – коэффициент влияния несущих конструкций.

Таблица 1 — Значения коэффициента влияния несущих конструкций
Table 1 — Values of the coefficient of influence of curtain structures

| № п/п | Заполнение каркаса здания несущими конструкциями | Значения коэффициента K_b | |
|-------|--|--|--|
| | | Рамная конструктивная схема с самонесущими стенами | Рамно-связевая конструктивная схема с самонесущими стенами |
| 1 | 1 этаж | 1,4/1,1 | 1,0/1,1 |
| 2 | 1 и 2 этажи | 2,0/1,2 | 1,4/1,2 |
| 3 | 1, 2 и 3 этажи | 2,4/1,2 | 1,5/1,2 |
| 4 | 2 этаж | 1,4/1,1 | 1,2/1,1 |
| 5 | 3 этаж | 1,4/1,1 | 1,2/1,1 |
| 6 | 2 и 3 этажи | 1,8/1,1 | 1,3/1,1 |
| 7 | 1 и 3 этажи | 1,7/1,1 | 1,4/1,2 |
| 8 | По 25 % на этажах | 1,3/1,1 | 1,0/1,1 |
| 9 | По 50 % на этажах | 1,7/1,2 | 1,2/1,2 |
| 10 | По 75 % на этажах | 2,0/1,2 | 1,3/1,2 |

Примечание: В числителе указаны значения коэффициента K_b при расположении несущих конструкций в продольном направлении, в знаменателе – в поперечном направлении.

Значения коэффициента влияния несущих конструкций K_b в зависимости от различного заполнения этажей приведены в табл. 1.

Навесные стены приводят к более существенному влиянию на период собственных колебаний здания. Так значение коэффициента K_b для зданий рамной конструктивной схемы, составляет при продольном расположении стен 2,75, а при поперечном 1,25 независимо от заполнения этажей несущими конструкциями. Для зданий рамно-связевой конструктивной схемы значение коэффициента K_b составляет соответственно 1,7 и 1,3.

Учитывая изложенное можно заключить, что использование экспериментально полученного периода собственных колебаний каркасного здания, для оценки его фактического технического состояния, в том числе сейсмостойкости и определенного с помощью малоинтенсивных воздействий, без учета влияния несущих конструкций, не представляется возможным.

В тоже время в ряде исследований [8,9] предлагается проводить сравнение нормативных периодов собственных колебаний зданий, полученных расчетным путем, с экспериментальными значениями периодов собственных колебаний, определенных при малоинтенсивных динамических испытаниях. То есть, предлагается проведение прямого измерения категории технического состояния здания и сооружения путем сравнения частот колебаний с расчетными или принятыми значениями нормативных частот. В случае увеличения фактического значения периода собственных колебаний или увеличения квадрата частоты собственных колебаний над нормативными значениями, на величину от 10 до 100%, предлагается делать вывод о степени повреждения зданий и сооружений различных конструктивных схем, от легкой степени до катастрофической. При этом влияние несущих конструкций на амплитудно-частотные характе-

ристики зданий полностью не учитывается, что приводит к получению неточных результатов, а, следовательно, и к неточной оценке фактического технического состояния здания.

На основании изложенного можно сделать следующие основные выводы.

1. При проведении динамических испытаний с использованием малоинтенсивных нагрузок необходимо учитывать влияние несущих конструкций на частотные характеристики каркасных зданий. В данной работе предложены значения коэффициента K_b , учитывающие количество и расположение в плане и на этажах перегородок и наличие навесных стеновых панелей для зданий рамной и рамно-связевой конструктивной схем.
2. Использование периодов собственных колебаний зданий и сооружений, определенных с применением малоинтенсивных динамических нагрузок, в соответствии с требованиями ГОСТ 31937-2011, возможно при интегральной оценке их технического состояния только путем сравнения с результатами ранее проведенных аналогичных испытаний. При этом, если полученные результаты отличаются более чем на 10%, то это должно послужить основанием для проведения более детального обследования и выявления причины такого отличия.
3. Использование фактического значения периода собственных колебаний зданий и сооружений, определенного с использованием малоинтенсивных воздействий, для проведения сравнения с расчетным значением периода собственных колебаний, без учета влияния несущих конструкций на частотные характеристики зданий, приведет к неправильной оценке напряженно-деформированного состояния несущих конструкций, следовательно, и к неточной оценке категории технического состояния здания и сооружения.

Литература

1. ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния».
2. Тонких Г.П., Кабанцев О.В., Дорофеев М.Л. Пособие по учету влияния несущих конструкций на динамические характеристики общежитий каркасных зданий при оценке их сейсмостойкости. М.: 26 ЦНИИ МО РФ, 2004. 43 с.
3. Тонких Г.П., Кабанцев О.В., Дорофеев М.Л. Экспериментальные исследования влияния неконструктивных элементов на периоды

- собственных колебаний каркасных зданий // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2002. № 6. С. 12-16.
4. Тонких Г.П. Влияние несущих конструкций на динамические параметры каркасных зданий и сооружений при малоинтенсивных динамических нагрузках // Промышленное и гражданское строительство. 2016. №7. С.58-63.
 5. СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*».
 6. Алабушев П.М., Ельников и др. Подobie и моделирование в задачах и примерах. Курск: Курский

- Государственный университет, 1997. 172 с.
7. Тарасов А.М. Определение критериев подобия и переходных соотношений при моделировании мостовых конструкций // Труды ЦНИИС, 1974. №80.
 8. Методика оценки и сертификации инженерной безопасности зданий и сооружений. ФЦНВТ «ВНИИ ГОЧС», Москва. 2003.
 9. Нигметов Г.М., Сошенко М.В., Шмырев В.И. Подход к оценке нагрузок на сооружение после взрыва бытового газа // Технологии гражданской безопасности. 2018. Том 15. №1(55). С. 28-32.

References

1. GOST 31937-2011 «Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya».
2. Tonkikh G.P., Kabantsev O.V., Dorofeev M.L. Posobie po uchetu vliyaniya nenesushhikh konstruksij na dinamicheskie kharakteristiki obshhevojskovykh karkasnykh zdaniy pri otsenke ikh sejsmostojkosti. M.: 26 TSNII MO RF, 2004. 43 p. (In Russian)
3. Tonkikh G.P., Kabantsev O.V., Dorofeev M.L. Eksperimental'nye issledovaniya vliyaniya nekonstruktivnykh elementov na periody sobstvennykh kolebanij karkasnykh zdaniy.

- Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij [Earthquake Engineering. Constructions Safety]. 2002. № 6. P. 12-16. (In Russian).
4. Tonkikh G.P. Vliyaniya nenesushhikh konstruksij na dinamicheskie parametry karkasnykh zdaniy i sooruzhenij pri malointensivnykh dinamicheskikh nagruzkakh. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and Civil Engineering]. 2016. №7. P.58-63. (In Russian).
 5. SP 14.13330.2018 «Stroitel'stvo v sejsmicheskikh rajonakh. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II-7-81*».
 6. Alabushev P.M., El'nikov i dr. Podobie i

- modelirovanie v zadachakh i primerakh. Kursk: Kurskij Gosudarstvennyj universitet, 1997. 172 p.
7. Tarasov A.M. Opredelenie kriteriev podobiya i perekhodnykh sootnoshenij pri modelirovanii mostovykh konstruksij. Trudy TSNIS, 1974. №80. (In Russian)
 8. Metodika otsenki i sertifikatsii inzhenernoj bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij. FTSNVT «VNII GOCHS», Moskva. 2003. (In Russian).
 9. Nigmatov G.M., Soshenko M.V., Shmyrev V.I. Podkhod k otsenke nagruzk na sooruzhenie posle vzryva bytovogo gaza. Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti. 2018. Tom 15. №1(55). P. 28-32. (In Russian).

Для цитирования: Тонких Г.П. Предложения по использованию периода собственных колебаний каркасных зданий при малоинтенсивных воздействиях // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2019. № 2. С. 28-32.

For citation: Tonkikh G.P. Suggestions for Use the Period of Oscillation of Frame Buildings in Low-intensity Effects. Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij [Earthquake engineering. Constructions safety], 2019, no. 2, pp. 28-32. (In Russian).



PROHITECH 2020

4th International Conference on Protection of Historical Constructions

We are pleased to announce the organization of the fourth edition of the International Conference on Protection of Historical Constructions (PROHITECH 2020) to be held in Athens, Greece.

Visit the Conference website:
prohitech2020.org

Contact the Conference Secretariat:
info@prohitech2020.org



В.К. Востров
доктор технических наук, советник директора

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

УДК 624.04

Линейные и нелинейные колебания оснований с периодическими и почти периодическими сейсмическими воздействиями

Аннотация: Уточнены способы определения особых и аварийных сейсмических нагрузок и аварийных расчетных ситуаций, требуемых в соответствии с действующим законодательством. Уточнен предложенный ранее способ описания движений поверхности грунта с помощью модулируемых периодических и почти периодических функций, а также резонансных

и нерезонансных колебаний. Выделяются особые и аварийные сейсмические нагрузки как нагрузки, создающие аварийную ситуацию-возникновение режима биений или резонансных колебаний, приводящих к нарушению прочности или устойчивости сооружений или к нарушению норм по оценке общей вибрации на обслуживающий персонал или оборудование.

Ключевые слова: аварийная ситуация, резонанс, острый резонанс, сейсмическое воздействие, аварийные нагрузки, особые нагрузки.

Vostrov Vladimir K.

Doctor of Technical Sciences, Director's Adviser, Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Koucherenko JSC Research Center of Construction, Moscow, Russia

Linear and Nonlinear Oscillations of Bases with Periodic and almost Periodic Seismic Effects

Abstract: The methods of determination of special and emergency seismic loads and emergency design situations required in accordance with the current legislation are specified. The previously proposed method of describing the movements of the soil surface by means of modulated periodic and almost periodic functions, as well as resonance

and nonresonance oscillations is refined. Allocated to special and emergency loads such as seismic loads, which creates an emergency is the occurrence of mode beating or resonant oscillations resulting in a loss of strength or stability of buildings or to violate standards for the assessment of General vibration on personnel or equipment.

Keywords: emergency situation, resonance, acute resonance, seismic impact, emergency loads, special loads.

В ГОСТ 27751-2014 [1] кроме постоянных, длительных и кратковременных выделены особые нагрузки как нагрузки, создающие особые ситуации. В примечании отмечается, что особые воздействия подразделяются на нормируемые

(например, сейсмические, в результате пожара) и аварийные воздействия (например, при взрыве, столкновении, аварии оборудования и отказе работы несущего элемента конструкции), которые не заданы в нормативных документах.

При этом под аварийной ситуацией понимается ситуация, соответствующая исключительным условиям работы сооружения, в том числе и при особых воздействиях, которые могут привести к существенным социальным, экологическим и экономическим потерям.

В своде правил СП 296.1325800.2017 [2] к особым нагрузкам отнесены нагрузки и воздействия (например, взрыв, столкновение с транспортными средствами, авария оборудования, пожар, землетрясение, некоторые климатические нагрузки, отказ работы несущего элемента конструкции), создающие аварийные ситуации с возможными катастрофическими последствиями. При этом особые нагрузки подразделяются на нормируемые (проектные) и аварийные. К аварийным отнесены особые нагрузки и воздействия, не регламентируемые в нормативных документах, которые могут привести к аварийной расчетной ситуации. При этом указывается, что сейсмические нагрузки регламентируются положениями СП 14.13330.2018 [3] и, следовательно, как и в [1] аварийными быть не могут.

В действующем СП 20.13330.2016 [4] к особым нагрузкам отнесены сейсмические нагрузки и аварийные воздействия, причем, в перечень аварийных включены климатические (снеговые, ветровые, температурные и гололедные) нагрузки, действие которых может привести к аварийной расчетной ситуации, учет которой требуется п.6 статьи 16 Федерального закона №384-ФЗ. Но при этом, как в [1] так и в [2], сейсмические нагрузки не включены в аварийные воздействия, будучи отнесены к нормируемым особым воздействиям.

Во введенном в действие с ноября 2018 г. СП 14.13330.2018 [3] выдвинуто требование о том, что при выполнении расчетов сооружений с учетом сейсмических воздействий следует применять две расчетные ситуации – РЗ (расчетное землетрясение) и КЗ (контрольное землетрясение). Целью расчетов на воздействие РЗ является определение (принятие) проектных решений, позволяющих предотвратить частичную или полную потерю эксплуатационных свойств сооружением. Расчетные модели сооружений следует принимать соответствующими упругой области деформирования.

На действие КЗ рассчитываются законструированные по результатам РЗ сечения и элементы здания и сооружения. Целью расчетов на КЗ является оценка общей устойчивости, неизменяемости, однородности конструкций сооружения, допустимость уровня ускорений, перемещений, скоростей в элементах здания, сооружения, способность конструкции здания к перераспределению внешнего сейсмического воздействия за счет формирования пластических шарниров и иных нелинейных эффектов.

Расчеты на РЗ следует выполнять для всех зданий и сооружений, а расчеты на КЗ следует применять для зданий и сооружений, перечисленных в позициях 1 и 2 таблицы 4.2 СП 14.13330.2018. При выполнении расчетов по уровням РЗ и КЗ принимается одна карта сейсмичности района строительства в соответствии с п. 4.3. При этом расчеты, соответствующие КЗ, следует выполнять во временной области с применением инструментальных или синтезированных акселерограмм, по теории предельного равновесия с учетом п. 5,5 или с использованием иных, научно обоснованных методов.

При выполнении расчетов на КЗ необходимо применять реальные акселерограммы, характерные для района строительства, а в случае их отсутствия – генерировать искусственные акселерограммы с учетом грунтовых условий площадки строительства. При этом для расчетов во временной области максимальные амплитуды инструментальных или синтезированных ускорений в уровне основания сооружения следует применять не менее 1,0; 2,0; или 4,0 м/сек², при сейсмичности площадок строительства 7, 8 и 9 баллов соответственно, и умножать на коэффициент K_0 по табл. 4.2. Это значит, что устанавливаются два уровня интенсивности сейсмического воздействия РЗ и КЗ по ускорениям, различающиеся коэффициентом K_0 . РЗ и КЗ в общем случае имеют не только разные пиковые ускорения, но и разные по форме спектры. При этом, например, при расчетах на РЗ значения коэффициента K_0 для объектов, перечисленных в графе 1, принимаются не менее 1,2, а при расчетах на КЗ коэффициент $K_0 = 2$ т.е. происходит увеличение в 1,67 раза по отношению к минимальному значению коэффициента K_0 при РЗ.

Отмечая, что цели расчетов и требования к расчетам РЗ и КЗ в СП 14.13330.2018 соответствуют целям и требованиям к расчетам на ПЗ и МРЗ отмененного СП 14.13330.2014, заметим, что расчеты на КЗ можно трактовать как учет аварийной расчетной ситуации для сооружений повышенного уровня ответственности с помощью коэффициента K_0 , имеющей малую вероятность возникновения и небольшую продолжительность, но являющуюся важной с точки зрения последствий достижения предельных состояний, которые могут возникнуть при этой ситуации.

Но возможен и другой способ определения особых сейсмических нагрузок, действующих на сооружение, в том числе приведенных в работах [5,6], и выделение из них аварийных сейсмических воздействий, основанных на использовании резонансных и нерезонансных колебаний основания.

Динамическому (спектральному) методу расчета на сейсмостойкость присуща важная особенность, связанная с тем, что он учитывает различие сейсмических ускорений грунта в разных периодах колебаний. При этом, с изменением жесткости, т.е., с изменением периодов собственных колебаний сооружения, расчетная сейсмическая нагрузка может снижаться или увеличиваться в несколько раз в зависимости от близости периода собственных колебаний к преобладающим периодам колебаний грунта при землетрясении.

Этот вывод основан на тесной корреляции между амплитудно-частотным спектром сейсмических ускорений грунта и объемами разрушений при различных землетрясениях [7] (Впервые опубликована в журнале «Природа» (№12, 1989г.). В частности, базовым выводом является то, что значения периодов собственных колебаний наиболее разрушенных зданий оказываются весьма близки к преобладающим периодам колебаний грунта. Более того, по данным [7] прослеживается и некоторая корреляция между ускорениями, отвечающими определенным периодам колебаний грунта и степени разрушения зданий с такими же периодами собственных колебаний.

Известно, что спектр сейсмических колебаний определяется двумя группами факторов: с одной стороны механизмом очага, магнитудой землетрясения, эпицентральной

ным расстоянием, с другой – свойствами грунтов. Отсюда, в частности, следует, что на одной и той же или близко расположенных площадках могут происходить землетрясения, существенно различающиеся спектром и преобладающими периодами колебаний, при этом могут преобладать как длиннопериодные, так и короткопериодные колебания.

Говоря о землетрясениях, различают [8-12] отдельные толчки, достаточно продолжительные колебания малой амплитуды и движения грунта большой продолжительности (от нескольких секунд до нескольких десятков секунд) с резко выраженным преобладанием некоторых периодов колебаний.

Первый случай типичен для слабых землетрясений и областей, расположенных вблизи эпицентра. Вторым случаем типичен для результатов отдаленных сильных землетрясений. Третий случай представляет наибольший интерес, так как в нем резко выражены преобладания определенных периодов колебаний и именно эти землетрясения приводят к наиболее разрушительным последствиям.

К первому типу землетрясений, вследствие его простоты, могут быть применимы детерминистические методы. Разрушительные землетрясения, представляющие один толчок, отличаются [10] характером разрушений, указывающим на движение грунта почти точно вдоль одного направления, причем, в одну сторону более сильное, чем в другую.

Для представления сейсмических движений второго типа предлагались различные способы аппроксимации, начиная от задания ускорения грунта в виде стационарного белого шума или представления ускорения грунта в виде реализаций стационарных случайных процессов, модулированных при помощи некоторых функций времени - квазиоггибающих процесса [9].

Третий тип землетрясений возникает при прохождении колебаний, вызванных движением первого или второго типа через линейный грунтовой фильтр. Поэтому он, также как и первые два типа, может быть исследован аналитически так же, как и второй тип с помощью представлений ускорений грунта в виде реализаций стационарных случайных процессов, модулированных квазиоггибающими процесса.

Очевидно, что прогнозируемые сейсмические спектры необходимо учитывать при проектировании различных зданий и сооружений в сейсмоопасных зонах. Однако такая информация бывает далеко не полной – из опыта известна лишь некоторая область преобладающих периодов, тем более, что на одной и той же площадке могут иметь место несколько типов землетрясений, различающихся преобладающими периодами колебаний. Тем более, что опыт землетрясений показывает, например [11], что часто наиболее сильные разрушения происходят в начальный момент, когда свободные колебания сооружений, вызванные первыми толчками, еще не затихли. В этом случае возникают сложные колебания (биения) в случае однокомпонентного или многокомпонентного сейсмического воздействия, когда круговая частота близка к частоте собственных колебаний сооружения.

Аппроксимация колебаний поверхностного слоя грунта

Развитие динамического метода расчета сейсмических сил связано с работами И.Л. Корчинского, сыгравшего большую

роль как в разработке этого метода, так и для его применения в практике инженерных расчетов сейсмостойкости сооружений [11]. На основе анализа сейсмограмм некоторых слабых землетрясений им предложено записывать сейсмические колебания грунта в виде конечной суммы затухающих синусоид

$$\ddot{U} = \sum \exp(-\beta_k t) \cdot \varphi_k(t) \cdot \eta(t), \quad \varphi_k(t) = A_k \sin(\theta_k t + \lambda_k), \quad (1)$$

в которой суммирование производится по всем k в пределах от 1 до K (однако, в дальнейших выводах он учитывал одно первое слагаемое этой суммы при $K = 1$ и $\lambda_1 = 0$), $\eta(t)$ – единичная функция Хевисайда, равная 1 при $t > 0$ и 0 при $t < 0$, $A_k, \beta_k, \theta_k, \lambda_k$ представляют собой независимые параметры, определяемые, в том числе, с помощью инструментальных записей колебания основания.

Для представления сейсмических движений основания различными авторами предлагались разные способы аппроксимации в виде как детерминированных, так и случайных процессов. Наиболее известным стало представление ускорения грунта на основе гипотезы стационарности сейсмического воздействия М.Ф. Барштейна [11], т.е. в виде реализации стационарных случайных процессов, модулированных при помощи некоторых функций времени – квазиоггибающих процесса (метод В.В. Болотина [9]). Это значит, что сейсмическое ускорение грунта представляется в виде $\ddot{U} = U_k(t) V_k(t)$, где $V_k(t)$ – реализации некоторых стационарных случайных процессов с заданными спектральными плотностями, $U_k(t)$ – детерминистические функции времени, например,

$$U_k(t) = A \cdot t^k \cdot \exp(-\beta t) \cdot \eta(t), \quad (2)$$

A, β – некоторые положительные постоянные.

Предложенная И.Л. Корчинским аппроксимация колебаний поверхностного слоя грунта в виде (1) не является представлением резонансных колебаний и представляет собой при равенстве параметров затухания произведение затухающей оггибающей $U_0(t)$ на почти периодическую функцию $V_k(t)$, представленную отрезком ряда Фурье для почти периодических функций с конечным спектром Λ_k в виде совокупности всех показателей Фурье (частот) $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k$ и коэффициентами Фурье A_1, A_2, \dots, A_k . При этом, структура спектра, в отличие от периодической функции, может быть сложной, например, могут существовать конечные точки сгущения спектра, когда частоты близки между собою.

Для простейших типов сооружений колебания при горизонтальных сейсмических воздействиях описываются одномерным дифференциальным уравнением второго порядка с вязким трением:

$$m\ddot{y} + \alpha\dot{y} + F(y) = -m\ddot{U} \quad (3)$$

где y – перемещение сооружения относительно грунта, $v = \dot{y}$ – скорость перемещения, m – масса сооружения, α – коэффициент вязкого трения, $F(y)$ – нелинейная или гистерезисная восстанавливающая сила, \ddot{U} – сейсмическое ускорение опорного основания.

В случае линейной восстанавливающей силы $F(y) = c \cdot y$, где c – коэффициент жесткости, уравнение (3) принимает вид:

$$\ddot{y} + 2n\dot{y} + \chi^2 y = -\ddot{U}, \quad \chi^2 = c/m, \quad n = \alpha/(2m) \quad (4)$$

Спектральный метод определения сейсмических нагрузок основан не на решении обратных задач с использованием инструментальных записей колебаний поверхности грунта, а на методе, предложенном М. Био [11]. Аналитическое выражение величины сейсмической силы, действующей на систему с одной степенью свободы, согласно этому методу, устанавливается с использованием инструментальных записей колебаний грунта во время землетрясений путем подстановки их в решение уравнения колебаний сооружения (4) с нулевыми начальными условиями, выраженное в интегральной форме через ускорение \ddot{U} .

Для диссипативной системы с одной степенью свободы, основание которой движется по закону $\ddot{U}(t)$, используя линейное уравнение (4) находим для абсолютного ускорения $\ddot{u} = \ddot{y} + \ddot{U}$ формулу

$$\ddot{u} = -(2n\dot{y} + \kappa^2 y) \quad (5)$$

При сейсмических колебаниях при $n \ll \kappa$ можно пренебречь малой по сравнению с $\kappa^2 y$ величиной $2n\dot{y}$. Тогда для сейсмического ускорения \ddot{u} получается приближенная формула

$$\ddot{u} = -\kappa^2 y, \quad (6)$$

в которой $\kappa = 2\pi/T_c$, T_c – период собственных недемпфированных колебаний сооружения. Этот же результат получается при определении абсолютных ускорений для моментов времени, когда достигаются экстремальные значения смещений сооружения, т.е. когда $\dot{y} = 0$.

Вычисляя относительное смещение y и абсолютное сейсмическое ускорение $\ddot{u}(t)$ для полубесконечного интервала времени, можно построить спектры максимальных смещений $S(T_c) = \max y(t)$ и абсолютных ускорений $C(T_c) = \max \ddot{u}(t)$ при $0 < t < \infty$, примеры которых приведены в монографии [11]. Кроме этого, по формуле $S(t) = m \cdot \ddot{u}(t)$ можно найти величину сейсмических сил, действующих в момент времени t , а по формуле $S_{\max} = m \cdot C(T_c)$ – величину максимальной сейсмической силы.

Существенной особенностью спектров максимальных (нормированных) ускорений сооружения, построенных как теоретически, так и по методу М. Био, является их многоэкстремальный характер. Т.е., модули $|y|$ локальных максимумов смещения и абсолютного сейсмического ускорения $|\ddot{u}|$ достигаются для бесконечного ряда моментов времени, выраженных через период T_c собственных колебаний сооружения.

Если сейсмические колебания грунта описываются одним слагаемым из (1), то это означает выбор простейшей схемы сейсмического воздействия на сооружение, основанное на допущении о том, что изменением спектрального состава в течение всего землетрясения можно пренебречь [8-10]. Но это противоречит тому факту, что на разных временных участках частотный состав колебаний грунта может существенно меняться. Более того, как отмечено в [11], все акселерограммы отражают непериодические колебания с переменной амплитудой и периодом. Ввиду этого для аппроксимации колебаний грунта при описании сейсмических воздействий требуется видоизменение формулы (1), а также требуется выбирать два или более слагаемых. Тогда задача сводится к анализу модулируемых почти периодических за-

висимостей и выявлению резонансных колебаний поверхности грунта, когда частоты различных составляющих видоизмененных колебаний (1) близки друг другу или совпадают между собой.

Линейные и нелинейные колебания опорного слоя сооружений

Проф. К. Sezava показал [13], что движения поверхностного слоя, возбужденного сейсмическими волнами, могут иметь собственный период колебаний, а также, что этот период зависит от характера земной коры, образующей наложения, а также от толщины поверхностного слоя. Подобную возможность подтверждают не только математические решения, но и наблюдения, которые фактически показали существование этих обычных движений грунта. Это означает, что движения поверхностного слоя можно описать в упрощенном варианте уравнениями типа (4), допускающими как собственные колебания, так и резонанс, возбуждаемый сейсмическими волнами. Более того, эти колебания можно описать нелинейными уравнениями, допускающими при отсутствии затухания автоколебания.

Здесь можно применить, кроме описания в упрощенном варианте, развиваемый в работе [14] метод прогнозирования синтетических сейсмограмм и акселерограмм различных поверхностных слоев при сильных землетрясениях. По существующим представлениям, землетрясение является следствием механического разрыва среды из-за соприкосновения двух плит с шероховатыми краями при их длительном и медленном взаимном перемещении. На поверхности земли сейсмические волны, возникающие от разрыва, вызывают повсеместные механические колебания грунтов, запись которых в виде сейсмограмм или акселерограмм позволяет оценить такие параметры, как балльность, спектральный состав, пиковые значения.

Для самой простой однослойной толщи с параметрами G, ρ, H общее решение для ускорений грунта на поверхности земли получено [14] в виде знакопеременного неограниченного ряда

$$\ddot{U} = V(\Delta) \sum \omega_i \cdot \delta_i \cdot \exp(-\beta_i t) \cdot \sin(\omega_i t), \quad \delta_i = 4(-1)^{i+1} / (\pi(2i+1)), \quad (7)$$

в котором суммирование производится по i в пределах от 1 до ∞ , $\omega_i = 2\pi / T_{0i}$, $\beta_i = \theta_i / T_{0i}$, T_{0i} – преобладающий период i -ой формы свободных колебаний однородного основания высотой H , G -модуль упругости слоя, ρ -плотность слоя, $V_s = \sqrt{G/\rho}$ – скорость распространения волн сдвига в слое, θ_i -коэффициент поглощения энергии по i -ой форме колебаний толщи грунта. Значения скоростей $V(\Delta)$ колебания частиц грунта в зависимости от магнитуды M и расстояния Δ до разрыва находится по формуле

$$V(\Delta) = 100 \exp(M - 8.5) (1 - \Delta^2/R^2)$$

в которой R -протяженность области в перпендикулярном к разрыву направлении, принимаемой существенно деформированной в процессе подготовки землетрясения.

Нетрудно видеть, что формула (7) для ускорений поверхности земли совпадает с формулой (1) предложенной И.Л. Корчинским если положить $\lambda_i = 0$, $A_i = V(\Delta)\omega_i\delta_i$, с той лишь разницей, что коэффициенты A_i линейно зависят от частоты ω_i и номера i , при том, что в формуле (1) параметры

$A_k, \beta_k, \theta_k, \lambda_k$ независимы. Кроме того, в формуле (7) может быть сгущение частот, когда две и более частоты близки друг другу и возникают биения, но отсутствуют резонансные колебания. Это связано с тем, что в [14] рассматриваются нерезонансные колебания пакета слоев для скальных и рыхлых грунтовых оснований с нулевыми начальными смещениями и ненулевой начальной скоростью движения блоков на некотором расстоянии от разрыва земной поверхности.

Для уточнения подхода, связанного с рассмотрением нерезонансных колебаний, покажем, как модифицировать формулу (1), чтобы возникли резонансные частоты, и продемонстрируем это на примере одномассовой линейной системы, описывающей в упрощенном варианте колебания поверхностного слоя.

Предположим, что движение одного поверхностного слоя с приведенной массой m_c описывается диссипативной системой с одной степенью свободы

$$\ddot{x} + 2\varepsilon\dot{x} + \kappa^2 x = -\ddot{U}(t) \quad (8)$$

основание которого движется по закону синусоидального затухающего ускорения

$$\ddot{U} = -Q \cdot \exp(-\varepsilon t) \cdot \sin(\theta t) \quad (9)$$

с нулевыми начальными условиями, либо с нулевым начальным смещением и ненулевой начальной скоростью как принято в [14]. Здесь $Q = P_0 / m_c$, $\kappa^2 = c / m_c$, ε – показатель затухания свободных колебаний, ε_1 – показатель затухания возмущающей силы, P_0 – величина возмущающей силы, θ – круговая частота возмущающих колебаний.

Уравнение (8) колебаний опорного слоя совместно с линейным уравнением (4) описывает колебания системы «сооружение-опорный слой» если положить $\ddot{U}(t) = -\kappa^2 x(t)$, т.е.

$$\ddot{y} + 2n\dot{y} + \kappa^2 y = \kappa^2 x(t), \quad \ddot{x} + 2\varepsilon\dot{x} + \kappa^2 x = -U_0(t) \quad (10)$$

В этой колебательной системе есть влияние колебаний опорного слоя на колебания сооружения, но нет обратного влияния колебаний сооружения на колебания опорного слоя. В тоже время расчет ответственных сооружений на сейсмические воздействия требует, например [15], учета динамического взаимодействия сооружений с основанием (SSI). Это означает, что в подавляющем большинстве случаев ответственные сооружения в силу своих характеристик (большой массы, жесткости, заглубления и т. п.) меняют сейсмические колебания основания по сравнению с теми, которые были в отсутствие сооружения в тех же точках и при таком же сейсмическом воздействии. Даже, если по каким либо причинам влияние такого взаимодействия на колебания сооружения невелико, то это, как считает автор монографии [15], должно быть продемонстрировано, хотя рекомендации на этот счет отсутствуют.

Учет динамического взаимодействия сооружений с основанием может быть осуществлен двумя различными способами [16] влияния вязкого сопротивления на колебания системы с двумя степенями свободы.

Если принять, что на колебания системы с двумя степенями свободы кроме упругих и возмущающих сил имеются силы вязкого сопротивления $-\mu\dot{x}$ и $-\mu\dot{y}$ действующие на каждую из масс, то дифференциальные уравнения движения принимают вид

$$\ddot{y} + 2n\dot{y} + \kappa^2 y = \kappa^2 x, \quad \ddot{x} + 2\varepsilon\dot{x} + \kappa^2 x = r^2 y - \ddot{U}_0(t) \quad (11)$$

где $2n = \mu / m$, $2\varepsilon = \mu / m_c$, $\kappa^2 = (K_1 + K_2) / m_c$, $\kappa^2 = K_2 / m$, $r^2 = K_2 / m_c$, K_1 – коэффициент жесткости опорного слоя, K_2 – коэффициент жесткости для относительного смещения $y - x$.

Если вязкое сопротивление между массами m и m_c таково, что сила этого сопротивления пропорциональна относительной скорости $-\mu(\dot{x} - \dot{y})$, то дифференциальные уравнения движения будут подобны уравнениям (11)

$$\ddot{y} + 2n\dot{y} + \kappa^2 y = \kappa^2 x + 2n\dot{x}, \quad \ddot{x} + 2\varepsilon\dot{x} + \kappa^2 x = r^2 y + 2\varepsilon\dot{y} - \ddot{U}_0(t) \quad (12)$$

но с измененными правыми частями.

Уравнения (12) имеют широкое применение, например, для описания поведения динамических гасителей колебаний [11, 16] и отличаются от уравнений (11) наличием дополнительных членов $2n\dot{x}$ и $2\varepsilon\dot{y}$ в правых частях уравнений. В то же время уравнения (11) отличаются от уравнений (10) линейным членом $r^2 y$, отражающим влияние колебаний сооружения на колебания опорного слоя и при $r = 0$ уравнения (10) и (11) тождественны друг другу. Следовательно, если колебания сооружения и опорного слоя описывать уравнениями (11), то требование [15] о демонстрации влияния взаимодействия сооружения с основанием сводится к установлению разницы в решениях уравнений (10) и (11) при $r > 0$. Эту разницу можно установить непосредственно, например, применив преобразование Лапласа [17] к уравнениям (10) и (11) с соответствующими начальными условиями при $t = 0$, либо использовать метод малого параметра, считая r малым, тогда нулевое приближение при $r = 0$ для уравнений (11) будет совпадать с решением уравнений (10).

Применяя преобразование Лапласа к базовым уравнениям (11) и обозначая через $X(s)$, $Y(s)$, $F(s)$ изображения функций $x(t)$, $y(t)$ и $-\ddot{U}_0(t)$ получим следующие уравнения

$$\begin{aligned} ((s+\varepsilon)^2 + \phi^2)X - r^2 Y &= x_0(s+2\varepsilon) + \dot{x}_0 + F(s) \\ -\kappa^2 X + ((s+n)^2 + \omega^2)Y &= y_0(s+2n) + \dot{y}_0, \end{aligned} \quad (13)$$

где $\phi^2 = \kappa^2 - \varepsilon^2$, $\omega^2 = \kappa^2 - n^2$. Определитель D этой системы линейных уравнений равен $D = ((s+n)^2 + \omega^2) \cdot ((s+\varepsilon)^2 + \phi^2) - \kappa^2 \cdot r^2$, следовательно, ее решение записывается в виде

$$X(s) = D_1 / D, \quad Y(s) = D_2 / D \quad (14)$$

где

$$D_1 = ((s+n)^2 + \omega^2) \cdot X_0(s) + r^2 Y_0(s), \quad D_2 = ((s+\varepsilon)^2 + \phi^2) \cdot Y_0(s) + \kappa^2 X_0(s)$$

$$X_0(s) = x_0(s+2\varepsilon) + \dot{x}_0 + F(s), \quad Y_0(s) = y_0(s+2n) + \dot{y}_0$$

При $r = 0$ из уравнений (13) непосредственно получаются изображения

$$X(s) = (x_0(s+2\varepsilon) + \dot{x}_0 + F(s)) / ((s+\varepsilon)^2 + \phi^2)$$

$$Y(s) = (y_0(s+2n) + \dot{y}_0) / ((s+n)^2 + \omega^2) + \kappa^2 X(s) / ((s+n)^2 + \omega^2)$$

Остановимся на определении решения колебательной системы (8), когда основание опорного слоя движется по закону синусоидального затухающего ускорения (9). В силу предыдущих формул для изображений связанных колебаний можно независимо определить колебания опорного слоя в зависимости от начальных условий, а затем определить колебания сооружения в зависимости от его начальных условий и колебаний опорного слоя.

Изображением $F(s)$ оригинала $-\ddot{U}_0(t)$, определяемого формулой (9), будет функция $F(s) = Q\theta / ((s+\varepsilon_1)^2 + \theta^2)$, и изо-

бражения $X(s), Y(s)$ запишутся в виде

$$\begin{aligned} X(s) &= (x_0(s+2\varepsilon) + \dot{x}_0) / ((s+\varepsilon)^2 + \phi^2) + \\ &+ Q\theta / (((s+\varepsilon)^2 + \phi^2) \cdot ((s+\varepsilon_1)^2 + \theta^2)) \\ Y(s) &= (y_0(s+2n) + \dot{y}_0) / ((s+n)^2 + \omega^2) + \kappa^2(x_0(s+2\varepsilon) + \\ &+ \dot{x}_0 + F(s)) / (((s+\varepsilon)^2 + \phi^2) \cdot ((s+n)^2 + \omega^2)) \end{aligned}$$

Разлагая второе слагаемое изображения $X(s)$ на простые дроби, получим

$$X(s) = (x_0(s+2\varepsilon) + \dot{x}_0) / ((s+\varepsilon)^2 + \phi^2) + (sA_\theta + u) / (((s+\varepsilon_1)^2 + \theta^2) - (sA_\theta - v) / ((s+\varepsilon)^2 + \phi^2)), \quad (15)$$

где

$$A_\theta = 2Q\theta(\varepsilon - \varepsilon_1) / \Delta, \quad \Delta = 4(\varepsilon - \varepsilon_1)(\varepsilon_1\kappa^2 - \varepsilon\gamma^2) - (\kappa^2 - \gamma^2)^2, \quad \gamma^2 = \theta^2 + \varepsilon_1^2 \\ u = -Q(\theta(\kappa^2 - \gamma^2) - 4\varepsilon_1\theta(\varepsilon - \varepsilon_1)) / \Delta, \quad v = Q(\theta(\kappa^2 - \gamma^2) - 4\varepsilon\theta(\varepsilon - \varepsilon_1)) / \Delta$$

Оригинал изображения (15) представляет собой затухающие квазипериодические колебания $x(t)$ выраженные через свободные колебания $x_0(t)$, и вынужденные колебания $x_1(t)$ формулой

$$x(t) = x_0(t) + x_1(t), \quad (16)$$

в которой

$$\begin{aligned} x_0(t) &= \phi^{-1} (x_0(\phi \cos \phi t + \varepsilon \sin \phi t) + \dot{x}_0 \sin \phi t) \exp(-\varepsilon t) \\ x_1(t) &= A_\theta [\exp(-\varepsilon_1 t) \cos \theta t - \exp(-\varepsilon t) \cos \phi t] + \\ &+ ((u - \varepsilon_1 A_\theta) / \theta) \exp(-\varepsilon_1 t) \sin \theta t + \\ &+ ((v + \varepsilon A_\theta) / \phi) \exp(-\varepsilon t) \sin \phi t \end{aligned}$$

Эти выражения для колебаний опорного слоя сводятся к существенно более простым формулам при $\varepsilon = \varepsilon_1$, т.е., в этом случае

$$A_\theta = 0, \quad \Delta = -(\kappa^2 - \gamma^2)^2, \quad v = -u, \quad v = -Q\theta / (\kappa^2 - \gamma^2)$$

Для ненулевых начальных условий и равенства параметров затухания $\varepsilon = \varepsilon_1$ выражение для колебаний существенно упрощается и записывается в виде (16), где

$$x_1(t) = Q((\sin \theta t - (\theta/\phi) \sin \phi t) / (\phi^2 - \theta^2)) \cdot \exp(-\varepsilon t) \quad (17)$$

колебания соответствующие нулевым начальным условиям и, в случае, когда частота θ близка к частоте ϕ , колебание x_1 сводится к затухающим биениям.

При $\theta \rightarrow \pm\phi$ и $\varepsilon > 0$ возникает резонанс колебаний и решение (17) принимает вид непериодических резонансных вынужденных затухающих колебаний

$$x_1(t) = \pm Q \exp(-\varepsilon t) (\sin \phi t - \phi t \cos \phi t) / (2\phi^2) \quad (18)$$

Если собственная частота колебаний ϕ меньше частоты θ вынужденных колебаний, то полагая $\theta = \lambda\phi$, где $\lambda > 1$ получим функцию

$$x_1(t) = Q \exp(-\varepsilon t) (\sin \lambda \phi t - \lambda \sin \phi t) / (\phi^2(1 - \lambda^2)), \quad (19)$$

описывающую колебания как вблизи, так и вдали от резонанса.

Случай $\varepsilon_1 = 0$ соответствует чисто синусоидальному внешнему воздействию $\ddot{U}_0(t) = -Q \sin \theta t$ и для него выражение для колебаний сооружения при нулевых начальных условиях следует из (15) и записывается в виде

$$x(t) = x_\varepsilon(t) / \Delta, \quad (20)$$

где, теперь, $\Delta = -4\varepsilon^2\theta^2 - (\kappa^2 - \theta^2)^2$

$$x_\varepsilon(t) = Q [2\theta\varepsilon \cos \theta t - \exp(-\varepsilon t) \cos \phi t - (\kappa^2 - \theta^2) \sin \theta t - (\theta/\phi)(2\varepsilon^2 + (\kappa^2 - \theta^2)) \exp(-\varepsilon t) \sin \phi t] \quad (21)$$

и совпадает с формулой для демпфированных колебаний тела в начале действия возмущающей силы, приведенной в монографиях [11,16]. Если при этом пренебречь началом действия возмущающей силы (свободными затухающими колебаниями), то получается хорошо известная формула для вынужденных периодических колебаний, приведенная в [16].

Изображение колебаний по Лапласу, когда внешнее воздействие отсутствует ($\ddot{U}(t)=0$), а начальное смещение x_0 и начальная скорость \dot{x}_0 отличны от нуля, следует из (15) при $Q = 0$. Оригинал в этом случае представляет собой свободные затухающие нерезонансные колебания $x_0(t)$, определяемые правым слагаемым формулы (16).

Следует отметить, что представление сейсмических колебаний поверхностного слоя грунта в виде (17) и (18) может быть получено из модернизированной формулы (1) как произведение модулирующей затухающей функции на почти периодическую функцию, записанную в виде отрезка ряда Фурье, с конечным спектром, имеющим точки сгущения, и коэффициентами Фурье, зависящими от некратных частот в составе спектра колебаний.

Для двух слагаемых в (1) сейсмическое воздействие при $\lambda_1 = \lambda_2 = 0$ принимает вид

$$\ddot{U} = A_1 \exp(-\beta_1 t) \cdot \sin(\theta_1 t) + A_2 \exp(-\beta_2 t) \cdot \sin(\theta_2 t) \quad (22)$$

которое при $\beta_1 = \beta_2 = 0$ принимает вид бигармонического квазипериодического входного воздействия на сооружение, рассмотренного в работе [6]. Для анализа колебательного процесса основания преобразуем его к виду

$$\ddot{U} = \ddot{U}_d \cdot \sin(\omega_+ t + \phi) \quad (23)$$

где

$$\begin{aligned} U_d &= \sqrt{(D_1^2 + D_2^2)}, \quad \text{tg} \phi = D_2 / D_1, \quad \omega_\pm = (\theta_1 \pm \theta_2) / 2 \\ D_1 &= (A_1 \exp(-\beta_1 t) + A_2 \exp(-\beta_2 t)) \cdot \cos(\omega - t), \\ D_2 &= (A_1 \exp(-\beta_1 t) - A_2 \exp(-\beta_2 t)) \cdot \sin(\omega - t) \end{aligned}$$

В случае $\beta_1 = \beta_2 = \beta$ амплитуда и фаза определяются формулами

$$\begin{aligned} U_d &= \exp(-\beta t) (A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 A_2 \cos(2\omega - t))^{1/2}, \\ \text{tg} \phi &= ((A_1 - A_2) / (A_1 + A_2)) \text{ctg}(\omega - t) \end{aligned}$$

Как следует из (23) нули ускорения основания находятся из двух уравнений

$$U_d = 0, \quad \omega_+ t + \phi(t) = k\pi, \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (24)$$

и вопрос заключается в том, как определить неотрицательные постоянные $\theta_{1,2}, A_{1,2}, \beta_{1,2}$ так, чтобы разница между корнями уравнения (23) была переменной, и возникали биения основания, наблюдаемые при землетрясениях.

Для того, чтобы разница между нулями ускорения (23) была переменной, требуется выяснить условия, налагаемые на параметры $A_{1,2}$ такие, чтобы существовали корни уравнения $U_d = 0$. Переписывая это уравнение в виде

$$\cos(2\omega - t) = -R \quad (25)$$

где $R = (A_1^2 + A_2^2) / (2A_1A_2)$, найдем, что для существования корневой требуется одновременное выполнение двух неравенств $-1 \leq R \leq 1$.

Если знаки коэффициентов $A_{1,2}$ одинаковы ($A_1A_2 \geq 0$), то одновременное удовлетворение указанных неравенств сводится к условиям $(A_1 - A_2)^2 \leq 0$ и $(A_1 + A_2)^2 \geq 0$, что может иметь место если $A_1 = A_2$. В противном случае, т.е. если $A_{1,2}$ разных знаков ($A_1A_2 \leq 0$) то одновременное выполнение двух неравенств сводится к условиям $(|A_1| - |A_2|)^2 \geq 0$ и $(|A_1| + |A_2|)^2 \leq 0$, что может иметь место, если $|A_1| = |A_2|$. Последнее условие можно интерпретировать как $A_1 = A_2$ и $A_2 = -A_1$ если $A_1 \geq 0$ или как $A_2 = -A_1$ либо $A_2 = A_1$ если $A_1 \leq 0$. В общем случае выполнение требования $-1 \leq R \leq 1$ сводится к двум условиям – либо $A_2 = A_1$, либо $A_2 = -A_1$ справедливым при произвольном A_1 .

Колебательный процесс основания в общем случае $A_2 = A_1$, $\varepsilon, \beta > 0$ описывается выражением (23) в котором $\phi = 0$ и $U_d = 2A_1 \exp(-\beta t) \cos(\omega t)$, т.е.

$$\ddot{U} = A_1 \exp(-\beta t) \cdot (\sin(\theta_1 t) + \sin(\theta_2 t)), \quad (26)$$

В случае $A_2 = -A_1$, $\varepsilon, \beta > 0$ в выражении (23) фаза ϕ равна $\phi = -\pi/2$, а амплитуда U_d определяется выражением $U_d = 2A_1 \exp(-\beta t) \sin(\omega t)$

$$\ddot{U} = A_1 \exp(-\beta t) \cdot (\sin(\theta_1 t) - \sin(\theta_2 t)), \quad (27)$$

В общем случае, когда β_1 не равно β_2 нули ускорения основания находятся из двух уравнений (24), где $\phi(t)$ определяется формулой $\operatorname{tg} \phi = D_2/D_1$. Условие $U_d = 0$ записывается в виде уравнения (25) где, теперь, $R = R_\beta$, $R_\beta = (B_1^2 + B_2^2) / (2B_1B_2)$ – функция параметров $B_1 = A_1 \exp(\beta - t/2)$, $B_2 = A_2 \exp(-\beta - t/2)$ в которых $\beta = \beta_2 - \beta_1$. Для существования корней уравнения (25) требуется условие $|R_\beta| \leq 1$, или, что то же самое $-1 \leq R_\beta \leq 1$. В общем случае выполнение требования $|R_\beta| \leq 1$ сводится к двум условиям – либо $B_2 = B_1$ либо $B_2 = -B_1$. В первом случае $A_2 = A_1 \exp(\beta - t)$ выполнение которого означает, что ускорение основания определяется формулой (26). Во втором случае $A_2 = -A_1 \exp(\beta - t)$ и ускорение основания определяется формулой (27).

Как следствие, предположение о том, что бигармоническое квазипериодическое сейсмическое воздействие (22) должно иметь переменную разницу между нулевыми значениями ускорения приводит к рассмотренному ранее случаю $\beta_1 = \beta_2 = \beta$ и к значениям параметров $B_2 = B_1$ либо $B_2 = -B_1$ т.е. к ускорениям основания в виде (26) или (27). При этом, на частоты $\theta_{1,2}$ не налагается никаких ограничений, но если они мало отличаются друг от друга, то ускорения (26)-(27) можно рассматривать как затухающие биения основания – основные колебания с относительно малыми периодами $4\pi / (\theta_1 + \theta_2)$, охватываемыми затухающими огибающими с большими периодами $4\pi / |\theta_1 - \theta_2|$. В связи с этим, экстремальные значения (спектр) ускорений основания можно приближенно определять экстремальными значениями амплитуды U_d , которые располагаются между нулями ускорений основания.

Но, возникает вопрос о том, какие будут колебания основания если эти частоты совпадают, т.е. при $\theta_2 \rightarrow \theta_1$. В случае представления колебаний основания в форме (26) и $\theta_2 = \theta_1 = \theta$, получаем $\omega_- = 0$, $\omega_+ = \theta$ и $\ddot{U} = A \exp(-\beta t) \cdot \sin \theta t$, $A = 2A_1$, а в случае (27) $\ddot{U} = 0$. Т.е., в случае независимости параметров

$\theta_{1,2}$, $A_{1,2}$, $\beta_{1,2}$ между собой при совпадении частот $\theta_{1,2}$ получается случай, исследованный И.Л. Корчинским [11].

Иные выводы получаются, если коэффициенты $A_{1,2}$ в (22) зависят от частот $\theta_{1,2}$. Например, если положить $\beta_1 = \beta_2 = \beta$ и $A_1 = \theta_1 A_u / (\theta_1^2 - \theta_2^2)$, $A_2 = -\theta_2 A_u / (\theta_1^2 - \theta_2^2)$, где коэффициент A_u не зависит от частот $\theta_{1,2}$, то получим формулу

$$\ddot{U} = -A_u \cdot \exp(-\beta t) (\theta_2 \sin(\theta_1 t) - \theta_1 \sin(\theta_2 t)) / (\theta_1^2 - \theta_2^2) \quad (28)$$

Эта формула совпадает с формулой $\ddot{x} = -\kappa^2 x$ из (17) для ускорения колебаний поверхностного слоя, если $\beta = \varepsilon$, $A_u = -\kappa 2Q/\phi$, $\theta_1 = \phi$, $\theta_2 = \theta$. Переходя к пределу в этой формуле при $\theta \rightarrow \theta_1$ и обозначая $\theta_1 = \theta$ получим резонансную формулу для \ddot{x} из (18).

Если положить $A_1 = A_2 = r \cdot A_u$, где $r = (\theta_1^2 + \theta_2^2) / (\theta_1^2 - \theta_2^2)$, то переходя к пределам в формулах (26), (27) при $\theta_2 \rightarrow \pm \theta_1$ и обозначая $\theta_1 = \theta$, $\tau = \theta t$ получим

$$\ddot{U} = \pm A_u \cdot \tau \cdot \exp(-\beta t) \cdot \cos \tau, \quad (29)$$

Если в формуле (1) для сейсмических колебаний грунта взять три слагаемых и положить $A_1 = A_2 = r \cdot A_u$, $A_3 = A_u$, $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta$ и $\theta_3 = -\theta_2$ то получим $\ddot{U} = A_u \cdot \exp(-\beta t) [r \cdot (\sin(\theta_1 t) + \sin(\theta_2 t)) + \sin(\theta_2 t)]$

Переходя в этой формуле к пределам при $\theta_2 \rightarrow \pm \theta_1$, получим формулу

$$\ddot{U} = A_u \cdot \exp(-\beta t) \cdot (\pm \tau \cdot \cos \tau - \sin \tau), \quad (30)$$

которая при $\varepsilon = \beta$ с точностью до знака совпадает с формулой (18) при $\theta_2 \rightarrow \pm \theta_1$.

Представляют интерес нули и экстремумы резонансных колебаний (18) поверхностного слоя равно как нули и экстремумы колебаний вдали от резонанса определяемых формулой (19).

Переходя к определению спектра ускорений с помощью формулы (18) заметим, что здесь экстремумы ускорения определяются моментами времени, для которых скорость смещений равна нулю, т.е. уравнением

$$\operatorname{tg} \tau = \tau / (1 - q\tau), \quad q = \phi/\varepsilon, \quad \tau = \phi t \quad (31)$$

Левая часть уравнения (31) периодична с периодом $T = \pi$, область определения этой функции представляет бесконечное число открытых интервалов $(-\pi/2 + m\pi, \pi/2 + m\pi)$, где m – целое число, $m = 0, 1, 2, \dots$. В каждом из этих интервалов функция $\operatorname{tg} \tau$ монотонно возрастает и имеет нуль в точке $x = m\pi$, которая одновременно является точкой перегиба. В точках $\pi/2 + m\pi$ эта функция имеет неограниченные разрывы.

Для определения корней уравнения (31) в каждом из интервалов определения периодической функции $\operatorname{tg} \tau$ с использованием метода последовательных приближений получим для каждого m итерационный процесс

$$\tau_{k+1} = \operatorname{arctg}(\psi(\tau_k)) + m\pi, \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (32)$$

где $\psi(\tau) = \tau / (1 - q\tau)$ начиная с $m = 0$ и зависящий от единственного параметра q . Следует отметить, что при $q = 0$ получается итерационный процесс для корней уравнения $\operatorname{tg} \tau = \tau$, определяющего нули смещений и ускорений (18).

Полагая здесь $q = 20,94$ ($\varepsilon = 0,048\phi$) принятым И.Л. Корчинским в расчетах [11] найдем, что наименьший корень уравнения (31) $\tau_0 = 0$, а первый корень составляет $\tau_1 = 3,09$.

Следующие за τ_1 корни τ_m ввиду большого значения параметра q определяются по формуле $\tau_{m+1}=\tau_m+\pi$, где $m=1,2,\dots$. Экстремальные значения x_k смещений (18) вычисленные со знаком плюс для этих корней с точностью до множителя $Q/(2\phi^2)$ составляют при $x_0=0$:

$x_1=2,71, x_2=-4,66, x_3=6,02, x_4=-6,90, x_5=7,42, x_6=-7,66, x_7=7,70, x_8=-7,58$

Таким образом относительные экстремальные смещения с четными номерами сначала возрастают, достигая максимума $x_7=7,70$ при $t=21,94$ а потом начинают убывать, оставаясь положительными. Смещения с отрицательными номерами сначала убывают, достигая минимума $x_6=-7,66$ при $t=18,80$ а затем начинают возрастать, оставаясь отрицательными.

Экстремальные относительные ускорения $\ddot{x}(t)=-k^2x(t)$ достигают минимума $\ddot{x}_7=-3,95Q$ при $t=21,94$ ($t=3,49T_0$) и максимума $\ddot{x}_6=3,83Q$ при $t=18,80$ ($t=3T_0$).

Таким образом, колебания поверхностного слоя при воздействии на него сейсмического ускорения (9) в резонансном случае описываются формулой (18), а величины экстремальных амплитуд сейсмического смещения и ускорения по абсолютной величине сначала возрастают, достигая максимума, а затем начинают убывать, стремясь к нулю при $t \rightarrow \infty$. Это означает, что спектр смещений в начальном периоде имеет один максимум и один минимум.

Как отмечено выше, нули смещений и ускорений (18) определяются корнями известного уравнения $\tan t = t$, где t -собственное время, $t = \omega t$ определяющее моменты времени $t_k = \tau_k / \omega$, $k=0,1,2,\dots$ для которых смещения (18) обращаются в нуль. В частности, первые корни этого уравнения равны $\tau_0=0, \tau_1=4,49, \tau_2=7,73, \tau_3=10,90$ из чего следует, что разность между соседними корнями, обнуляющими смещение, непостоянна и убывает, стремясь к периоду π при больших номерах k , т.е. $\tau_{k+1} - \tau_k \rightarrow \pi$ при $k \rightarrow \infty$.

Полученный одноэкстремальный спектр смещений и ускорений основания соответствует рекомендациям Г. Хазузера [11] но, как правило, инструментальные записи колебаний оснований и метод М. Био оценки сейсмических сил с использованием инструментальных записей показывает многоэкстремальный характер спектра ускорений. Например, акселерограммы и сейсмограммы Спитакского землетрясения, записанные в Ереване и на станции Графенберг (Германия) выявили два пика амплитуд с отношением их для сейсмограммы около 0.8. Но, по мнению автора [18], на территории Армении произошло не одно, а два землетрясения, с худшим с точки зрения безопасности людей промежутком времени между ними – всего 4 мин. и 21 сек. Последовательность процесса возникновения Спитакского землетрясения состояла из главного толчка, одного мощного афтершока сразу после главного толчка через 4 мин. и 21 сек. и сотен дополнительных афтершоков.

Для получения многоэкстремального спектра ускорений основания представления входного сейсмического воздействия в виде (9) недостаточно, для этого в формуле (9) требуется заменить постоянный параметр Q на полином степени не менее 1, или допустить воздействие нескольких толчков, идущих непосредственно друг за другом.

В итоге, в качестве особого воздействия выделяется бигармоническое квазипериодическое воздействие (28) с

малой разницей между частотами $\theta_{1,2}$ и имеющее переменную разницу между нулевыми значениями ускорения. Аварийным сейсмическим воздействием является резонансное воздействие, представленное формулами (18), (29), (30) выделяющееся из особых сейсмических воздействий совпадением частот $\theta_{1,2}$.

Для сложных процессов, представляемых инструментальными записями колебаний поверхности грунта при землетрясении, выразить ускорение \ddot{U} простой гармонической функцией типа (9) невозможно, для этого требуется использовать модулируемые периодические и почти периодические функции. Для приближенного решения этой задачи можно представить \ddot{U} в виде более простых функций, таких как в формуле (9) с заменой гармонической функции $\sin(\theta t)$ на периодическую функцию $S_\theta(t)$ с произвольным периодом $T=2\pi/\theta$ представимую рядом Фурье

$$S_\theta(t) = a_0/2 + \sum (a_k \cos(k\theta t) + b_k \sin(k\theta t)) \quad (33)$$

в промежутке от 0 до T и являющуюся результатом суперпозиции гармонических функций $A_k \sin(k\theta t + e_k)$ где $A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}$, $e_k = \arctg(a_k/b_k)$.

Особый интерес представляет собой периодическая функция $S_\theta(t)$ равная 1 в полупериоде $0 < t < T/2$ и равная -1 в полупериоде $T/2 < t < T$. Это нечетная функция и для нее ряд Фурье составляет

$$S_\theta(t) = (4/\pi) (\sin(\theta t) + \sin(3\theta t)/3 + \sin(5\theta t)/5 + \dots) \quad (34)$$

Если в качестве ускорения основания вместо формулы (9) положить $\ddot{U} = -U_k(t) \cdot S_\theta(t)$, то получим уравнение колебаний сооружения в виде (8) с положительной правой частью $U_k(t) \cdot S_\theta(t)$, где $U_k(t)$ представляет собой степенную модулирующую функцию (2) при $A=Q$ и $k=0,1,2,\dots$

При $\theta \rightarrow \phi$ в колебательной системе возникает резонанс, когда частота ускорений основания совпадает с частотой собственных колебаний сооружения и (8) принимает вид нелинейного относительно скорости \dot{x} уравнения

$$\ddot{x} + 2\epsilon \dot{x} + k^2 x = U_k(t) \cdot \text{sign}(\dot{x}) \quad (35)$$

Это уравнение при $\epsilon = \beta = 0$ было впервые введено для нелинейной восстанавливающей силы в работе [19] и исследовалось в линейном случае при $\beta = k = 0$ на примере колебаний диссипативной системы с постоянным трением в [20].

Уравнение (35) при $\beta = 0$ и $k = 0$ представляет собой автоколебательную систему [16, 20-22], когда могут происходить незатухающие колебания с однозначно определенной и зависящей от свойств самой колебательной системы, а не от начальных условий амплитудой.

Нелинейность колебаний основания в виде (35) основана на том, что правую часть уравнения (8) можно рассматривать как некоторое сейсмическое ускорение, которое увеличивает кинетическую энергию колебаний сооружения тогда и только тогда, когда его знак совпадает со знаком скорости колебаний (острый резонанс по [19]).

Для первого типа землетрясений, когда происходит движение грунта почти точно в одном направлении, причем в одну сторону более сильное, чем в другую, в качестве ускорения основания можно выбрать $\ddot{U} = -U_k(t) \cdot S_g(t)$, где

$$S_g(t) = 1/2 + (2/\pi) (\sin(\theta t) + \sin(3\theta t)/3 + \sin(5\theta t)/5 + \dots) \quad (36)$$

Этот ряд описывает периодическую ступенчатую функцию равную 1 в полупериоде $0 < t < T/2$ и равную 0 в полупериоде $T/2 < t < T$. При $\theta \rightarrow \phi$ в колебательной системе возникает резонанс и уравнение (8) записывается в виде нелинейного уравнения

$$\ddot{x} + 2\epsilon\dot{x} + \kappa^2 x = U_k(t) \cdot \eta(\dot{x}) \quad (37)$$

Это уравнение также представляет собой автоколебательную систему при $\beta=0$ и $\kappa=0$ исследовано на примере идеализированного лампового генератора в [20]. При $\beta > 0$ характер возникающих нелинейных аварийных колебаний уравнения (37) равно как и уравнения (36) должен быть дополнительно исследован. В качестве метода исследования может быть применен метод припасовывания, либо метод разложения решения в тригонометрические ряды использованные в [20].

Выводы и предложения

1. Предложенная И.Л. Корчинским в виде (1) аппроксимация колебаний поверхности грунта в виде суммы затухающих синусоид при равенстве параметров затухания представляет собой произведение затухающей экспоненциальной функции и отрезка ряда Фурье почти периодической функции с конечным спектром, допускающим существование конечных точек сгущения спектра, но не является резонансным колебанием.
2. Для аппроксимации инструментальных записей колебаний поверхности грунта, имеющих переменные амплитуды и периоды, требуется представление сейсмических воздействий в виде модернизированной формулы (1) как произведения модулирующей затухающей функции на почти периодическую функцию, записанную в виде отрезка ряда Фурье из тригонометрических полиномов с конечным спектром, имеющим точки сгущения, и коэффициентами Фурье, зависящими от некратных частот колебаний в составе спектра.
3. Из модернизированной формулы (1), описывающей ре-

зонансные колебания, следует возможность описания одноэкстремального характера максимальных сейсмических перемещений и нагрузок, действующих на сооружение. Кроме того, модернизация формулы (1) обеспечивает выделение особых и аварийных сейсмических воздействий, требуемое для обеспечения механической безопасности Федеральным Законом №384-ФЗ.

4. Учитывая, что линейная динамическая система реагирует лишь на те части спектра внешнего воздействия, частоты которых близки к собственной частоте колебаний сооружения, особое воздействие можно представить как колебания, в которых основные несущие частоты близки к частоте собственных колебаний сооружения, а сами ускорения поверхности грунта можно рассматривать как затухающие биения – основные колебания с большими частотами, охватываемые затухающими огибающими с малыми частотами.
5. Аварийные сейсмические нагрузки выделяются из особых сейсмических нагрузок совпадением близких частот в составе спектра с собственной частотой колебаний сооружения и представлением их в виде резонансных колебаний типа (18),(29),(30) или в виде правых частей уравнений нелинейных колебаний (35),(37).
6. Для установленных в СП 14.13330.2018 двух уровнях РЗ и КЗ интенсивности сейсмического воздействия можно использовать как нерезонансные колебания поверхности грунта (как биения, так и колебания вдали от резонанса типа (17)) для РЗ, так и как резонансные колебания типа (18) для КЗ. Для РЗ могут использоваться синтезированные нерезонансные сейсмограммы и акселерограммы различных грунтовых оснований, полученные в работе [14], а для КЗ требуется доработка методики работы [14] для получения синтезированных резонансных акселерограмм. Использование как нерезонансных, так и резонансных сейсмограмм и акселерограмм может служить основой для определения коэффициента K_0 из [3].

Литература

1. ГОСТ 27751–2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения.
2. СП 296.1325800.2017 Здания и сооружения. Особые воздействия. М.: Стандартинформ. 2017.
3. СП 14.13330.2018 «СНиП II-7-81* Строительство в сейсмических районах».
4. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. «СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия».
5. Ведяков И.И., Востров В.К. Аварийные расчетные ситуации и аварийные сейсмические нагрузки // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2016. №5. С.18-26.
6. Ведяков И.И., Востров В.К. Принцип максимума Л.С. Понтрягина и аварийные сейсмические нагрузки // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2018. №1. С.33-37.
7. Айзенберг Я.М. Строительная нагрузка против стихии // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2018. №1. С.51-59.
8. Николаенко Н.А. Вероятностные методы динамического расчета машиностроительных конструкций. М.: Машиностроение. 1967. 368 с.
9. Болотин В.В. Случайные колебания упругих систем. М: Наука. 1979. 335 с.
10. Ньюмарк Н., Розенблюэт Э. Основы сейсмостойкого строительства. М.: Стройиздат. 1980. 344 с.
11. Поляков С.В. Сейсмостойкие конструкции зданий (Основы теории сейсмостойкости). М.: Высшая школа. 1983. 304 с.
12. Бирбрайер А.Н. Расчет конструкций на сейсмостойкость. С-Пб.: Наука. 1998. 256 с.
13. Киоджи Сюэиро. Инженерная сейсмология. Лекция 2//Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2018. №5. С.49-63.
14. Хачиян Э.Е., Левонян А.А. Метод прогнозирования синтетических сейсмограмм и акселерограмм различных грунтовых оснований при сильных землетрясениях//Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2018. №2. С.14-25.
15. Тяпин А.Г. Современные нормативные подходы к расчету ответственных сооружений на сейсмические воздействия. М.: Издво АСВ. 2018. 518 с.
16. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле. М.: Наука. 1967. 444 с.
17. Деч Г. Руководство к практическому применению преобразования Лапласа и Z-преобразования. М.: Наука. 1971. 288 с.
18. Хачиян Э.Е. Спитакское землетрясение 7 декабря 1988 года: основные сейсмологические характеристики и анализ разрушительных последствий (к тридцатилетию землетря-

сения) // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2018. №4. С.9-30.
19. Леонов М.Я. Острый резонанс за пределом упругости при сейсмических колебани-

ях простейших сооружений // Известия АН Киргизской ССР. 1974. №5. С.61-66.
20. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. М.: Наука. 1981. 568 с.

21. Каудерер Г. Нелинейная механика. М.: Изд-во иностр. лит-ры. 1961. 777 с.
22. Магнус К. Колебания. Введение в исследование колебательных систем. М.: Мир. 1982. 304 с.

References

1. GOST 27751–2014 Nadezhnost' stroitel'nykh konstruksij i osnovanij. Osnovnye polozeniya. (In Russian).
2. SP 296.1325800.2017 Zdaniya i sooruzheniya. Osobyе vozdeystviya. M.: Standartinform. 2017. (In Russian).
3. SP 14.13330.2018 «SNiP II-7-81* Stroitel'stvo v sejsmicheskikh rajonakh».
4. SP 20.13330.2016 Nagruzki i vozdeystviya. «SNiP 2.01.07-85* Nagruzki i vozdeystviya». (In Russian).
5. Vedyakov I.I., Vostrov V.K. Avarijnye raschetnye situatsii i avarijnye sejsmicheskie nagruzki. Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij [Earthquake engineering. Constructions safety]. 2016. №5. Pp.18-26. (In Russian).
6. Vedyakov I.I., Vostrov V.K. Printsip maksimuma L.S. Pontryagina i avarijnye sejsmicheskie nagruzki. Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij [Earthquake engineering. Constructions safety]. 2018. №1. Pp.33-37.
7. Eizenberg J.M. Stroitel'naya nauka protiv stikhii. Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij [Earthquake engineering. Constructions safety]. 2018. №1. Pp.51-59. (In Russian).
8. Nikolaenko N.A. Veroyatnostnye metody dinamicheskogo rascheta mashinostroitel'nykh konstruksij. M.: Mashinostroenie. 1967. 368 p. (In Russian).
9. Bolotin V.V. Sluchajnye kolebaniya uprugikh sistem. M.: Nauka. 1979. 335 p.
10. N'yumark N., Rozenblyueht Eh. Osnovy sejsmostojkogo stroitel'stva. M.: Strojizdat. 1980. 344 p. (In Russian).
11. Polyakov S.V. Sejsmostojkie konstruksii zdaniy (Osnovy teorii sejsmostojkosti). M.: Vysshaya shkola. 1983. 304 s. (In Russian).
12. Birbrajer A.N. Raschet konstruksij na sejsmostojkost' S-Pb.: Nauka. 1998. 256 p.
13. Kiodzhi Siuehiro. Inzhenernaya sejsmologiya. Lektsiya 2. Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij [Earthquake engineering. Constructions safety]. 2018. №5. Pp.49-63. (In Russian).
14. Khachiyani E.E., Levonyan A.A. Metod prognozirovaniya sinteticheskikh sejsmogramm i akselerogramm razlichnykh gruntovykh osnovanij pri sil'nykh zemletryasenyakh. Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij [Earthquake engineering. Constructions safety]. 2018. №2. Pp.14-25. (In Russian).
15. Tyapin A.G. Sovremennye normativnye podkhody k raschetu otvetstvennykh sooruzhenij na sejsmicheskie vozdeystviya. M.: Izd-vo ASV. 2018. 518 p. (In Russian).
16. Timoshenko S.P. Kolebaniya v inzhenernom dele. M.: Nauka. 1967. 444 p. (In Russian).
17. Dech G. Rukovodstvo k prakticheskomu primeniyu preobrazovaniya Laplasa i Z-preobrazovaniya. M.: Nauka. 1971. 288 p. (In Russian).
18. Khachiyani E.E. Spitakskoe zemletryasenie 7 dekabrya 1988 goda: osnovnye sejsmologicheskie kharakteristiki i analiz razrushitel'nykh posledstviy (k tridtsatiletyu zemletryaseniya). Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij [Earthquake engineering. Constructions safety]. 2018. №4. Pp.9-30. (In Russian).
19. Leonov M.YA. Ostryy rezonans za predelom uprugosti pri sejsmicheskikh kolebaniyakh prosteyshikh sooruzhenij. Izvestiya AN Kirgizskoy SSR. 1974. №5. Pp.61-66. (In Russian).
20. Andronov A.A., Vitt A.A., Khajkin S.EH. Teoriya kolebanij. M.: Nauka. 1981. 568 p. (In Russian).
21. Kauderer G. Nelinejnaya mekhanika. M.: Izd-vo inostr. lit-ry. 1961. 777 p.
22. Magnus K. Kolebaniya. Vvedenie v issledovanie kolebatel'nykh sistem. M.: Mir. 1982. 304 p. (In Russian).

Для цитирования: Востров В.К. Линейные и нелинейные колебания оснований с периодическими и почти периодическими сейсмическими воздействиями // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2019. № 2. С. 33-42.

For citation: Vostrov V.K. Linear and Nonlinear Oscillations of Bases with Periodic and almost Periodic Seismic Effects. Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij [Earthquake engineering. Constructions safety], 2019, no. 2, pp. 33-42. (In Russian).

Уважаемые коллеги!

Информируем Вас о выходе в свет сетевого издания научно-технического журнала «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений» «Earthquake engineering. Constructions safety».

Сетевое издание журнал «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений» / «Earthquake engineering. Constructions safety» зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации средства массовой информации: ЭЛ № ФС 77-72754 от 17.05.2018 года. ISSN 2618-9283 (online)

Сайт журнала: www.seismoconstruction.ru

Периодичность выпуска: 6 номеров в год.

Подписка на журнал оформляется на сайте. Стоимость подписки: 6 номеров-7200 рублей, 3 номера-3600 рублей. Возможно приобретение отдельных статей.



З.А. Альдреби
аспирант

**Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,
Россия, г. Санкт-Петербург**

УДК 699.841

Методика расчета культовых сооружений с учетом их заполняемости применительно к мечетям Ближнего Востока

Аннотация: В статье рассмотрена методика расчета зданий мечетей с учетом возможного скопления большого количества людей при проведении культовых мероприятий. Получено распределение количества людей в процессе эксплуатации мечети и установлены коэффициенты сочетания сейсмической

нагрузки и количества людей, присутствующих в мечети. Расчеты коэффициентов сочетаний выполнены для сейсмически опасного района территории Сирийской Арабской Республики. Выполнен расчет экономических и социальных рисков. Приведен пример расчета Великой мечети в г. Алеппо.

Ключевые слова: культовые сооружения, сейсмостойкость, число людей в сооружении, землетрясение, сочетание, Великая мечеть г. Алеппо.

Aldrebi Ziad A.

**Postgraduate, Emperor Alexander I St.Petersburg State Transport University, department of «Buildings»,
Saint-Petersburg, Russia**

The Method of Calculation of Religious Buildings, Taking into Account their Occupancy in Relation to the Mosques at the Middle East

Abstract: This article discusses the method of calculating mosques, taking into account the possible accumulation of a large number of people during religious events. The distribution of the number of people during the operation of the mosque is obtained and the coefficients of the combination of seismic load and the number of people present in

the mosque are established. Combination coefficients were calculated for a seismically dangerous region of territory of the Syrian Arab Republic. The calculation of economic and social risks was also performed. An example of the calculation of the Great Mosque in the city of Aleppo is given.

Keywords: Religious buildings, seismic resistance, number of people in the building, earthquake, combination, the Great Mosque of Aleppo.

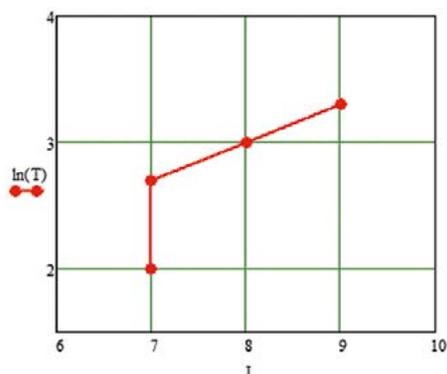


Рисунок 1 — Зависимость $\ln(T_{eq})$ от силы землетрясения для ситуационной сейсмичности в городе Алеппо, Сирия при $I_A=7 T_A=100$ лет, $I_B=7 T_B=500$ лет, $I_C=8 T_C=1000$ лет, $I_D=9 T_D=2000$ лет



Рисунок 2 — Великая мечеть Омейядов в г.Алеппо, Сирия (вид с севера)

На Ближнем Востоке эксплуатируется значительное количество мечетей. Большинство из них расположено в сейсмически опасных районах. Для рассматриваемых сооружений характерно наличие большого скопления людей во время культовых мероприятий. При этом повреждение мечети от землетрясения может привести к одновременной гибели большого количества людей. Например, строящаяся мечеть в Махачкале вмещает во время намаза до 50000 человек. Великая мечеть Омейядов в г. Алеппо вмещает около 25000 человек. Аналогичные цифры характерны и для других монументальных культовых сооружений. При проектировании и эксплуатации такого рода сооружений необходимо ограничивать риски ущерба и гибели людей. Для этого, в первую очередь, возникает необходимость оценить возможные сочетания числа людей в мечети и силы землетрясения. Мечеть заполняется полностью не более 10 % времени и маловероятно, что в этот интервал произойдет самое сильное землетрясение.

Для оценки необходимого коэффициента сочетаний рассматриваются равновероятные пары (число посетителей, сила землетрясения) [1].

Вероятность неблагоприятного события равна произведению двух вероятностей: вероятности P_{eq} возникновения землетрясения силой более чем I и вероятности P_{hum} наличия людей в количестве более, чем N . Эта вероятность должна ограничиваться некоторой допустимой вероятностью $[P]$

$$P_{eq} \cdot P_{hum} = [P] \quad (1)$$

$$P_{hum} = \frac{[P]}{P_{eq}} \quad (2)$$

Вероятность допустимого отказа назначается в зависимости от приемлемого риска на рассматриваемой территории. Чем богаче государство и собственники, тем меньше принимают вероятность отказа [2-5]. Ниже принято $[P]=1/2000$, что соответствует наиболее распространенным решениям при назначении допустимых рисков.

Вероятность P_{eq} возникновения землетрясения силой I баллов связана с повторяемостью этого события T_{eq} или сотрясаемостью $L=1/T_{eq}$.

В сейсмологии при описании повторяемости землетрясений [6] используют экспоненциальную связь между силой

и повторяемостью сотрясений заданного балла:

$$\ln|T_{eq}(I)| = aI + b, \quad (3)$$

где, a и b – константы, зависящие от сейсмологической опасности площадки строительства.

На основании данных сейсмического районирования для Сирии, включающих 4 зоны сейсмического районирования A, B, C, D с повторяемостью землетрясений $T=100, 500, 1000$ и 2000 лет соответственно, был построен график зависимости $\log(T)$ от силы землетрясения I (рис. 1).

По заданной повторяемости воздействия и ситуационной сейсмичности площадки расположения мечети был выполнен расчет пиковых ускорений A , вероятности возникновения землетрясения в течении года P и расчетной балльности I при средней повторяемости расчетного землетрясения T_{eq} равным 100, 500, 1000 и 2000 лет. Преобладающий период воздействия принят равным $T=0,4$ сек.

Применительно к условиям для города Алеппо ситуационная сейсмичность составляет $I_A=7, I_B=7, I_C=8$ при $T_A=100, T_B=500$ и $T_C=1000$ лет соответственно. Результаты расчета позволили найти значения пиковых ускорений PGA , в зависимости от вероятности их превышения. Расчет выполнен по программе определения пиковых ускорений сейсмического воздействия [7], разработанной под руководством профессора Уздина А.М. Результаты расчетов представлены на рисунке 3.

Далее рассмотрена задача сочетания числа людей и силы сейсмического воздействия применительно к Великой мечети Омейядов в г. Алеппо. Великая мечеть в г. Алеппо в Сирии (рис.2) является одним из выдающихся памятников архитектуры культового значения в Сирии [9,10]. Провинция Алеппо относится к сейсмически активным районам [11] с ситуационной сейсмичностью $I_A=7, I_B=7, I_C=8$. План здания прямоугольный с прямоугольным внутренним двором размерами 105×78 м. Мечеть являет собой одноэтажное здание с множеством колонн, которые образуют галереи вокруг внутреннего двора мечети. На северо-западной стороне находится минарет квадратной формы размерами около $4,8 \times 4,8$ м, высотой около 45 метров. В мечети имеются множественные повреждения строительных конструкций в результате военных действий и прошлых землетрясений. Минарет был полностью разрушен в 2013 году в результате военных действий.

определение ускорений - OPUS-CALCACC

Срок службы сооружения Tlife= 1

Ситуационная сейсмичность
Ia = 7 Ib = 7 Ic = 8

Средняя повторяемость Расчетного Землетрясения в годах T= 100

Преобладающий период воздействия Teq(сек)= 0,4

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Вероятность землетрясения при заданной повторяемости P= 0,009950166

Расчетная балльность I= 6

ПИКОВОЕ УСКОРЕНИЕ A= 0,4007046222686

определение ускорений - OPUS-CALCACC

Срок службы сооружения Tlife= 1

Ситуационная сейсмичность
Ia = 7 Ib = 7 Ic = 8

Средняя повторяемость Расчетного Землетрясения в годах T= 500

Преобладающий период воздействия Teq(сек)= 0,4

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Вероятность землетрясения при заданной повторяемости P= 0,001998001

Расчетная балльность I= 6,8228163719177

ПИКОВОЕ УСКОРЕНИЕ A= 0,8576558828353

определение ускорений - OPUS-CALCACC

Срок службы сооружения Tlife= 1

Ситуационная сейсмичность
Ia = 7 Ib = 7 Ic = 8

Средняя повторяемость Расчетного Землетрясения в годах T= 1000

Преобладающий период воздействия Teq(сек)= 0,4

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Вероятность землетрясения при заданной повторяемости P= 0,000999500

Расчетная балльность I= 7,1771841049194

ПИКОВОЕ УСКОРЕНИЕ A= 1,1926332712173

определение ускорений - OPUS-CALCACC

Срок службы сооружения Tlife= 1

Ситуационная сейсмичность
Ia = 7 Ib = 7 Ic = 8

Средняя повторяемость Расчетного Землетрясения в годах T= 2000

Преобладающий период воздействия Teq(сек)= 0,4

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Вероятность землетрясения при заданной повторяемости P= 0,000499874

Расчетная балльность I= 7,5315518379211

ПИКОВОЕ УСКОРЕНИЕ A= 1,6579222679138

Рисунок 3 — Расчет пиковых ускорений A, вероятности землетрясений при заданной повторяемости P и расчетной балльности I: а – при средней повторяемости Расчетного Землетрясения T=100 лет; б – при T=500; в – при T=1000 лет; г – при T=2000 лет

Для оценки вероятности количества людей в мечети была собрана статистика, учитывающая число людей N, посещающих мечеть каждый день и по праздникам. Были выявлены дни, на которые приходится пиковое число посетителей N_{max}. При этом математическое ожидание числа людей $\bar{D} = 1088$ чел., а среднеквадратичное отклонение $\sigma = 775$.

Для описания функции распределения заполненности мечети было принято β -распределение.

Функция плотности вероятности β -распределения, имеет вид [8]:

$$p(x) = \frac{x^{\nu} \cdot (1-x)^{\mu}}{B(\nu, \mu)}, \quad (4)$$

где μ и ν – параметры распределения, $B(\nu, \mu)$ – β -функция.

Параметры распределения могут быть вычислены по формулам (5) и (6), если известны математическое ожидание

\bar{D} и дисперсия σ^2 случайной величины:

$$\nu = \frac{1 - \bar{D} - V \cdot \bar{D}}{V} \quad (5)$$

$$\mu = \frac{\nu}{D} - \nu \quad (6)$$

где V – коэффициент вариации:

$$V = \frac{\sigma^2}{R^2}, \quad \text{где } \sigma^2 = (0.2 \div 0.4) \cdot R, \quad (7)$$

Для указанных выше значений математического ожидания \bar{D} и дисперсии σ^2 ф.п.р. числа людей в мечети (рис.4). Функция задана на отрезке от 0 до 1, где 0 это полное отсутствие людей, а 1-полная заполненность мечети.

Далее, в соответствии с формулами (1,2) рассматриваются равновероятные пары (число людей N, сила землетрясения I). Результаты расчетов сведены в таблицу 1. По значе-

Таблица 1 — Коэффициенты сочетания для землетрясений и людей

| Коэффициент сочетания для силы землетрясения | Коэффициент сочетания для числа людей | Расчетная интенсивность, в баллах | Пиковое ускорение грунта, м/с ² | Сотрясаемость | Вероятность возникновения землетрясения | Вероятность наличия людей | Число людей |
|--|---------------------------------------|-----------------------------------|--|---------------|---|---------------------------|-------------|
| K_{eq} | K_{hum} | I | PGA | L | P_{eq} | P_{hum} | N |
| 0,241 | 1 | 6 | 0,4 | 1/100 | 0,0005 | 0,05 | 25000 |
| 0,517 | 0,4 | 6,823 | 0,858 | 1/500 | 0,0001 | 0,25 | 10000 |
| 0,717 | 0,12 | 7,177 | 1,19 | 1/1000 | 0,002 | 0,5 | 3000 |
| 1 | 0,002 | 7,531 | 1,66 | 1/2000 | 0,01 | 1 | 50 |

Таблица 2 — Значения социальных потерь (социальная уязвимость) в зависимости от класса сейсмостойкости K_s и интенсивности землетрясения I

| Класс сейсмостойкости K_s , баллы | Интенсивность I, баллы, (A_1 , м/с ²) | | | | |
|-------------------------------------|--|-------|-------|-------|--------|
| | 6 (0,5) | 7 (1) | 8 (2) | 9 (4) | 10 (8) |
| 6 | 0 | 0,1 | 1 | 8 | 15 |
| 7 | 0 | 0 | 0,1 | 1 | 8 |
| 8 | - | 0 | 0,05 | 0,55 | 4,5 |
| 9 | - | 0 | 0 | 0,1 | 1 |

Таблица 3 — Значения экономических, социальных и суммарных рисков для $K_s = 7$

| Класс сейсмостойкости $K_s = 7$ | Расчетная интенсивность, в баллах | Экономический риск | Социальный риск | Суммарный риск |
|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------|-----------------|----------------|
| | I | R_{ec} | R_{soc} | R_{sum} |
| | 6 | 0,0084 | 0,00 | 0,0084 |
| | 6,823 | 0,0370 | 0,2566 | 0,2936 |
| | 7,177 | 0,0371 | 1,14 | 1,1771 |
| | 7,531 | 0,0348 | 0,821 | 0,8558 |

ниям K_{eq} и K_{hum} построен график зависимости между ними (рис.5).

Вообще говоря, по данным таблицы 1 и графика (рис.5) возникает необходимость проведения нескольких расчетов на действие равновероятных пар (N,I). Сильные землетрясения вызывают большой объем повреждений, но при этом становится менее вероятным скопление большого числа посетителей мечети. Выбор наиболее опасного варианта может основываться на теории риска. При этом оценивается математическое ожидание E затрат при эксплуатации и усилении объекта [13]

$$E = -I_{inv} - f \cdot (R_{ec} + R_{soc}) \quad (8)$$

Здесь

I_{inv} – инвестиции на усиление сооружения,

R_{ec} – экономический сейсмический риск,

R_{soc} – социальный сейсмический риск.

Величина годового экономического риска оценивается в соответствии с известными разработками [12-13] по формуле

$$R = \sum_{I=5}^{I_{max}} (D(K_s, I) \cdot L(I)) \quad (9)$$

где $D(K_s, I)$ - функция экономической уязвимости, зависящая от класса сейсмостойкости сооружения K_s и силы сейсмического воздействия I.

Величина социального риска связана с компенсациями семьям погибших людей. Как правило, ее связывают со страхованием человеческой жизни. В рассматриваемой задаче социальный риск должен быть определяющим. В статье [14] имеется платежная матрица для социальных потерь, приведенная в таблице 2. Эта матрица построена для России, исходя из стоимости человеческой жизни 1,6 млн. руб. и отнесена к стоимости кирпичного здания, т.е. представлена в

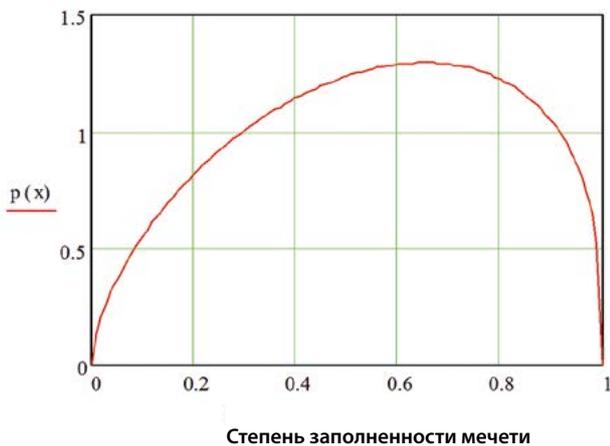


Рисунок 4 — Функция плотности распределения заполненности мечети

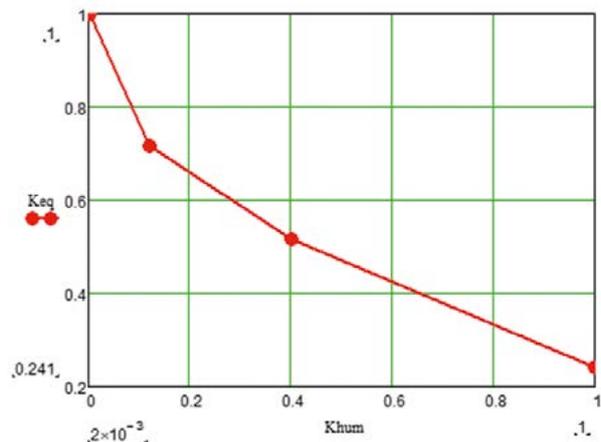


Рисунок 5 — Зависимость между коэффициентом сочетания к силе землетрясения K_{eq} и коэффициентом сочетания к числу людей K_{num}

безразмерном виде. С ее использованием можно записать социальный риск аналогично экономическому [15].

Удобно представить суммарный годовой риск в форме, предложенной в [16].

$$R = \sum_{I=5}^{I_{max}} (D_{ec}(K_s, I) + \chi D_{soc}(K_s, I)) L(I) \quad (9)$$

Здесь $D_{soc}(K_s, I)$ - упомянутая выше функция социальной уязвимости (платежная матрица). К ней введен коэффициент χ , который учитывает отличие в количестве людей в сооружении от среднестатистических данных, использованных в

[14]. Кроме того, этот коэффициент может учесть изменение стоимости человеческой жизни.

Для рассматриваемой задачи необходимо оценить риски для $K_s=7$ при расчетных землетрясениях силой $I=6$; 6,823; 7,177 и 7,531 балла, полученных выше и приведенных на рис.3 и в таблице 1.

В результате расчета автор получил соответствующие значения экономического риска R_{ec} .

Аналогичные значения получены для социального риска R_{soc} при этом коэффициенты χ приняты в соответствии с расчетным числом людей в мечети $\chi=8,333$; 3,333; 1 и 0,017. Результаты расчета сведены в таблицу 3.

Литература

- Сахаров О. А. К вопросу о назначении коэффициентов сочетаний сейсмической и других нагрузок // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2003. № 2. С. 9–11.
- Воронец В.В., Сахаров О.А., Уздин А.М. Оценка статистических характеристик экономического сейсмического риска // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2000. № 2. С. 6–8.
- Кейлис-Борок В.И., Нерсесов И.А., Яглом А.М. Методы оценки экономического эффекта сейсмостойкого строительства. // М., изд. АН СССР. -1962.- с.46.
- Вишняков Я.Д., Радаев Н.Н. Общая теория рисков: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. 2-е изд., испр. М.: Издательский центр «Академия». 2008. 368 с.
- Айзенберг Я.М. Модели сейсмического риска и методологические проблемы планирования мероприятий по смягчению сейсмических бедствий // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2004. № 6. С. 31–38.
- Уздин, А. М. Сейсмостойкие конструкции транспортных зданий и сооружений. Учеб-

- ное пособие. М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте». 2012. 501 с.
- Уздин А.М. и др. Программа определения пиковых ускорений сейсмического воздействия. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018664350, 14.11.2018 г.
- Справочник по специальным функциям с формами графиками и математическими таблицами. Ред. Абрамович М., Стиган И. М.: Наука, 1979. 830 с.
- Альдреби З. А., Мониторинг и паспортизация наиболее известных памятников архитектуры в Сирии // Изв. Петерб. гос. ун-та путей сообщения. СПб. ПГУПС. 2018. Т. 15, вып. 2. С. 302–310.
- Белаш Т. А., Альдреби З. А. Анализ поврежденных памятников архитектуры Сирии, полученных в результате землетрясений и военных действий // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2016. № 5. С. 58–63.
- Sbeinati M.R., Darawcheh R., Mouty M. The historical earthquakes of Syria: an analysis of large and moderate earthquakes from 1365 B.C. to 1900 A.D. // Annals of Geophysics. 2005. V. 48.

№ 3. P.347-435.

- Богданова М.А., Сергин К.С., Сигидов В.В., Уздин А.М. Оценка эффективности инвестиций в условиях повышенного риска. Экономическая кибернетика: системный анализ и управление. Сб. научных трудов. Вып.19, СПб, Изд. Санкт-Петербургского университета экономики и финансов. 2009. С.90-98.
- 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.
- Максименко Д. Д., Уздин А. М. Учет социальных потерь при оценке сейсмического риска // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2017. № 1 (28). С. 30-35.
- Белаш Т. А., Ульяницкая Е. И., Шустова А. А. Зависимость функции распределения коммерческого ущерба при возможных землетрясениях от типа сооружения // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2017. № 1 (28). С. 26-29.
- Bogdanova M.A., Sakharov O.A., Sigidov V.V.,

Uzdin A.M. *The Influence of Seismic Isolation on the Value of Seismic Risk and Investment*

Efficiency. 11th World Conference on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active

Vibration Control of Structures, Book of Abstracts, Guangzhou, China, Nov. 17-20, 2009, p.4.

References

1. Sakharov O. A. K voprosu o naznacheni koefitsientov sochetanij sejsmicheskoy i drugikh nagruzok Sejsmostojkoe stroitel'stvo. *Bezopasnost' sooruzhenij [Earthquake engineering. Constructions safety]*. 2003. No 2. Pp. 9–11. [In Russian]
2. Voronets V.V., Sakharov O.A., Uzdin A.M. Otsenka statisticheskikh kharakteristik ehkonomicheskogo sejsmicheskogo riska. *Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij [Earthquake engineering. Constructions safety]*. 2000. №2. Pp. 6-8. [In Russian]
3. Kejlis-Borok V.I., Nersesov I.A., Yaglom A.M. *Metody otsenki ekonomicheskogo efekta sejsmostojkogo stroitel'stva. M., izd. AN SSSR. 1962. Pp.46. [In Russian]*
4. Vishnyakov Ya.D., Radaev N.N. *Obshhaya teoriya riskov: ucheb. posobie dlya stud. vyssh. ucheb. zavedenij. 2-e izd., ispr. M.: Izdatel'skij tsentr «Akademiya». 2008. 368 p. [In Russian]*
5. Eizenberg J.M. *Modeli sejsmicheskogo riska i metodologicheskie problemy planirovaniya meropriyatij po smyagcheniyu sejsmicheskikh bedstvij. Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij [Earthquake engineering. Constructions safety]*. 2004. № 6. Pp.31-38. [In Russian]
6. Uzdin A. M. *Sejsmostojkie konstruksii transportnykh zdaniy i sooruzhenij. Uchebnoe posobie. M.: FGBOU «Uchebno-metodicheskij tsentr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte». 2012. 501 p.*
7. Uzdin A.M. i dr. *Programma opredeleniya pikovykh uskorenij sejsmicheskogo vozdejstviya. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registratsii programmy dlya EHVM № 2018664350, 14.11.2018 g. [In Russian]*
8. *Spravochnik po spetsial'nym funktsiyam s formami grafikami i matematicheskimi tablitsami. Red. Abramovich M., Stigan I. M.: Nauka, 1979. 830 p. [In Russian]*
9. Al'drebi Z. A., *Monitoring i pasportizatsiya naibolee izvestnykh pamyatnikov arkhitektury v Sirii. Izv. Peterb. gos. un-ta putej soobshheniya. SPb. PGUPS. 2018. T. 15, vyp. 2. Pp. 302–310. [In Russian]*
10. Belash T. A., Al'drebi Z. A. *Analiz povrezhdenij pamyatnikov arkhitektury Sirii, poluchennykh v rezul'tate zemletryasenij i voennykh dejstvij. Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij [Earthquake engineering. Constructions safety]*. 2016. № 5. Pp.58–63. [In Russian]
11. Sbeinati M.R., Darawcheh R., Mouty M. *The historical earthquakes of Syria: an analysis of large and moderate earthquakes from 1365 B.C. to 1900 A.D. Annals of Geophysics. 2005. V. 48. № 3. Pp. 347-435. [In Russian]*
12. Bogdanova M.A., Sergin K.S., Sigidov V.V., Uzdin A.M. *Otsenka ehffektivnosti investitsij v usloviyakh povyshennogo riska. Ekonomicheskaya kibernetika: sistemnyj analiz i upravlenie. Sb. nauchnykh trudov. Vyp.19, SPb, Izd.Sankt-Peterburgskogo universiteta ehkonomiki i finansov. 2009. Pp.90-98. [In Russian]*
13. Uzdin A.M., Vorob'ev V.A., Bogdanova M.A., Sigidov V.V., Vanicheva S.S. *Ehkonomika sejsmostojkogo stroitel'stva. M.: FGPU DPO «Uchebno-metodicheskij tsentr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte». 2017. 176 p. [In Russian]*
14. Maksimenko D. D., Uzdin A. M. *Uchet sotsial'nykh poter' pri otsenke sejsmicheskogo riska. Prirodnye i tekhnogennye riski. Bezopasnost' sooruzhenij. 2017. № 1 (28). Pp. 30-35. [In Russian]*
15. Belash T. A., Ul'yanitskaya E. I., Shustova A. A. *Zavisimost' funktsii raspredeleniya kommercheskogo ushherba pri vozmozhnykh zemletryasenyakh ot tipa sooruzheniya. Prirodnye i tekhnogennye riski. Bezopasnost' sooruzhenij. 2017. № 1 (28). Pp. 26-29. [In Russian]*
16. Bogdanova M.A., Sakharov O.A., Sigidov V.V., Uzdin A.M. *The Influence of Seismic Isolation on the Value of Seismic Risk and Investment Efficiency. 11th World Conference on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures, Book of Abstracts, Guangzhou, China, Nov. 17-20, 2009, p.4. [In English]*

Для цитирования: Альдреби З. А. Методика расчета культовых сооружений с учетом их заполняемости применительно к мечетям Ближнего Востока // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2019. №2. С. 43-48.

For citation: Aldrebi Z.A. *The Method of Calculation of Religious Buildings, Taking into Account their Occupancy in Relation to the Mosques at the Middle East. Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij [Earthquake engineering. Constructions safety]*, 2019, no. 2, pp. 43-48. (In Russian).



О.С. Царёва
ассистент

**ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург, Россия**

УДК 528.06

Оценка точности определения координат деформационных марок и расстояний между ними

Аннотация: В статье представлена оценка точности определения координат деформационных марок, полученных с использованием полярной пространственной засечки. При реализации такой засечки с использованием электронных тахеометров, получаемые координаты деформационных марок являются взаимозависимыми. Наиболее полной формой, характеризующей точность и взаимозависимость

случайных величин, служит корреляционная (ковариационная) матрица. Выполнен расчет коэффициентов матрицы, входящей в формулу для расчета ковариационной матрицы. Поскольку оценка деформаций предполагается с использованием инвариантных параметров – расстояний между деформационными марками, выполнена оценка точности определения расстояния между деформационными марками.

Ключевые слова: оценка точности, деформационная марка, здания памятников культурного наследия, оценка деформаций, расстояния между деформационными марками.

Tsareva O.

Assistant, Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia

Evaluation of the Accuracy of Determining the Coordinates of Deformation Marks and the Distances Between Them

Abstract: The article is presented an estimate of the accuracy of determining the coordinates using the polar spatial intersection. When implementing such resection using electronic tachometers, the coordinates of the deformation marks are interdependent. The most complete form that characterizes the accuracy and interdependence of random variables is the correlation

(covariance) matrix. The coefficients of the matrix, included in the formula for calculating the covariance matrix were calculated. Since the evaluation of deformations is assumed using invariant parameters - the distances between the deformation marks, the accuracy of determining the distance between the deformation marks was evaluated.

Keywords: assessment of accuracy, deformation mark, buildings of objects of cultural heritage, evaluation of deformations, distances between deformation marks.

Введение

Как известно, весьма эффективной технологией оценки устойчивости объектов являются периодические геодезические наблюдения, в результате которых определяют пространственные координаты (или только высоты) деформационных марок. Заключение делают на основании анализа изменений координат во времени. Для правильной оценки очень важно, чтобы вычисления выполнялись в единой для всего сооружения системе координат, что, по различным причинам, не всегда легко обеспечить. Действительно, определение положения всех деформационных марок, расположенных на здании, с одной станции в подавляющем числе случаев просто не реально, не всегда возможно создание сети таких станций, а использование связующих точек предполагает, что видимость на них обеспечивается, как минимум, с двух станций и точки расположены вне зоны деформаций (хотя это не обязательно). Поэтому не всегда представляется возможным выполнить преобразование координат и получить все векторы смещений марок в единой системе координат объекта.

В связи с этим возникает идея использовать при оценке устойчивости зданий и сооружений инвариантные величины. Такими величинами, в частности, являются расстояния между деформационными марками. Расстояния можно вычислить по координатам или непосредственно измерить. Как следует из вышесказанного, преимущество использования расстояний в том, что в процессе измерений о системе координат можно не задумываться. Указанное обстоятельство может способствовать и значительному упрощению полевых работ.

Рассмотрим методику наблюдений, оценку точности получения координат деформационных марок и расстояний между ними на примере модели здания памятников культурного наследия (рис. 4).

Большинство зданий памятников культурного наследия (далее – памятники) г. Санкт-Петербурга и Ленинградской области представлены крестово-купольными храмами (рис.1). Этот архитектурный тип христианского храма сформировался в V–VIII веках в Византии и в странах христианского Востока. В классическом варианте представляет собой прямоугольный объём, центр которого разделен четырьмя столбами (пилонами) на девять ячеек. Столбы соединены со стенами и между собой арками. Перекрытием служат крестообразно расположенные цилиндрические своды, а над центральной ячейкой, на подпружных арках, возвышается барабан с куполом, переходы к которому заполнены парусами. К центральному квадрату примыкают четыре прямоугольных конца, перекрытые цилиндрическими сводами и ориентированные по сторонам света. Восточный конец завершается полукруглой нишей (апсидой), в которой находится алтарь. Угловые помещения между концами креста перекрыты сводами той или иной формы. Восточные угловые помещения, где располагаются дьяконник и жертвенник, тоже, как правило, завершаются апсидами. Таково основное композиционное ядро крестово-купольного храма [1].

Известно также распределение нагрузок в храмах такого типа (рис.2).

Наибольшие нагрузки приходятся, очевидно, на основные пилоны. Соответственно наибольшая осадка также приурочена к фундаментам пилонов. Несколько меньшей явля-

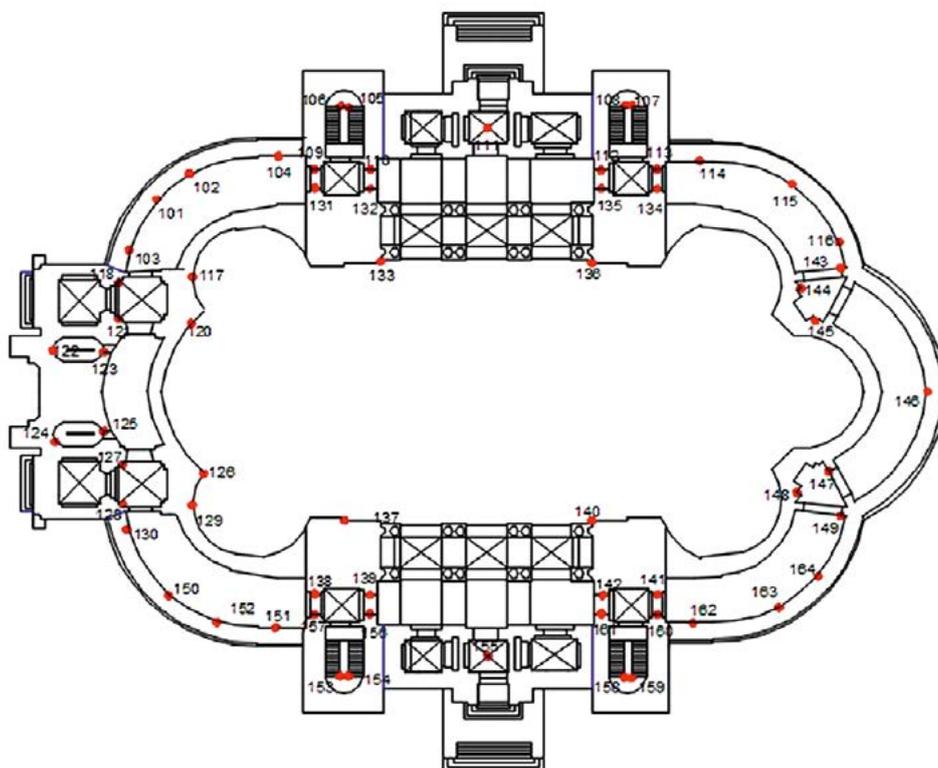


Рисунок 1 — План крестово-купольного храма, схема размещения марок 1-й уровень (марки 101-164)

Figure 1 — Plan of the cross-domed temple, the scheme of the 1st level marks (marks 101-164)

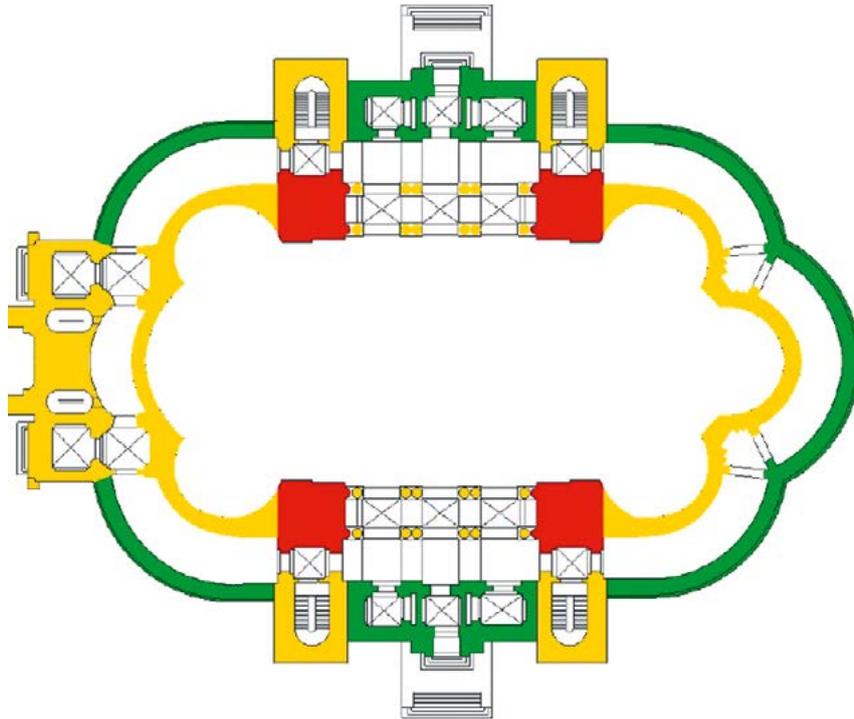


Рисунок 2 — Распределение нагрузок в крестово-купольном храме: красный цвет – наибольшие нагрузки, желтый – средние нагрузки, зеленый – наименьшие нагрузки

Figure 2 — The distribution of loads in the cross-domed temple: red – the greatest loads, yellow – medium loads, green – the smallest loads

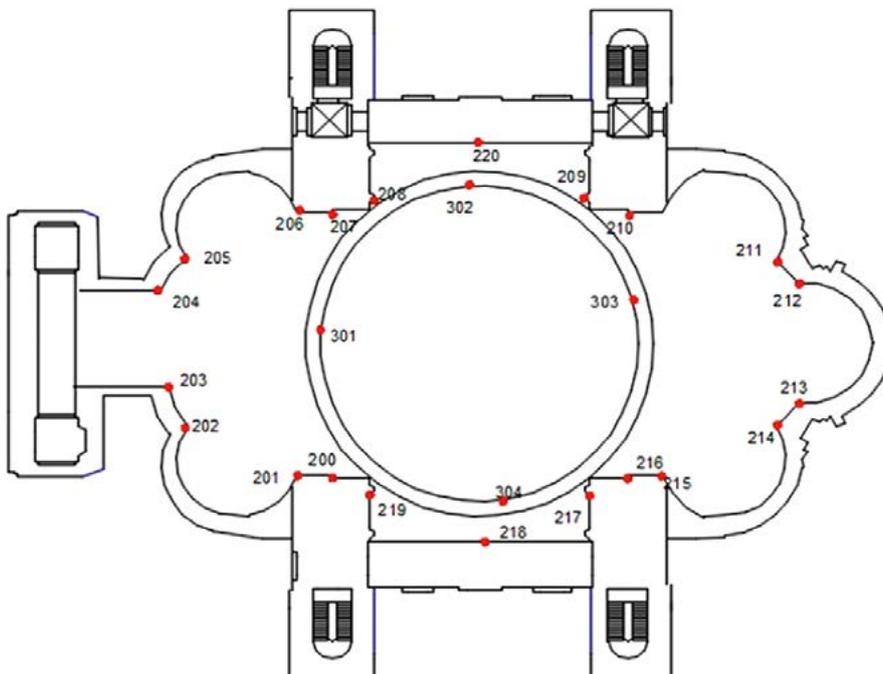


Рисунок 3 — Схема размещения марок на втором и третьем уровнях

Figure 3 — Scheme of marks at the second and third levels

ется нагрузка на стены периметра памятника, на которые опираются своды в алтарной и западной частях здания. К этой же группе можно отнести и стены лестничных клеток. В наименьшей степени нагружены стены боковых галерей вокруг памятника. Эти стены фактически нагружены собственным весом и весом части перекрытия и покрытия этажей галереи. Безусловно, здание работает как единое целое, что

приводит к существенному перераспределению нагрузок между элементами конструкции, поэтому реальная картина распределения нагрузок должна быть уточнена подробными расчетами конструкций. Однако такое качественное разделение по уровням нагруженности на предварительном этапе позволяет сделать предположение о характере ожидаемых деформаций памятника.

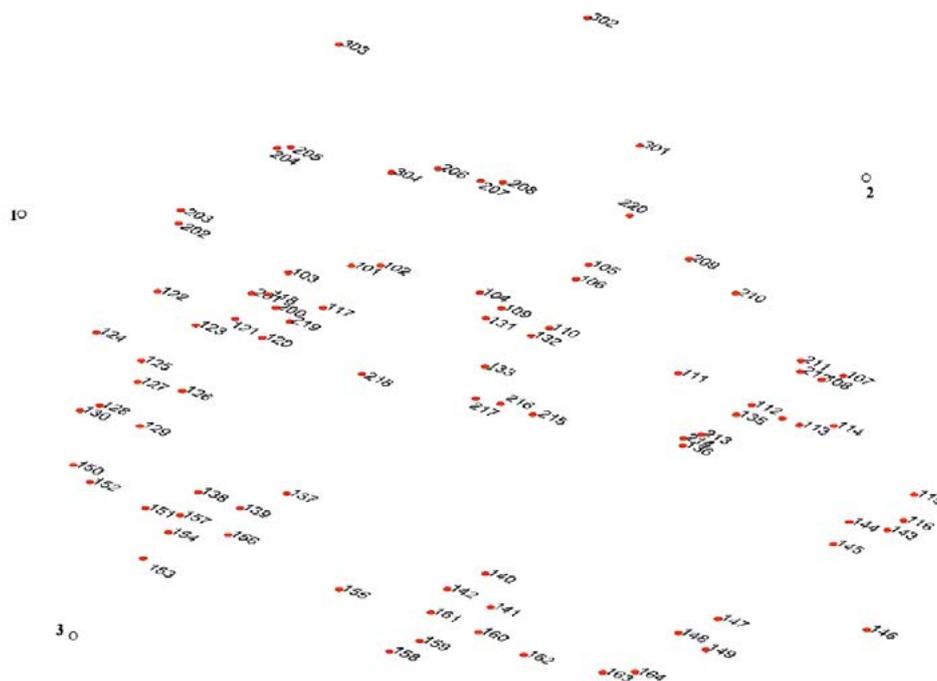


Рисунок 4 — Схема размещения марок в пространстве: 1-3 опорные пункты, 101-164 – деформационные марки
Figure 4 — Scheme of marks in space: 1-3 strong points, 101-164 – deformation marks

Схема расположения деформационных марок на модели памятника представлена на рис.1 и рис.3.

Марки размещены с учетом нагрузок (рис.2) и требований нормативных документов [2,5,6].

Добавим опорные пункты 1-3 к модели памятника, и введем систему координат, как показано на рис.4. То есть, начало координат совместим с точкой 1, ось X – с точкой 2, а точка 3 будет находиться в плоскости точек 1 и 2.

Введенную выше систему координат будем считать единой системой координат объекта.

В работе [7] было выполнено исследование различных методов наблюдений за деформациями и сделан вывод в пользу полярной пространственной засечки. В частности, такая засечка может быть реализована с использованием электронных роботизированных тахеометров. В классической геодезии наблюдения выполняют по методу «свободных станций», связь между которыми обеспечивается, как минимум, наличием трех связующих марок. Это позволяет получать результаты измерений в единой системе координат объекта (рис.4).

Тогда на примере модели здания наблюдения с двух точек стояния тахеометра могут быть выполнены следующим образом (рис.5).

Так, с точки стояния I определены координаты марок: 136, 140, 137, 201, 202, 126, 120, 123, 122, 209, 104, 103, 133. С точки стояния II определены координаты марок 213, 214, 210, 133, 136, 137, 150, 124, 125, 120, 203, 101, 102. Марки 136, 137, 120, 133 являются связующими, с помощью которых выполняют преобразование координат марок в единую систему координат объекта.

После проведения нескольких циклов наблюдений вычисляют координаты деформационных марок в каждом цикле, а затем изменения координат между циклами наблюдений. Если изменения координат превышают точность

их определения, делают вывод о наличии деформаций на объекте.

Выполним оценку точности определения координат марок полярной пространственной засечкой. В этом случае прибором измеряются: горизонтальный угол β , вертикальный угол ν и наклонное расстояние S до отражателя (CCR-рефлектора), установленного на марке i (Рис.6).

В результате измерений расстояния, горизонтального и вертикального угла до марки i получают ее пространственные координаты X_i, Y_i, Z_i в системе координат прибора (1).

$$\left. \begin{aligned} X_i &= S \cos \beta \cos \nu \\ Y_i &= S \sin \beta \cos \nu \\ Z_i &= S \sin \nu \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

В свою очередь, координаты пункта X_i, Y_i, Z_i являются взаимозависимыми (1). Выполним оценку точности определения координат пункта i .

Оценка точности определения координат марок

Наиболее полной формой, характеризующей точность и взаимозависимость случайных величин, служит ковариационная матрица K , каждый элемент которой связан с соответствующим элементом матрицы весовых коэффициентов соотношением $K_{ij} = \mu^2 Q_{ij}$, где μ – средняя квадратическая погрешность единицы веса, которую можно выбирать произвольно.

В свою очередь, матрица весовых коэффициентов Q [4]:

$$Q = N^{-1} \quad (2)$$

$$Q = \begin{pmatrix} Q_{xx} & Q_{xy} & Q_{xz} \\ Q_{xy} & Q_{yy} & Q_{yz} \\ Q_{xz} & Q_{yz} & Q_{zz} \end{pmatrix}$$

$$N = A^T P A, \quad (3)$$

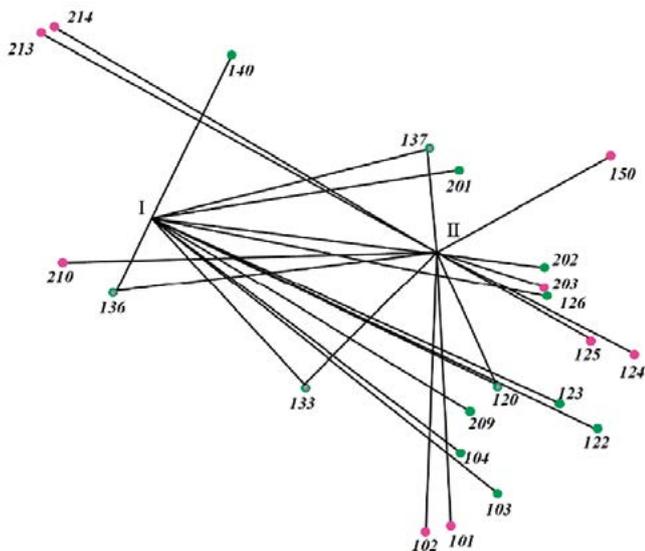


Рисунок 5 — Пространственная полярная засечка: j – точка стояния тахеометра, i – наблюдаемая марка

Figure 5 — Spatial polar intersection: j – the station of the tacheometer, i – the observed mark

где A – матрица коэффициентов a_{ij} , b_{ij} , c_{ij} , a_{ij} , b_{ij} , c_{ij} , получаемых как полный дифференциал уравнений связи выполненных измерений с определяемыми параметрами; P – весовая матрица.

$$A_{n \times t} = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & c_1 & \dots & t_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 & \dots & t_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_n & b_n & c_n & \dots & t_n \end{bmatrix}; P_{n \times n} = \begin{bmatrix} p_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & p_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & p_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

где n – число измерений, t – число неизвестных.

Определим коэффициенты, входящие в матрицу A .

Для измеренного расстояния S_{ij} уравнение связи между предварительными значениями координат конечных пунктов стороны, длина которой известна и измеренным значением этой длины (5):

$$S_{ij}^0 = \sqrt{(X_j^0 - X_i^0)^2 + (Y_j^0 - Y_i^0)^2 + (Z_j^0 - Z_i^0)^2} \quad (5)$$

$$D_{ij}^0 = \sqrt{(X_j^0 - X_i^0)^2 + (Y_j^0 - Y_i^0)^2}$$

где $X_j^0, X_i^0, Y_j^0, Y_i^0, Z_j^0, Z_i^0$ – приближенные значения координат пунктов i и j , S_{ij}^0 – приближенное значение измеренного наклонного расстояния между точкой стояния j и точкой визирования i , D_{ij}^0 – приближенное горизонтальное проложение между пунктами i и j .

Вычислим коэффициенты для измеренного наклонного расстояния, найдя полный дифференциал функции (5). В результате сокращений и использования значений \cos и \sin получим:

$$a_{ij} = \frac{\partial S_{ij}^0}{\partial X_i^0} = -1 \cdot \frac{D_{ij}^0}{S_{ij}^0} \cdot \frac{\Delta X_{ij}^0}{D_{ij}^0} = -\cos \beta_{ij}^0 \cos \nu_{ij}^0$$

где β_{ij}^0, ν_{ij}^0 – приближенные значения горизонтальных углов, полученных из предварительных координат точек i

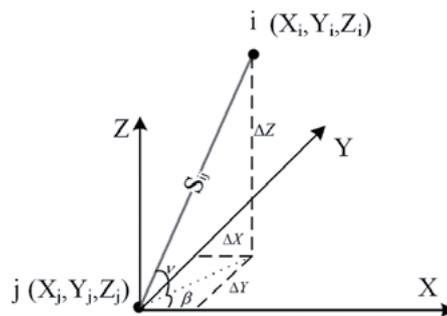


Рисунок 6 — Пример метода «свободных станций»: I, II – точки стояния тахеометра, 1-9 – деформационные марки, расположенные на здании

Figure 6 — An example of the “free stations” method: I, II – station of the total station, 1-9 – deformation marks located on the building

и j ν_{ij}^0, ν_{ij}^0 – приближенные значения вертикальных углов, полученных из предварительных координат точек i и j .

Подобным образом определим коэффициенты b_{ij} и c_{ij} :

$$b_{ij} = \frac{\partial S_{ij}^0}{\partial Y_i^0} = -1 \cdot \frac{D_{ij}^0}{S_{ij}^0} \cdot \frac{\Delta Y_{ij}^0}{D_{ij}^0} = -\sin \beta_{ij}^0 \cos \nu_{ij}^0$$

$$c_{ij} = \frac{\partial S_{ij}^0}{\partial Z_i^0} = -1 \cdot \frac{\Delta Z_{ij}^0}{S_{ij}^0} = -\sin \nu_{ij}^0$$

Поскольку нам не нужно знать координаты точки стояния тахеометра, то коэффициенты a_{ij}, b_{ij}, c_{ij} не определяются.

Для измеренного вертикального угла ν_{ij} уравнение связи выглядит следующим образом (6):

$$\nu_{ij}^0 = \text{arctg} \left(\frac{Z_j^0 - Z_i^0}{D_{ij}^0} \right) = \text{arctg} \left(\frac{Z_j^0 - Z_i^0}{\sqrt{(X_j^0 - X_i^0)^2 + (Y_j^0 - Y_i^0)^2}} \right) =$$

$$= \text{arccctg} \left(\frac{\sqrt{(X_j^0 - X_i^0)^2 + (Y_j^0 - Y_i^0)^2}}{Z_j^0 - Z_i^0} \right) =$$

$$= \text{arccctg} \left(\frac{\sqrt{(X_j^0 - X_i^0)^2 + (Y_j^0 - Y_i^0)^2}}{\Delta Z_{ij}^0} \right) \quad (6)$$

Вычислим коэффициенты a_{ij}, b_{ij}, c_{ij} для измеренного вертикального угла, найдя полный дифференциал функции (6):

$$a_{ij} = \frac{\partial \nu_{ij}^0}{\partial X_i^0} = \frac{\Delta Z_{ij}^0}{S_{ij}^0} \cdot \frac{\Delta X_{ij}^0}{D_{ij}^0} \cdot \frac{1}{S_{ij}^0} = \cos \beta_{ij}^0 \sin \nu_{ij}^0 \frac{1}{S_{ij}^0} \rho$$

$$b_{ij} = \frac{\partial \nu_{ij}^0}{\partial Y_i^0} = \frac{\Delta Z_{ij}^0}{S_{ij}^0} \cdot \frac{\Delta Y_{ij}^0}{D_{ij}^0} \cdot \frac{1}{S_{ij}^0} = \sin \beta_{ij}^0 \sin \nu_{ij}^0 \frac{1}{S_{ij}^0} \rho$$

$$c_{ij} = \frac{\partial \nu_{ij}^0}{\partial Z_i^0} = -\frac{D_{ij}^0}{S_{ij}^0} \cdot \frac{1}{S_{ij}^0} = -\cos \nu_{ij}^0 \frac{1}{S_{ij}^0} \rho$$

Для измеренного горизонтального угла β_{ij} уравнение связи (7):

$$\beta_{ij}^0 = \text{arctg} \left(\frac{Y_j^0 - Y_i^0}{X_j^0 - X_i^0} \right) \quad (7)$$

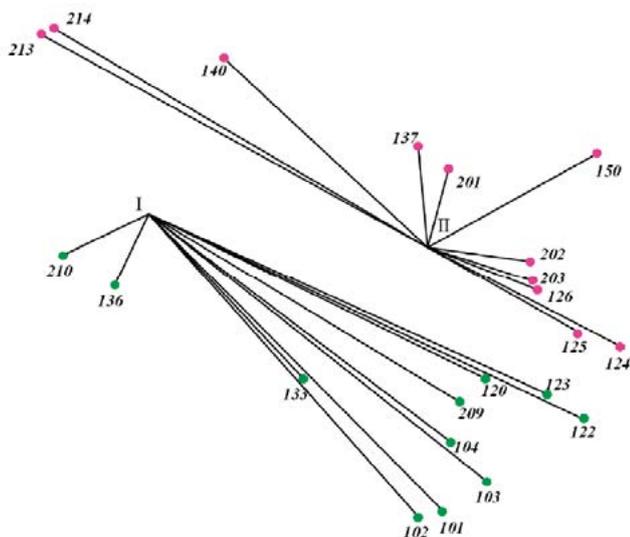


Рисунок 7 — Линейная пространственная засечка

Figure 7 — Linear spatial intersection

Вычислим коэффициенты a_{ij} , b_{ij} , c_{ij} для измеренного горизонтального угла, найдя полный дифференциал функции (7):

$$a_{ij} = \frac{\partial \beta_{ij}^0}{\partial X_i^0} = \frac{\Delta Y_{ij}^0}{D_{ij}^0} \cdot \frac{1}{D_{ij}^0} = \frac{\sin \beta_{ij}^0}{D_{ij}^0} \rho$$

$$b_{ij} = \frac{\partial \beta_{ij}^0}{\partial Y_i^0} = \frac{\Delta X_{ij}^0}{D_{ij}^0} \cdot \frac{-1}{D_{ij}^0} = -\frac{\cos \beta_{ij}^0}{D_{ij}^0} \rho$$

$$c_{ij} = \frac{\partial \beta_{ij}^0}{\partial Z_i^0} = 0$$

В качестве весов принимают величины, обратно пропорциональные средним квадратическим ошибкам (далее – СКО) измеренных величин:

$$P_i = \frac{1}{m_i^2},$$

где m_i – средние квадратические ошибки измеренных величин.

После составления матриц A и P вычисляют матрицу N по формуле (3) и матрицу весовых коэффициентов Q по формуле (2). При $\mu = 1$, $Q = K$.

Порядок ковариационной матрицы K соответствует количеству неизвестных (определяемых координат марок). Диагональные элементы матрицы – дисперсии определяемых параметров. Недиагональные элементы – корреляционные моменты (ковариации).

Тогда точность положения пункта i по осям координат будет равна (8):

$$m_{X_i} = \sqrt{Q_{k_X, k_X}}, m_{Y_i} = \sqrt{Q_{k_Y, k_Y}}, m_{Z_i} = \sqrt{Q_{k_Z, k_Z}} \quad (8)$$

где m_{X_i} , m_{Y_i} , m_{Z_i} – СКО координат X, Y, Z пункта i , k_X , k_Y , k_Z – номер столбца (строки) матрицы весовых коэффициентов, соответствующий параметрам X, Y, Z пункта i .

Рассмотрим пример определения координат одной деформационной марки полярной пространственной засечкой: $S = 50$ м, $\beta = 135^\circ$, $\nu = 50^\circ$. Вычисления выполним на примере высокоточного тахеометра Leica TDRA 6000, для которого точность измерения расстояния $m_S = 0,25$ мм (погрешность вдоль визирного луча) и угла $m_\nu = m_\beta = 0,5''$ (погрешность поперек визирного луча). Или при отстоянии тахеометра от деформационной марки, равном 50 м состав:

вит: $S_{\Delta} \frac{m_\beta}{\rho} = 0,1 \text{ мм}$. На практике такая точность труднодостижима. Точность измерения углов m_β зависит от опыта наблюдателя, качества визирных целей их освещенности, стабильности положения и многих других нюансов. Поэтому в реальных условиях m_β не меньше $1''$, тогда точность снизится до $0,2 - 0,3$ мм на расстоянии 50 м [3].

Ниже представлена табл.1 с коэффициентами a_{ij} , b_{ij} , c_{ij} , формирующих матрицу A .

Ковариационная матрица ошибок координат K :

$$K = \begin{pmatrix} 0,015 & -0,013 & -0,020 \\ -0,013 & 0,015 & 0,020 \\ -0,020 & 0,020 & 0,038 \end{pmatrix}$$

Тогда точность положения пункта i по осям координат будет равна:

$$m_{X_i} = m_{Y_i} = \sqrt{0,015} = 0,12 \text{ мм}; m_{Z_i} = \sqrt{0,038} = 0,19 \text{ мм};$$

$$m_{Z_i} = \sqrt{0,038} = 0,19 \text{ мм}$$

Диагональные элементы матрицы совпадут с вычисленными по формулам (9-11).

Запишем формулы определения СКО определения координат m_X , m_Y , m_Z , для марки i (9-11):

$$m_{X_i}^2 = \cos^2 \beta \cos^2 \nu \cdot m_S^2 + S^2 \cos^2 \nu \sin^2 \beta \frac{m_\beta^2}{\rho^2} + S^2 \cos^2 \beta \sin^2 \nu \frac{m_\nu^2}{\rho^2} \quad (9)$$

$$m_{Y_i}^2 = \sin^2 \beta \cos^2 \nu \cdot m_S^2 + S^2 \cos^2 \nu \cos^2 \beta \frac{m_\beta^2}{\rho^2} + S^2 \sin^2 \beta \sin^2 \nu \frac{m_\nu^2}{\rho^2} \quad (10)$$

$$m_{Z_i}^2 = \sin^2 \nu \cdot m_S^2 + S^2 \cdot \cos^2 \nu \frac{m_\nu^2}{\rho^2} \quad (11)$$

Таким образом, при различном отстоянии тахеометра от деформационной марки и при различных углах ν и β можно

Таблица 1 — Исходные данные и коэффициенты матрицы A
Table 1 — Source data and coefficients of matrix A

| Углы, расстояния | Направления | S, м | β , градусы | ν , градусы | a | b | c |
|------------------|-------------|------|-------------------|-----------------|--------|--------|--------|
| β | j-i | 50 | 135 | 50 | -4,538 | -4,538 | 0 |
| ν | j-i | | | | -2,235 | 2,235 | -2,658 |
| S | j-i | | | | -0,454 | 0,454 | 0,766 |

вычислить минимальные и максимальные ошибки определения координат.

В работе [9] автор выполняет исследование точности положения точки в трехмерном пространстве. Для уменьшения влияния корреляции на величину радиальных ошибок следует учитывать геометрию построения и стремиться к соотношению угловых и линейных измерений,

равному $\frac{m_{\beta,v}}{\rho} \div \frac{m_s}{S} = 1$. При соотношении $\frac{m_{\beta,v}}{\rho} \div \frac{m_s}{S} \geq 3$ точность линейно-угловой сети и сети трилатерации становится одинаковой. Получено наименьшее значение ошибки, когда горизонтальный угол равен $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$ или 270° и вертикальный угол принимает любое значение от 0° до 90° .

Таким образом, можно выбрать оптимальные точки стояния тахеометра, когда геометрия сети, и, следовательно, точность определения координат марок будет наилучшей.

При наблюдениях за деформациями памятников в условиях реставрационных работ возникают такие ситуации, когда использование опорных пунктов не представляется возможным из-за их удаленности от памятника или уплотненной застройки вблизи памятника. Или, например, рядом с наблюдаемым памятником вырывают котлован. Кроме того, не всегда удается сохранять постоянство используемой схемы наблюдений, поэтому точку стояния прибора не закрепляют. Тогда определение координат деформационных марок с использованием тахеометра выполняют по методу «свободных станций». Ввиду реставрационных работ (в частности, наличия строительных лесов на объекте исследования), обеспечить видимость на связующие марки не всегда представляется возможным. Тогда схема наблюдений на точках стояния I и II будет выглядеть следующим образом (рис.7).

Выполняя наблюдения по методу «свободных станций», без использования опорных пунктов, координаты марок в каждом цикле получают в разных системах координат.

Использовать преобразование координат не представляется возможным, поскольку отсутствуют связующие марки (рис.7).

Тогда возникает задача сравнения результатов наблюдений, полученных между смежными циклами. Это заставляет перейти к использованию инвариантных параметров для оценки деформаций. В частности, деформации можно оценить, зная расстояния и их изменения между деформационными марками [3]. В свою очередь, расстояния являются функциями от координат.

Выполним оценку точности определения расстояния между деформационными марками.

Оценка точности определения расстояния между деформационными марками

Расстояние между марками и является функцией от координат (12):

$$L_{ig} = \sqrt{(X_i - X_g)^2 + (Y_i - Y_g)^2 + (Z_i - Z_g)^2} \quad (12)$$

Вычислим СКО определения расстояния $m_{L_{ig}}$ между марками i и g (13). Для этого определим частные производные функции (12):

$$\frac{\partial L_{ig}}{\partial X_i} = \frac{1}{2 \cdot \sqrt{(X_i - X_g)^2 + (Y_i - Y_g)^2 + (Z_i - Z_g)^2}} \cdot 2 \cdot (X_i - X_g) = \frac{(X_i - X_g)}{L_{ig}}$$

$$\frac{\partial L_{ig}}{\partial X_g} = \frac{1}{2 \cdot \sqrt{(X_i - X_g)^2 + (Y_i - Y_g)^2 + (Z_i - Z_g)^2}} \cdot 2 \cdot (X_i - X_g) \cdot -1 = -\frac{(X_i - X_g)}{L_{ig}}$$

$$\frac{\partial L_{ig}}{\partial Y_i} = \frac{1}{2 \cdot \sqrt{(X_i - X_g)^2 + (Y_i - Y_g)^2 + (Z_i - Z_g)^2}} \cdot 2 \cdot (Y_i - Y_g) = \frac{(Y_i - Y_g)}{L_{ig}}$$

$$\frac{\partial L_{ig}}{\partial Y_g} = \frac{1}{2 \cdot \sqrt{(X_i - X_g)^2 + (Y_i - Y_g)^2 + (Z_i - Z_g)^2}} \cdot 2 \cdot (Y_i - Y_g) \cdot -1 = -\frac{(Y_i - Y_g)}{L_{ig}}$$

$$\frac{\partial L_{ig}}{\partial Z_i} = \frac{1}{2 \cdot \sqrt{(X_i - X_g)^2 + (Y_i - Y_g)^2 + (Z_i - Z_g)^2}} \cdot 2 \cdot (Z_i - Z_g) = \frac{(Z_i - Z_g)}{L_{ig}}$$

$$\frac{\partial L_{ig}}{\partial Z_g} = \frac{1}{2 \cdot \sqrt{(X_i - X_g)^2 + (Y_i - Y_g)^2 + (Z_i - Z_g)^2}} \cdot 2 \cdot (Z_i - Z_g) \cdot -1 = -\frac{(Z_i - Z_g)}{L_{ig}}$$

$$m_{L_{ig}}^2 = \left(\frac{X_g - X_i}{L_{ig}} \right)^2 m_{X_i}^2 + \left(\frac{Y_g - Y_i}{L_{ig}} \right)^2 m_{Y_i}^2 + \left(\frac{Z_g - Z_i}{L_{ig}} \right)^2 m_{Z_i}^2 + \left(\frac{X_g - X_i}{L_{ig}} \right)^2 m_{X_g}^2 + \left(\frac{Y_g - Y_i}{L_{ig}} \right)^2 m_{Y_g}^2 + \left(\frac{Z_g - Z_i}{L_{ig}} \right)^2 m_{Z_g}^2 \quad (13)$$

где $m_{X_i}, m_{Y_i}, m_{Z_i}, m_{X_g}, m_{Y_g}, m_{Z_g}$ – СКО определения координат деформационных марок i и g , полученные из ковариационной матрицы по формулам (8).

Таким образом, в зависимости от расположения тахеометра по отношению к деформационным маркам, можно вычислить СКО определения всех координат марок, расположенных на модели здания (рис. 1 и рис. 2) и СКО определения расстояний между ними. Зная СКО расстояния, можно вычислить нормированную матрицу деформаций и определить квазиопорные марки, как это показано в работе [3]. Такие марки определяют, когда отсутствуют опорные пункты. Относительно квазиопорных вычисляют вектора смещений остальных марок в единой системе координат объекта и выполняют анализ векторов смещений на предмет деформаций, например, как представлено в работе [8].

Выводы

В результате проделанной работы получены следующие выводы:

1. Выполнена оценка точности определения положения пунктов сети, полученных с использованием простран-

ственной полярной засечки;

2. Разработаны рекомендации по оптимальному расположению точек стояния прибора, когда точность определе-

ния координат марок будет наилучшей;

3. Выполнена оценка точности определения расстояния между деформационными марками.

Литература

1. Девина Р.А. Микроклимат церковных зданий [Электронный ресурс] // ARTConservation мастерская. М.: ГосНИИР, 2000. URL: <http://art-con.ru/node/2064> (дата обращения 20.09.2018).
2. ГОСТ 24846 – 2012. Грунты. Методы измерений деформаций оснований зданий и сооружений (2012) // Москва: Стандартинформ.
3. Контроль сохранности положения элементов спутниковых антенных систем в период их наземной эксплуатации // 28 антенная конференция Европейского космического агентства, Нордвик, 2005.
4. Маркузе Ю.И. Книга 2. Основы метода наименьших квадратов и уравнительных

вычислений: учеб. пособие для вузов. М.: МИИГАиК, 2005. 280 с.

5. Реставрационные нормы и правила. Методические рекомендации по проведению научно-исследовательских, изыскательских, проектных и производственных работ, направленных на сохранение объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации. Методическое издание (2013) // Москва: ФГУП ЦНРПМ.
6. Свод реставрационных правил: СРП-2007. Рекомендации по проведению научно-исследовательских, изыскательских, проектных и производственных работ, направленных на сохранение объектов культурного наследия (памятников истории и культуры)

народов Российской Федерации: нормативно-методическое издание (2011) // Москва.

7. Степанова О.С. Анализ способов геодезических наблюдений за деформациями наследия // Горный информационно-аналитический бюллетень. Москва. 2014. N 4. С. 418-422.
8. Царёва О.С. Определение относительных деформаций по изменениям расстояний между деформационными марками // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2018. N 5. С. 29-37.
9. Шеховцов Г.А. О скалярной оценке точности положения точки в трёхмерном пространстве // Изв. Вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 1990. N 2. С. 27-32.

References

1. Devina R.A. Mikroklimat tserkovnykh zdaniy [Microclimate of church buildings] [Electronic resource]. ARTConservation masterskaya. Moscow, GosNIIR, 2000. URL: <http://art-con.ru/node/2064> (data obrashcheniya 20.09.2018). (In Russian).
2. GOST 24846 – 2012. Grunty. Metody izmereniy deformatsiy osnovaniy zdaniy i sooruzheniy (2012). Moscow: Standartinform. (In Russian).
3. Kontrol' sokhrannosti polozheniya elementov sputnikovykh antennoykh sistem v period ikh nazemnoy ekspluatatsii. 28th European Space Agency Antenna Conference, Nordvik, 2005. (In Russian).
4. Markuze Yu.I. Kniga 2. Osnovy metoda naimen'shikh kvadratov i uravnitel'nykh vychisleniy: studies. allowance. Moscow, MIIGAIK,

2005. 280 p. (In Russian).

5. Restavratsionnye normy i pravila. Metodicheskie rekomendatsii po provedeniyu nauchno-issledovatel'skikh, izyskatel'skikh, proektnykh i proizvodstvennykh rabot, napravlennykh na sokhranenie ob»ektov kul'turnogo naslediya (pamyatnikov istorii i kul'tury) narodov Rossiyskoy Federatsii. Metodicheskoe izdanie (2013). Moscow: FGUP TsNRPM. (In Russian).
6. Svod restavratsionnykh pravil: SRP-2007. Rekomendatsii po provedeniyu nauchno-issledovatel'skikh, izyskatel'skikh, proektnykh i proizvodstvennykh rabot, napravlennykh na sokhranenie ob»ektov kul'turnogo naslediya (pamyatnikov istorii i kul'tury) narodov Rossiyskoy Federatsii: normativno-metodicheskoe izdanie (2011). Moscow. (In Russian).

7. Stepanova O.S. Analiz sposobov geodezicheskikh nablyudenyi za deformatsiyami primenitel'no k ob»ektam kul'turnogo naslediya. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. Moscow. 2014. N 4. pp. 418-422. (In Russian).

8. Tsareva O.S. Opredelenie otноситel'nykh deformatsiy po izmeneniyam rasstoyaniy mezhdu deformatsionnymi markami. Seysmostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzheniy [Earthquake engineering. Constructions safety]. 2018. N 5. Pp. 29-37. (In Russian).
9. Shekhovtsov G.A. O skalyarnoy otsenke tochnosti polozheniya tochki v trekhmernom prostranstve. Izv. Vuzov. Geodeziya i aerofotos»emka. 1990. N 2. Pp. 27-32. (In Russian).

Для цитирования: Царёва О.С. Оценка точности определения координат деформационных марок и расстояний между ними // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2019. № 2. С. 49-56.

For citation: Tsareva O.S. Evaluation of the Accuracy of Determining the Coordinates of Deformation Marks and the Distances Between Them. Seysmostoikoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety], 2019, no. 2, pp. 49-56. (In Russian).

«Именно репутационные аспекты будут определять будущее научных журналов»: российско-американский химик о технологии и экономике научных публикаций

Александр Кабанов — профессор университета Северной Каролины и МГУ им М. В. Ломоносова, директор центра нанотехнологий для доставки лекарств Каролинского института наномедицины (Чапел-Хилл, США).

— Александр, в этом интервью мне хотелось бы поговорить о будущем научных журналов — в России и за рубежом. О той роли, которую RASA (Russian-speaking Academic Science Association, Международная ассоциация русскоговорящих ученых) может сыграть в нем. О системе экспертизы с участием международного русскоязычного научного сообщества.

— Это важная тема. Научные публикации – главный продукт деятельности ученых, характеризующий состояние учебного, научной организации и страны в целом. Изобретения, новые технологии, инновации – тоже важные продукты, но если нет научных публикаций, то трудно ожидать инноваций. Поэтому статьи для науки – это как дыхание: их наличие и качество свидетельствует о состоянии научного организма. Недавно из доклада Clarivate Analytics мы узнали, что за последние пять лет количество публикаций российских ученых, регистрируемых в базе данных Web of Science, растет темпами, опережающими среднемировые – приблизительно 12% в год. Эта обнадеживающая новость – конечно же, результат усилий по модернизации науки в России в последние годы. Выросли также и «качественные» показатели, характеризующие вклад публикаций российских ученых в мировую науку, – индексы цитируемости. Но они пока очень сильно отстают от среднемировых.

— В чем причина отставания?

— Причин несколько. Когда в 2010 году, получив мегагрант, я стал снова работать в России, я остро почувствовал, что многие русские ученые не умеют как следует писать научные статьи, причем, не только молодежь, но и среднее звено – некому было учить молодых.

В то время в России надо было писать огромное количество отчетов для чиновников, которые их наверняка не читали. В отчете, который никто не читает, написать можно все что угодно. И поэтому происходит деградация, эрозия научного процесса. Это очень плохо, на мой взгляд, сказалось на целом поколении ученых.

Сейчас ситуация улучшилась. Бюрократии стало поменьше, зато, мне кажется, появился перекосяк в сторону формальных критериев. Сейчас в России стали требовать по плану публикации заданного числа статей в международных журналах – в США такого нет. В США по большому федеральному гранту мы пишем отчет на две-три странички – такие-то достижения в выполнении поставленных задач, такие-то трудности, сколько-то статей опубликовано и так далее.

— Но сами по себе требования публиковаться не абы где, а в признанных журналах (из Scopus и Web of Science) – вполне разумные, как мне кажется...

— Конечно, требование к получателям грантов публиковаться в серьезном журнале, где есть хорошая научная экспертиза, – совершенно правильное. Я уверен, что именно благодаря таким требованиям со стороны РФ и МОН выросло число статей российских ученых в международных журналах. Особенно быстро они выросли именно в журналах первого и второго квартала, то есть наиболее востребованных (с наибольшим импакт-фактором). Импакт-фактор – показатель, отражающий частоту цитирования статей научного журнала за два года. Например, для одного из самых крупных медицинских журналов The Lancet импакт-фактор составляет порядка 53, а в среднем для хороших журналов он составляет 4.

Выдвигая формальные требования, вы, конечно, добиваетесь улучшения, но тут же возникают, скажем, ограничения. По-настоящему крупные статьи часто пишутся долго. В самых «топовых» журналах их нередко три-четыре раза посылают на рецензию, часто процесс занимает больше года.

Я в своей работе сталкиваюсь с тем, что мои российские коллеги, чтобы удовлетворить требованиям гранта, стараются выпустить несколько более мелких статей, а не одну более крупную и глубокую, которая, возможно, будет лучше цитироваться. Поэтому, добившись увеличения числа публикаций за счет давления на авторов, можно упереться в стену в плане качества, то есть того показателя, по которому мы еще очень сильно отстаем.

В этом смысле одних только усилий научных фондов недостаточно. Необходимы развитые механизмы научной экспертизы, причем не только экспертизы научных проектов и организаций, но и независимой (подчеркиваю) экспертизы работы отдельных ученых. Кое-где это уже начали делать – в РЭШ, ВШЭ, Сколтехе.

Есть и вторая проблема. Статьи 1950-1960-х годов, советские, по своему качеству и уровню ничем не уступали американским. Но с тех пор очень изменилась технология публикационной деятельности, повысились требования к объему и качеству предоставления информации. Начнем с того, что подача статей в журнал перешла в онлайн, появились электронные журналы, журналы открытого доступа, в которых можно, кстати, комментировать уже опубликованные статьи. С середины 1990-х годов в приличных журналах стало обязательным показывать всю рабочую кухню – никаких «data not shown» – все детали, пожалуйста, давайте в дополнительные материалы (supplementary materials). В моей области, наномедицине, встречаются статьи, скажем, на пять-десять страниц, а дополнительные материалы – еще на 20-40. Некоторые издатели стали предлагать публиковать дополнительные материалы в виде отдельных статей в журналах открытого доступа, напри-

мер Data in Brief издательства Elsevier. Появились архивы для депонирования препринтов статей по различным областям науки, например bioRxiv, ChemRxiv и другие, откуда многие «респектабельные» журналы не только позволяют переводить статьи для рецензирования, но и дают возможность делать это электронно-облегченным образом «в одно нажатие».

В Россию и российские научные журналы эти технологии приходят с большой задержкой. Слава богу, благодаря работе издательства Pleiades в России появились научные журналы, куда можно подавать статьи онлайн и больше не бегать с дискетой. Но публикационные и издательские технологии не стоят на месте, а стремительно развиваются. И российские ученые в массе своей не находятся в эпицентре этих изменений. Сейчас, например, в моей области идет дискуссия между учеными, сотрудниками НИИ и редакциями ведущих журналов о новых универсальных требованиях к объему и характеру предоставления информации, необходимости электронной записи результатов (electronic lab notebooks), проверке воспроизводимости результатов и других требованиях к статьям. Во многих областях сегодня требуется совершенно другой по сравнению с существующим уровень технологий для сбора, хранения, защиты и обмена данных. Необходимо развивать технологии очистки данных (data curation) для выявления неточных и ошибочных результатов.

Нужны эффективные механизмы информационного поиска, не только для того, чтобы выявить плагиат (сравнение текстов доступно и практикуется уже и в российских журналах), но и для того, чтобы помочь выявить уровень научной новизны. Необходимость таких технологий связана, с одной стороны, с появлением огромных массивов данных, автоматизацией и использованием скоростных технологий их получения в еще недавно нетипичных для этого направлениях. С другой стороны, резко возросло применение самых разных подходов и экспериментальных моделей из многих областей наук одновременно, зачастую в одной и той же научной статье. Последнее связано с конвергенцией – невероятно усилившимся использованием методов из разных дисциплин, необходимых для решения одной конкретной научной задачи. Кроме того, есть проблема онтологии данных – использования разных названий для одного и того же химического соединения, явления, и т. д. Повторю, я далеко не уверен, что российские ученые, научные организации и издательства находятся на острие этой дискуссии и этого процесса.

Технологическое отставание российских научных журналов и относительно слабая вовлеченность российских ученых в обсуждение практики научных публикаций снижает их конкурентоспособность. А отсюда пойдет дальнейшее отставание российской науки в целом.

Наконец, третья проблема – русские ученые в массе своей не умеют рассказывать доступно и красиво, так, как это делают американцы. Причем эта разница сложилась исторически на протяжении многих поколений. Я очень хорошо помню, как в конце сентября 1990 года я приехал на совместную советско-германскую конференцию, в тогда еще Западную Германию. Там была группа выдающихся советских ученых – полимерщиков, физхимиков. И немцы. И вот выходят наши ученые, уже тогда члены АН СССР или будущие академики, и начинают говорить потрясающе глубокие вещи. Но рассказывают очень сложно и путано. А потом выходят немцы, и го-

ворят, как мне показалось, в общем-то, банальные вещи – но звучат они настолько интересно! Я тогда был поражен контрастом. А американцы умеют делать это еще лучше, чем европейцы.

Здесь зарыта собака: в умении просто, четко и интересно рассказать, что ты делаешь и почему это важно для науки и общества в целом. Не просто: «я этим занимаюсь, это интересная тема, если вам непонятно – ваша проблема, читайте статьи», необходимо умение донести суть просто, красиво и ясно.

Очень хорошо, что в последние годы у нас в России развивалась научная коммуникация и достойная научная журналистика. На научных конференциях российские ученые, особенно получившие опыт за рубежом, стали более доступно и интересно рассказывать о своей работе. Однако для публикаций в передовых журналах типа Nature или Science требуются специальные навыки написания статей. Более того, в крупных американских университетах есть профессиональные научные писатели (scientific writers), которые помогают улучшить грант или написать более яркую статью в топовый научный журнал. Само существование такого уровня журналов является настоящим стимулом для развития больших тем и определения научных трендов. К сожалению, в России таких журналов нет. Поэтому одного лишь требования, чтобы наши ученые публиковались в журналах первого квартала, недостаточно. Необходимо создать такую среду, такую экосистему, в которой люди могли бы учиться. И вот этой среды в России пока нет.

— *А вас лично эти сложности с написанием статей затрагивают?*

— Конечно. Не называя имен, приведу типичный и конкретный пример. Я обычно долго пишу статьи, вникаю в детали, переписываю много раз, часто прерываюсь из-за множества неотложных дел. Но одну статью я писал целый год. Даже больше – полтора. Почему? Потому что мне нужно было лично приехать в Россию каждый второй месяц и днями сидеть вместе с человеком, который делал эксперименты. Исходный вариант статьи, который подготовили коллеги, содержал так много недочетов и противоречий фактически на каждом шагу, что я в одиночку с ним ничего не мог поделаться и не мог разобраться по переписке. Я даже не знал, как к этому подступиться, мое внимание надолго переключилось на более неотложные и перспективные дела. Но потом, когда откладывать уже было нельзя, во время своих частых приездов в Москву я стал выкраивать много времени для работы именно над этой статьей. Мы сидели над ней в общей сложности 30 дней с утра до вечера, и я спрашивал коллегу: «Слушай, а вот как вы это делали?». Коллега отвечал: «Вот так». «А почему у вас через три страницы написано по-другому?». И так про одну и ту же вещь иногда три раза было написано по-разному. Просто брали какие-то куски старых методик, старых условий экспериментов и вставляли их в разные места, не задумываясь, что они не отражают реально то, как делался наш эксперимент. В итоге условия эксперимента, концентрации, все было перепутано. И эта статья перед тем, как попасть ко мне, уже была просмотрена и утверждена доктором наук.

В какой-то степени я сталкиваюсь с такой проблемой и в США – с моими американскими аспирантами и постдоками, но в данном случае речь идет о том, что даже ученые более высокого уровня выпускают такой продукт. Если бы я не до-

верял моим российским коллегам, тому человеку, который «работал руками», и не понимал, что это, так сказать, «особенности национальной рыбалки», то я бы не стал публиковать вообще. Интересно, что с похожей проблемой сталкивался еще в период СССР и мой отец – академик Виктор Кабанов. Он умел абсолютно четко и ясно описывать научный результат, все раскладывать по полочкам, а многие его коллеги, даже весьма «остепененные», нет. В итоге эту конкретную статью мы упростили, по-моему, до пяти-семи страниц и еще страниц 20 было дополнительных материалов. Она опубликована в журнале первого квартала и неплохо цитируется. Повторяю, это типичный пример. Не один, а несколько моих российских коллег, которых я уважаю и люблю, к сожалению, могут узнать себя в подобной истории. Такая ситуация меня очень беспокоит.

— *С российскими журналами, даже с хорошими, есть вот такая проблема. Я много говорил с биологами, с химиками, с физиками. Гуманитарии – это отдельная тема, сейчас не будем их трогать. Я имею в виду естественников. Они говорят: «Нам вообще не нужны российские журналы. Зачем? Есть международные журналы первого квартала, второго, третьего. Я всегда могу туда подать, и меня прочтут много людей, я получу хорошие отзывы, рецензии, меня будут цитировать и так далее. Нам не нужно публиковаться ни на русском языке, ни в российских журналах».*

— Вы сказали очень важную вещь, которую я тоже хотел озвучить. Действительно, есть такое мнение. В том числе и некоторые мои русскоязычные коллеги в Америке, мои друзья, мои товарищи, когда я с ними завожу разговор о необходимости поддержки российских журналов, говорят: «Ну зачем это нужно? Пусть люди публикуют статьи в нормальных журналах, мировых, которые уже существуют». И возможно, кто-нибудь так начинает думать и в правительстве России, я не знаю. Мое мнение другое.

Я считаю, что наличие качественных журналов – это большое благо для страны, от которого полностью и сходу отказываться нельзя. Это важный элемент публикационной экосистемы. Если сейчас все российские журналы закроются, то тогда большой массе российских ученых придется публиковаться в «мусорных» и «хищнически» журналах, которые берут любые статьи за деньги без экспертизы. Ведь опубликовать статьи ученым где-то надо. У нас же наука не только в Москве и не только в тех областях, в которых мы худо-бедно держимся на мировом уровне.

Представьте себе также, сколько людей владеет хорошо английским языком на сегодня по России. Не так много. Если сейчас все российские журналы закроются, то далеко не все ученые и далеко не все свои работы смогут опубликовать в престижных международных журналах – многим будет некуда идти, кроме как в «мусорные» журналы, потому что статьи нужны для защиты диссертаций, для отчетности подразделений и так далее. Как известно, ломать – не строить. И я считаю – наряду с тем, что нужно стремиться, чтобы наши ученые публиковались в престижных международных журналах, нужно еще и улучшать качество своих существующих журналов, делать их журналами международного класса.

— *И технологически продвинутыми.*

— И технологически продвинутыми. Вот есть, например, прекрасный современный немецкий химический журнал – *Angewandte Chemie* – абсолютно международный, с IF

выше 12. Там пытаются опубликоваться химики со всего мира. Китайцы, японцы, французы, американцы. То есть в портфеле публикаций немцы не составляют большинство. Некоторые ученые считают, что *Angewandte Chemie* лучше, чем американский *JACS* (*Journal of American Chemical Society*). Но это также национальный журнал, он даже сохранил название на немецком, и есть немецкая версия.

И мне кажется разумным вывести лучшие российские научные журналы на международный уровень. Благо эти журналы сохранились. Не дать им сегодня умереть, а помочь им жить. Почему?

Нам в России необходима научная экосистема, где налажена и происходит качественная экспертиза. Когда журналы выживают в конкурентной среде и становятся по-настоящему международными, то экспертиза перестает быть «непротивлением сторон» – там уже всякую муть не пропустят, и туда уже не стыдно подать статью. И когда сами ученые активно участвуют в формировании этой экосистемы, становится легче воспитывать молодое поколение. Сколько ученых из России сегодня участвуют в работе международных редакций? Не очень много. Мало, откровенно говоря, по сравнению с американскими, европейскими или японскими учеными.

— *Я понимаю. Вообще ужасная ситуация.*

— Что касается технологий, то вы совершенно правы. Приведу такой пример. Когда я был аспирантом, опубликовал несколько статей в «Вестнике Московского университета», в серии «Химия». Но это считалось, в общем, могилой. Полной, абсолютной могилой. Кажется, ни разу никто не процитировал мои статьи в «Вестнике». И вдруг недавно я вижу, что сегодня статьи в «Вестнике», во-первых, изданы хорошо на английском, во-вторых, находятся через Google. Оказывается, благодаря договору с издательством *Pleiades* «Вестник» переводится на английский и попал в коллекцию *Springer Link*. В результате этого опубликованные там статьи находятся в той же базе данных, что, скажем, статьи из *Nature*. Огромный прогресс налицо, хотя этого еще недостаточно для того, чтобы российский журнал смог конкурировать с международным журналом по репутации.

Недавно Российско-американская ассоциация ученых *RASA – America* (*Russian-American Science Association*), президентом которой я сейчас являюсь, договорилась о сотрудничестве с издательством *Pleiades* с целью популяризации и продвижения в международном научном сообществе статей русскоязычных авторов, публикуемых в рамках программы издания *Russian Library of Science*. Как вы знаете, многих ученых российской диаспоры, работающих постоянно за рубежом, интересует научная жизнь в России. Нам далеко не безразлично состояние российской науки и образования, и мы стараемся помочь по мере сил. Решение о сотрудничестве с издательством мы приняли не с панталыку, а хорошо подумав и проинформировав в том числе РАН, журналы которой *Pleiades* переводит и публикует на английском языке в рамках *Russian Library of Science*. Эта совместная работа только начинается. Но у российской научной диаспоры очень большой потенциал и опыт – там сейчас работают десятки так называемых высокоцитируемых ученых (*highly cited scientists*), попадающих в список *Clarivate Analytics* (список самых цитируемых ученых мира, обновляется ежегодно – прим. *Indicator. Ru*). Для сравнения, в этом году в России таких ученых мень-

ше десяти, включая некоторых мегагрантников. Поэтому мы думаем, что диаспора может реально помочь российским ученым и журналам благодаря своему активному участию в международном публикационном процессе.

— **А вы думаете про модель Open Access как двигатель развития журналов?**

— Сегодня на рынке научных публикаций стремительно происходят тектонические изменения, последствия которых, видимо, еще не до конца ясны даже профессионалам на этом рынке – крупнейшим мировым издательствам, чиновникам разных стран и другим администраторам разного уровня, отвечающим за доступность научной периодики. В прессе уже немало писали о Плане S Европейского союза, согласно которому ученые, получающие финансирование от европейских исследовательских фондов, с 1 января 2020 года должны будут публиковать статьи только в журналах открытого доступа (Open Access). Такое требование во многом обусловлено идеей справедливости – чтобы результаты науки, финансируемой на деньги налогоплательщиков, были доступны без барьеров широкой общественности. Я это не очень понимаю – в США для этой цели Национальный фонд здоровья уже давно просто просит депонировать целиком уже принятые статьи в PubMedCentral – открытый архив Национальной библиотеки медицины, где они становятся доступны всем. С другой стороны, стоимость пакетной подписки, так называемой «Большой сделки» (BigDeal), в рамках которой университеты получают доступ ко всем публикациям крупного издательства, становится слишком высокой для университетских библиотек.

Недавно администрация системы университетов Калифорнии отказалась от такой сделки с крупнейшим издательством Elsevier, и ряд других американских университетов, включая мой собственный – университет Северной Каролины в Чапел Хилл, думают о том же. Что это означает, мне кажется, не понимают до конца ни издательства, ни университеты, ни ученые. Мне, например, непонятно, что станет с нашей возможностью публиковать и читать статьи в лучших в моей области «традиционных» журналах: Advanced Drug Delivery Reviews, Biomaterials, Journal of Controlled Release, Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine и многих других, издаваемых Elsevier и пока распространяемых «пакетом». Вместе с тем сейчас появились новые журналы открытого доступа – с высоким импактом, со строгой экспертизой, хорошей репутацией, в которых очень нелегко опубликоваться, например Nature Communications, Science Advances, Advanced Science, а также более массовые, не ставящие во главу угла критерий «важности» (significance), но очень достойные рецензируемые журналы типа Scientific Reports и PLOS One. Только за последние полтора месяца моя американская лаборатория направила четыре статьи в журналы открытого доступа, стоимость публикации каждой из которых в случае принятия составляет \$5 000. Одну из них уже приняли, если примут все четыре, то я и ученые, с которыми мы сотрудничаем, будем счастливы, но заплатим \$20 000. Но, правда, по сравнению с затратами на выполнение этих работ, каждая из которых обошлась нам в несколько сотен тысяч долларов, цена этих публикаций относительно невелика.

Вопрос только в том, из каких источников будут поступать деньги на публикации. Вообще говоря, мы публикуем в среднем десять – двадцать статей в год, и если за каждую статью в

открытом доступе платить, то будет набегать приличная сумма – с некоторой ценовой статистикой можно познакомиться на сайте treemaps.intact-project.org. Подчеркну, что цена публикаций связана не только и не столько с желанием издателей извлекать прибыль на этом рынке, но в первую очередь с тем, что экспертиза, публикация и распространение (маркетинг) даже электронных журналов требует немалых затрат. Сейчас, чтобы как-то сгладить ценовое давление на ученых и университеты, принимаются попытки заменить big deal на принцип «читай и публикуй» (read and publish). Недавно между издательством Wiley и группой, представляющей интересы свыше 700 научных учреждений и библиотек Германии, подписано трехлетнее соглашение, по которому немецкие ученые смогут свободно читать публикации этого издательства и «бесплатно» публиковать там свои статьи. На самом деле, не бесплатно, конечно. Причем годовая стоимость этой сделки для Германии будет зависеть от числа статей, опубликованных в этом издательстве за год немецкими учеными. Что касается «равнодействующей в мировом масштабе», то она до сих пор далеко не понятна, например, уже упомянутый План S Европейского союза рассматривает подход «читай и публикуй» как переходный для них механизм.

— **А как это скажется на российских ученых и научных журналах?**

— Ну, аспект стоимости публикаций в журналах открытого доступа (а такими могут в конечном счете оказаться все или многие наиболее уважаемые международные журналы) является еще одним аргументом в пользу сохранения и улучшения качества наиболее приспособленных, лучших журналов, издаваемых в России. Может быть, если подход «читай и публикуй» укоренится, то российское правительство заключит с крупнейшими изданиями соответствующие соглашения, позволяющие российским авторам как публиковаться, так и скачивать статьи, по типу немецкой сделки. Но и перед самими российскими журналами происходящие изменения ставят очень серьезные вопросы. Ведь для того, чтобы повысить свои качество, престиж и цитируемость, как мы уже обсуждали, журналам нужно становиться международными, публиковать статьи на английском, а может, в будущем и на других языках, обеспечивать приток иностранных авторов. А если этого не делать, то российские журналы исчезнут.

— **Но ведь говорят, что уже сейчас методы машинного перевода настолько совершенны, что читать можно на любом языке?**

— Я совершенно уверен, что машинный перевод скоро полностью ликвидирует языковой барьер. Более того, в некоторых областях, где работает не слишком много ученых и где показатели цитируемости практически ничего не значат, может быть, и не нужно публиковать статьи в «престижных» журналах – достаточно задепонировать их в публично доступный архив. Я слышал, что в некоторых областях математики даже рецензировать статьи трудно, так как необходимых специалистов единицы, и, чтобы разобраться в правильности или ошибочности нового достижения, требуются месяцы, если не годы. Но в тех областях, где работает огромное количество ученых и выпускается огромное количество статей (а следовательно, делаются большие затраты на науку) очень важно, где вы публикуетесь и кто там публикуется помимо вас. Позвольте привести такой пример. В начале 2010 года мой

американский аспирант и я опубликовали обзорную статью в одном из лучших фармацевтических журналов. Через несколько месяцев мой ученик пришел ко мне очень взволнованный и расстроенный и показал статью, опубликованную в индийском журнале, издаваемом на английском языке и доступном всюду. Статья индийских, так сказать, «авторов» была несколько сокращенной, но практически дословной копией нашей. Я сразу сказал своему ученику, что я не буду тратить время на разбирательства и не буду ничего предпринимать. Что если у нас крадут, не успели мы это выпустить из рук, то быть ему «классиком». Так и получилось – он стал сначала постдоком в MIT, опубликовал важнейшую работу в этом же направлении в Nature Biotechnology, стал очень успешным профессором в Университете Орегона. Наша же статья в одно время была самой цитируемой статьей в своем журнале и на сегодня, по данным Google Scholar, набрала существенно больше тысячи цитирований. В отличие от ее индийской «версии», которая была процитирована всего четыре раза. Мне кажется, что этот пример двух фактически одинаковых по содержанию и доступных на английском публикаций ярко показывает, что важно, где публикуется статья и, как мне хочется надеяться, кто ее публикует.

Сейчас «расцветает сразу много цветов», но люди стараются приходиться на те поля, на которых растут розы, а не сорняки. И особенно если там еще гуляют коровы, на эти поля никто не ходит, потому что можно вляпаться. Именно

репутационные аспекты будут определять будущее научных журналов.

Как патриоту российской науки мне бы хотелось, чтобы российские журналы публиковали много статей, которые бы цитировались сотни и тысячи раз. Для этого совершенно недостаточно перевести эти статьи на английский язык и поставить их в открытый доступ. Необходимо, чтобы российский журнал стал международным в плане тщательности экспертизы, используемых передовых технологий, разнообразия стран авторов, высокой репутации, попадал в международные базы данных.

Возможно, такой журнал должен быть открытого доступа, но конкурентоспособный и доступный для публикации как российских, так и всех остальных авторов. В любом случае он должен быть экономически жизнеспособным – ведь достижение поставленных целей и продвижение журнала в мире достаточно затратны. Решение такой задачи невозможно чисто внутрироссийскими усилиями, нужно участие многих опытных и заинтересованных игроков. Мне кажется, что важно принять такие условия игры, чтобы российские журналы стремились измениться «по гамбургскому счету», даже если нынешние редколлегии этих журналов не жадуют перемен. Не все из них изменятся. Но если из существующих станут по-настоящему международными несколько десятков, то это будет колоссальная победа. За это нам всем вместе стоит побороться.

Материал взят с сайта Indicator.ru, автор Артем Космарский.

«Just Reputation Aspects will Determine the Future of Scientific Journals»: Russian-American Chemist on Technology and Economics of Scientific Publications

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%.

Сведения об авторах

Алаа Эльдин Мансур, НИУ МГСУ, кафедра строительной и теоретической механики, аспирант, Москва, Россия
e-mail: Alaa_for_all@hotmail.com

Альдребид Зиад Ахмад, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, аспирант кафедры «Здания»
e-mail: ZIALD67@gmail.com

Востров Владимир Кузьмич, доктор технических наук, советник директора ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»
e-mail: Vostrv@mail.ru

Ержанов Сырымгали Ержанович, кандидат технических наук, советник генерального директора по науке АО «КазНИИАС», член-корреспондент НИА РК и МИА, Алматы, Республика Казахстан
e-mail: Lapin_1956@list.ru

Лалин Владимир Алексеевич, кандидат технических наук, директор Центра научных исследований – ученый секретарь АО «КазНИИАС», член-корреспондент НИА РК и МИА, Алматы, Республика Казахстан
e-mail: Lapin_1956@list.ru

Наумкин Александр Викторович, кандидат технических наук, специалист БКП-2 АО «Атомэнергопроект», Российская Федерация, г. Москва, Бакунинская ул., д.7, стр.1. АЭП
e-mail: Naumkin_AV@aep.ru

Тонких Геннадий Павлович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник 2НИЦ ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (Федеральный центр науки и высоких технологий), Российская Федерация, г. Москва
e-mail: 5059144@mail.ru

Тяпин Александр Георгиевич, доктор технических наук, профессор, главный специалист БКП-2 АО «Атомэнергопроект». Российская Федерация, г. Москва. Адрес: г. Москва, Бакунинская ул., д.7, стр.1. АЭП.
e-mail: atyapin@bvcp.ru, тел.: 8 (985) 998-3321

Царева Ольга Сергеевна, ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ассистент
e-mail: tsareva_os@spbstu.ru

Information about Authors

Alaaeldin Mansour, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Structural & Theoretical Mechanics Department, postgraduate, Moscow, Russia
e-mail: Alaa_for_all@hotmail.com

Aldrebi Ziad Ahmad, Postgraduate, Emperor Alexander I St.Petersburg State Transport University, department of «Buildings», Saint-Petersburg, Russia
e-mail: ZIALD67@gmail.com

Vostrov Vladimir K., Doctor of Technical Sciences, Director's Adviser, Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Koucherenko JSC Research Center of Construction
e-mail: Vostrv@mail.ru

Yerzhanov Syrymgali Y., PhD in Engineering Science, Adviser to Director General, Corresponding Member of International Engineering Academy and National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan, KazNIISA JSC, Almaty, Republic of Kazakhstan
e-mail: Lapin_1956@list.ru

Lapin Vladimir A., PhD in Engineering Science, Director of Center for Scientific Research in Building Industry, Corresponding Member of International Engineering Academy and National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan, KazNIISA JSC, Almaty, Republic of Kazakhstan
e-mail: Lapin_1956@list.ru

Naumkin Alexander V., PhD, specialist BKP-2 JSC «Atomenergoprojekt». Russian Federation, Moscow, Bakuninskaya ul., 7, str.1, AEP
e-mail: Naumkin_AV@aep.ru

Tonkikh Gennadii P., Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief researcher Federal state budgetary institution «All-Russian research Institute on civil defense and emergency situations of EMERCOM of Russia» (Federal center of science and high technologies), Russian Federation, Moscow
e-mail: 5059144@mail.ru

Tyapin Alexander G., Doctor of Technical Science, Professor, main specialist BKP-2 JSC «Atomenergoprojekt». Russian Federation, Moscow. The address: Moscow, Bakuninskaya ul., 7, str.1, AEP.
e-mail: atyapin@bvcp.ru

Tsareva Olga S., Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, assistant
e-mail: tsareva_os@spbstu.ru

Российская Ассоциация по сейсмостойкому строительству и защите от природных и техногенных воздействий (РАСС) с 2018 года является членом Ассоциации научных редакторов и издателей (АНРИ). В своей издательской деятельности РАСС следует Декларации «Этические принципы научных публикаций», принятой на Общем собрании АНРИ 20 мая 2016 года.

ДЕКЛАРАЦИЯ АССОЦИАЦИИ НАУЧНЫХ РЕДАКТОРОВ И ИЗДАТЕЛЕЙ «ЭТИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ»



1. Настоящая Декларация разработана Ассоциацией научных редакторов и издателей (АНРИ) в качестве свода этических принципов, регулирующих поведение редакций, редакторов, рецензентов, издателей и авторов в сфере научных публикаций. Текст Декларации предназначен для использования в качестве целостного документа, и каждое его отдельное положение должно применяться с учетом всех других применимых положений.
 2. Лица, вовлеченные в научный и публикационный процесс, стремятся следовать принципам Декларации, а также рекомендациям Комитета по этике публикаций (Committee on Publication Ethics (COPE)) и других международных объединений редакторов и издателей.
 3. АНРИ видит свою цель в формировании в научном сообществе четкого представления о публикационной этике, открытого и безоговорочного осуждения неэтичного поведения и полного отказа от любых видов сотрудничества, ведущего к продуцированию «мусорных» публикаций, препятствующего развитию науки в целом.
- Основные принципы:**
4. **Этические нормы редакции.** Редакционная команда журнала в своей деятельности руководствуется принципами научности, объективности, профессионализма, беспристрастности.
 5. **Ответственность за соблюдение этических норм.** Исследователи, авторы, редакторы, рецензенты и издатели несут этические обязательства в отношении публикации и распространения результатов научного исследования.
 6. **Нормы общения с авторами.** Взаимодействие с авторами основывается на принципах справедливости, вежливости, объективности, честности и прозрачности.
 7. **Наличие института рецензирования.** Все содержание журнала, кроме рекламных и редакционных материалов, четко обозначенных как таковые, проходит обязательное рецензирование независимыми экспертами (открытое, слепое, двойное слепое). Предпочтительным является двойное слепое рецензирование.
 8. **Доступ к публикациям.** Журналы гарантируют доступ к публикациям, обеспечивая хранение материалов в ведущих библиотеках и репозиториях научной информации страны.
 9. **Информационная открытость.** На странице издания в Интернете публикуются положения о публикационной этике и рецензировании, четко сформулирована политика журнала, правила подачи рукописей, инструкции для авторов и информация о доступности материалов (свободный доступ или по подписке). Обязательно указываются ISSN, адрес издательства.
 10. **Информация о платных услугах.** Вся информация о платных услугах, если таковые в той или иной форме имеются, внятно прописывается и доступна на сайте журнала, утверждена главным редактором. Если журнал не предоставляет платных услуг, это также указывается на сайте издания.
 11. **Соблюдение этических критериев авторства.**
 1. Автором является только человек, в значительной степени участвовавший в написании работы, в разработке ее концепции, в научном дизайне, сборе материала, анализе и интерпретации;
 2. Обязательным является согласие всех авторов на публикацию. Все соавторы должны соответствовать этим критериям.
 12. **Согласование окончательного текста статьи с автором.** Публикация статьи под именем автора подразумевает возникновение авторских прав. Публикация не согласованного с автором текста, равно как и внесение посторонних лиц в число соавторов, является нарушением авторского права.
 13. **Сроки принятия решений редакцией.** Принятие редакторских решений осуществляется в ограниченные сроки и излагается в четкой и конструктивной форме на сайте издания в инструкции для авторов.
 14. **Взаимодействие с научными и профессиональными объединениями.** Редакции стремятся к взаимодействию с профессиональными научными ассоциациями и отраслевыми сообществами с целью обеспечения высокого качества работы учёных.
 15. **Предотвращение и исправление нарушений этики.** Долг научных редакторов предотвращать ситуации, когда авторы, рецензенты или иные субъекты, включенные в процесс производства научных текстов, осуществляют неэтичное поведение, а также обеспечивать изъятие недобросовестных публикаций из научного пространства, сотрудничать с советом по этике и научными ассоциациями.
 16. **Конфликт интересов.** Редакторы призывают авторов раскрывать отношения с промышленными и финансовыми организациями, способные привести к конфликту интересов. Все источники финансирования должны быть указаны авторами в теле статьи.
- АНРИ признает неэтичным поведением в сфере научных публикаций следующее:**
17. **Требование к авторам самостоятельно предоставлять рецензии на собственные статьи, а также договорное и псевдорецензирование.** Данная

практика подразумевает отсутствие рецензирования в журнале.

18. **Предложение агентских услуг.** Оказание таких услуг авторам как «публикация под ключ», переписка с редакцией от лица автора, доработка агентом статей по рекомендациям рецензента, подготовка платных рецензий.
19. **Продажа соавторства, подарочное соавторство, изменение состава авторов.** Указание в числе авторов лиц, не внесших интеллектуальный вклад в исследование, является нарушением авторских прав и норм этики, поскольку не только вводит в заблуждение читателей, но и расценивается как мошенничество.
20. **Публикация материалов заочных «научных» конференций.** Поскольку практика таких конференций напрямую связана с махинациями и мошенничеством в сфере науки, публикация материалов этих конференций расценивается как неэтичная, содействующая распространению псевдонаучных текстов.
21. **Передача текстов статей в другие журналы без согласования с авторами.** Публикация статьи в журнале, который не был согласован с автором, является нарушением интересов автора.
22. **Передача материалов авторов третьим лицам.** Передача присланных в редакцию материалов статей тре-

тым лицам, кроме рецензентов и сотрудников редакции, является нарушением авторских прав и принципа конфиденциальности редакционных процессов.

23. **Манипуляции с цитированием.** Искусственное увеличение наукометрических индексов, избыточное самоцитирование и дружественное цитирование, нерелевантные ссылки вводят в заблуждение читателей и интерпретируются как мошенничество.
24. **Плагиат, фальсификации и фабрикация.** Редакция добросовестно работает с текстами статей, предотвращая на страницах своих изданий появление недобросовестных научных публикаций, содержащих плагиат, фальсификацию и фабрикацию данных.

Совет по этике Координационным и консультационным органом в рамках настоящей Декларации признается Совет по этике, сформированный при Ассоциации научных редакторов и издателей.

Декларация разработана Советом по этике АНРИ: Кулешова А.В., Кочетков Д.М., Абрамов Е.Г., Абалкина А.А., Беляева Д.А., Касьян А.С., Малешин Д.Я., Носов Д.М., Репецкая А.Л., Ростовцев А.А., Филиппов Ю.И., Шишлакова О.С.

В разработке принимала участие президент АНРИ Кириллова О.В.

www.rasep.ru/sovet-po-etike/deklaratsiya

Принята на Общем собрании АНРИ, прошедшем в рамках 5-й Международной научно-практической конференции «Научное издание международного уровня – 2016: решение проблем издательской этики, рецензирования и подготовки публикаций», г. Москва, 20 мая 2016 г. (редакция 2016 г.)

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛЕ «СЕЙСМОСТОЙКОЕ 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 Р7.0.5–2008) 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**



НИЦ строительство
научно-исследовательский центр

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «СТРОИТЕЛЬСТВО»



ИИИСК
ИМ. В.А. КВЧЕРЕНКО



ИИИЖБ
ИМ. А.А. ГВОЗДЕВА



ИИИОСП
ИМ. Н.М. ГЕРСЕВАНОВА

АО «НИЦ «Строительство» приглашает на курсы повышения квалификации!

- Повышение квалификации в области инженерных изысканий, проектирования и строительства;
- Повышение квалификации по уникальным программам АО «НИЦ «Строительство»;
- Повышение квалификации по программам ЖКХ;
- Повышение квалификации «Государственные закупки в рамках Федеральной контрактной системы для обеспечения государственных и муниципальных нужд»;
- Программы повышения квалификации для экспертов;
- Возможна разработка индивидуальных программ обучения и учебно-тематических планов.

По окончании курса выдается удостоверение о краткосрочном повышении квалификации и (или) квалификационный аттестат.

Формы обучения:

- очные курсы повышения квалификации (с отрывом от производства);
- заочные курсы повышения квалификации (без отрыва от производства);
- дистанционные курсы повышения квалификации с использованием современных компьютерных технологий, (без отрыва от производства).

АО «НИЦ «Строительство» осуществляет подготовку научных кадров высшей квалификации. Приглашаем в нашу аспирантуру и докторантуру!

В АО «НИЦ «Строительство» работает совет по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 303.020.02!

Соискание ученых степеней возможно по следующим направлениям (специальностям):

- 05.23.01 — Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки),
- 05.23.02 — Основания и фундаменты, подземные сооружения (технические науки),
- 05.23.05 — Строительные материалы и изделия (технические науки).

АО «НИЦ «Строительство» имеет бессрочную лицензию на право ведения образовательной деятельности.

Контакты:

Смирнова Екатерина Григорьевна,
начальник отдела подготовки кадров,
тел.: +7 (499) 174-73-84;
e-mail: smirnova@cstroy.ru, cool.opk2012@yandex.ru

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

1-6 ИЮЛЯ 2019



РОССИЙСКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО СЕЙСМОСТОЙКОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ И СЕЙСМИЧЕСКОМУ РАЙОНИРОВАНИЮ

Уважаемые коллеги!

XIII Российская Национальная Конференция по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию состоится 1-6 июля 2019 года в г. Санкт-Петербурге, CITYTEL Отель «Санкт-Петербург» (г. Санкт-Петербург, Пироговская наб. 5/2).

Организаторы конференции: Российская Ассоциация по сейсмостойкому строительству и защите от природных и техногенных воздействий (РАСС), Российская академия архитектуры и строительных наук (РААСН), Российская инженерная академия (РИА), ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство».

Цель конференции: содействие ученым и специалистам России и других стран в установлении контактов, обмене опытом, научно-технической и коммерческой информацией.

Параллельно с XIII Российской Национальной Конференцией будет проходить **XVI Международная конференция по сейсмоизоляции, рассеиванию энергии и регулированию динамических характеристик сооружений**, проводимая Anti-Seismic Systems International Society (ASSISi) и Российской Ассоциацией по сейсмостойкому строительству и защите от природных и техногенных воздействий (РАСС). Место проведения конференций – конференц-залы CITYTEL Отеля «Санкт-Петербург».

Приглашаем принять участие в конференциях специалистов, работающих в данной области, а также представителей администраций сейсмоопасных районов.

e-mail: raee@13rncee.ru, info@13rncee.ru

www.13RNCEE.ru
+7 (968) 595 44 51

