

УДК 624.1

DOI: 10.17213/mgvgif/2026-5-46-54

О СЕЙСМОБЕЗОПАСНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ЛАБИНСКОЙ ГАЭС В КРАСНОДАРСКОМ КРАЕ

В. А. Волосухин¹, С. В. Юрьев²

¹Институт безопасности гидротехнических сооружений, г. Новочеркасск, Россия,

²АО «Институт Гидропроект», г. Москва, Россия

Аннотация. Строительство Лабинской ГАЭС планируется в предгорьях Краснодарского края в сложных сейсмо- и инженерно-геологических условиях. Главные риски: высокая сейсмичность, оползни, слабые глинистые толщи и разжижение песков. Необходимы детальные сейсмо- и геотехнические изыскания, подземная деривация, противифльтрационные завесы, сейсмоизоляция оборудования, многоуровневый мониторинг и автоматизированная система предупреждения. Системный и консервативный подход обеспечит приемлемую сейсmobезопасность и минимизацию рисков.

Ключевые слова: Лабинская ГАЭС, сейсмичность, ОСР-2015, подземная деривация, оползни, разжижение грунтов, противифльтрационные мероприятия, мониторинг, сейсмоизоляция, эксплуатационная безопасность

PRACTICAL ON THE SEISMIC SAFETY OF CONSTRUCTING THE LABINSKAYA PSP IN KRASNODAR KRAI

V. A. Volosukhin¹, S. V. Yuryev²

¹Institute of Hydraulic Structures Safety, Novocherkassk, Russia

²JSC «Institute Hydroproject», Moscow, Russia

Annotation. The Labinskaya PSP is planned in the foothills of Krasnodar Krai under complex seismic and engineering-geological conditions. Main risks: high seismicity, landslides, weak clayey deposits and sand liquefaction. Required measures: detailed seismic and geotechnical investigations, underground headrace, anti-seepage cutoffs, seismic isolation of equipment, multi-level monitoring and an automated warning system. A systematic and conservative approach will ensure acceptable seismic safety and risk minimization.

Keywords: Labinskaya PSP, seismicity; OSR-2015, underground headrace, landslides, soil liquefaction, anti-seepage measures, monitoring, seismic isolation, operational safety

Введение

Землетрясения (сейсмические явления) наблюдались в далёком прошлом, проходят ежедневно в настоящее время и будут проходить в будущем. Каждый день в мире сейсмостанциями фиксируется от 50 до 108 землетрясений с магнитудой более 3. За годы XXI века (2000–2025) зафиксировано 654 тыс. 349 подобных землетрясений. Наибольший ущерб от землетрясений фиксируется с магнитудой 5 и выше. С 2000 по 2025 гг. таких землетрясений зафиксировано 44 тыс. 108 (в среднем около 5 в день). 30 июня 2025 г. на Камчатке произошло землетрясение с магнитудой $M = 8,7$ с выделенной энергией за 5–6 минут 278 млрд кВт·ч — это больше, чем вырабатывают все ГЭС и ГАЭС РФ в год ($\approx 207,4$ млрд кВт·ч/год).

Основная часть

Строительство и эксплуатация Лабинской гидроаккумулирующей электростанции (ГАЭС) на реке Лаба с расчётным напором 200 м и планируемой установленной мощностью 600/660 МВт представляет собой сложную инженерно-геологическую и сейсмостроительную задачу, требующую интегрированного подхода к оценке рисков, проектированию и системе эксплуатационного контроля. ГАЭС как элемент энергосистемы выполняет и режимы аккумуляирования, и режимы быстрого разгрузочного отклика, что накладывает специфические динамические нагрузки на сооружения и основания. С учётом того, что проект предусматривает шесть обратимых гидроагрегатов радиально-осевой конструкции (каждый 100/110 МВт) и большие объёмы верхнего и нижнего бассейнов, сейсмическая безопасность строительства и последующая эксплуатация становятся фактором критической важности для обеспечения надёжности энергоснабжения Южного федерального округа и сохранности окружающей среды [1, 5, 6, 12].

Сильные землетрясения ($M \geq 6$) происходят время от времени на территории земного шара. Случаются они и в Краснодарском крае, где сейсмическая активность наблюдается периодически из-за сложного геологического строения и близости Кавказских гор [6, 17].

Выбор места, согласно Генеральной схемы размещения объектов электроэнергетики до 2042 г., для строительства гидроаккумулирующей станции в районе р. Лабы определяется сочетанием гидрологических, геологических и инфраструктурных факторов [12]. Предполагаемая площадка размещения Лабинской ГАЭС расположена в нескольких километрах южнее районного центра Мостовской Краснодарского края, на правобережном склоне реки Лаба, левого притока Кубани. Равнинно-горный характер рельефа, наличие подходящих водосборов и перепадов высот создаёт предпосылки для реализации схем с верхним и нижним бассейнами, минимизируя при этом необходимый объём земляных работ и снижая капитальные затраты.

Степень сейсмозащиты комплекса ГТС Лабинской ГАЭС зависит от используемой величины сейсмической опасности. В комплекте карт ОСР-2015 предусмотрены три карты (А, В, С), которые характеризуются разными уровнями сейсмической опасности. Разница между максимальной сейсмической опасности по карте А для площадки Лабинской ГАЭС (7 баллов) и максимальной по карте С (9 баллов) составляет два балла. Новый комплект карт общего сейсмического районирования ОСР-2015 утвержден Министерством России приказом №844/пр от 23.11.2015. Карты С — максимальной расчетной сейсмической опасности с показателем расчетного периода (Т) повторяемости землетрясений $T = 5000$ лет. На комплект карт ОСР-2015 — С максимальная нормативная сейсмичность на территории России была

установлена равной 10 баллов двенадцатибалльной шкалы MSK-64. Землетрясения неизбежны (были и проходят и будут проходить в будущем) насколько обусловлены продолжающейся десятки и сотни миллионов лет глобальной эволюцией развития литосферы нашей планеты [6, 17, 18].

Ключевыми сейсмологическими и геотехническими проблемами, которые необходимо решить на этапе проектирования, являются: уточнение сейсмичности района и картирование локальных разломов; оценка динамических свойств горных и аллювиальных отложений, в частности наличия слоёв, склонных к разжижению; влияние сейсмических воздействий на фильтрационные характеристики и герметичность насыпных дамб верхнего бассейна и смешанных грунтовых плотин нижнего бассейна; устойчивость крутых откосов, по которым прокладываются напорные и сливные трубопроводы; и влияние циклических гидродинамических перепадов уровней на структуры оградительных сооружений. В условиях возможных интенсивных землетрясений динамические нагрузки агрегатов в режиме «турбина — насос» могут существенно увеличить амплитуды вибраций, привести к резонансным явлениям и ускоренному износу опорных частей и соединений, что требует специального учёта в расчётах и повышенных требований к монтажу и обслуживанию оборудования.

Планируемый район расположения сооружений Лабинской ГАЭС находится в предгорной зоне северного склона Главного Кавказского хребта, в долине реки Лаба на юго-западе Краснодарского края. Геоморфологически площадка будет размещена в южной части Восточно-Кубанской равнины, расчленённой широкими террасированными речными и балочными долинами; абсолютные отметки на участке колеблются в пределах 400–700 м.

Краснодарский край является одним из самых сейсмоопасных территорий наряду с Сахалином, Байкалом, Камчаткой, Якутией, Алтаем, ведь на его территории насчитывается 26 разломов литосферных плит [6, 17, 18].

Так, одно из последних, наиболее обширных землетрясений Краснодарского края возникло 09 ноября 2002 года. Оно ощущалось на всей территории края: Анапа, Крымск, Юровка силой — 5–6 баллов, Новороссийск — 5 баллов, Краснодар — 4–5 баллов, Геленджик, Белореченск, Славянск-на-Кубани, Темрюк, Майкоп — 3 балла. Землетрясение произошло в очаговой области семибалльного исторического землетрясения 9 октября 1879 г. Его магнитуда составила $M = 5,7$. Землетрясение 1879 г. ощущалось на всей территории Нижнекубанской области, вплоть до Крыма. Положение эпицентров землетрясений показано на рисунке 1 совместно с известными в этом районе очагами за период с древнейших времен по настоящее время [6, 17, 18].

Землетрясения на планете Земля – это неотъемлемая часть ее жизненного цикла. Они будут случаться в будущем (ежедневно происходит около 3 тыс. землетрясений) вследствие непрерывной тектонической активности и перераспределения напряжений в земной коре.

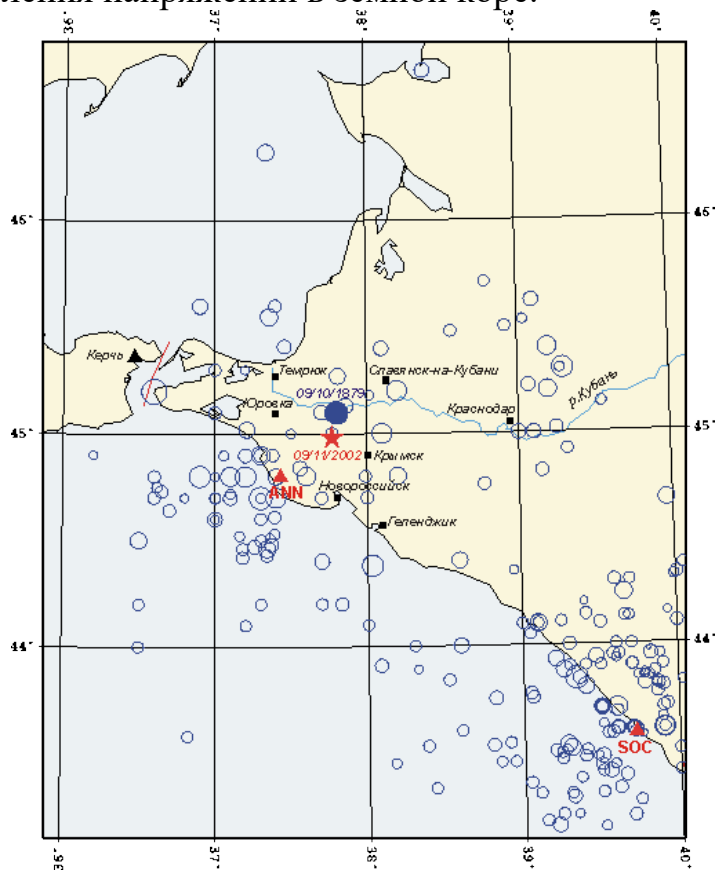


Рис. 1. Положение эпицентров землетрясений с очагами за период с древнейших времен по настоящее время

Инженерно-геологические условия строительства Лабинской ГАЭС признаны сложными. Среди рассмотренных вариантов выбран приоритетный участок, расположенный в 4,5 км выше по течению от станции Засовская; он принят как основной для размещения ГАЭС и подземной деривации.

Верхний бассейн Лабинской ГАЭС предполагается создать в балке Зуева, прорезающей позднеплиоценовую акчагыльскую террасу, путем возведения земляной дамбы высотой до 53–55 м. Дамба будет отсыпана из делювиально-пролювиальных глин (с прослоями погребённых почв), материалов выемок подводящего канала и с прилегающих водоразделов. Так как глины при нарушении структуры могут стать сильно набухающими с низкой прочностью на сдвиг, опорные призмы дамбы предусматривается отсыпать из аллювиальных галечников, детально разведанных на левом берегу Лабы. В основании следует удалить малопрочные балочные грунты вязкой консистенции и неоднородные тела оползней/оплывов мощностью 8–15 м. Планируются противофильтрационные мероприятия по периметру бассейна и

подводящему каналу для прерывания фильтрации через верхнесарматские пески и акчагыльские галечники. Водоприёмник размещается на межоползневом гребне в верхней части склона за пределами зоны современных оползней.

Важным проектным решением для европейской части России является выбор трассировки напорных водоводов — надземный или подземный вариант.

Наличие участков сравнительно невысокими физико-механическими характеристиками грунтов вдоль трассы требует дорогостоящих мероприятий по укреплению склонов; подземная прокладка водоводов на эксплуатационной стадии даёт преимущества перед наземной. В проекте Лабинской ГАЭС предусмотрена подземная напорная деривация, состоящая из двух глубоких шахт, переходящих в слабо наклонные напорные туннели — единственно реальная альтернатива открытым деривациям по оползневым склонам в данном районе. Подземная деривация пройдет в мощной толще неогеновых преимущественно глинистых пород сарматского, конкского и караганского ярусов.

В глинистых толщах имеются прослои и линзы водоносных известняков, песчаников, песков и алевролитов мощностью от долей миллиметра до 5 м, содержащие напорные воды. Проект проходки подземных выработок должен предусматривать мероприятия по борьбе с гидравлическими выпорами и суффозией в песках и алевролитах, особенно при пересечении их туннелями под острым углом. Следует учитывать и риск разжижения песков и алевролитов под динамическими нагрузками; объём специальных мероприятий в неустойчивых прослоях ориентировочно определяется по инженерно-геологическому разрезу модели трассы.

Здание Лабинской ГАЭС будет размещаться в тыловой части правобережной поймы реки Лаба на некотором удалении от основания обширного стабилизированного оползневого склона, чтобы избежать возможности его активации при 8-балльных сейсмических воздействиях или при экстремальных климатических условиях.

Нижний бассейн проектируется на правобережной пойме Лабы в дамбах высотой 7–8 м, возводимых из пойменных выемок; в основании дамб галечники могут перекрываться буро-бетонной стенкой или инъекционной завесой глубиной 5–8 м.

Опыт проектирования гидроаккумулирующих электростанций в сложных инженерно-геологических условиях применим к сейсмобезопасности Лабинской ГАЭС в Краснодарском крае (рис. 2). При расположении сооружений на слабых или неоднородных отложениях необходимо учитывать не только фильтрацию и размыв, но и динамическое поведение грунтов

при сейсмической нагрузке: возможную потерю прочности связных и несвязных грунтов, циклическую уплотняемость или разжижение песчаных прослоев, увеличение фильтрационных напоров и рост деформаций склонов под действием сейсмических волн.

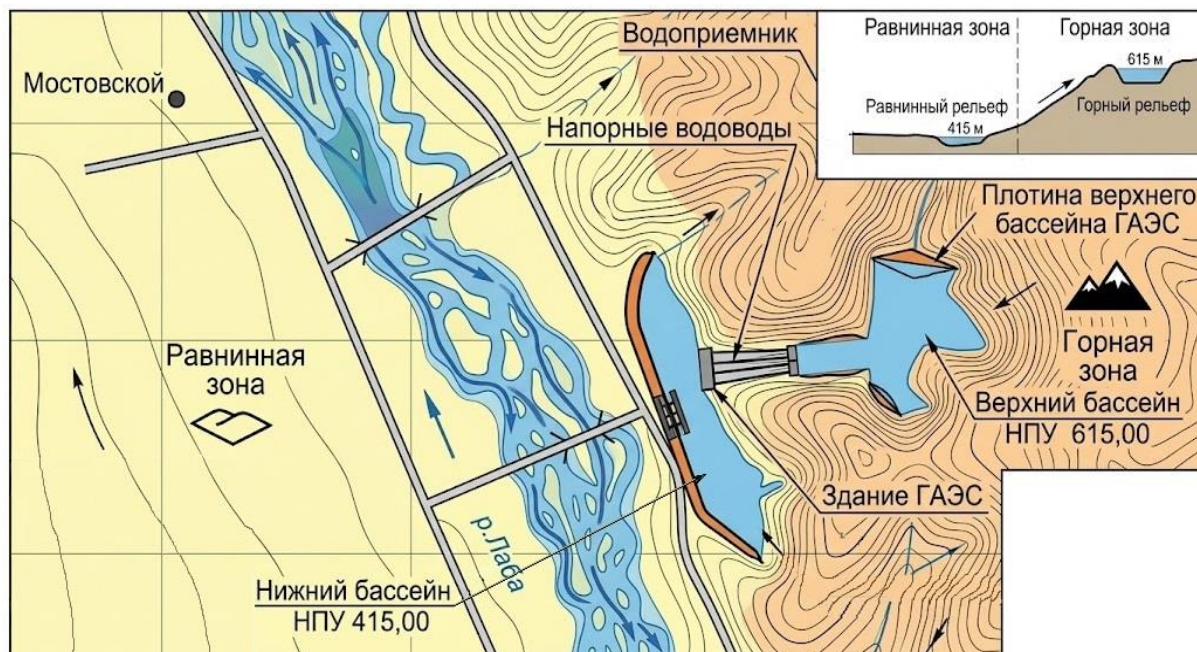


Рис. 2. Схема размещения Лабинской ГАЭС

Практика Загорских ГАЭС показала, что дренажные системы и укрепление склонов повышают устойчивость при статических и динамических воздействиях; свайные фундаменты для водоводов уменьшают риск локальных разрушений под сейсмические ускорения. В Ленинградском проекте учитывали наличие напорных водоносных горизонтов на песках, что при землетрясении повышает риск разжижения и фильтрационных протечек — поэтому противофильтрационные мероприятия и расчёт гидродинамической реакции пласта на сейсмическую нагрузку являются обязательными [1–5, 8–11].

Опыт Института Гидропроект в Узбекистане подтверждает: для дисперсных, слабоцементированных и мгновенно размывающихся грунтов при сейсмических воздействиях требуются геомембраны, эффективные дренажи и противофильтрационные элементы, а также проектирование оснований с учётом циклических деформаций и возможной потери устойчивости (разжижения) пород [14].

Для Лабинской ГАЭС это означает конкретные сейсмико-ориентированные требования: детальная сейсмо- и инженерно-геологическая съёмка с картированием разломов и зон повышенной сейсмичности; моделирование динамической реакции грунтов и сооружений (включая анализ разжижения и циклического уплотнения); проектирование противофильтрационных и

дренажных систем с учётом сейсмически индуцированных изменений напора; выбор фундаментов (включая свайные и комбинированные решения) и гидроизоляции (геомембраны) стойких к динамическим деформациям; меры по укреплению склонов и снижению риска оползней в сейсмоактивных сценариях; организация мониторинга в реальном времени сейсмических воздействий, флюктуаций уровней подземных вод и деформаций для своевременного принятия мер. Эти меры в комплексе обеспечат повышенную сейсмобезопасность и устойчивость Лабинской ГАЭС при возможных сильных землетрясениях в регионе.

Интеграция Лабинской ГАЭС в Единую энергосистему Юга [12, 13] требует учета сейсмостойкости трансмиссионной инфраструктуры: проектируемые двухцепные ВЛ 500 кВ и заходы ВЛ 220 кВ, а также подстанция «Центральная» должны быть спроектированы с учётом сейсмических воздействий на опоры, фундаменты и оборудование подстанций. Для воздушных линий напряжением 500 и 220 кВ необходимы расчёты опор с учётом возможных смещений оснований, коррозионных и динамических нагрузок, а также обеспечение доступа и ремонтпригодности в условиях повышенного риска оползней и повреждений при землетрясениях. Подстанционные ячейки и трансформаторы следует размещать на усиленных фундаментах с возможностью быстрого отключения цепей и безопасного отведения нагрузки.

С точки зрения эксплуатационной устойчивости следует предусмотреть программы регулярных натурных и лабораторных испытаний материалов и конструкций, периодические инспекции ключевых элементов (дамб, плотины, трубопроводов, агрегатов), а также моделирования и ревизии планов реагирования на основе накопленных мониторинговых данных. Важно формирование компетенций персонала по эксплуатации в сейсмоопасных условиях, проведение тренинговых аварийных учений и обеспечение наличия запасов материально-технических средств для экстренного ремонта и стабилизации сооружений.

Заключение

Рост доли ветровой и солнечной генерации усиливает потребность в энергонакопителях, и Лабинская ГАЭС (600 МВт в турбинном режиме, 660 МВт в насосном) способна аккумулировать необходимые объёмы энергии для сглаживания колебаний ВИЭ и снижения дисбаланса в ОЭС Юга; однако успешная реализация этих функций напрямую зависит от обеспечения сейсмобезопасности сооружений. При проектировании и строительстве необходимо проводить всестороннюю сейсмо- и инженерно-геологическую оценку площадки, включая картирование разломов, определение характеристик грунтов, зон напорных вод и потенциала разжижения, а также моделирование динамической реакции грунтов и конструкций с анализом ускорений, циклических деформаций и риска разжижения. Технические меры

должны включать проектирование дренажных и противофильтрационных систем, рассчитанных на сейсмически индуцированные изменения напоров; применение фундаментов, устойчивых к динамическим нагрузкам (включая свайные и комбинированные решения) и гидроизоляционных материалов (геомембраны) с учётом возможных деформаций; укрепление склонов и противооползневые мероприятия, рассчитанные на сейсмические сценарии; внедрение системы мониторинга в реальном времени сейсмической активности, уровней подземных вод и деформаций с автоматизированными триггерами для оперативных мер. При соблюдении перечисленных сейсмо-ориентированных требований Лабинская ГАЭС сможет безопасно выполнять функцию крупного энергокомплекса для интеграции ВИЭ, повысить гибкость и надёжность энергосистемы юга России и представлять оправданную и перспективную инвестицию в устойчивую инфраструктуру Краснодарского края.

Список источников

1. Александров, А. В. Разработка и обоснование метода выравнивания гидротехнических сооружений, подвергшихся неравномерным осадкам: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. В. Александров. – Москва, 2018. – 24 с.
2. Александров, А. В. Опыт-научное обеспечение работ по выравниванию здания Загорской ГАЭС-2 на крупномасштабных моделях / А. В. Александров // Применение гидроразрывной технологии в строительстве: Материалы конференции; Под редакцией О. А. Шулатева. – 2022. – С. 61-74.
3. Александров, А. В. Эксплуатационная безопасность Загорской ГАЭС-2 при выравнивании здания станции / А. В. Александров // Гидротехническое строительство. – 2021. – № 5. – С. 8-13.
4. Беллендир, Е. Н. Результаты геотехнического мониторинга работа на опытном участке № 3 Загорской ГАЭС-2 / Е. Н. Беллендир, А. В. Александров // Гидротехническое строительство. – 2021. – № 1. – С. 5-11.
5. Беллендир, Е. Н. Интеграция проектов ГЭС и ГАЭС в «Энергетическую стратегию России до 2050 г.» / Е. Н. Беллендир // В сборнике: 15 лет Научно-техническому совету Единой энергетической системы. Перспективы развития энергетики России до 2050 года: проблемы и пути их решения. – Москва. – 2022. – С. 88-104.
6. Волосухин, В. А. Сейсмобезопасность строительных объектов и гидротехнических сооружений: учеб. пособие / В. А. Волосухин, В. П. Дыба, В. Н. Моргунов. – Издание 5, исправленное и дополненное. – М.: РУСАЙНС, 2025. – 300 с.
7. Краснодарский гидроузел: проблемы безопасности (1975-2015) / В. А. Волосухин, Е. Н. Белоконов, Я. В. Волосухин [и др.]. - Новочеркасск, Изд-во ООО «Лик», 2015. – 225 с.
8. Козлов, Д. В. Результаты стратегического анализа вариантов проектных решений по ликвидации последствий технического инцидента на Загорской ГАЭС-2 / Д. В. Козлов // Природообустройство. – 2017. – № 4. – С. 39-46.
9. 100 лет плану ГОЭЛРО: монография / В. Л. Бондаренко, В. А. Волосухин, А. И. Блясов, В. Н. Азаров – Новочеркасск. Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, 2020. – 348 с.

10. Волосухин, В. А. К вопросу повышения надежности верхнего бьефа Загорской ГАЭС-2 / В. А. Волосухин, М. А. Воинов, Е. Н. Белоконев // Приволжский научный журнал. – 2018. – № 1(45). – С. 95-103.
11. Волосухин, В. А. Водозаборные сооружения ГАЭС / В. А. Волосухин, Е. Н. Белоконев, М. А. Воинов // Природообустройство. – 2018. – № 1. – С. 18-24. DOI: 10.26897/1997-6011/2018-1-18-24.
12. Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2042 года: сайт. – URL: <https://www.so-ups.ru/genscheme/> (дата обращения: 11.03.2026).
13. Отчеты о функционировании Единой энергетической системы: сайт. – URL: <https://www.so-ups.ru/functioning/tech-disc/tech-disc-ups/> (дата обращения: 11.03.2026).
14. Александров, А. В. Разработка технико-экономического обоснования ГАЭС в Республике Узбекистан / А. В. Александров, С. В. Юрьев // Гидротехническое строительство. – 2026. – № 1. – С. 19-28.
15. Мишин, Н. Н. Преимущества строительства гидроаккумулирующих станций на примере Ленинградской ГАЭС / Н. Н. Мишин, В. А. Львовский // Гидротехническое строительство. – 2017. - № 3. – С. 17-23.
16. ГОСТ Р 57546- 2017 Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности: введен впервые: дата введения 2017-09-01. - <https://docs.cntd.ru/document/1200146265>.
17. СП 14.13330.2018 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*: введен впервые: дата введения 2018-11-26. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/550565571/>
18. СП 38.13330.2018. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). СНиП 2.06.04-82*: введен впервые: дата введения 2017 06-04. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/553863434>.

© Волосухин В. А., Юрьев С. В., 2026