

# Мосты и время

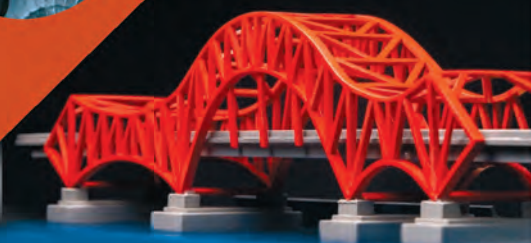
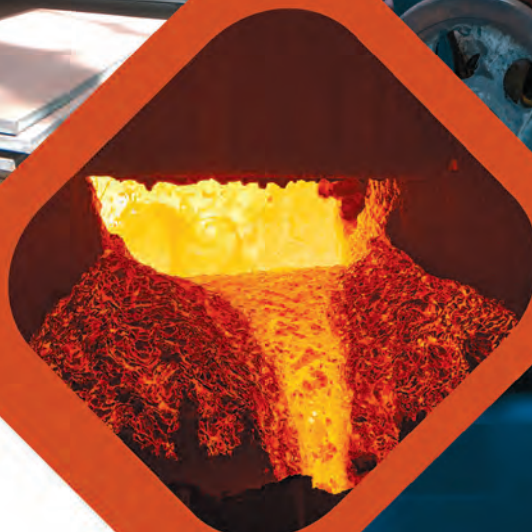
Специальный выпуск журнала «ДОРОГИ. Инновации в строительстве»



**УРАЛЬСКАЯ  
СТАЛЬ**

Один из ведущих производителей  
проката на российском рынке

Из продукции «Уральской Стали»  
возведено более 100 мостов  
(Русский мост во Владивостоке,  
Бугринский мост в Новосибирске,  
Высокогорский мост через Енисей, и др.)



Москва, 2-я Звенигородская, 12А  
Тел./факс: +7 (495) 741-90-50  
E-mail: [uk@uralsteel.com](mailto:uk@uralsteel.com)  
[www.uralsteel.com](http://www.uralsteel.com)



*Обследование моста через р. Москва в створе ул. Мяснищева в г. Москве*



*Испытания моста через р. Обь в г. Новосибирске*



***Дорогие коллеги, уважаемые партнеры!***

***Остаются считанные дни до наступления Нового 2025 года.***

***Вы приложили немало усилий и труда в уходящем году, чтобы перебраться новые, современные переправы через воды многочисленных рек и каналов нашей страны, чтобы уже построенные мостовые сооружения были надежными и служили людям долгие-долгие годы. За прошедший год вы вписали несколько новых страниц в историю российского мостостроения.***

***От лица компании НИЦ «МОСТЫ» я поздравляю вас с наступающим Новым годом и желаю дальнейшей успешной работы, новых интересных объектов, смелых инженерных решений и их скорейшей реализации. И, конечно же, горячей поддержки ваших родных и близких во всех этих начинаниях!***

***Генеральный директор ООО НИЦ «МОСТЫ»  
А. А. Сергеев***



*Испытания пешеходного моста через Нагатинский затон р. Москва в г. Москве*



*Испытания моста через реку Кама на обходе г. Нижнекамска и г. Набережные Челны*



*Испытания надземного пешеходного перехода в г. Серпухов Московской области*



*Испытания грунтов статической вертикальной вдавливающей (выдергивающей) нагрузкой буровой сваи*

Издание зарегистрировано  
Федеральной службой по надзору  
в сфере связи,  
информационных технологий  
и массовых коммуникаций.  
Свидетельство о регистрации  
средства массовой информации  
ПИ №ФС 77-41274  
Издается с 2010 г.

Учредитель  
Регина Фомина

Генеральный директор  
Полина Богданова  
post@techinform-press.ru

Издатель  
ООО «Медиа Группа «Техинформ»

## РЕДАКЦИЯ:

Главный редактор  
Регина Фомина  
info@techinform-press.ru

Заместитель главного редактора  
Дмитрий Карпов  
karpovdb@list.ru

Редактор, арт-директор  
Лидия Шундалова  
art@techinform-press.ru

Руководитель службы информации  
Людмила Ковалевич  
kovalevichl@mail.ru

Корректор  
Ольга Капполь

Московское представительство  
Тел. +7 (931) 256-95-56

Адрес редакции:  
192283, ул. Будапештская, д.97,  
к.2, лит. А, пом. 9Н  
Тел.: (812) 905-94-36,  
+7-931-256-95-77,  
+7-921-973-76-44  
office@techinform-press.ru  
www.techinform-press.ru

За содержание рекламных  
материалов редакция  
ответственности не несет.

Сертификаты и лицензии  
на рекламируемую продукцию  
и услуги обеспечиваются  
рекламодателем.

Любое использование  
опубликованных материалов  
допускается только  
с разрешения редакции.

Подписку на журнал  
можно оформить  
по телефону  
**+7 (931) 256-95-77**  
и на сайте  
**www.techinform-press.ru**



«ДОРОГИ. Инновации в строительстве»  
№122 декабрь/2024  
Спецвыпуск «Мосты и время»

Главный информационный партнер

Саморегулируемой организации  
некоммерческого партнерства  
межрегионального объединения  
дорожников «Союздорстрой»

## В НОМЕРЕ:

### ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ

- 4 **Д.В. Нижельский.**  
Результаты проведения  
Координационного совета  
представителей мостовой  
индустрии



- 8 **Н.В. Илюшин,  
Д.В. Нижельский,  
А.И. Смелов, В.В. Одинцов,  
Н.Ю. Новак.** Национальный  
стандарт по методам



- испытаний листового  
металлопроката для  
стальных элементов.  
Возможности и перспективы
- 12 **Ю.В. Новак.** СП 274.1325800  
«Мосты. Мониторинг  
технического состояния»



- 16 **Н.Ю. Новак.** Вантовые  
мосты. Нормирование.  
Импортозамещение.  
Технологическая  
независимость  
(ООО «Мастерская Мостов»)

### НАУКА & ПРАКТИКА

- 20 **А.Д. Соколов.** Расчеты  
устойчивости положения  
подпорных стен устоев  
автодорожных мостов из

- пустотелых железобетонных  
блоков, заполненных щебнем
- 24 **В. Ю. Казарян.** Современные  
методы реконструкции  
мостов. Усиление ребристого  
пролетного строения путем  
превращения его в  
коробчатое  
(ООО «НПП СК МОСТ»)



- 30 Первым был «Цинкер»,  
первым и остается  
(интервью с В.А. Бочаровым)



### СЕЙСМИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

- 34 **Г. С. Шестоперов.** Последствия  
землетрясений в южной  
Европе



- 44 **С.А. Шульман.**  
О сейсмозащите мостовых  
сооружений. Дополнение
- 46 **А. М. Уздин, И. О. Кузнецова,  
Е. С. Пронькин.**  
Сейсмоизоляция мостов



### ЭКСПЕРТНАЯ КОЛЛЕГИЯ:

**М.Я. БЛИНКИН,**  
ординарный профессор НИУ «Высшая школа эконо-  
номики», к.т.н., директор Института экономики  
транспорта и транспортной политики НИУ  
«Высшая школа экономики», председатель  
Общественного Совета Минтранс России

**А.И. ВАСИЛЬЕВ,**  
д.т.н., академик РАТ, профессор кафедры  
«Мосты, тоннели и строительные конструкции»  
МАДИ, директор по науке ООО «НИИ МИГС»

**И.В. ДЕМЬЯНУШКО,**  
д.т.н., профессор, заведующая кафедрой «Строи-  
тельная механика» МАДИ (ГТУ),  
Заслуженный деятель науки и техники РФ

**С.И. ДУБИНА,**  
к.т.н., доцент, руководитель внедрения  
инновационных разработок в дорожное хозяй-  
ство АО «Энерготекс», главный  
специалист проектного института  
«ГИПРОСТРОЙМОСТ», член комитета  
по транспорту и строительству  
Государственной думы Федерального  
собрания Российской Федерации, член Междуна-  
родного общества механики  
грунтов и геотехнического строительства

**В. Ю. КАЗАРЯН,**  
генеральный директор ООО «НПП СК МОСТ»,  
доктор транспорта, действительный член  
Инженерной академии Армении,  
председатель совета Балашихинской  
торгово-промышленной палаты, член  
совета ТПП МО  
**И.Е. КОЛЮШЕВ,**  
Заслуженный строитель РФ,  
технический директор АО «Институт  
Гипростроймост – Санкт-Петербург»

**Ю.Г. ЛАЗАРЕВ,**  
д.т.н., профессор, директор  
инженерно-строительного института  
Высшей школы промышленно-гражданского  
и дорожного строительства

**С.В. МОЗАЛЕВ,**  
исполнительный директор Ассоциации  
мостостроителей (Фонд «АМОСТ»)

**Ю.В. НОВАК,**  
заместитель генерального директора  
АО ЦНИИТС по научной работе, к.т.н.,  
Почетный транспортный строитель РФ,  
доцент, член ТК 465, НОПРИЗ

**М.А. ПОКАТАЕВ,**  
первый заместитель директора  
АО «Главная дорога»

**В.Н. СМЕРНОВ,**  
д.т.н., профессор кафедры «Мосты»  
ФГБОУ ВО ГГУПС Императора  
Александра I

**С.Ю. ТЕН,**  
депутат Государственной думы  
Федерального собрания  
Российской Федерации

**В.В. УШАКОВ**  
д.т.н., профессор, проректор по научной работе  
МАДИ (ГТУ), заведующий  
кафедрой «Строительство  
и эксплуатация дорог» МАДИ,  
Заслуженный работник высшей школы РФ

**Л.А. ХВОИНСКИЙ,**  
к.т.н., генеральный директор СРО НП МОД  
«СОЮЗДОРОСТРОЙ»

**С.В. ЧИЖОВ,**  
к.т.н., заведующий кафедрой «Мосты» ФГБОУ  
ВО ГГУПС Императора Александра I

Установочный тираж 10 тыс. экз.  
Цена свободная. Заказ №  
Подписано в печать 28.12.2024  
Отпечатано в типографии «Эталон»,  
198097, г. Санкт-Петербург, ул. Трефолева,  
д. 2, лит. АУ  
www.etalon.press.ru

# РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕНИЯ КООРДИНАЦИОННОГО СОВЕТА ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ МОСТОВОЙ ИНДУСТРИИ

Д.В. НИЖЕЛЬСКИЙ,

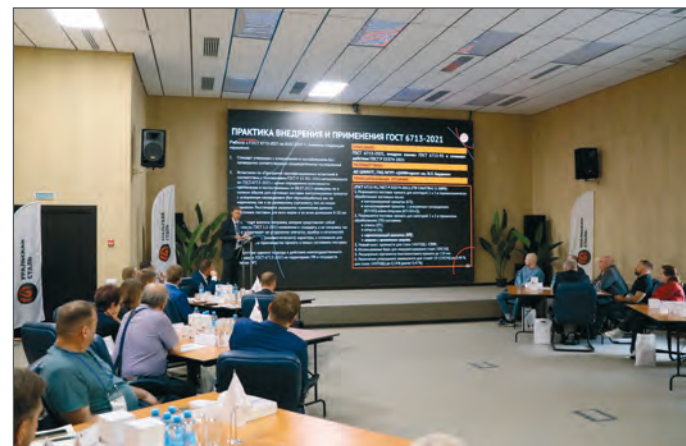
исполняющий обязанности директора по инновациям АО «Уральская Сталь»

**АО «УРАЛЬСКАЯ СТАЛЬ» — ПРОМЫШЛЕННЫЙ ГИГАНТ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ, ВЕДУЩИЙ ПОСТАВЩИК МОСТОВЫХ СТАЛЕЙ, ШТРИПСА, ЛИСТОВОГО ПРОКАТА ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОЙ, КОНСТРУКЦИОННОЙ, СУДОВОЙ, АТМОСФЕРО— И КОРРОЗИОННОСТОЙКОЙ СТАЛИ, ТРУБНОЙ, КОЛЕСНОЙ И РЕЛЬСОВОЙ ЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ, КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЛИТЫХ ИЗДЕЛИЙ И ЧУГУНА НА РОССИЙСКОМ РЫНКЕ. В ТЕСНОМ СОТРУДНИЧЕСТВЕ С ВЕДУЩИМИ НИИ ПРЕДПРИЯТИЕ ОСУЩЕСТВЛЯЕТ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЕ НОВЫХ МАРК СТАЛЕЙ. ОСОБОЕ МЕСТО СРЕДИ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАНИМАЮТ РАЗРАБОТКИ ДЛЯ МОСТОСТРОИТЕЛЬНОЙ СФЕРЫ.**

Традиционный ежегодный координационный совет с участием представителей научно-исследовательских и проектных организаций, производителей мостовых металлоконструкций и строителей прошел на базе комбината 12 сентября 2024 г. В мероприятии приняли участие 19 организаций со всей России. Подобные встречи со стратегическими партнерами позволяют оперативно решать текущие вопросы и определять вектор развития индустрии для мостостроения.

Мероприятие позволило обсудить потребности мостостроения в листовом прокате, требования к современным сталям, особенности применения новой редакции ГОСТ 6713, действующего с 2022 года, проблемы современного мостостроения и другие актуальные вопросы.

«Уральская Сталь» — одно из немногих предприятий на территории Российской Федерации, которое может производить более 300 тыс. тонн термообработанного толстолистового проката в год. Более 50 лет именно прокат после термической обработки является эталонной надежностью в мостовых конструкциях. Предприятие целенаправленно занимается развитием технологии и учитывает потребности клиентов в отрасли мостостроения. Внедрен принцип: качество продукта обеспечивает эффективность и безопасность готовых изделий из него. Такой подход позволил компании разработать и предложить мостостроителям уникальные продукты:



■ стали 10ХСНДА, 15ХСНДА — экономно легированные аналоги классических сталей 10ХСНД и 15ХСНД;

■ сталь 14ХГНДЦ — уникальную атмосферостойкую сталь, не требующую окраски;

■ сталь 12Г2СБД — мостовую сталь класса прочности С345 с прогрессивной композицией химического состава.

Данные продукты в рамках СТО 13657842-1-2009 были включены в СП 35.13330 «Мосты и трубы» еще в 2011 году после длительных исследований и испытаний вместе с ведущими исследовательскими центрами в области металлургии и мостостроения. Качество проката подтверждено как на этапе пилотного проектирования, так и на этапе массового применения при строительстве сотен мостов за последние 20 лет. Всего по

СТО 13657842-1-2009 мостостроителям отгружено более 500 тыс. тонн стали.

С учетом большого резонанса в отрасли при внедрении ГОСТ 6713-2021 практика его применения стала одной из основных тем обсуждения совета. ГОСТ 6713-2021 введен в действие 15 марта 2022 г. приказом Росстандарта № 120-ст от 05.03.2022 взамен ГОСТ 6713-91, одновременно отменен проверенный и массово применявшийся в РФ ГОСТ Р 55374-2012. Принципиальные отличия от предыдущих действующих стандартов на мостовую сталь (ГОСТ 6713-91, ГОСТ Р 55374-2012, СТО 13657842-1-2009):

■ разрешение на поставку проката для категорий 2 и 3 в горячекатаном, термомеханически обработанном состоянии после контролируемой прокатки (КП), контролируемой прокатки с ускоренным охлаждением (КП+УО) и/или отпуском (КП+УО+О);

■ разрешение на поставку проката для категорий 2 и 3 в термически обработанном (ТО) состоянии: после отжига (ОТ), отпуска (О), нормализующей прокатки (НП), закалки с прокатного нагрева;

■ новый класс прочности для марки стали 14ХГНДЦ — С390;

■ использование бора для микролегирования стали 10ХСНД;

■ расширение сортамента толстолистового проката до 110 мм (ранее до 50 мм).

В итоге более чем за 2 года:

■ проведено большое количество совещаний на уровне специалистов металлургической, мостовой отрасли, чиновников из заинтересованных министерств, нескольких технических комитетов;

■ уже после утверждения стандарта ГОСТ 6713-2021 разработана и утверждена «Программа квалификационных испытаний...», которая лишь включала оценку **ВОЗМОЖНОСТИ** применения сталей по новым для мостостроения технологиям;

■ выполнены исследования в отношении **лишь** некоторых толщин и марок сталей из сортамента ГОСТ 6713-2021 разными производителями проката.

■ даже по тем редким проектам, где был применен прокат без термообработки, отсутствует информация о научно-техническом сопровождении строительства мостовых сооружений.

В ходе координационного совета с докладами выступили представители ведущих проектных и заводских организаций, включая АО «Институт «Стройпроект», АО «Воронежстальмост», ООО «НИЦ «Мосты», ООО «Мастерская мостов», АО «Уральская Сталь». В процессе обсуждения участники координационного совета поставили множество вопросов о полноте и качестве проведен-



ных испытаний и об опыте применения проката по ГОСТ 6713 в редакции 2021 г.

Представитель ООО «НИЦ «Мосты» в своем докладе перечислил основные вопросы, выявленные при исследовании мостового проката без термообработки, изготовленного по ГОСТ 6713-2021.

Представитель АО «Институт «Стройпроект» рассказал о проблемах в мостостроении:

■ проектировщик, с учетом текущей ситуации с ГОСТ 6713-2021, вынужден сам определять допустимость применения сталей в новых состояниях поставки на основании своего опыта и наличия противоречивой информации по качеству проката;

■ недостаточность ассортимента доступного металлопроката для потребностей мостостроения (необходимы высокопрочные стали (С460 и более), прокат больших толщин (более 50 мм), трубный прокат больших диаметров и толщин, большой ассортимент освоенных фасонных профилей из мостовых сталей);

■ отсутствие информации о научно-техническом сопровождении проектов мостовых сооружений, реализуемых в настоящее время из толстолистового проката без термической обработки..

Представитель АО «Воронежстальмост» отметил напряженную ситуацию в отрасли в связи со снижением количества реализуемых проектов. Обратил внимание на парадоксальную ситуацию с проектами мостовых переходов, которые были запроектированы по ГОСТ 6713-2021 до выпуска приказа Росстандарта № 404-ст от 04.04.2024. Проектировщики закладывали применение проката из стали 10ХСНД толщиной 60 и 80 мм, которые были разрешены новым ГОСТом. Однако разработчики стандарта не учли отсутствие исследований мостового проката толщиной более 50 мм и неготовность отрасли производить данный сортмент. В настоящий момент подрядчик и проектировщик пытаются найти выход из



ситуации, когда строительство мостового перехода уже начато, однако выполнение отдельных конструктивных элементов затруднено в связи с отсутствием такого проката на рынке и невозможностью применения его с учетом последнего приказа Росстандарта.

С целью исключения подобных ситуаций в будущем АО «Уральская Сталь» и ООО «Мастерская мостов» приступили к разработке ГОСТ Р «Дороги автомобильные общего пользования. Мостовые сооружения. Методы испытаний листового металлопроката для стальных элементов». Новый ГОСТ – полноценная методика, позволяющая каждому производителю перед выводом на рынок проката из различных марок сталей, толщин,

### СПИСОК УЧАСТНИКОВ КООРДИНАЦИОННОГО СОВЕТА:

- ГК «Уральская Сталь»
- ФАУ «ФЦС»
- ФАУ «РОСДОРНИИ»
- ООО «Мастерская Мостов»
- АО «Институт «Стройпроект»
- АО ЦНИИТС
- ООО «ТИМ-МОСТ»
- ООО НИЦ «Мосты»
- ОАО «Институт Гипростроймост»
- ООО «НТЗМК»
- АО «Дороги и Мосты»
- ООО «Мостовая инспекция»
- ООО «ЕВРАЗ ТК»
- АО «ЕВРАЗ Маркет»
- ООО МИП «НИЦ МИС»
- АО «Воронежстальмост»
- ООО «ТК НОВОСТАЛЬ-М»
- ЗАО «Курганстальмост»
- АО «Институт Гипростроймост – Санкт-Петербург»

состояний поставки, ранее не применявшегося в мостостроении, провести испытания для оценки диапазона пригодности своей разработки при внедрении в мостовые металлоконструкции.

Новая методика, изложенная в предлагаемом ГОСТе, необходима для:

- создания прозрачного механизма внедрения новой качественной продукции в мостостроение;
- увеличения доступности мостового металлопроката для заводов-изготовителей металлоконструкций и подрядных организаций;
- снижения рисков резких ценовых колебаний из-за повышения доступности металлопроката на рынке;
- увеличения номенклатуры используемых марок сталей при проектировании и возможности выбора марки стали исходя из особенностей объекта проектирования, т.е. реализации подхода «каждому крупному проекту – своя марка стали»;
- снижения металлоемкости и затрат на эксплуатацию сооружений.

Базой для разработки стандарта являлся накопленный многолетний опыт, прежде всего ЦНИИС, ЦНИИчермета, НИИ мостов, НПЦ мостов, МАДИ в части внедрения сталей марок 10ХСНД, 15ХСНД, 10ХСНДА, 15ХСНДА, 14ХГНДЦ, 12Г2СБД и др.

Был проанализирован большой массив научных исследований с 50-х годов прошлого века по текущее время, изучены, в том числе, опубликованные труды и статьи ученых, занимающихся вопросами опытного применения сталей в мостостроении.

Проект стандарта размещен на сайте ТК 418 в мае 2024 г. для ознакомления и обсуждения заинтересованными организациями.

Основные решения, принятые представителем мостовой индустрии на координационном совете:

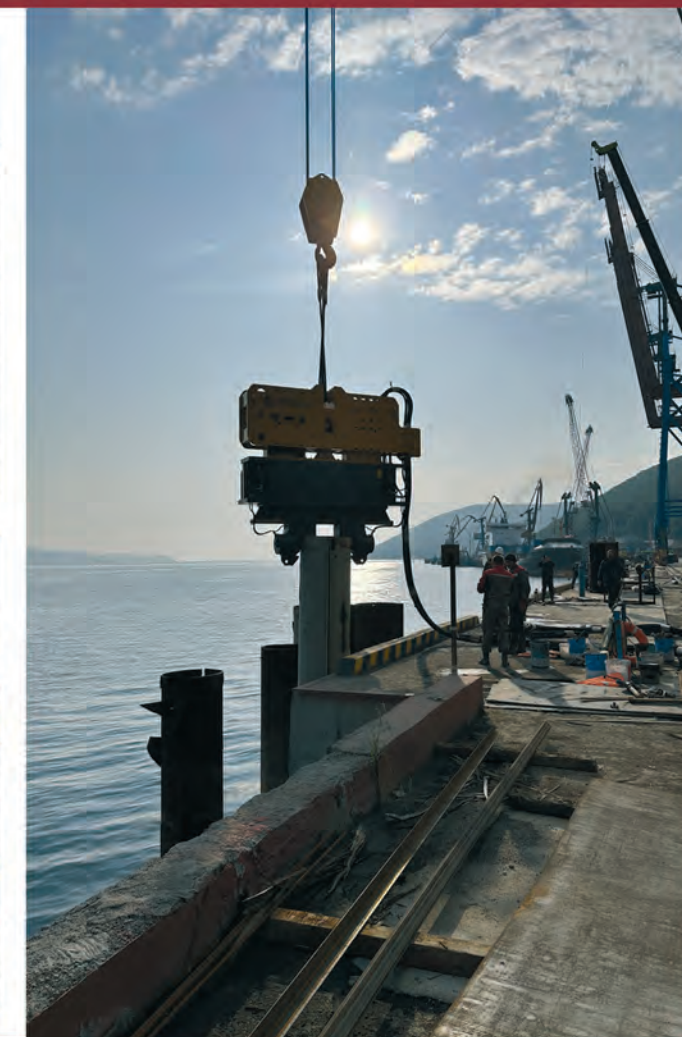
- внедрить единую методику проведения исследований новых марок сталей, нового сортамента, новых состояний поставки толстолистового проката для мостостроения (ГОСТ Р «Дороги автомобильные общего пользования. Мостовые сооружения. Методы испытаний листового металлопроката для стальных элементов»);
- рассмотреть возможность включить в перспективные проекты улучшенные марки стали 10ХСНДА, 15ХСНДА по СТО 13657842-1-2009 с целью обеспечить высокое качество и требуемые объемы строительства инфраструктурных проектов на территории РФ.



www.uralsteel.com



## СПЕЦИАЛЬНОЕ СТРОИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ФУНДАМЕНТНЫХ И СВАЙНЫХ РАБОТ



- ◀ Навесные гидравлические вибропогружатели экскаваторного класса с боковым захватом для погружения шпунта и трубы;
- ◀ Подвесные гидравлические вибропогружатели кранового класса;
- ◀ Подвесные гидравлические вибропогружатели экскаваторного класса
- ◀ Подвесные гидравлические сваебойные молоты

www.atvibro.com  
gpvibro.ru

г. Москва  
ул. Большая Полянка, д. 51А/9

Тел.: +7 499 755-71-61  
gpvibro@yandex.ru

# НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ ПО МЕТОДАМ ИСПЫТАНИЙ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛОПРОКАТА ДЛЯ СТАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ. ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

**Н.В. ИЛЮШИН,**

заместитель генерального директора ООО «Мастерская Мостов»;

**Д.В. НИЖЕЛЬСКИЙ,**

и.о. директора по инновациям АО «Уральская Сталь»;

**А.И. СМЕЛОВ,**

старший менеджер по техническим продажам

Дирекции по работе с энергетическими компаниями и инфраструктурными проектами

АО «Северсталь Менеджмент»;

**В.В. ОДИНЦОВ,**

начальник отдела научных исследований ООО «Мастерская Мостов»;

**Н.Ю. НОВАК,**

заместитель генерального директора ООО «Мастерская Мостов»

**С**реди большого разнообразия марок сталей, применяемых в строительных металлических конструкциях, в стальных конструкциях мостовых сооружений разрешается применять лишь небольшое число марок сталей, удовлетворяющих требованиям, предъявляемым к мостам как к конструкциям высокой степени ответственности, работающим в тяжелых условиях — под динамическими повторными нагрузками на открытом воздухе. Основную специфику мостостроительных сталей составляют, соответственно, повышенные требования к хладостойкости, ударной вязкости, выносливости при наличии концентраций напряжений, коррозионной стойкости. Особенно важны свариваемость, стойкость против горячих трещин и разупрочнения и т.д.

Для стальных элементов мостовых сооружений применяют листовой прокат полностью раскисленный по специальным стандартам: ГОСТ 6713-2021, ГОСТ Р 55374-2012, с градацией по минимальному пределу текучести: 325 МПа — 09Г2СД, 345 МПа — 15ХСНД, 390 МПа — 10ХСНД. Кроме того, применяется атмосферостойкая сталь марки 14ХГНДЦ классов прочности 345 и 390 МПа. Все они относятся к низкоуглеродистым свариваемым сталям. В сталях применяется легирование такими элементами, как Ni, Cr, Cu, для получения стабильного уровня механических характеристик после термообработки

и необходимой стойкости к коррозии. Данные стали поставляются в разных категориях поставки:

- обычное исполнение, эксплуатация до  $-40^{\circ}\text{C}$ ;
- северное А исполнение, эксплуатация до  $-55^{\circ}\text{C}$ ;
- северное Б исполнение, эксплуатация до  $-70^{\circ}\text{C}$ .

Все упомянутые марки сталей имеют низкое содержание вредных примесей, а именно серы ( $S < 0,010\%$ ) и фосфора ( $P < 0,015\%$ ) по сравнению с рядовыми строительными сталями.

Для повышения коррозионной стойкости стали для мостостроения имеют добавку меди (Cu) в диапазоне 0,15–0,70%. Для повышения хладостойкости и улучшения механических характеристик широко применяется термическая обработка сталей в разных вариантах поставок, особенно для конструкций северного исполнения А и Б.

Стали для мостостроения должны обладать высокой ударной вязкостью, нормируемой по ГОСТ 6713, ГОСТ Р 55374 при  $-40^{\circ}\text{C}$  и после механического старения при  $-20^{\circ}\text{C}$ , а для конструкций северного исполнения также при  $-70^{\circ}\text{C}$ .

Прокат сталей для мостостроения должен обладать гарантированной свариваемостью. Это означает, что сварные соединения, выполненные из проката, не должны быть склонны к образованию холодных, горячих и

ламинарных трещин при использовании всех применяемых способов сварки. В настоящее время свариваемость металлопроката гарантируется нормированным значением величины углеродного эквивалента — численного коэффициента, описывающего суммарное влияние содержащихся в стали углерода и легирующих элементов. Как правило, для конструкционных строительных сталей значение углеродного эквивалента  $C_e$  не должно превышать  $C_e \leq 0,45\%$ , однако для разных марок сталей в зависимости от назначения и химического состава критерий в НД может варьироваться.

Учитывая большое количество сварных соединений мостовых конструкций, наличие узлов, в элементах которых возникают растягивающие усилия в направлении толщины прокатанных листов ( $Z$  — свойства), достаточно жесткие требования предъявляются к сплошности проката. Весь прокат (100% листов) должен иметь сплошность, соответствующую 1-му или 2-му классу по ГОСТ 22727. Кроме этого, прокат можно контролировать на отсутствие расслоений при осмотре резаных кромок, в том числе у потребителя после резки, сварки и других технологических операций. Дополнительной гарантией отсутствия готовых расслоений в прокате, возникновения деформационных дефектов является нормирование и контроль доли вязкой составляющей, длины расслоений в изломах при испытании надрезанных полнотолщинных образцов. Макроструктура проката в изломе не должна иметь видимых невооруженным глазом дефектов: остатков усадочной раковины, подусадочной рыхлоты, трещин и газовых пузырей. Излом надрезанных образцов должен иметь волокнистое строение структуры и т.д. Кроме того, нормируется временное сопротивление разрыву и относительное сужение при испытании в направлении толщины проката.

Прочность, ударная вязкость, пластичность, свариваемость, стойкость против разупрочнения при сварке, устойчивость против перехода в хрупкое состояние при охлаждении, стойкость против коррозии — это основные механические и технологические свойства стали, от которых зависит долговечность и надежность работы мостовых сооружений как основополагающих линейных объектов транспортной инфраструктуры. Огромную роль в обеспечении вышеуказанных свойств играет химический состав, содержание легирующих элементов, а также применяемые технологические методы при выплавке, внепечной обработке и разливке стали, гарантирующие минимальный уровень вредных примесей и неметаллических включений.

Выше перечислены лишь основополагающие требования к прокату, которые должны в обязательном порядке соблюдаться. Опыт применения конструкционных низ-



коуглеродистых сталей в мостостроении показывает, что стабильность физико-механических показателей проката зависит от большого количества взаимосвязанных факторов и достигается строгим соблюдением выбранного химического состава и технологии изготовления стали, прокатки и термической обработки.

Следует отметить, что в настоящее время в связи с интенсивным развитием транспортного строительства в Российской Федерации и, в частности, мостостроения требуется обновление государственной нормативной базы с разработкой и введением в производство новых перспективных марок низкоуглеродистых низколегированных сталей. Мостостроителей уже не удовлетворяет применяемый в настоящее время листовой прокат из стали классов прочности до С390. Требуются более высокопрочные, хорошо свариваемые в любых климатических условиях и коррозионностойкие стали классов прочности С420, С440, С460 и выше. Для их создания и производства на отечественных металлургических предприятиях в настоящее время имеются все условия и даже накоплен большой опыт по изготовлению высокопрочного проката и его успешному применению в других отраслях промышленности.

АО «Уральская Сталь» и ООО «Мастерская Мостов» выступили с инициативой разработать и внедрить новый национальный стандарт — ГОСТ Р «Дороги автомобильные общего пользования. Мостовые сооружения. Методы испытаний листового металлопроката для стальных элементов». Помимо увеличения номенклатуры используемых марок сталей при проектировании и предоставления возможности выбора марки стали исходя из особенностей объекта проектирования («каждому проекту — своя марка стали»), а также для снижения металлоемкости и затрат на эксплуатацию сооружений преследовалась главная цель — создание прозрачного механизма внедрения новой продукции в мостостроение.

Разрабатываемый стандарт устанавливает требования к объемам и методам испытаний листового металлопроката, произведенного из новых марки сталей и/

## техническое регулирование

или по новым технологиям (в том числе состояния поставки) и/или сортамента, отличного от традиционно применяемого в мостостроении, с целью внедрить его в массовое производство и включить в нормативные документы (стандарты, своды правил).

Стандарт будет устанавливать порядок проведения испытаний и исследований при внедрении новых марок сталей для мостостроения, обобщать и дополнять существующие методики. Также он устанавливает требования о необходимости разработки и наполнения программы испытаний новых видов проката на этапах внедрения, проектирования и опытного строительства.

Кроме разработки проекта национального стандарта ООО «Мастерская Мостов» занята апробацией положений проекта ГОСТ Р на практике. Определен пилотный объект – «Строительство второй очереди первого пускового комплекса мостового перехода через р. Волга в г. Волгограде», тот самый известный «танцующий» мост, а точнее его вторая ветка. Внедряемый класс прочности стали – С460, разработанный совместными усилиями АО «Уральская Сталь» и ПАО «Северсталь». Силами компании «Мастерская Мостов» была разработана обширная программа испытаний, основанная на разрабатываемом стандарте. Причины безусловной необходимости применения новой стали в данном объекте немало: увеличение нагрузочного эффекта от временной нагрузки со времени возведения первого этапа моста, введение дополнительного коэффициента надежности по ответственности по ГОСТ 27751 и наличие уже построенных опор, запроектированных по старым требованиям.

Своевременное исключение недопустимых отклонений в свойствах листового металлопроката для стальных элементов мостовых сооружений осуществляется проведением комплексных испытаний опытных партий проката в разных толщинах, произведенных по одной технологии, для определения и оценки:

- механических, физических и технологических свойств;
- сплошности вдоль, поперек и в направлении толщины проката;
- качества сварных соединений на образцах, выполненных по стандартной технологии (заводской и монтажной технологии сварки), оценки влияния сварки на структуру околошовной зоны сварного соединения;
- выносливости на стандартных и сварных образцах при испытании на многоцикловую усталость;
- выносливости при испытании на многоцикловую усталость сварных модельных образцов;
- хладостойкости ударной нагрузкой при испытаниях сварных модельных образцов;

- коррозионной стойкости к атмосферной коррозии;
- других свойств (параметров).

Впервые за долгие годы будут отработаны на современном техническом уровне методики испытаний для внедрения новой продукции, в том числе модельные усталостные испытания, модельные испытания на хладостойкость, испытания на стойкость к атмосферной коррозии и экспериментальное получение коэффициентов концентрации напряжений. Исследования подобного уровня проводились в Российской Федерации более 40 лет тому назад, однако и они не имели такого уровня проработки. Только после проведения всего цикла испытаний в соответствии с разработанной программой и установления соответствия физико-механических и технологических свойств опытных партий листового металлопроката из стали класса прочности С460 требованиям нормативных документов и методикам, отраженным в разрабатываемом национальном стандарте и программе испытаний, будет осуществлена его проверка в опытных конструкциях.

Оценивая советский и более современный опыт, специалисты ООО «Мастерская Мостов» постарались избежать возможных подводных камней и узких мест при разработке национального стандарта и программы испытаний новой марки отечественной стали класса прочности С460. В том числе были учтены замечания, полученные по результатам выполнения программы испытаний проката по ГОСТ 6713-2021, произведенного по технологии контролируемой прокатки с ускоренным охлаждением.

Еще в начале 2024 года В.В. Путин заявил об обновлении стратегии научно-технологического развития России. «В ее логике запускаем и новые национальные проекты технологического суверенитета... Первое – мы должны быть независимы, иметь все технологические ключи в таких чувствительных областях, как сбережение здоровья граждан, продовольственная безопасность. Второе – нужно достичь технологического суверенитета в сквозных сферах, которые обеспечивают устойчивость всей экономики страны. Авиационные, морские и другие системы, экономика данных, новые материалы и химия. Третье – мы должны создавать глобально конкурентные продукты, опираясь на уникальные отечественные разработки в том числе, в области космических, атомных и новых энергетических технологий», – пояснил Президент РФ.

В концепцию опережающего развития одной из основополагающих сфер экономики – дорожного и транспортного строительства – укладываются разработка нового ГОСТ Р и ускоренное внедрение новейших марок стали в мостостроение.



**26–28**  
**МАРТА 2025**

# ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ

**27-я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА-КОНГРЕСС**

**ЗАЩИТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ,  
ТРУБОПРОВОДОВ, МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ И ОБЪЕКТОВ ТЭК**

**ДЕМОНСТРАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ПО ТЕМАТИКАМ:**

- подготовка поверхности
- защитные материалы и покрытия
- электрохимическая защита
- оборудование для нанесения покрытий
- техническая диагностика и контроль качества
- техническое обслуживание и ремонт

**НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ»**

**ОДНОВРЕМЕННО  
С ВЫСТАВКОЙ-КОНГРЕССОМ «ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ»  
ПРОЙДУТ ОТРАСЛЕВЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ:**

**РОССИЙСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ФОРУМ,  
МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА «ЖКХ РОССИИ»,  
МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА «СВАРКА/WELDING»**

ОРГАНИЗАТОР



КОНГРЕССНО-ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР  
**ЭКСПОФОРУМ**  
РОССИЯ, САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, ПЕТЕРБУРГСКОЕ ШОССЕ, 64/1

+7 (812) 240 40 40 (доб. 2207)  
[corrosion.expoforum.ru](http://corrosion.expoforum.ru)

САМАЯ АКТУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ПРОЕКТЕ  
В НАШЕМ TELEGRAM-КАНАЛЕ!  
[@corrosion\\_expo](https://t.me/corrosion_expo)



ОФИЦИАЛЬНЫЙ  
ПАРТНЕР



# СП 274.1325800

## «МОСТЫ. МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ»

Ю.В. НОВАК,

заместитель генерального директора

по научной работе АО ЦНИИТС, к.т.н., доцент МАДИ, руководитель направления по мостовым сталям ООО УК «Уральская Сталь»

Мониторинг — система постоянного наблюдения за явлениями и процессами, проходящими в окружающей среде, результаты которого служат для обоснования управленческих решений по обеспечению безопасности людей

(Определение мониторинга)

В настоящее время все большее внимание уделяется мониторингу мостов. Это связано, прежде всего, с увеличением количества строящихся и реконструируемых мостов, а также с авариями эксплуатируемых сооружений. Процесс мониторинга мостов регулируется сегодня несколькими нормативными документами: СП 274.1325800, СП 35.13330, СП 22.13330, СП 305.1325800 (рис 1).

Мониторинг мостов существовал всегда. Достоверные данные о первом применении мониторинга отно-

сятся к Карлову мосту в Праге, на котором еще в 1932 году были установлены деформометры. Эти датчики дали возможность ежемесячно снимать показания, хотя тогда это выполнялось вручную.

В 1992 году ЦНИИТС посетил специалист из Пражского института, который продемонстрировал результаты измерений на Карловом мосту за 60 (!) лет. Это очень убедительно доказывает необходимость и ценность мониторинга.

Кратко о нормативных документах. Только в 2016 году появился специализированный свод правил — СП 274.1328500 по мониторингу мостов. До этого существовали два ОДМ, которые носили методический характер. В 2023 году была утверждена 2-я редакция СП 274 с введением норматива в действие в 2024 году.

Данная статья посвящена освоённой технологии комплексного автоматического мониторинга четырех внеклассных мостов: Парящего моста в Москве, Фрунзенского моста в Самаре, моста на ЦКАДе у Звенигорода и притерминальной эстакады в аэропорту Домодедово. Причем три сооружения исследовались на стадии строительства, и только один мост — Парящий — на стадии эксплуатации.

Каждый мост — весьма сложное сооружение, имеющее свои особенности. Парящий мост уникален тем, что вылет консоли железобетонной предварительно напряженной балки составляет более 70 м, а по СП 35 и СП 274 в таком случае необходим мониторинг. Ну, и конечно, на

необходимость мониторинга влияет тот факт, что мост расположен в центре Москвы, неподалеку от Кремля.

По всей длине балки были установлены 25 датчиков. Контроль параметров напряженно-деформированного состояния в процессе эксплуатации осуществляется с частотой 10 замеров в секунду. Главный вывод, который получили практически сразу, — максимальная нагрузка моста составляет 35% от нормативной, на которую он был рассчитан (рис. 2–4).

Мост в общей длиной 667 м через р. Самару в одноименном городе выполнен в сталежелезобетоне (СТБ). Пролетные строения имеют длину 126 м, что достаточно много для СТБ. Уже в самом начале строительства произошел неприятный инцидент: стенка коробчатой балки потеряла устойчивость, в связи с чем заказчик разрешил продолжать строительство только при на-



Рис. 2. Панорама «Парящего» моста в г. Москве

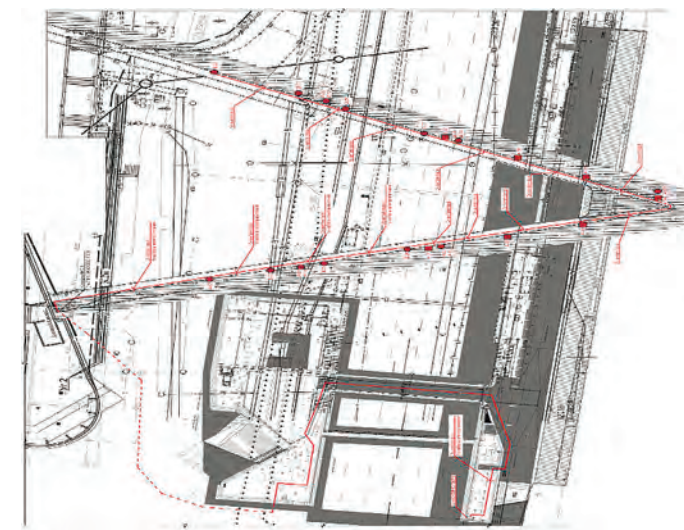


Рис. 3. Схема расположения датчиков на Парящем мосту (применены акселерометры, деформометры и инклинометры)

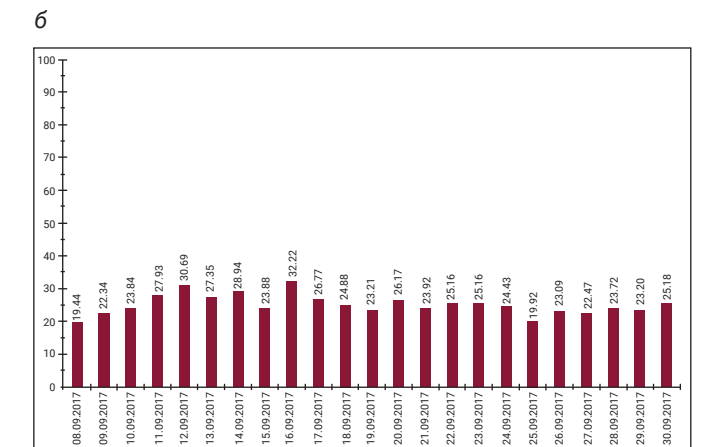
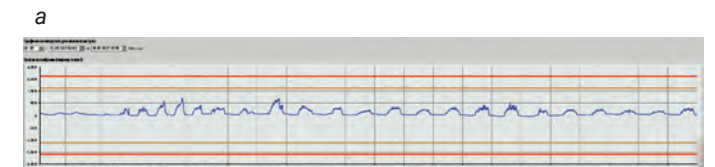


Рис. 4. Результаты мониторинга: а — напряжения в наиболее нагруженном сечении балки, б — уровни нагруженности конструкций моста, % от нормативного значения

личии постоянного мониторинга. Это требование было выполнено, что позволило достроить мост без возникновения новых внештатных ситуаций (рис. 5–6).

Эстакаду в Домодедово возводили турецкие строители по турецкому проекту, но при контроле и научном сопровождении со стороны российских проектировщиков. Сложность заключалась в том, что в плитно-коробчатом пролетном строении было двухнаправленное преднапряжение в бетоне, что в России является боль-



Рис. 5. Мост через реку Самару, общий вид после окончания строительства

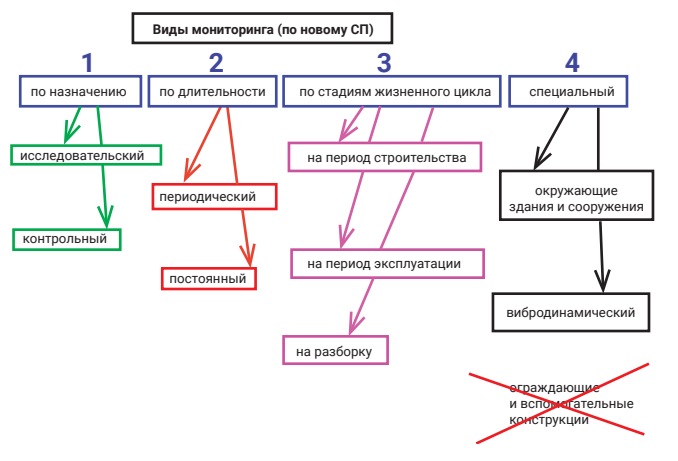


Рис. 1. Принципиальная схема мониторинга мостов по СП 274



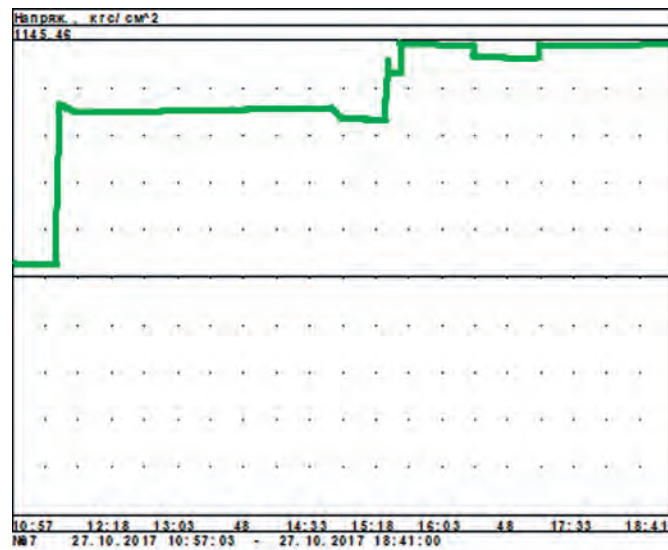


Рис. 6. Мост через р. Самару. График роста напряжений в главной балке при движении пролетного строения

шой редкостью. В ходе мониторинга предстояло исследовать потери преднапряжения на коротких пучках, что и было сделано (рис. 7–10).



Рис. 7. Притерминальная эстакада в аэропорту Домодедово



Рис. 8. Проведение динамических испытаний пролетных строений на эстакаде в Домодедово

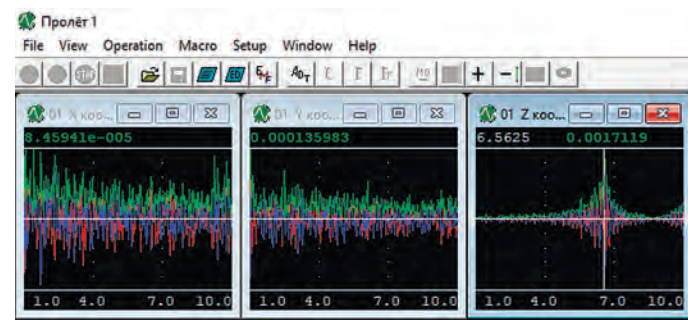


Рис. 9. Результаты динамических испытаний притерминальной эстакады в аэропорту Домодедово, спектр собственных частот балок пролетного строения — 6,5625 Гц

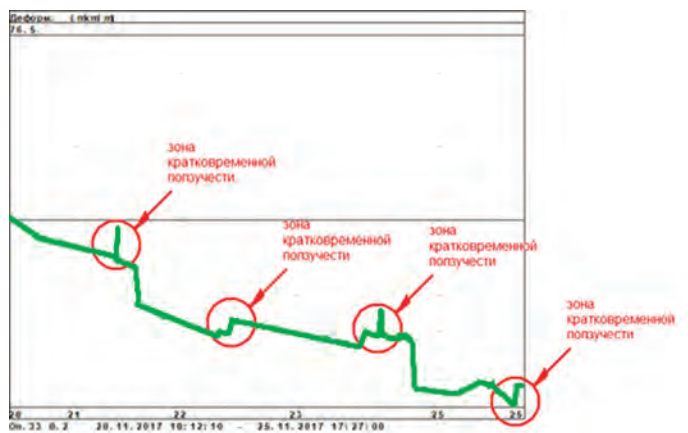


Рис. 10. График зависимости изменения продольных деформаций в бетоне при ступенях передачи горизонтальных нагрузок от преднапряжения на бетон. Выделены зоны кратковременной ползучести — до 25 % (!) «сброса» нагрузки (с учетом деформации в анкерах) в начале нагружения и менее 10% после фиксации полной нагрузки на домкратах

Мост через р. Москву у Волоколамска при движении первой секции «лопнул» посередине пролета. Трещины были вылечены, а мост завершен строительством. Однако заказчик настоял, чтобы в течение трех месяцев после ремонта моста и окончания строительства проводился мониторинг, что и было выполнено (рис. 11–13).

Как следует из СП 274, мониторинг должен состоять из следующих позиций:

- измерение деформаций;
- измерение колебаний;
- измерение углов наклона элементов (опоры, опорные зоны).

Перед всеми испытаниями должен быть выполнен расчет для выяснения критических значений параме-



Рис. 11. Мост на ЦКАД в районе Волоколамска, надвигающийся железобетонный пролетный строения



Рис. 12. Мост на ЦКАД. Сетка сквозных трещин в нижнем поясе главных балок при движении первого пролета

тров (так называемые уставки), которые определяются мониторингом, должны быть проведены испытания для тарирования датчиков. Что же касается длительности мониторинга, то, по мнению специалистов, его следует проводить как минимум в течение всего времени строительства, а во время эксплуатации — не менее одного календарного года (зима — весна — лето — осень).

Конечно, есть конструкции, где можно обойтись и без мониторинга. Это, прежде всего, типовые мосты, к которым относятся и модульные. Например, блок-мост, который АО «Уральская Сталь», ГК «Автодор» и ЦНИИТС презентуют для небольших пролетов, в том числе для условий с жестким климатом и в труднодоступных местах (рис. 14).



Рис. 13. Установка датчиков мониторинга на главные балки пролетного строения в поврежденных сечениях моста



Рис. 14. Принципиальное решение блок-моста для малых и средних пролетов

## ВЫВОДЫ

Заказчик, проектировщик и Госэкспертиза сегодня соглашаются на мониторинг только после каких-либо неприятностей на мосту. Это, в принципе, неправильно, так как первые два-три года эксплуатации моста — самые сложные. Они показывают, как могут развиваться длительные процессы в материале, а также возможность его нормальной эксплуатации. Возможно, следует заменить испытания, которые часто (увы!) не проводят, на мониторинг и сделать его обязательным.

Стоимость мониторинга малых и средних мостов (мини-СМИК до трех пролетов) составляет порядка 3–4 млн рублей в год в непрерывном режиме и с оценкой фактической грузоподъемности моста и изменения параметров во времени, что сегодня весьма актуально. ■



## ВАНТОВЫЕ МОСТЫ. НОРМИРОВАНИЕ. ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ НЕЗАВИСИМОСТЬ

**Н.Ю. НОВАК,**  
заместитель генерального директора;  
**С.А. ДОРОХИН,** ведущий инженер ООО «Мастерская Мостов»

**КАЖДЫЙ ВАНТОВЫЙ МОСТ НЕПОВТОРИМ И ТРЕБУЕТ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПОДХОДА К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ВАНТОВЫХ СИСТЕМ. ТАКИЕ СИСТЕМЫ СОСТОЯТ ИЗ ПЕРЕДОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОМПОНЕНТОВ, ВКЛЮЧАЯ САМИ ВАНТЫ, АНКЕРА, ВНУТРЕННИЕ И ВНЕШНИЕ ДЕМПФЕРЫ, УСТРОЙСТВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОМПАКТНОГО ПУЧКА ПРЯДЕЙ В ПЕРЕХОДНЫХ ЗОНАХ (ДЕВИАТОРЫ), А ТАКЖЕ ЗАЩИТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ: СМАЗКИ ИЛИ ПАРАФИНА, ПОКРЫТИЯ ИЗ ЦИНКА ИЛИ ЦИНКОВОГО СПЛАВА, ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАЩИТНОЙ И ОСНОВНОЙ ОБОЛОЧЕК, АНТИВАНДАЛЬНЫХ ТРУБ ДЛЯ ВАНТ И ДРУГИХ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.**

Ключевые компоненты вантовой системы до недавнего времени производились исключительно за рубежом. Вопрос замены иностранных технологий стал особенно актуальным при строительстве и научно-техническом сопровождении вантового моста через р. Оку на трассе М-12. При реализации масштабного проекта этого вантового моста Государственная компания «Автодор» создала рабочую группу по им-

портозамещению компонентов вантовой системы, куда вошли строители мостового сооружения (АО «БТС-Мост» и АО ДСК «Автобан»), ведущие производители и инженеринговые компании (ООО «СТС», ОАО «Северсталь-Метиз», ООО «Газпромнефть-БМ», ООО «Газпромнефть-СМ», ПАО «СИБУР Холдинг»), испытательные лаборатории (АО «ВНИИжелезобетон» и др.) и ООО «Мастерская Мостов», выступившее автором программы исследований,

а также координатором работы лабораторий и испытательных центров.

Одновременно с этим по инициативе ФДА «Росавтодор» и при поддержке ТК418 была начата научно-исследовательская работа по созданию комплекса нормативных документов, касающихся требований к материалам и элементам вантовой системы, а также методов их испытаний и контроля. ООО «Мастерская Мостов» стало исполнителем данной работы.

Первая попытка создать нормативный документ, описывающий требования к вантовым системам мостовых сооружений, была предпринята в 2017 году. Документ содержал актуальное переосмысление мировой технической базы и нормативно-методической документации, однако без проверки выполнимости методов испытаний и без увязки с возможностями промышленности Российской Федерации и научно-исследовательских центров. Стандарт был критически принят и лег на полку, получил второй шанс только в 2024 году.

При разработке стандартов в первую очередь проводилась отработка методов исследования материалов и полуфабрикатов вантовой системы, включая многочисленные контрольные и сопоставительные испытания с имеющимися образцами иностранной продукции. Параллельно осваивались алгоритмы проведения испытаний, подбирались подходящая нормативно-методическая документация. Исследования, включающие свыше 50 различных видов испытаний и более 500 образцов, проводились как производителями компонентов вантовой системы, так и в рамках научно-технического сопровождения строительства моста через р. Оку, а также в ходе научно-исследовательской работы по созданию национальных стандартов. Совместными усилиями удалось апробировать и доработать методики проведения испытаний, содержащихся в иностранных нормативных документах и недоступных в настоящее время к исполнению в иностранных лабораториях. Многие испытания проводились в Российской Федерации впервые. Самое важное то, что все предлагаемые испытания и требования отработаны в отечественных лабораториях, в том числе на отечественных образцах.

Итогом работы ООО «Мастерская Мостов» под руководством ФДА «Росавтодор» и ГК «Автодор», при поддержке ТК418 «Дорожное хозяйство», лабораторий и научных центров, а также всех членов рабочей группы по импортозамещению стал комплекс национальных стандартов:

■ ГОСТ Р 71604-2024 «Дороги автомобильные общего пользования. Вантовые системы мостовых сооружений. Элементы. Общие технические условия»;



■ ГОСТ Р 71605-2024 «Дороги автомобильные общего пользования. Вантовые системы мостовых сооружений. Материалы и полуфабрикаты. Общие технические условия».

В настоящее время готовится к выходу значительно переработанный проект национального стандарта ГОСТ Р 71612-2024 «Ванты для мостостроения. Общие технические условия».

Группа новых национальных стандартов регламентирует все компоненты вантовой системы, включая требования к материалам и полуфабрикатам, методам испытаний и их периодичности, а также предоставляет указания по транспортированию, хранению и маркировке компонентов системы.

Значительных успехов удалось достичь рабочей группе, возглавляемой ГК «Автодор», и в разработке отечественной вантовой системы. Трудности импортозамещения были преодолены, и уже к концу 2024 года промышленность Российской Федерации готова производить и поставлять на объекты строительства полностью отечественную вантовую систему.



## техническое регулирование

Основа отечественной вантовой системы — прядь (канат) типа К7 производства ОАО «Северсталь-Метиз» с нанесенным цинковым покрытием, его дополняют защитный парафин вокруг проволок производства ООО «Газпромнефть-БМ» и индивидуальная защитная оболочка ПАО «СИБУР Холдинг». Анкерная система, девиаторы, демпферы и оборудование для натяжения вант производятся компанией ООО «СТС». По физико-механическим характеристикам стальные части вантовых прядей производства компании «Северсталь-Метиз», в том числе по пределу прочности, потерям от релаксации, испытаниям на выносливость и растяжение с изгибом, полностью соответствуют международным рекомендациям (FIB'89) и рекомендациям национальных стандартов РФ.

В ходе испытаний были подтверждены характеристики парафина и оболочек, не уступающие иностранным аналогам, испытания которых проводились параллельно для сопоставительного анализа.

Добиться подобного впечатляющего результата было сложной задачей, потребовавшей выпуска 10 пробных партий стального каната, ряда повторных и дополнительных испытаний и исследований, решения проблем с отсутствием компетенций по некоторым видам испытаний с недостатками существующей нормативно-методической базы. Однако благодаря полученному импульсу

работа не останавливается, проводятся дополнительные исследования, совершенствуется продукция и подходы к нормированию.

Успешный пример слаженной работы государственных структур, строителей, проектировщиков, производителей материалов и компонентов, лабораторий, научно-исследовательских организаций и испытательных центров, позволивший в кратчайшие сроки решить сложную и важную для страны задачу, не должен остаться единичным примером такого взаимодействия. Только совместными усилиями мы можем активизировать инновационные процессы в отрасли и успешно внедрять новейшие разработки и технологии в мостостроение.



**ООО «Мастерская Мостов»**  
129626, г. Москва,  
1-й Рижский пер., д. 2Г,  
2 этаж, ком. 58-60  
E-mail: [bridgestudio@bk.ru](mailto:bridgestudio@bk.ru)



XII Национальная  
выставка  
инфраструктуры  
гражданской  
авиации

При поддержке



Росавиация



Министерство  
транспорта РФ

**5-6 февраля 2025**

Крокус Экспо, Москва

[www.naisrussia.ru](http://www.naisrussia.ru)

**ИДЕАЛЬНЫЙ ПОЛЕТ**

**НАЧИНАЕТСЯ НА ЗЕМЛЕ**

**КРУПНЕЙШАЯ\* В РОССИИ ВЫСТАВКА  
ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЙ  
ДЛЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ  
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

**ЗАЯВИТЕ О СЕБЕ  
СО СТЕНДОМ**



**КОМПОЗИТ-ЭКСПО**  
Семнадцатая международная специализированная выставка

**25 - 27 марта 2025**  
Россия, Москва, ЦВК «Экспоцентр»,  
павильоны 1, 5, 8 (зал 2)

**Основные разделы выставки:**

- Сырье для производства композитных материалов, компоненты: смолы, добавки, термoplastики, углеродное волокно и т.д.
- Наполнители и модификаторы
- Стеклопластик, углепластик, графитопластик, базальтопластик, базальтовые волокна, древесно-полимерный композит (ДПК) и т.д.
- Полуфабрикаты (препреги)
- Промышленные (готовые) изделия из композитных материалов
- Технологии производства композитных материалов со специальными и заданными свойствами
- Оборудование и технологическая оснастка для производства композитных материалов
- Инструмент для обработки композитных материалов
- Измерительное и испытательное оборудование
- Сертификация, технический регламент
- Компьютерное моделирование
- Утилизация

Специальный раздел выставки:  
**КЛЕИ И ГЕРМЕТИКИ**

**Информационная поддержка:**

Параллельно проводится выставка:  
**ПОЛИУРЕТАНЭКС**  
Специализированная выставка полиуретановых технологий

Информационная поддержка от партнеров:

Дирекция:  
Выставочная Компания «Мир-Экспо»  
Россия, Москва, Варшавское шоссе, дом 118, корпус 1, помещение 1/5  
Телефоны: 8 800 333-78-25, 8 (495) 137-78-25  
E-mail: [info@composite-expo.ru](mailto:info@composite-expo.ru) | Сайт: [www.composite-expo.ru](http://www.composite-expo.ru)

Организатор:  
**Мир-Экспо**

Телеграм-канал  
«Композиты»  
@osompo

Организатор:  
**ExpoVision Rus**

Реклама | ООО «ЭВР»  
\*По количеству участников

# РАСЧЕТЫ УСТОЙЧИВОСТИ ПОЛОЖЕНИЯ ПОДПОРНЫХ СТЕН УСТОЕВ

## АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ ИЗ ПУСТОТЕЛЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БЛОКОВ, ЗАПОЛНЕННЫХ ЩЕБНЕМ

А.Д. СОКОЛОВ,  
почетный транспортный строитель, академик, доктор транспорта

Пустотелый железобетонный блок показан на рис. 1. Из этих блоков могут формироваться подпорные стены устоев с раздельными функциями автодорожных мостов, что является инновационной технологией. Конструкция устоя автодорожного путепровода показана на рис. 2.

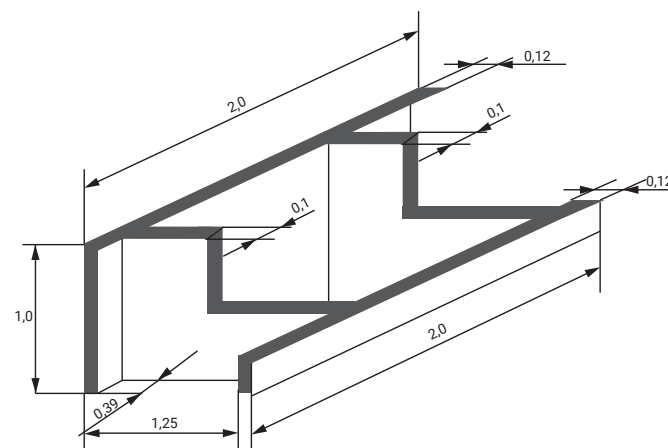


Рис. 1. Железобетонный пустотелый блок. Общий вид

### ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА

Мостовое сооружение представляет собой однопролетный автодорожный путепровод. Пролетное строение — железобетонные балки длиной 35,483 м. Опоры безростверковые на буровых сваях. Устои с раздельными функциями в виде подпорных стен, состоящих из пустотелых железобетонных блоков, заполненных щебнем. Угол наклона стенок к вертикали составляет  $\epsilon=16,25^\circ$ . Высота подходной насыпи — 6,2 м. Временная автомобильная нагрузка Н14 показана на рис. 3.

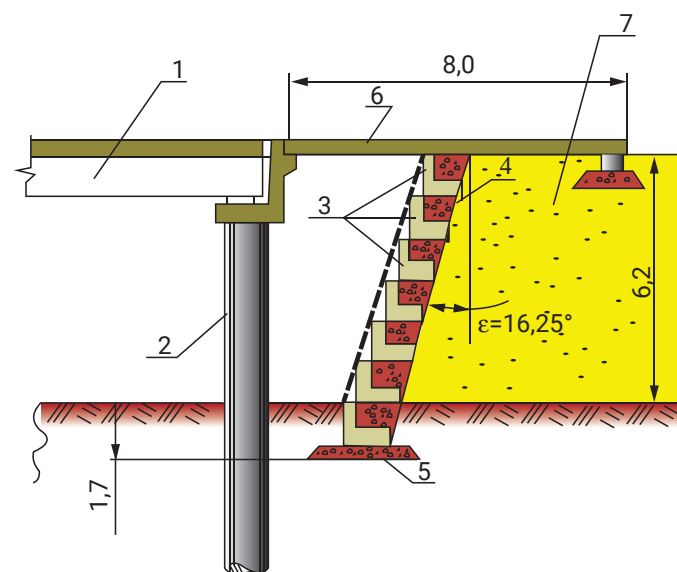


Рис. 2. Схема автодорожного моста с устоями в виде подпорных стен из пустотелых железобетонных блоков, заполненных щебнем: 1 — пролетное строение; 2 — безростверковые опоры из буровых свай; 3 — пустотелые железобетонные блоки; 4 — щебень; 5 — матрац Рено; 6 — переходная плита; 7 — подходная насыпь

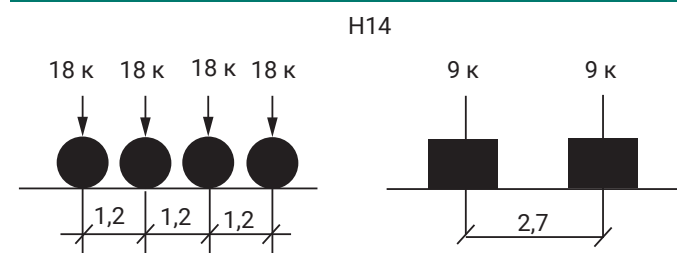


Рис. 3. Временная нагрузка Н14

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

- Песок насыпи средней крупности:
  - удельный вес  $\gamma = 1,8 \text{ тс/м}^3$ ;
  - коэффициент фильтрации  $K_f \geq 2,0 \text{ м/сут}$ ;
  - коэффициент уплотнения по кривой стандартного уплотнения  $K_{упл} = 0,98$ ;
  - угол внутреннего трения  $\varphi = 30^\circ$ ;
  - удельный вес железобетона  $\gamma_{ж.б.} = 2,5 \text{ тс/м}^3$ ;
  - удельный вес щебня  $\gamma_{щ.} = 2,3 \text{ тс/м}^3$ .

Устойчивость положения подпорных стен устоев мостов на плоский сдвиг проверяется по формуле:

$$Q_{сд} \leq \frac{m}{\gamma_n} \cdot Q_{уд},$$

где  $Q_{сд}$  — сумма проекций сдвигающих сил на плоскость скольжения;  $Q_{уд}$  — сумма проекций удерживающих сил на ту же плоскость;  $m$  — коэффициент условий работы, принимаемый равным 0,9;  $\gamma_n$  — коэффициент надежности по назначению, принимаемый равным 1,1 [1, с. 36, формула 10].

### ПРОВЕРКА УСТОЙЧИВОСТИ ПОЛОЖЕНИЯ ПОДПОРНОЙ СТЕНЫ УСТОЯ НА ПЛОСКИЙ СДВИГ ПО ОСНОВАНИЮ

Расчетная схема показана на рис. 4.

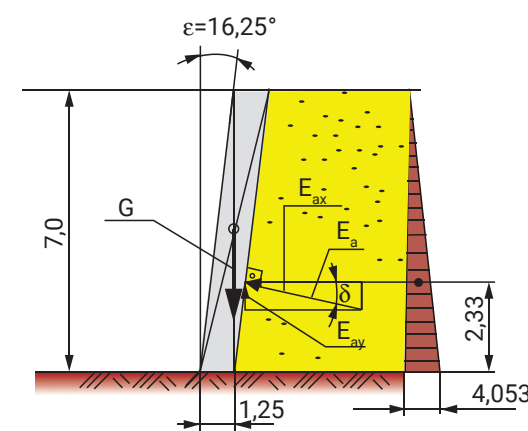


Рис. 4. Расчетная схема подпорной стены устоя моста для расчета устойчивости положения на плоский сдвиг

Активное давление грунта насыпи на подпорную стену устоя моста определяется по формуле:

$$E_a = \lambda_a \cdot \frac{\gamma \cdot h^2}{2} \cdot \gamma_f,$$

где  $\lambda_a$  — коэффициент активного давления грунта [1, с. 46, формула 27], определяемый по формуле:

$$\lambda_a = \left[ \frac{\cos(\varphi - \epsilon)}{\cos \epsilon \left( 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - \alpha)}{\cos(\epsilon + \delta) \cdot \cos(\epsilon - \alpha)}} \right)} \right]^2 \cdot \frac{1}{\cos(\epsilon + \delta)'}$$

где  $\varphi$  — расчетное значение угла внутреннего трения грунта, принимаемое при расчетах по первой группе предельных состояний равным

$$\varphi_l = \frac{\varphi_n}{\gamma_n};$$

$$\varphi_l = \frac{30^\circ}{1,1} = 27,27^\circ,$$

где  $\gamma_n = 1,1$  — коэффициент надежности по грунту. Допускается принимать для грунтов обратной засыпки

$$\gamma'_i = 0,96 \cdot \gamma_i; \gamma'_i = 1,05 \cdot \gamma_n = 1,05 \cdot 1,8 = 1,89 \text{ тс/м}^3;$$

$$\gamma''_i = 0,96 \cdot 1,89 = 1,814 \text{ тс/м}^3.$$

$\delta$  — расчетное значение угла внешнего трения грунта по поверхности подпорной стены, допускается принимать равным:

$$\delta'_i = \frac{\varphi'_i}{2} = \frac{27,27^\circ}{2} = 13,64^\circ;$$

$\alpha$  — угол наклона к горизонтали поверхности засыпки,  $\alpha = 0^\circ$ ;  $\epsilon$  — угол наклона к вертикали расчетной поверхности стены:  $\epsilon = -16,25^\circ$ ;  $\gamma_f$  — коэффициент надежности к активному давлению грунта на подпорную стену устоя моста,  $\gamma_f = 1,4$ .

При этих данных получим:

$$\lambda_a = \left[ \frac{\cos(27,27^\circ + 16,25^\circ)}{\cos 16,25^\circ \left( 1 + \sqrt{\frac{\sin(27,27^\circ + 13,64^\circ) \cdot \sin 27,27^\circ}{\cos(-16,25^\circ + 13,64^\circ) \cdot \cos 16,25^\circ}} \right)} \right]^2 \times$$

$$\times \frac{1}{\cos 16,25^\circ} = 0,244.$$

Тогда интенсивность активного давления грунта насыпи на подпорную стену устоя моста будет равна:

$$p_a = \lambda_a \cdot \gamma \cdot H \cdot \gamma_f = 0,244 \cdot 1,814 \cdot 7,0 \cdot 1,4 = 4,338 \text{ тс/м}^2.$$

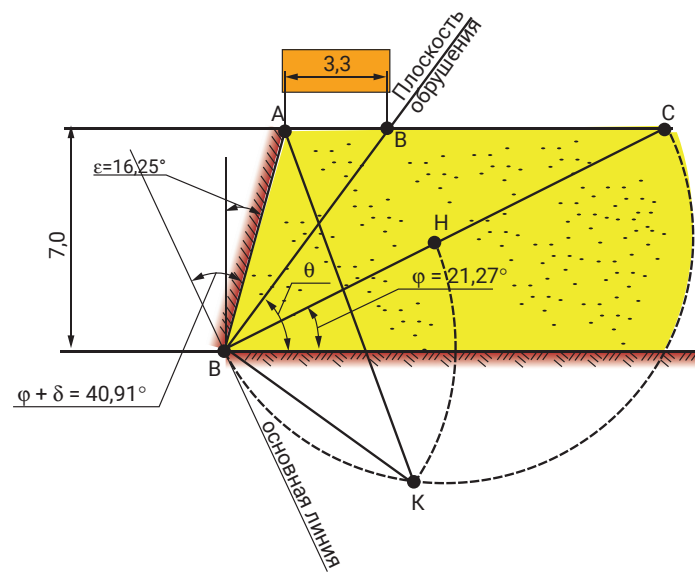


Рис. 5. Графическое построение, основанное на доказательстве Понселе

Равнодействующая активного давления грунта насыпи на подпорную стену устоя моста будет равна:

$$E_a = \lambda_a \cdot \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \cdot \gamma_f = 0,244 \cdot \frac{1,814 \cdot 7,0^2}{2} \cdot 1,4 = 15,182 \text{ тс/м}$$

Горизонтальная составляющая активного давления грунта насыпи на подпорную стену устоя моста будет равна:

$$E_{ax} = E_a \cdot \cos \delta = 15,182 \cdot \cos 13,64^\circ = 14,754 \text{ тс/м}$$

Вертикальная составляющая активного давления грунта насыпи на подпорную стену устоя моста будет равна:

$$E_{ay} = E_a \cdot \sin \delta = 15,182 \cdot \sin 13,64^\circ = 3,580 \text{ тс/м}$$

Вес подпорной стены устоя моста будет равен:

$$G = 7,0 \cdot 0,593 \cdot 2,5 \cdot 1,1 = 11,415 \text{ тс}$$

где 0,593 — объем железобетона в одном блоке высотой 1,0 м и длиной 2,0 м; 1,1 — коэффициент надежности к весу стены устоя моста.

Тогда вес одного блока при его длине 1,0 м будет равен:

$$G_1 = 0,593 \cdot 2,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,1 = 1,631 \text{ тс}$$

Вес всей стены высотой 7,0 м будет равен:

$$G = 1,631 \cdot 7,0 = 11,415 \text{ тс}$$

Тогда удерживающая сила будет равна:

$$Q_{уд} = (G - E_{ay}) \cdot f_{осн} = (11,415 - 3,580) \cdot 0,5 = 3,918 \text{ тс}$$

Условие устойчивости положения подпорной стены устоя моста на плоский сдвиг:

$$14,754 > \frac{0,9}{1,1} \cdot 3,918 = 3,206$$

то есть условие устойчивости не обеспечено.

### УЧЕТ ВРЕМЕННОЙ НАГРУЗКИ Н14

Для учета действия временной нагрузки на величину активного давления грунта насыпи на подпорную стену устоя моста необходимо определить размер поверху призмы обрушения грунта. Это проще всего сделать с помощью графического построения, основанного на доказательстве Понселе.

Как видно на рис. 5, размер поверху призмы обрушения грунта составляет 3,3 м, это меньше длины переходной плиты, равной 8,0 м. Следовательно, нагрузка Н14 не попадает в пределы призмы обрушения грунта и не может влиять на величину активного давления грунта насыпи на подпорную стену устоя моста.

### РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ПОЛОЖЕНИЯ ПОДПОРНОЙ СТЕНЫ УСТОЯ МОСТА НА ОПРОКИДЫВАНИЕ

Расчетная схема показана на рис. 6.

Устойчивость положения подпорной стены устоя моста на опрокидывание выполняется по формуле:

$$M_{оп} < \frac{m}{\lambda_n} \cdot M_{уд}$$

где  $M_{оп}$  — момент опрокидывающих сил относительно оси, проходящей через переднее нижнее ребро стены (т. О);  $M_{уд}$  — момент удерживающих сил относительно той же оси;  $m$  — коэффициент условий работы, принимаемый равным 0,9 при скальном основании и 0,8 — при нескальном основании;  $\lambda_n$  — коэффициент надежности по назначению, равный 1,1 [1, с. 38, формула 11].

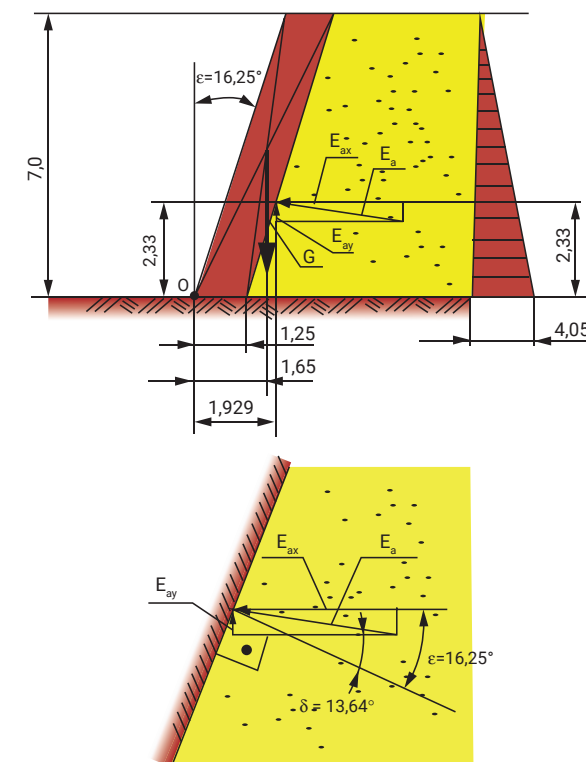


Рис. 6. Расчетная схема подпорной стены устоя моста для расчета устойчивости положения на опрокидывание

По рис. 6 имеем:

$$M_{оп} = E_{ax} \cdot 2,33 + E_{ay} \cdot 1,65 = 14,754 \cdot 2,33 + 3,580 \cdot 1,65 = 40,284 \text{ тс}\cdot\text{м}$$

$$M_{уд} = G \cdot 1,655 = 18,892 \text{ тс}\cdot\text{м}$$

Условие устойчивости положения подпорной стены устоя моста на опрокидывание примет вид:

$$40,284 > \frac{0,8}{1,1} \cdot 18,892 = 13,738$$

Следовательно, условие устойчивости не обеспечено. При расчете устойчивости положения подпорной стены устоя моста на плоский сдвиг образовался дефицит удерживающих сил  $\Delta Q_{уд}$ , равный:

$$\Delta Q_{уд} = Q_{уд} - Q_{уд} = 14,754 - 3,918 = 10,836 \text{ тс}$$

### Литература

1. Соколов А.Д., Казей И.И. Рекомендации по проектированию подпорных стен в транспортном строительстве / Научно-исследовательский институт транспортного строительства. М., 1993.

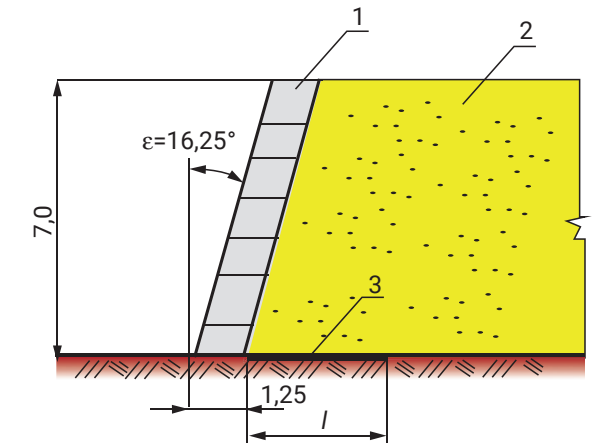


Рис. 7. Схема прикрепления геосинтетической ткани «Армостаб» к нижнему блоку стены

Восприятие дефицита удерживающих сил и обеспечение устойчивости подпорной стены устоя моста могут быть обеспечены с помощью простого технологического решения.

К нижнему блоку подпорной стены устоя моста можно прикрепить слой геосинтетической ткани с заделкой ее хвоста в грунт насыпи, как показано на рис. 7.

Длина  $l$  геосинтетической ткани определяется из условия:

$$2 \cdot l \cdot H \cdot \gamma \cdot 0,7 \cdot \text{tg} \varphi = \Delta Q_{уд}$$

$$\text{или } l = \frac{\Delta Q_{уд}}{2 \cdot H \cdot \gamma \cdot 0,7 \cdot \text{tg} \varphi}$$

в числах получим:

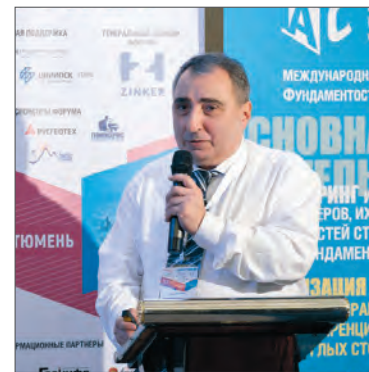
$$l = \frac{10,836}{2 \cdot 7,0 \cdot 1,814 \cdot 0,7 \cdot \text{tg} 27,27^\circ} = 1,182 \text{ м} \approx 1,2 \text{ м}$$

Рекомендуется применить геосинтетическую ткань «Армостаб», производимую российской фирмой «Миаком».

Для восприятия дефицита удерживающих моментов  $\Delta M_{уд}$  рекомендуется прикрепить геосинтетику ко всем блокам подпорной стены устоя моста.

# СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕКОНСТРУКЦИИ МОСТОВ.

## УСИЛЕНИЕ РЕБРИСТОГО ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ ПУТЕМ ПРЕВРАЩЕНИЯ ЕГО В КОРОБЧАТОЕ



**В. Ю. КАЗАРЯН,**  
генеральный директор ООО «НПП СК МОСТ»,

доктор транспорта Российской академии транспорта, действительный  
Член Инженерной академии Армении, Член Всероссийского общества изобретателей  
и рационализаторов, Член международной ассоциации мостовиков IABSE

**ВАЖНЕЙШЕЙ ЗАДАЧЕЙ ДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ РОССИИ ЯВЛЯЕТСЯ КАЧЕСТВЕННОЕ УЛУЧШЕНИЕ СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ НА НИХ. ПО ДАННЫМ РАБОЧЕЙ ГРУППЫ ПО МОНИТОРИНГУ РЕАЛИЗАЦИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТА «БЕЗОПАСНЫЕ КАЧЕСТВЕННЫЕ ДОРОГИ» 30% ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ НАХОДЯТСЯ В НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНОМ, ПРЕДАВАРИЙНОМ И АВАРИЙНОМ СОСТОЯНИИ. В РАМКАХ НАЦПРОЕКТА ПРЕДУСМОТРЕНА ОТДЕЛЬНАЯ ПОДПРОГРАММА ВОССТАНОВЛЕНИЯ АВАРИЙНЫХ И ПРЕДАВАРИЙНЫХ МОСТОВ, ОДНАКО ВОПРОС ФИНАНСИРОВАНИЯ ДОРОЖНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ — ОДИН ИЗ САМЫХ БОЛЕЗНЕННЫХ ДЛЯ РЕГИОНОВ. В ЭТОЙ СВЯЗИ АКТУАЛЬНОЙ ЗАДАЧЕЙ ЯВЛЯЕТСЯ ОПЕРАТИВНОЕ ПРИВЕДЕНИЕ В НОРМАТИВНОЕ СОСТОЯНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ С АКЦЕНТОМ НА ИХ РЕМОНТЕ И КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ.**

Самое распространенное сегодня техническое решение, предлагаемое большинством проектных компаний — это снести «старые» мосты и построить «новые», причем, по тем же продольным схемам и по тем же типовым проектам, которые были разработаны еще в 60-е годы.

В случае повреждения балок сложность демонтажа заключается в том, что у них отсутствует несущий нижний пояс, в связи с чем поднять их практически невозможно.

В этой связи предполагается принципиально новый подход к переформированию элементов усиления, рассматривающий не каждую балку в отдельности, а объединение двух, трех соседних балок в новую монолитную коробчатую структуру (рис. 1). Причем такая конструкция может быть использована как для усиления отдельного разрезного пролета, так и для переустройства в неразрезное пролетное строение при замене набора опорных частей.

Предлагается абсолютно новая конструкция пролетного строения (рис. 1), представляющая собой короб-



Рис. 1. Принципиальная схема метода — усиления пролетного строения мостового сооружения превращением его в коробчатое

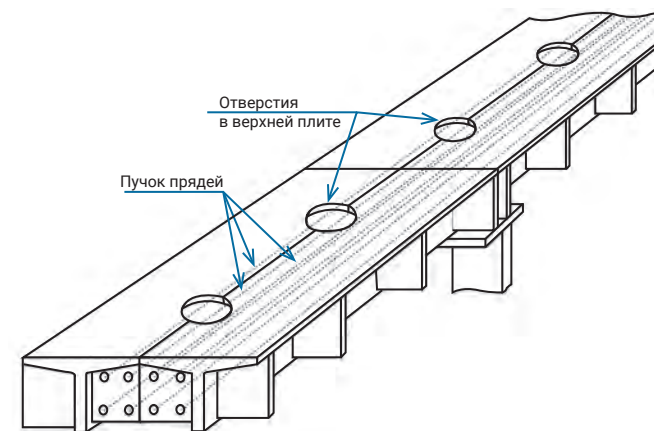


Рис. 2. Монолитная напряженная конструкция («Монобрус»)

чатую монолитную неразрезную цельную балку, где бывшие балки разрезной балочной системы 56-го выпуска служат на первой стадии в качестве несъемной опалубки, а на последующей стадии, включившись в совместную работу, — в качестве «каркасного элемента», в центре которого находится монолитная напряженная конструкция (рис. 2).



Рис. 3. Новая схема поперечного сечения пролетного строения

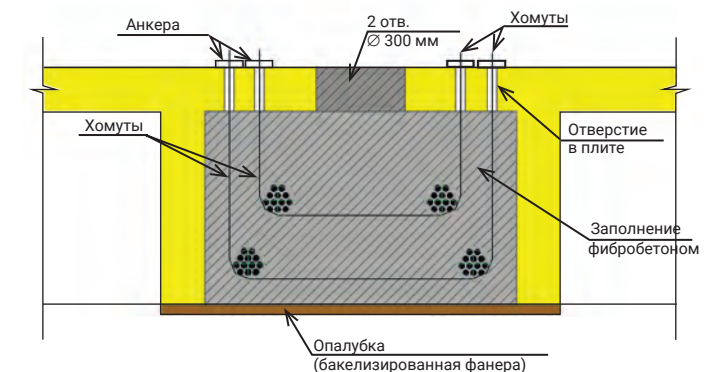


Рис. 4. Установка хомутов, прядей, опалубки

В итоге получается принципиально новая конструкция пролетного строения, обладающая большей долговечностью, грузоподъемностью под современные нагрузки и отвечающая всем нормам эксплуатации (рис. 3).

Попарное объединение балок в коробку и создание железобетонного бруса («Монобруса») по всей длине моста позволяет объединить разрезные балки в неразрезное пролетное строение. Такое конструктивное решение позволяет в кратчайшее время объединить балки в продольном направлении и избежать обрушения.

Формула предлагаемого нового конструктивно-технологического решения защищена патентом №2640855 от 12.01.2018 г. «Способ усиления пролетного строения моста».

В случае образования единого неразрезного пролетного строения на основании вышеописанного метода при допустимых расчетных нагрузках возможен полный демонтаж русловых опор моста. Такая технология защищена патентом «Способ усиления мостового сооружения с демонтажем русловых опор моста», №2712984 от 10.04.2019.

В целях увеличения пропускной способности, уширения тротуаров или проезжей части в комплексе с описываемым методом рекомендуется применять технологию согласно патенту «Способ уширения мостового сооружения» №2205914 от 27.11.2001 г.

Эффективность метода ремонта или реконструкции при усилении конструкции с помощью преднапряжения высокопрочными прядями неоспорима.

Во-первых, нынешняя система преднапряжения на порядок надежнее, при этом используются средства малой механизации, новые составы бетонов, клеевые составы, современные опалубки, подъемно-транспортные механизмы, позволяющие перевозить и монтировать элементы. А если пучок погружен в фибробетон, то он защищен с точки зрения антивандальных мероприятий.

Во-вторых, метод очень прост в исполнении, относится к неразрушающему способу работы, предполагает применение только ручного труда одной бригады из 6–8 человек и одного или двух инженеров. Не требует устройства объездных дорог, крупногабаритной спецтехники — работа осуществляется исключительно средствами малой механизации, без закрытия движения как по путепроводу, так и под ним. Возможна работа при отсутствии подключения к электричеству, например, с использованием генераторов.

В-третьих, выполняя ремонт на конкретном участке, нет необходимости в демонтаже тротуаров, перил, ограждений и возможных коммуникаций. Весь процесс ремонта во временном отрезке можно оценить в 1–1,5 месяца, при этом удается увеличить несущую способность конструкции в несколько раз, а не на 10–15 %, как предлагают другие методы.

В настоящее время метод применяется в пяти проектах, в двух из которых реализован и испытан. Кроме того, создана модель, которая на данный момент испытана и рекомендована для дальнейшего использования на объектах.

На территории ООО «НПП СК МОСТ» в г. Балашиха в 2018 году был создан испытательный силовой стенд, на котором был смонтирован фрагмент пролетного строения из двух типовых ребристых балок длиной 15,0 м и высотой 0,85 м (Проект 710), объединенных по плите проезжей части. Толщина плиты проезжей части составила 0,15 м. При монтаже на испытательном стенде балки были расчленены по длине на 2 блока, после чего



Фото 1. Пучки канатов К-7

заново объединены путем соединения арматурного каркаса и омоноличивания бетоном.

Усиление балки выполнено двумя пучками предварительно напряженной арматуры из 12-ти арматурных канатов К-7 номинальным диаметром 15 мм, установленных вдоль нижней части ребер. Вдоль плиты проезжей части



Фото 2. Установка металлического листа, натяжение прядей

установлены два пучка из трех канатов К-7 номинальным диаметром 15 мм. Контролируемое усилие в каждом пучке составляет 539,4 кН (55,0 т) (рис. 4, фото 1, 2).

Для омоноличивания предварительно напряженной арматуры и заполнения полости между ребрами балок был использован фибробетон класса В25, F200, W6.

После набора прочности бетоном были выполнены статические испытания полученной балки длиной 16,76 м путем постепенного ее нагружения возрастающей внешней нагрузкой с фиксацией вертикальных перемещений, а также параметров повреждений, возникших в процессе нагружения.

Нагружение балки осуществлялось посредством двух гидравлических домкратов мощностью 150 т каждый (фото 3), объединенных в единую гидравлическую систему.



Фото 3. Натурный образец под статической нагрузкой 2

В процессе испытаний было зафиксировано, что балка работает в упругой стадии, все элементы конструкции включены в совместную работу, трещин и отслоений не выявлено, а остаточный прогиб не превышает 1,6 мм. Конструкция успешно прошла испытания в соответствии с предусмотренной программой на расчетные современные нагрузки.

На совещании по вопросу применения современных и инновационных технологий при проектировании, строительстве и эксплуатации автомобильных дорог 18 декабря 2018 года в г. Москве данная технология была рассмотрена и рекомендована к применению при ремонтах и реконструкциях мостовых сооружений автомобильных дорог, в том числе при ликвидации ЧС на объектах ГК «Автодор».

Таким образом предприятие не только разработало новое решение для капитального ремонта мостовых сооружений, позволяющее дать новую жизнь малым и средним сооружениям, что отвечает задачам национального проекта «Безопасные качественные дороги», но и осуществило его испытание и внедрение.

В дальнейшем технология усиления ребристого пролетного строения путем превращения его в коробчатое успешно прошла государственную экспертизу и была реализована ООО «НПП СК МОСТ» при выполнении муниципального контракта по капитальному ремонту моста через р.Каменка на ул. Коровники в городе Суздале Владимирской области в 2019–2021 гг.

Мост типовой, широко распространенной конструкции, построенный в 70-е годы прошлого столетия. Этот двухполосный мост длиной 72 м, выполненный из ребристых 16-метровых железобетонных балок типового выпуска №56, имел множество дефектов и находился в неудовлетворительном, аварийном состоянии (фото 4).



Фото 4. Вид снизу на пролетное строение до ремонта

В сентябре 2019 года ООО «НПП СК МОСТ» приступило к производству работ по его капитальному ремонту. Было снято асфальтобетонное покрытие, слои дорожной одежды, осмотрены конструкции моста. В результате было установлено, что балки могут быть сохранены, и заказчиком было принято решение внести в проект ряд корректировок.

По итогам корректировки проектной документации экспертами ГАУ ВО «Владоблгосэкспертиза» было выдано положительное заключение на применение метода попарного объединения существующих балок пролетного строения с заполнением фибробетоном пространства между ними и обжатием полученных балок — брусьев пучками предварительно напрягаемой арматуры (фото 5, 6).

Поверх измененного пролетного строения была предусмотрена накладная плита для усиления плиты проезжей части с консолями длиной 1,368 м для уширения тротуаров (фото 7).



Фото 5. Канаты преднапряжения 6х12 прядей Ø 15,7 мм



Фото 6. Преднапряжение пучков в коробке



Фото 7. Установка и натяжение арматурных канатов на ригелях

При ремонте моста через р. Каменка в г. Суздале были применены подвесные строительные леса, включающие в себя рабочие площадки, удерживаемые вертикальными подвесками, закрепленными на плите проезжей части и тротуарах (Фото 8).



Фото 8. Работа с подвесных подмостей

Согласно откорректированной сметной документации стоимость работ по капитальному ремонту моста снизилась на 6,5 млн (10% цены контракта), что является существенной экономией средств местного и областного бюджета.

Первоначальный вариант проекта предусматривал демонтаж несущих балок и других элементов конструкции, а также строительство временного пешеходного моста.

По итогам ремонта с применением новой технологии увеличилась грузоподъемность моста, уменьшилось количество деформационных швов, расширилась проезжая часть моста с 7 до 9 м, а тротуары с обеих сторон – с 0,9 до 1,5 м (Фото 9–11).

По результатам обследования и приемочных испытаний сооружения было установлено, что все измеренные значения находятся в пределах допустимых в соответствии с СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы», а грузоподъемность моста соответствует нормативным нагрузкам А11и Н14.

Приведенный анализ напряженно-деформированного состояния неразрезного пролетного строения моста под воздействием статических испытательных нагрузок свидетельствует о полном соответствии работы кон-



Фото 9. Вид на пролетное строение снизу после ремонта



Фото 9. Вид снизу после ремонта



Фото 11. Вид тротуаров и проезжей части после реконструкции

струкции расчетным предпосылкам, а долговечность конструкции составляет 30 лет и более.

В целом же можно сказать, что метод испытан, успешно применен на практике и рекомендован к дальнейшему использованию на мостовых сооружениях во всех регионах России.

Испытания во время ввода в эксплуатацию – это требование по классификатору на ремонтные работы, где применяются канаты, так как метод значительно увеличивает несущую способность сооружения.



На сегодняшний день метод внедрен в Ленинградской области на трех мостах, в Ивановской области на четырех путепроводах, в Татарстане, Набережных Челнах, в Удмуртии, во Владимирской области – в целом по стране на 15 объектах.

Метод годится для применения в проекте нового строительства, на стадии реконструкции сооружения, капитального ремонта. Также разработана и применена модель для стадии ремонта мостов с температурной не-



разрезанностью, объединившая два способа по плите и по тягам – разработки института «СоюзДорНИИ», где работала И. Д. Сахарова, и института «СОЮЗДОРПРОЕКТ», в котором трудился В. Г. Решетников.

В настоящее время разрабатывается проект по объединению балок пролетного строения в направлении вдоль моста с последующим отказом и демонтажем русловых опор, что позволит упростить эксплуатацию и содержание мостового сооружения.

Сегодня можно смело признать, что данный способ является самым прогрессивным на современном этапе развития отечественного мостостроения. По нему защищен целый ряд патентов и изобретений, он является лидером нацпроекта БКД и вошел в учебную программу по ремонту и реконструкции мостовых сооружений, по которой ООО «НПП СК МОСТ» проводит курсы повышения квалификации на всей территории РФ, в том числе и для зарубежных мостостроителей.



ООО «НПП СК МОСТ»  
www.nppskmost.ru



## ПЕРВЫМ БЫЛ «ЦИНКЕР», ПЕРВЫМ И ОСТАЕТСЯ



О том, как цинкирование пробивало себе дорогу в жизнь, и как развивалась компания, взявшаяся за производство и распространение нового продукта, рассказал генеральный директор ООО «Цинкер» Василий Бочаров.

— Василий Алексеевич, расскажите о компании. Сколько лет вы производите антикоррозионный состав на основе цинка?

— Наша компания была образована в 2009 году. Мы разработали свой продукт на основе цинка, зарегистрировали торговую марку и вышли с ним на рынок.

В 2017 году сделали репозиционирование и предложили наш метод защиты металла, назвав его цинкированием. С 2017 года продвигаем его как отдельную технологию нанесения цинка с получением самостоятельного протекторного покрытия.

Для этого специальный цинкирующий состав наносится на поверхность металла слоем толщиной всего 120 микрон. При этом он обеспечивает сохранность металла в течение 25 лет за счет своих электрохимических свойств.

Весь процесс антикоррозионной защиты состоит в нанесении двух слоев, каждый из которых высыхает всего за полчаса. При этом они не требуют перекрытия финишным слоем, на весь цикл работ уходит всего один час.

**КАК ИЗВЕСТНО, БОРЬБА С КОРРОЗИЕЙ — ДАВНЯЯ И ОЧЕНЬ СЕРЬЕЗНАЯ ПРОБЛЕМА, РЕШЕНИЕ КОТОРОЙ ПОЗВОЛЯЕТ ПРОДЛИТЬ СРОК ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ. ДЛЯ ЭТОГО ИСПОЛЗУЮТСЯ РАЗЛИЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.**

**РОССИЙСКАЯ КОМПАНИЯ «ЦИНКЕР» ПРЕДЛОЖИЛА СВОЙ ОРИГИНАЛЬНЫЙ МЕТОД ЗАЩИТЫ, КОТОРЫЙ НЕ ИМЕЕТ АНАЛОГОВ В МИРЕ — ЦИНКИРОВАНИЕ. КОЛЛЕКТИВ УЧЕНЫХ РАЗРАБОТАЛ ЕГО НА ОСНОВЕ ЦИНКИРУЮЩЕГО СОСТАВА, КОТОРЫЙ ПО СВОИМ АНТИКОРРОЗИОННЫМ СВОЙСТВАМ, ОСНОВАННЫМ НА ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ЦИНКА С МЕТАЛЛОМ, ЯВЛЯЕТСЯ ПРЯМОЙ АЛЬТЕРНАТИВОЙ ГОРЯЧЕМУ ЦИНКОВАНИЮ. НА СЕГОДНЯШНИЙ ДЕНЬ ЭТА ТЕХНОЛОГИЯ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ОТ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И АГРЕССИВНОЙ СРЕДЫ ПРИЗНАНА ОДНОЙ ИЗ САМЫХ ПЕРЕДОВЫХ.**

— Где находится ваше производство?

— Наше производство размещено в Подмоскowie. Есть склады в Москве, Набережных Челнах и Новосибирске, а офисы — в Москве и в Новосибирске.

— Вы работаете под заказ или отгружаете продукцию на склады? Ваши партнеры забирают продукцию сами или вы отвечаете за доставку?

— На складе у нас всегда в наличии достаточно большой объем. По доставке — как договоримся. Кому удобно, те самостоятельно забирают. Обычно мы отправляем груз транспортными компаниями — до терминалов или непосредственно на объект.

— Где закупаете цинк для своего производства?

— Наши партнеры — как российские производители, так и зарубежные из дружественных стран. У нас есть разные варианты сырья.

— Какова динамика цен на сырье?

— Его цена то растет, то падает. Этот металл — биржевой товар, и в этой связи мы до сих пор ориентируемся на лондонскую биржу металлов. Именно поэтому цена на цинк зависит от курса доллара и от цены на лондонской бирже. Соответственно, и наши цены меняются вслед за

ценами на сырье. Мы, со своей стороны, стараемся удерживать их в каких-то разумных рамках, ориентируясь на конъюнктуру рынка. Тщательно просчитываем, до какого предела можем это делать, сравниваем наши предложения с ценами конкурентов.

— В чем ваши преимущества по сравнению с широко известным методом горячего цинкования?

— Их довольно много. Например, можно защищать крупногабаритные изделия, которые не помещаются в ванну. Можно защищать тонкие изделия, полые, сваренные внахлест, изделия из стали 09Г2С. При необходимости можно локально усилить толщину покрытия в каком-то конкретном месте.

Например, если мы говорим о дорожных ограждениях или шумозащитных экранах, усилить защитный эффект можно в зоне, где происходит повышенный коррозионный износ. Как правило, такие участки встречаются в нижней части конструкции, которая соприкасается с антигололедными реагентами в зимний период.

Благодаря нашей технологии можно варьировать степень защиты конструкции в ее различных местах.

— Есть ли какие-то аналоги этой технологии в мире?

— Я пока не встречал. По совокупности характеристик наша технология, наше покрытие и наше исполнение совершенно оригинальное. Хотя, похожие защитные материалы, конечно, есть. Но у них отсутствуют особенности, которые очень удобны в использовании.

— Чтобы разработать такую технологию, нужны специалисты-химики, физики. Кто у вас в компании изобрел эту технологию?

— Разработчик технологии — выпускник кафедры электрохимии Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева. Это очень хорошая школа по созданию технологий антикоррозионной защиты. Но мы, оттолкнувшись от антикоррозионных идей, пришли к лакокрасочному исполнению, а не наоборот.

— Насколько дорого обрабатывать большие конструкции, например, мостовые сооружения, покрытием?

— Вовсе не дорого. Напротив, очень бюджетно. К тому же горячим цинкованием мосты защитить просто невозможно, а если использовать метод цинкирования, то задача решается без проблем. К тому же по цене это получается выгоднее примерно на 10–30%, и это даже не считая логистики. При этом наша технология гарантирует столь же долгую защиту от коррозии, как и горячее цинкование.

В активе нашей компании уже есть несколько мостов, которые мы защищали с помощью нашей технологии, в



будущем планируется работа еще на нескольких объектах. В настоящее время участвуем в реконструкции Кольского моста. Это самый длинный автомобильный мост за Полярным кругом в мире! Его защитное покрытие выполнялось еще в 2006 году и на сегодняшний день уже заметно износилось — некоторые конструкции начали ржаветь. В данный момент восстанавливаем старое цинковое покрытие, которое, кстати, было нанесено методом горячего цинкования. Для этого сначала пескоструйным аппаратом очищаем конструкции до металла и только потом приступаем к нанесению защитных слоев.

— Какое оборудование требуется для работы с вашим материалом?

— Для нанесения слоев используется только кисть или валик. Еще возможно проводить распыление — воздушное или безвоздушное, а так же аэрозольный баллончик или окунание. Никаких специальных приспособлений не требуется.

— Если сравнивать ваш продукт по стоимости с другими антикоррозионными материалами, например, полиуретановыми, что выгоднее?

— Скорее всего, выгоднее использовать именно наш материал, потому что он наносится в два слоя и всего в течение часа. Многослойные же системы, может, и стоят дешевле за килограмм, но их необходимо наносить в несколько слоев, и при этом всегда ждать, пока высохнет предыдущий.

Некоторые покрытия сохнут 3 часа на отлип, другие неделю, есть и еще более длительные сроки высыхания. То есть с лакокрасками больше хлопот, требуется больше производственных этапов. К тому же они не наносятся при отрицательных температурах, в то время, как наше покрытие можно применить в сжатые сроки, причем в широком диапазоне температур: от –35 до +50 °С.

Повторю, на стоимость применения каждого материала нужно смотреть в комплексе — с учетом всех работ и



заданной толщины. Исходя из этого можно утверждать, что наше покрытие ничуть не уступает «многослойке».

**– Попытались ли выходить со своей технологией на ближнее зарубежье?**

– В Белоруссии, Казахстане, а также в Армении и Азербайджане нас уже знают. Знают и в Европе, так как в свое время мы открыли производство в Испании.

Продукт выпускаем под нашей маркой, а на продукте указываем: сделано в Европе. Все заключения получены, документы оформлены, материалы, используемые в производстве, европейские. Но Европа для нас – не ключевой рынок. Нашим основным потребителем была и остается Россия.

**– А здесь вы проводили какие-то испытания своей продукции?**

– Да, это обязательные процедуры. Проводились климатические испытания. Нашу продукцию проверял Роспотребнадзор, после чего было выдано заключение о том, что покрытие не ухудшает качество питьевой воды, что оно безопасно при контакте с маслом. Что еще немаловажно, ЦНИИТС внес нашу технологию в СТО по защите мостовых конструкций методом окрашивания.

ЦНИПСК им. Мельникова провел климатические испытания и выдал заключение о том, что покрытие толщиной 120 мкм обеспечит защиту от коррозии на срок не менее 25 лет в условиях УХЛ1.

Также мы прошли все необходимые формальности по соответствию европейскому стандарту ISO 12944.

И самое главное – в 2020 году в свод правил СП 28.13330.2017 «Защита строительных конструкций от коррозии» было внесено Изменение №2, согласно которому наша разработка была выделена отдельной технологией нанесения цинка, что так и прописано в Таблице Ц.6. Теперь этим сводом правил регламентировано, что Цинкирование можно применять для защиты строительных конструкций от коррозии в средах Слабоагрессивная, Слабоагрессивная-1 и Слабоагрессивная-2.

**– В каком направлении думаете развиваться дальше?**

– Во многих, и самое приоритетное из них – это дорожное строительство (как новое, так и реконструкция уже возведенных объектов). Рассчитываем, что новые заказчики оценят удобство и эффективность нашей технологии, попробуют ее и внедрят в своих производственных процессах.

Надеемся, что сможем довести информацию о нашем методе и до других потенциальных потребителей, чтобы они смогли по достоинству оценить наш продукт и не выбрасывали на ветер деньги, каждый год заново перекрашивая конструкции.

**– Спасибо за интервью. Желаем вашей компании дальнейших успехов по продвижению на рынке и в поиске новых решений по борьбе с коррозией.**



**Цинкирование – технология, позволяющая зарабатывать Больше! Это реальная замена горячего цинкования!**

**Заключения**

ISO-12944:2018 C4veryhigh 121-130 мкм (более 25 лет)

ISO-12944:2018 C5high 121-130 мкм (15-25 лет)

ГОСТ 9.401 УХЛ1-120 мкм (более 25 лет)

Одобрение Российского Морского Регистра Судоходства

Технология Цинкирования внесена в СП 28.13330.2017 «СНиП 2.03.11-85

Защита строительных конструкций от коррозии»

(Цинкирование (t = 80–120 мкм) в слабоагрессивных средах)

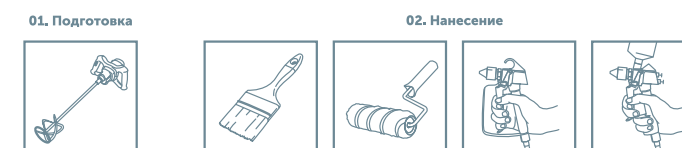


**Отличительные особенности Цинкирующего состава**

- 1) Образует стабильную субдисперсионную Zn-Fe зону на поверхности металла.
- 2) Обладает свойством межслойной диффузии.
- 3) Сохраняет функцию поверхностной самоконсервации и самовосстановления в течение всего срока службы.
- 4) Отличается достаточной стойкостью к абразивному воздействию.
- 5) Межатомное расстояние в цинкерном слое аналогично межатомному расстоянию в слое цинка, нанесённого с помощью процесса погружения в ванну.
- 6) Наносится даже зимой при температуре от -30°C.
- 7) UV-стабильно, имеет благородный серый цвет.

**ВНЕСЕНО В СТО-01393674-007**  
ЗАЩИТА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ МОСТОВ ОТ КОРРОЗИИ МЕТОДОМ ОКРАШИВАНИЯ

**Закажите бесплатный образец**



# ПОСЛЕДСТВИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ЮЖНОЙ ЕВРОПЕ

Г. С. ШЕСТОПЕРОВ, д. г.-м. н., профессор

**В ПРЕДЛАГАЕМОМ ОБЗОРЕ СОБРАНЫ СВЕДЕНИЯ О НЕСКОЛЬКИХ РАЗРУШИТЕЛЬНЫХ ИСТОРИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ В ПОРТУГАЛИИ, ИСПАНИИ, ИТАЛИИ И ГРЕЦИИ, ОКАЗАВШИХ В ПРОШЛОМ СУЩЕСТВЕННОЕ ВЛИЯНИЕ НА РАЗВИТИЕ СРЕДИЗЕМНОМОРСКИХ ЦИВИЛИЗАЦИЙ. ИЗЛОЖЕНИЕ ДОПОЛНЯЕТСЯ ДАННЫМИ О СОВРЕМЕННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ, ПРИВОДЯТСЯ ПРИМЕРЫ КОНСТРУКЦИЙ БАЛОЧНЫХ, РАМНЫХ, АРОЧНЫХ, ВАНТОВЫХ И ВСЯЧИХ МОСТОВ, ВКЛЮЧАЯ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ИХ СЕЙСМОЗАЩИТЕ, РАЗРАБОТАННЫЕ С УЧЕТОМ ПОСЛЕДСТВИЙ ИСТОРИЧЕСКИХ И СОВРЕМЕННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ.**

## ПОРТУГАЛИЯ

В XVI и в XVIII веках на Пиренейском (Иберийском) полуострове Европы, в Северной Африке и на ближайших к материкам островах произошли два разрушительных землетрясения с эпицентрами на суше в долине р. Тежу в 1531 году и на дне Атлантического океана в 1755 году. Разрушительный толчок 1531 года погубил в Португалии до 30 тыс. человек. Тектоническая подвижка 1755 года вызвала цунами в Атлантическом океане, обвалы и оползни, разрушение зданий и пожары в городах, гибель десятков тысяч жителей в Лиссабоне и в населенных пунктах на побережьях Португалии, Испании и на северо-западе Африки.

**Лиссабонское землетрясение 1 ноября 1755 г.** произошло в 9 ч 40 мин по местному времени. Эпицентр находился примерно в 100 км от берега Пиренейского полуострова и в 120 км от столицы Португалии г. Лиссабона, расположенного на правом берегу эстуария р. Тежу, впадающей в Атлантический океан. Приблизительные значения широты и долготы эпицентра 38° N, 10° W.

По оценкам А.А. Никонова [4] и В.К. Гусякова [2] магнитуда  $M$  излучения из очага сейсмических волн от 8,5 до 8,7, по Ч. Рихтеру (1958 г.)  $M = 8,7-9,0$ . Опасность колебаний грунта на ближайших к эпицентру участках суши — 10 баллов, в Лиссабоне — 9–10 баллов. За пределами Португалии в городах Испании землетрясение проявилось с силой от 5 до 8 баллов (Мадрид и Валенсия 5–6 баллов, Гранада 6 баллов, Коимбра 7 баллов, Севилья 8–9 баллов).

К 1755 году в Португалии проживало около 1,5 млн человек, в том числе в Лиссабоне насчитывалось от 230 до 275 тыс. горожан. К жилому фонду относились 20 тыс. домов высотой 3–4 этажа с массивными каменными стенами и деревянными кровлями и перекрытия-

ми. По числу жителей Лиссабон уступал в Европе только Лондону, Парижу и Неаполю. Застройка города включала также несколько построенных в XVIII веке общественных зданий с армированными каменными стенами, около 150 церквей и монастырей, более 50 дворцов. На низком правом берегу вблизи устья р. Тежу размещались портовые сооружения, обеспечивающие погрузку, разгрузку и хранение товаров, перемещаемых по морским и речным путям сообщения между странами Европы, Азии и Америки.

По оценкам Б. Болта [1] и П. Руссо [5] колебания грунта, цунами и пожары погубили в Лиссабоне до 60 тыс. человек. В соседних странах (Испании и Марокко) безвозвратные потери оцениваются в 15–20 тыс. человек без учета погибших в сельской местности. В американских источниках суммарные людские потери при Лиссабонском землетрясении указаны в количестве 70 тыс. человек. Приведенные данные позволяют считать землетрясение 1755 года одной из наиболее тяжелых



Рис. 1. Руины церкви Святого Павла в Лиссабоне. Гравюра на меди Ж.-Ф. Ле Баса. Городской музей Лиссабона [2]

по социальным последствиям литосферных катастроф в Европе наряду с землетрясением 1908 года в Италии (Мессине) с числом 72 тыс. жертв в Сицилии и в провинции Калабрия.

В основном летальные и санитарные потери жителей Лиссабона вызывались обрушением возведенных вплотную друг к другу жилых домов ремесленников и торговцев. Колебания грунта также разрушили полностью или частично до 70% храмов и 59 церквей (рис. 1), заполненных прихожанами в день религиозного праздника Дня всех Святых. Заваленные каменными обломками узкие улицы средневекового города не позволяли спастись покидавшим храмы и жилища людям, на которых падали стены домов при разрушительных толчках, длившихся около 7 мин с несколькими минутными перерывами.

Среди спасшихся был работавший в Лиссабоне англичанин-хирург Вольфальм, оставивший личные воспоминания о пережитом горожанами психологическом стрессе: «Страшное зрелище мертвых тел, крики и стоны умирающих до половины засыпанных развалинами, выше всякого описания; страх и отчаяние до того овладели всеми, что самые решительные люди не осмеливались остановиться на мгновение, чтобы сдвинуть несколько камней, придавивших самое дорогое им лицо, хотя многие могли быть спасены таким образом; но никто не думал о чем-либо, кроме своего собственного спасения».

Тяжесть стихийного бедствия увеличилась возникшими в городе пожарами. В зданиях многих дворцов, храмов, оперного театра, хранилища государственного архива и госпиталя огонь уничтожил деревянные перекрытия, полы и интерьеры. В архиве страны, королевской библиотеке и в основанном в 1389 году монастыре кармелитов сгорели 70 тыс. книг, включая раритетные первопечатные издания, дневники и карты Васко да Гама, другие документы государственного значения. Во дворцах короля и знати погибли до 200 полотен выдающихся художников эпохи Возрождения (Рубенса, Тициана и др.), а также уникальные драгоценности из золота, серебра и бриллиантов. Убытки от потери ювелирных изделий в несколько раз превышали стоимость разрушенных частных зданий и дворцов.

Спустя 20–30 мин после основной подвижки в очаге к ближайшим участкам Иберийского полуострова подошла первая из трех волн цунами. По данным Т.С. Мурти [3] у Лиссабона волны имели высоту от 4,6 до 12,2 м. На юго-западном побережье Португалии высота цунами увеличилась до 15 м. В Лиссабоне гравитационные морские волны завершили разрушение нижней части города. В береговых провинциях Португалии и Испании



Рис. 2. Выход цунами на побережье (источник//aftershock.news)

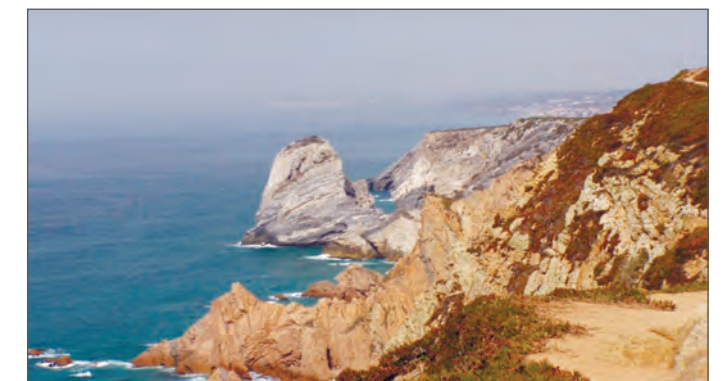


Рис. 3. Разрушение скального массива мыса Рока в Португалии (фото автора, 2005 год)

цунами затопили порты Фару и Кадис с летальными потерями нескольких тысяч людей (рис. 2).

Колебания грунта и морские волны откололи массивные блоки от обрывов на берегу океана, сложенных скальными грунтами магматических и осадочных пород. На участке крайнего западного окончания Европы (мыс Рока высотой 140 м) скальные блоки вынесены на расстояние до нескольких десятков метров от береговой линии или остановились у подножия обрыва (рис. 3).

На следующий день после землетрясения команды добровольцев и воинские подразделения приступили к расчистке улиц от завалов. Потерявшим жилье и средства к существованию горожанам были предоставлены палатки и продовольствие с воинских складов. Медицинскую помощь оказывали врачи полевых армейских госпиталей. Спасательными и восстановительными работами руководил маркиз Жозе да Помбал, проявивший себя как выдающийся организатор масштабных преобразований внутренней политики, экономики, строительства и науки в Португалии в чрезвычайной обстановке

катастрофических последствий стихийного бедствия (рис. 4).

По приказу маркиза Жозе да Помбала во все приходы страны был разослан первый в истории инженерной сейсмологии опросный лист для выяснения макросейсмических характеристик землетрясения, оценки его последствий и действий властей (приводится ниже с сокращениями). На основании сохранившихся анкет с ответами на поставленные вопросы сейсмологи XX столетия определили магнитуду сейсмических волн, глубину очага, положение эпицентра и другие параметры Лиссабонского землетрясения. В анкете требовалось предоставить следующие данные:

- время начала и продолжительность землетрясения;
- преобладающее направление импульсов;
- изменение уровня моря, количество приливов и отливов после землетрясения;



Рис. 4. Портрет маркиза Себастьяна Жозе да Помбала (1699–1782 гг.) выдающегося португальского политика, руководившего спасательными и восстановительными работами после Лиссабонского землетрясения (источник//shkolazhizni.ru)

- изменения на земной поверхности;
- сведения о возникших пожарах;
- количество мужчин и женщин, проживавших в приходе;
- количество домов, разрушенных в приходе;
- количество погибших людей;
- действия священников, военных и государственных служащих;
- продукты, необходимые для обеспечения жителей едой.

Примерно через месяц после разрушения застройки португальские инженеры подготовили детальный план реконструкции города в прежних границах. Для сейсмобезопасности жителей при возможных в будущем землетрясениях поврежденные здания по большей части сносились или капитально ремонтировались (рис. 5).

Новые жилые дома в районах уничтоженной землетрясением, цунами и пожарами застройки возводились в



Рис. 5. Кафедральный собор Лиссабона построен в 1150 году. Верхний ярус здания, поврежденный землетрясением 1755 года, впоследствии был капитально отремонтирован (фото автора)

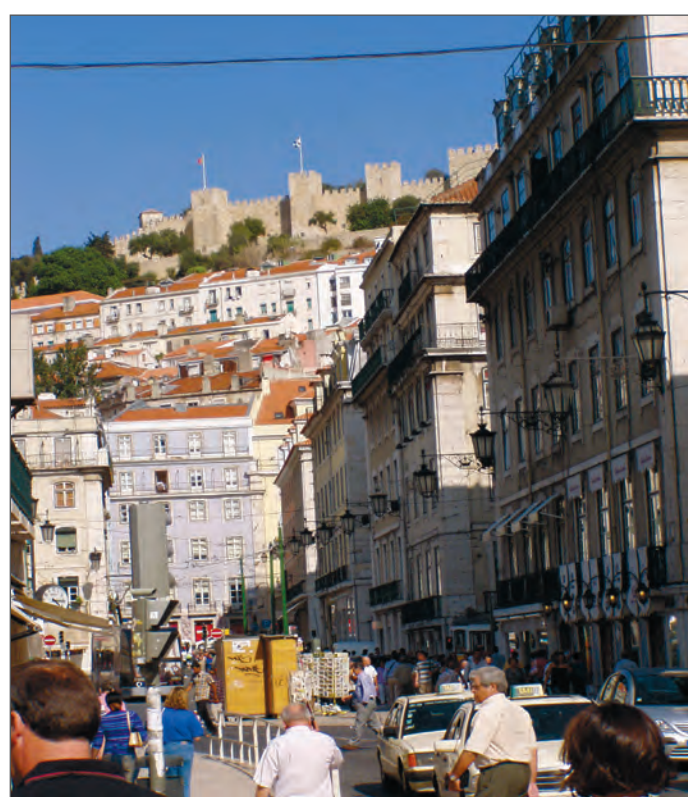


Рис. 6. Крепостная стена замка Святого Георгия и восстановленная жилая застройка в историческом центре Лиссабона (фото автора)

сейсмостойком исполнении в виде деревянных рамных каркасов с заполнением каменной кладкой на прочном растворе. Для размещения в жилой зоне города новых площадей и расширения улиц количество этажей в домах не ограничивалось. Предложенная конструкция зданий проверялась испытаниями на динамическое воздействие. Руины и сохранившиеся конструкции отдельных храмов оставлены в качестве памятников последствий катастрофы 1755 года.

К восстановленным историческим памятникам относится замок Святого Георгия, построенный на месте датированных II веком до н.э. укреплений римлян, затем сменивших их вестготов и мавров. Стены крепости, башни и строения на огражденной вершине горы неоднократно повреждались и разрушались при осадах замка, а также при землетрясениях в 1531 и в 1755 гг. Для наблюдения за деформациями земной поверхности в одной из крепостных башен в 1788 году была размещена первая в стране геодезическая обсерватория. В середине прошлого столетия на территории замковой горы выполнены масштабные реставрационные работы с восстановлением исторического памятника (рис. 6). С 1998 года в замке работают музей и обзорные площадки для туристов.

К числу полностью сохранившихся или слегка поврежденных трещинами построек относилось большинство (80%) небольших церквей с массивными каменными стенами толщиной до 2 м без оконных проемов, а также построенный незадолго до землетрясения акведук (рис. 7). После землетрясения строители моста были привлечены к восстановлению Лиссабона и других пострадавших городов страны.

**Акведук в Лиссабоне** является основной частью магистрального водопровода протяженностью 19 км — крупнейшего транспортного объекта города, выдержавшего без существенных повреждений девятибалльные толчки 1755 года. Введенный в эксплуатацию в 1748 году акведук решил крайне острую проблему водоснабжения города, поскольку соленая вода эстуария р. Тежу была непригодна для потребления людьми, а дебит ближайших к городу родников не соответствовал требуемому объему подачи пресной воды.

Строительство акведука началось в 1721 году по проекту инженера Мануэля да Майя. Водовод проложен в тоннелях и по наземным сооружениям. Через долину р. Алькоантара сооружена аркада из каменной кладки на прочном растворе со сплошным надсводным строением длиной 941 м, состоящая из арок с полуциркульными и стрельчатыми сводами, фасадных стенок над сводами и нижнего строения в виде опор с прямоугольными поперечными сечениями кладки.



Рис. 7. Акведук в Лиссабоне (источник//withportugal.com)

Высота акведука над дном долины до 62 м. Массивные фундаменты опор заложены на прочном скальном основании (рис. 7).

Отсутствие значимых сейсмических повреждений акведука можно объяснить следующими причинами:

- за небольшой промежуток времени (менее 10 лет), прошедших после завершения постройки и до воздействия сейсмической нагрузки от массы сооружения, процессы физического выветривания кладки (выщелачивание раствора швов и др.) не успели существенно повлиять на прочность несущих конструкций;
- заложение фундаментов опор на прочном скальном массиве уменьшило сейсмичность участка акведука примерно вдвое по сравнению с площадками зданий, возведенных на необводненных песчано-глинистых грунтах;
- расположение высоких опор мостового перехода на пониженном участке рельефа (дне долины) с пониженной интенсивностью колебаний грунта дополнительно уменьшило сейсмическую нагрузку на среднюю часть сооружения.

Следует также отметить, что продольная ось моста расположена примерно ортогонально к направлению на эпицентр землетрясения. В этом случае наибольшие поперечные колебания грунта должны происходить вдоль акведука, вызывая максимальную сейсмическую нагрузку в том же направлении, но эти силы не смогли разрушить стрельчатые арки и их высокие опоры, так как передавались на жесткие полуциркульные арки с короткими опорами и конструкции подходов к акведуку.

Лиссабонский акведук, не прерывавший подачу воды при стихийном бедствии 1755 года во время первого этапа восстановления города и далее до 1973 года, относится к числу долговечных сейсмостойких эстакад с арочными пролетными строениями. Примененные при



Рис. 8. Здание муниципалитета в Лиссабоне (фото автора)

строительстве акведука конструктивные, планировочные и архитектурные решения целесообразно иметь в виду при проектировании и строительстве в сейсмических районах с учетом свойств новых вяжущих, армирующих и гидроизолирующих материалов.

После 1755 года наиболее мощным было землетрясение 1969 года на входящих в состав Португалии Азорских островах. Магнитуда основного толчка  $M = 7,8$ , глубина очага  $h = 22$  км. Эпицентр располагался на дне Атлантического океана примерно в 200 км к юго-западу от Лиссабона. Землетрясение силой до 7 баллов на побережьях Португалии и Марокко повредило сотни жилых домов, вызвав гибель 13 человек и травмы у 80 жителей.

В XX столетии население Португалии и, в частности, Лиссабона, увеличилось в несколько раз по сравнению с временем восстановления города во второй половине XVIII века. Сведения о последствиях сейсмических колебаний, цунами и пожаров учитываются при коренной реконструкции дорожной сети в стране и городской агломерации Лиссабона, выполняемых с начала прошлого столетия (рис. 8) по настоящее время включительно.

На месте снесенной хаотичной застройки средневекового города проложено несколько широких проспектов, устроены просторные площади, удовлетворяющие современным условиям движения пешеходов и автомобильного транспорта. От линии берега залива городская застройка отделена широкой набережной. Створы мостов вынесены из зоны захода цунами в эстуарий р. Тежу. Одна из главных площадей Лиссабона с памятником маркизу Жозе да Помбала показана на рис. 9.



Рис. 9. Площадь маркиза Жозе да Помбала в Лиссабоне (фото автора)

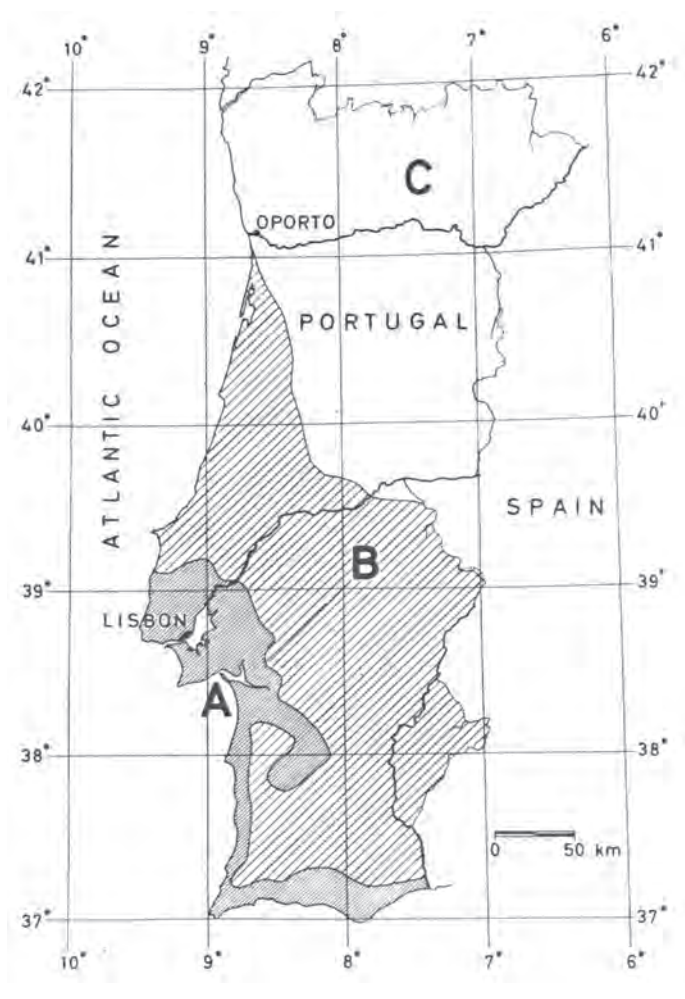


Рис. 10. Карта сейсмического риска в Португалии [12]

Со второй половины прошлого столетия строительство в Португалии выполняется в соответствии с требованиями национальных норм. Согласно правилам 1961 года [12] на территории страны выделены три области А, В и С, различающиеся по уровню сейсмической опасности (рис. 10). Наибольшая опасность предполагается в зоне А, средняя — в зоне В, минимальная — в зоне С. Требования к сейсмостойкости сооружений в зонах А и В обязательны. Застройка в зоне С возможна без осуществления антисейсмических мероприятий.

При проектировании мостов сейсмическая нагрузка определяется как произведение расчетного ускорения колебаний частей сооружения и их веса. Сейсмическая нагрузка рассматривается как действующие на объект горизонтально в любом направлении статические силы. Величина ускорения определяется зоной строительства и инженерно-геологическими условиями строительной площадки. К неблагоприятным условиям относятся участки с покровными отложениями в виде ила, слабых песчано-глинистых и насыпных грунтов мощностью более 10 м, даже в случаях их прорезания до кровли коренной породы фундаментами глубокого заложения.

В зависимости от зоны застройки и местных грунтовых условий мосты рассчитывают на сейсмическую нагрузку в размере от 7,5% до 20% от их веса. Временные нагрузки от подвижного состава и атмосферных воздействий (ветер, снег, изменение температуры) совместно с сейсмическим воздействием не учитывают.

Позже при проектировании новых мостов и реконструкции существующих объектов на территории Португалии, кроме статического, стали применять спектрально-модальный и динамический (с использованием акселерограмм) методы расчета, регламентированные в европейских и американских нормах. Ниже рассмотрим примеры строительства новых и реконструкции (капитального ремонта) нескольких крупных мостов в Португалии с учетом сейсмического риска по национальным и европейским нормам.

**Висячий мост («Мост 25 апреля»)** через эстуарий р. Тежу в Лиссабоне возводился с 1962 по 1966 гг. по проекту американского подрядчика с двумя пилонами высотой над водной поверхностью около 190 м, центральным пролетом 1013 м и двумя боковыми пролетами по 483 м. Подвески моста вертикальные. На правом берегу реки пролетное строение дополнительно поддерживается двумя промежуточными опорами. Общая длина моста между анкерными массивами на левом и правом берегах Тежу равна 2278 м. Мост был рассчитан на пропуск автомобильного транспорта по



Рис. 11. Мост 25 апреля в Лиссабоне (фото автора, 2005 год)

четырем полосам движения в уровне верха пролетного строения и облегченного поезда по одному пути в нижнем уровне фермы жесткости.

Фундамент южного пилона прорезает толщу слабых речных отложений до скального грунта на отметке 79 м ниже уровня водной поверхности в створе моста. Инженерно-геологические условия на площадке северного пилона благоприятны для строительства. Незначительная мощность речных отложений позволила уменьшить глубину заложения фундамента примерно до 30 м от горизонта воды. Выше обреза фундаментов стальные пилоны выполнены в виде вертикальных стоек с крестовыми связями и верхней поперечной балкой. Высота пилонов над водой 190 м, подмостового габарита — 70 м. По своим размерам висячий мост в Лиссабоне проекта 1962 года был наиболее крупным в Европе в своем классе сооружений.

В 1992 году в связи с увеличением объема перевозок по мосту американской фирмой разработан проект реконструкции перехода через эстуарий р. Тежу. Проектировщики предложили пропускать поезда по низу металлических ферм по двум колеям, автомобили — в уровне верха ферм по шести полосам движения (рис. 11).

Проект был осуществлен в 1996–1999 гг. Для усиления поддержки пролетного строения в центральном и боковых пролетах установлены закрепленные в береговых анкерных массивах вторые кабели и дополнительные вертикальные подвески. В неразрезную ферму и в пилоны внесены необходимые изменения для пропуска по мосту тяжелых поездов и увеличенной на-

грузки от автомобилей. По действовавшим нормам и заключению экспертов выполнена проверка конструкций моста на сейсмическое воздействие.

По заключению сейсмологов сейсмические волны из близкого очага землетрясений вызывают в створе моста колебания скального грунта с максимальным ускорением 0,25 g один раз за 200 лет. Продолжительность колебаний 15 с. При расчете на это воздействие в конструкциях моста не должны возникать деформации, требующие выполнения ремонтных работ.

Совместные колебания грунта и массивных фундаментов пилонов моделировались расчетом. Наибольшие ускорения колебаний в уровне обреза фундамента северного пилона близки к максимальным ускорениям колебаний скального основания 0,25g, обреза фундамента южного пилона 0,5g. Приведенные в статье J.Hossain, C.E.Crawford [9] оценки значительно превышают данные расчета конструкций ранее принятым в Португалии статическим методом. Для усиления моста установлены новые кабели диаметром 354 мм, состоящие из 19 стрендов по 216 проволок диаметром 5 мм в каждом.

Движение автомобилей по мосту после реконструкции открыто в 1998 году, поездов — в 1999 году. Стоимость реконструкции перехода, включая виадук с пролетными строениями и опорами из железобетона на северном подходе к висячему мосту, определена в 320 млн долл. США. Для увеличения пропускной способности моста потребовалось израсходовать 263 тыс. м<sup>3</sup> бетона и 72,6 тыс. т стали.

**Мост Васко да Гама** (рис. 12) — один из самых длинных мостовых переходов в Европе. Сооружение протяженностью без подъездных дорог 17,3 км включает вантовый мост, переходящий в эстакаду на мелководной части залива, а также подходы в виде виаду-



Рис. 12. Мост Васко да Гама (источник//dzen.ru)

ков (путепроводов) на северном берегу эстуария р. Тежу. Длина перехода в акватории 12,3 км, на суше — 5,0 км. Проект моста разработан в 1995 году совместно португальскими, английскими и французскими инженерами. Сведения о переходе рассмотрены в статьях A.Carga, R.A.Mendes, C.S. Oliveira, P.Whatling [7, 10, 11, 14].

Постройка перехода продолжалась 3 года, включая 18 месяцев подготовительного периода. За это время со дна акватории для образования судоходных каналов удалено 3 млн. м<sup>3</sup> грунта, уложено 700 тыс. м<sup>3</sup> бетона, 160 тыс. т арматурной стали, 13 тыс. т высокопрочной напрягаемой проволоки, установлено 1,62 тыс. т вантовых канатов. Бетонные, арматурные, монтажные и другие работы выполнялись строительными фирмами без выходных и праздничных дней.

Стоимость объекта, открытого для движения в 1998 году, 1,1 млрд долларов. Постройка финансировалась консорциумом строительных фирм с возвратом средств инвесторов за счет оплаты проезда по обоим лиссабонским мостам в течение первых 40 лет гарантированного исполнителями срока долговечности перехода 120 лет.

Ширина проезжей части моста позволяет двигаться автомобилям по трем полосам в каждом направлении со скоростью 120 км/ч. При сильном ветре и тумане скорость ограничивается 90 км/ч. Конструкции моста рассчитаны на навал судов, ураганный ветер и разрушительные землетрясения из близких и удаленных очагов, учитывающие сейсмические свойства грунтов.

Аллювий в створе мостового перехода представлен сверху вниз илом, мелким или средней крупности песком с прослойками илистого суглинка, средней крупности и крупным песком с гравием и галькой. Слои песчано-глинистых и гравийно-галечниковых грунтов толщиной до 70 м залегают на коренной породе. По данным сейсмологических исследований максимальное ускорение расчетной толщи аллювия равно 0,5g (интенсивность колебаний грунта не менее 9 баллов по шкале MSK-64). Пиковые значения колебаний осциллятора (центра масс системы с одной степенью свободы) достигают 1,15 g при стандартном демпфировании.

Основные сложности при проектировании перехода возникли при разработке защиты вантового моста от экстремальных природных воздействий (штормов и землетрясений), а также от навала судов. Выполненное консультантами в створе мостового перехода исследование параметров стихийных бедствий и техногенных воздействий, а также соответствующие ре-

шения возникших проблем приводятся в упомянутых статьях и в информационных материалах строительных организаций.

Переход через акваторию включает вантовый мост общей длиной 829 м с центральным пролетом между пилонами 420 м и боковыми частями пролетного строения с расстановкой под ним концевых и промежуточных опор по схеме 62,0 + 70,7 + 72,0 м. Концевые опоры приняты рамными, промежуточные — в виде двух колонн без объединения поверху ригелем. Пилоны плоские, рамные, с одной поперечной балкой выше пролетного строения, выполнены в форме буквы Н.

Пролетное строение моста с шириной проезжей части 31,25 м состоит из двух фасадных предварительно напряженных железобетонных балок высотой 2,65 м, плиты проезжей части толщиной 0,25 м и поперечных балок, установленных с шагом 4,4 м. Постройка пролетного строения велась методом навесного бетонирования без устройства деформационных швов с опиранием на скользящие опорные части на промежуточных и концевых опорах. От устройства опорных балок под пролетным строением между стойками пилонов проектировщики отказались.

Высота железобетонных пилонов выше плит свайных ростверков 150 м. Размеры плит ростверков в плане под каждым пилоном 84x20 м, толщина плит 3 м. Нижние части стоек пилонов заделаны в массивные железобетонные балки высотой 14 м, защищающие стойки от навала судов. Плиты ростверков под каждым пилоном опираются на 44 железобетонные сваи в стальных оболочках диаметром 2,2 м. Сваи погружены в аллювиальные отложения на глубину 50 м под северным пилоном и на глубину 65 м под южным пилоном.

Для обеспечения длительной безаварийной эксплуатации вантового моста стойки нижнего яруса на высоте 90 м объединяются поперечной железобетонной балкой, обеспечивающей устойчивость стоек при сжатии от веса пролетного строения, подвижных нагрузок и сейсмических сил инерции при вертикальных колебаниях конструкции. Прочность и устойчивость стоек дополнительно повышена увеличением размеров поперечного сечения в нижнем ярусе пилонов. Фасадные грани наклонных стоек уширены от 4,70 м в уровне их верха до 7,70 м в уровне низа. Фасадные грани вертикальных стоек верхнего яруса высотой около 60 м приняты шириной 4,70 м. Отношение высоты пилонов к ширине фасадных граней в среднем равно 24.

Следует отметить, что принцип проектирования вантовых и висячих мостов с большими пролетами

с применением пилонов в виде плоских рам из железобетона или стали является ведущим по числу применений в современном строительстве. Для этих конструкций на практике выработаны определенные ограничения на отношение высоты пилонов  $h$  к ширине фасадных граней  $d$ . Допустимым отношением для пилонов висячих мостов считается  $h:d$  от 22 до 28. Для ограниченной выборки, включающей 13 вантовых мостов, построенных в КНР, Японии, США, Франции, Чили, Испании и Португалии, а также мост через пролив Зунд между Данией и Швецией в среднем отношение  $h:d$  равно 24.

Первоначальная компоновка вантового моста вызвала сомнения у экспертов в его аэродинамической устойчивости из-за отсутствия соединения поперечной балкой вертикальных стоек пилонов в уровне их верхних концов. К применению пилонов в форме буквы Н проектировщики относились с недоверием после обрушения висячего Такомакского моста в США в 1940 году при ветре до 20 м/с в процессе изгибно-крутильных колебаний пролетного строения с асинхронным изгибом стоек верхнего яруса пилонов. Кроме того, отсутствие поперечной балки между верхними концами стоек затрудняет установку дополнительных вант при необходимости уширения проезжей части моста в перспективе.

В результате обсуждения поставленных проектировщиками и экспертами вопросов были выполнены аэродинамические испытания моста Васко да Гама и включены в проект рассмотренные выше размеры пилонов. В том числе уменьшена высота стоек верхнего яруса и сохранены поперечные балки, защищающие стойки нижнего яруса от навала судов. Для уменьшения горизонтальной сейсмической нагрузки на вантовый мост и амплитуд колебаний конструкций между пилонами и пролетным строением установлены гасители колебаний. Кроме того, уменьшена масса пролетного строения за счет применения поперечных балок между главными продольными балками пролетного строения из стали и вертикальных связей, препятствующих подбрасыванию опорных узлов главных балок относительно промежуточных опор.

**Арочный городской мост** через р. Дуэро (рис. 13) с ездой поверху построен по проекту, рассмотренному в статье A. da Fonseca, F.M.Mato [8]. Проезжая часть моста допускает пропуск автомобилей по четырем полосам движения и пешеходов по двум тротуарам. Пролетное строение состоит из балки жесткости длиной 371 м, высотой 4,5 м и гибкой арки толщиной 1,5 м. Балка жесткости коробчатая из предварительно напряженного железобетона с консолями.



Рис. 13. Арочный городской мост через р. Дуэро (источник//ru-travel.livejournal.com)

Арка выполнена из ненапряженного железобетона. Пята арки заделаны в устои, расположенные в средних частях бортов долины р. Дуэро, сложенных гранитом. Расстояние между пятами арки 280 м, стрела арочного свода 25 м, соотношение между стрелой и пролетом 1:11. По степени пологости и отношению толщины свода к пролету арка моста через р. Дуэро относится к наиболее смелым конструкциям в своем классе сооружений.

Ширина арки в плане увеличивается от 10 м в замке до 20 м в пятах. Стойки подарочного строения устроены в виде железобетонных стенок высотой до 35 м, шириной 10 м под балкой жесткости и до 20 м над пятами арок. Стойки омоноличены с балкой жесткости и арочным сводом. Повышенная ширина арки в опорных сечениях и стоек-стенок над пятами арки повышает устойчивость моста против опрокидывания сейсмической и ветровой нагрузками, действующими в поперечном к оси моста направлении.

Для мониторинга напряженно-деформированного состояния сооружения и его основания на склонах в месте мостового перехода и на конструкциях моста установлены соответствующие приборы.

На постройку моста израсходовано 3800 т обычной арматуры, 660 т высокопрочной стали, 26 тыс. м<sup>3</sup> бетона. Мост принят в эксплуатацию в 2003 году.

**Виадук Loureiro** (рис. 14) пересекает глубокую долину одноименной реки в 150 км к северу от Лиссабона. По приведенным в статье J.L.Cancio [6] сведениям длина виадука 1050 м, высота верха дорожного полотна над водотоком до 90 м, расстояние между опорами от 40–60 м в верхних частях склонов долины до 100 м над ее дном. Проектом предусмотрено движе-



Рис. 14. Строительство рамного виадука с парными стойками в верхних частях промежуточных опор [6]

ние автомобилей по двум параллельно расположенным отдельным пролетным строениям с шириной плиты проезжей части в каждом направлении 18 м. Зазор между консолями плит проезжих частей верхней и нижней конструкций равен 20 см.

Коробчатые пролетные строения из напряженного железобетона монолитно соединены по всей длине моста с промежуточными опорами, т.е. виадук является рамной конструкцией с жесткими узлами между верхним и нижним строениями моста. Высота балок проезжей части моста изменяется от 2,50 м до 5,50 м в зависимости от изгибающих моментов в конструкции, возникающих под действием вертикальных нагрузок. Устои приняты массивными с отделением шкафных стенок от концов балок пролетного строения деформационными швами. Вверху склонов плоские промежуточные опоры имеют пониженную высоту, соответствующую рельефу местности. Железобетонные опоры в средней части виадука выполнены в виде пар пустотелых четырехгранных колонн с общим массивным фундаментом мелкого заложения, повышающим устойчивость сооружения против опрокидывания ветровой и сейсмической нагрузками, направленными вдоль речной долины.

Верхние участки колонн промежуточных опор выполнены в виде двух железобетонных плоских стоек длиной 30 м, обеспечивающих за счет гибкости конструкции снижение температурных и сейсмических напряжений. Дополнительно сейсмическая нагрузка от массы пролетного строения в направлении продольной оси перехода уменьшена установкой между устоями и пролетными строениями моста двух пар гасителей колебаний сопротивлением 4000 кН на каждый гидравлический демпфер с ходом подвиж-



Рис. 15. Виадук через речную долину р. Corgo на северо-востоке Португалии [13]

ных частей  $\pm 275$  мм. Конструкция гасителей колебаний учитывает температурные деформации виадука и сейсмические колебания балок пролетного строения вдоль оси перехода.

При постройке виадука израсходовано ненапрягаемой арматуры 6100 т, напрягаемой арматуры 850 т, бетона 51 тыс. м<sup>3</sup>. Стоимость виадука 26 млн. евро. Отнесенная к 1 м<sup>2</sup> проезжей части стоимость постройки составила 688 евро. Мост введен в эксплуатацию в 2003 году.

**Виадук через долину р. Corgo** (рис.15) расположен на автомобильной дороге к испанской границе в 80 км к востоку от г. Порто. Проезжая часть перехода проходит на высоте 80 м над дном долины по двум отдельным пролетным строениям. Величина прогала между смежными конструкциями 6 м. Ширина проездов по верховому и низовому пролетным строениям 13 м в каждом направлении. В плане мост расположен на кривой радиусом 500 м. Проект сооружения разра-

ботан французскими и португальскими инженерами с учетом опыта строительства виадуков в этих странах. Сведения о виадуке изложены в публикации А.Рито [13].

Конструкция моста принята в виде рамы с пролетами по оси перехода 95+3x145 + 95 м. Фундаменты массивных устоев и стоечных промежуточных опор опираются на прочный глинистый сланец. Выше обреза фундаментов тело промежуточных опор выполнено в виде железобетонных стоек коробчатого сечения, обжатых натяжением вертикальной арматуры высокой прочности.

Пролетные строения из напряженного железобетона выполнены неразрезными. Балки пролетных строений переменной высоты по длине перехода. Поперечные сечения балок коробчатые с наклонными стенками. Узлы сопряжения коробок с высокими промежуточными опорами монолитные. На расположенной вверху склона опоре высотой 12 м установлены скользящие опорные части.

По карте общего сейсмического районирования и по инженерно-геологическим условиям перехода разрушительные колебания в створе виадука не предполагаются. По данным о распространении сейсмических волн интенсивностью 6–7 баллов из очага Лиссабонского землетрясения 1755 года возможно воздействие на виадук колебаний грунта силой до 7 баллов. В связи с этим мероприятия по уменьшению массы железобетонных пролетных строений и увеличению гибкости полых опор за счет предварительного обжатия будут способствовать стойкости конструкций виадука к образованию местных деформаций при землетрясениях умеренной силы.

При постройке виадука израсходовано 3800 т стали, 29 тыс. м<sup>3</sup> бетона, 1040 т высокопрочной арматуры. На 1 м<sup>3</sup> бетона приходится 131 кг обычной и 36 кг напрягаемой арматуры. Начало эксплуатации виадука — 2004 год.

(Продолжение следует)

#### Литература

1. Болт Б. А., Хорн У. Л., Макдоналд Г. А., Скотт Р.Ф. Геологические стихии//М.:Мир, 1978.
2. Гусьяков В. К. Потрясение Европы//Наука из первых рук, №5/6 (93), 2021.
3. Мурти Т. С. Сейсмические морские волны цунами //Ленинград: Гидрометеиздат, 1981.
4. Никонов А. А. Ужасное потрясение Европы: Лиссабонское землетрясение 1 ноября 1755 г. //Природа, № 11, 2005.
5. Руссо П. Землетрясения //М.: Прогресс, 1966.
6. Cancio J. L. Loureiro viaduct // SEJ, vol.15, num.2, IABSE, Zurich, 2005.
7. Capra A., Leveille A. Vasco da Gama bridge, Portugal // SEJ, vol.8, num.4, IABSE, Zurich, 1998.
8. Fonseca A., Mato E.M. Infant Henrique bridge over the river Douro, Porto //SEJ, vol.15, num.2, IABSE, Zurich, 2005.
9. Hossain J, Crawford C. E. Seismic response of the Tagus river bridge, Portugal //JABSE, symposium San Francisco 1995, JABSE reports, v.73/1.
10. Mendes P. A., Branco F. A. Numerical wind studies for the Vasco da Gama bridge, Portugal//SEJ, vol.8, num.2, IABSE, Zurich, 1998.
11. Oliveira C. S. Descriptio of the 1755 Lisbon earthquake, its extension, causes and effects. The Trembler. The Tsunami. The Fire// JABSE Symposium, Lisbon, Portugal, 2005.
12. Portuguese codes on earthquake resistant structure (1961)//Earthquake resistant regulations a world list 1984//International association for earthquake engineering. 1984.
13. Rito A. Bridge over the Corgo river valley. //SEJ, vol.15, num.2, IABSE, Zurich, 2005.
14. Whatling P, Kuhnenran K., Ormerod M. Ponte Vasco da Gama central viaduct, design and construction // IABSE Symposium, Lisbon, 2005.

# О СЕЙСМОЗАЩИТЕ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ. ДОПОЛНЕНИЕ

С.А. ШУЛЬМАН, генеральный директор ООО «СК-5»

В НОМЕРЕ 117 СПЕЦИАЛЬНОГО ВЫПУСКА ЖУРНАЛА «МОСТЫ И ВРЕМЯ» ЗА МАЙ 2024 ГОДА ПОМЕЩЕНА РАЗВЕРНУТАЯ СТАТЬЯ С.А. ШУЛЬМАНА «О СЕЙСМОЗАЩИТЕ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ». АВТОР СЧЕЛ ЦЕЛЕСООБРАЗНЫМ ОБРАТИТЬ ВНИМАНИЕ ЧИТАТЕЛЕЙ НА РЯД ФАКТОРОВ, ПОМЕЩЕННЫХ В ДАННЫЙ МАТЕРИАЛ.

В 2024 году ООО «СК-5» участвовало в разработке принципов сейсмозащиты моста через р. Ярык-Су на автодороге М-4 в Республике Дагестан. Было рассмотрено несколько вариантов с различными системами активной сейсмозащиты.

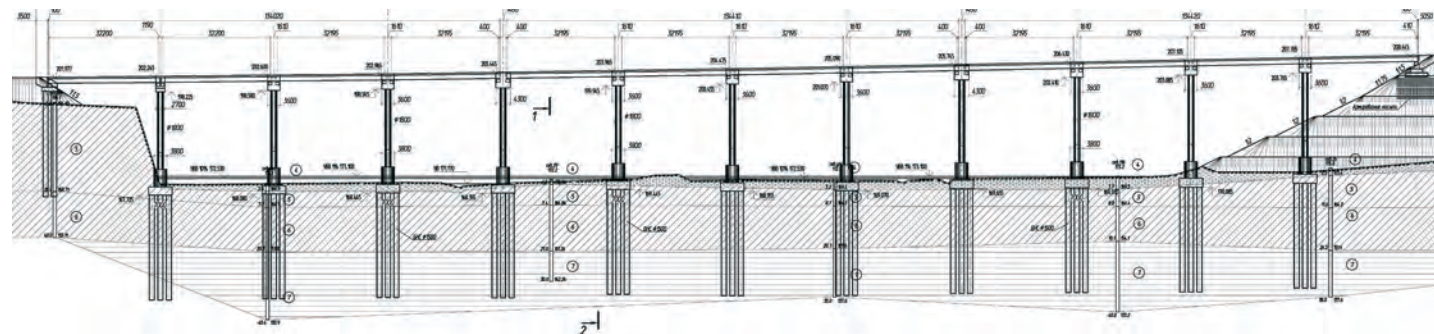
Пролетные строения из сборных преднапряженных железобетонных балок объединены в 3 четырехпролетные температурно-неразрезные плиты. В каждой плети балки устанавливаются на шарнирные опорные части на промежуточных опорах и на линейно-подвижные на концевых опорах. Для снижения пиковых воздействий используются вязкоупругие демпферы, устанавливаемые на концевых опорах. Эффект снижения сейсмических воздействий достигается за счет использования гибкости железобетонных стоечных опор на свайных фундаментах. Этому способствует большая высота моста. В настоящее время проектная документация передана в Госэкспертизу.

К сожалению, заказчики, а следом за ними и проектировщики уделяют недостаточное внимание необходимости разработки систем сейсмозащиты для мостовых сооружений (да и для объектов промышленно-гражданского назначения). Вероятно, надеются на «русский авось», пытаясь сэкономить здесь и сейчас, не заботясь

о возможных колоссальных затратах на восстановление разрушенных сооружений при землетрясениях.

Необходимо также иметь в виду, что системы сейсмозащиты эффективны и как устройства взрывозащиты, что весьма актуально в наше неспокойное время. Конечно, при прямом попадании они не сработают, но от воздействия ударной волны они смогут защитить сооружение аналогично сейсмическим воздействиям.

Работы Группы компаний «Стройкомплекс-5» в области сейсмозащиты выгодно отличаются комплексным подходом к решению этой проблемы, причем компания своими силами выполняет и расчетно-конструкторские работы, и изготавливает все необходимые элементы. Стоит отметить, что разработанные специалистами «СК-5» демпферы-амортизаторы единственные в России, имеющие Техническое свидетельство, выданное ФАУ ФЦС.



Общий вид моста Ярык-Су

9-11  
АПРЕЛЯ  
2025

VI МЕЖДУНАРОДНАЯ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

## «МОСТЫ И ДОРОГИ: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА И РЕКОНСТРУКЦИИ»

МОСКВА  
ОТЕЛЬ HOLIDAY INN SUSCHEVSKY

Организатор конференции



Генеральный спонсор



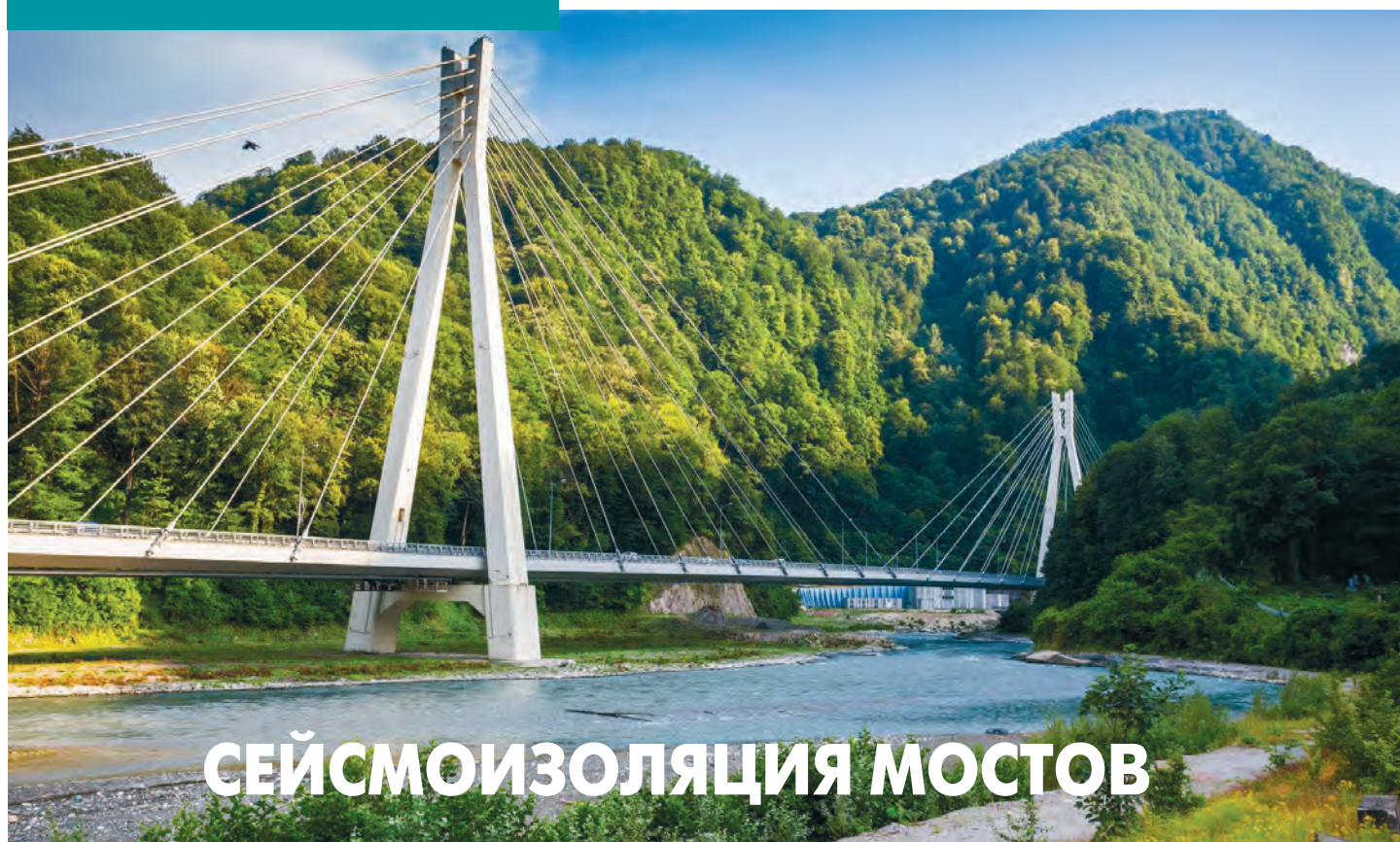
Официальная поддержка



Генеральные информационные партнеры







## СЕЙСМОИЗОЛЯЦИЯ МОСТОВ

А.М. УЗДИН, д.т.н., профессор;  
И.О. КУЗНЕЦОВА, к.т.н., доцент  
Е.С. ПРОНЬКИН, аспирант,  
(ПГУПС)

### ОСОБЕННОСТИ СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ МОСТОВ

Мосты имеют ряд важных особенностей, которые необходимо учитывать при разработке систем их сейсмоизоляции и сейсмозащиты:

1) Размещение сейсмоизоляции. Если в зданиях сейсмоизоляция размещается в уровне фундамента, то в мостах обычно в верхней части конструкции — между опорами и пролетным строением.

2) Области защиты. В зданиях защищают часть системы выше сейсмоизолирующего слоя, а в мостах — ниже этого слоя. Пролетные строения обычно не требуют дополнительной защиты, а сейсмоизоляция должна снизить нагрузки на опоры.

3) Особые требования по эксплуатации. На мосты действуют значительные эксплуатационные нагрузки от проезда транспортных средств, особенно на железнодорожных мостах. Тормозные нагрузки на одном из

пролетов при наличии сейсмоизолирующих опорных частей приведут к большим взаимным смещениям пролетных строений и, следовательно, к расстройству пути на мосту.

4) Специфические предельные состояния. Помимо обеспечения несущей способности защищаемых мостовых опор при сильных землетрясениях необходимо исключить сброс пролетных строений с опор и опрокидывание подвижного состава, а также исключить разрыв рельсовых плетей при умеренных землетрясениях и обеспечить сохранение положения дорожного полотна при слабых частых землетрясениях.

5) Наличие временной нагрузки, которая определяет как поведение сооружения при землетрясении, так и его предельные состояния.

6) Протяженность сооружения и неоднородность поля возмущения по его длине. Русловые опоры обычно расположены на слабых русловых отложениях, которые требуют повышения расчетной сейсмичности на балл, а береговые опоры располагаются на коренной породе,

допускающей снижение сейсмичности на балл. В результате сейсмоизолирующие опоры под концами пролетного строения будут смещаться по-разному, что может привести к их разрушению или сбросу пролетного строения с опор.

7) Различные динамические характеристики элементов мостового перехода. В систему входят подвижной состав, верхнее строение пути, пролетное строение, опорные (сейсмоизолирующие) части, опоры, фундамент и грунтовое основание. Каждый из названных элементов имеет свои жесткостные и демпфирующие характеристики, определяющие значения модальных частот и модального демпфирования.

Указанные особенности следует учитывать при подборе параметров и выборе технических решений систем сейсмоизоляции.

### ПРИНЦИПАЛЬНЫЕ СХЕМЫ СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ

Все системы сейсмоизоляции можно разделить на две группы: простая сейсмоизоляция и объединяющая сейсмоизоляция.

В системах с простой сейсмоизоляцией каждое пролетное строение опирается на подвижную и сейсмоизо-

лирующую опорные части. При этом система остается статически определимой и опоры работают независимо друг от друга. Неравномерность поля ускорений по длине моста сказывается только на ходе опорной части. Усилия в опорных частях от температуры определяются только силой трения в подвижных опорных частях. Системы с простой сейсмоизоляцией применяются в железнодорожных мостах в России и Казахстане.

В системах с объединяющей сейсмоизоляцией все опорные части податливые, то есть создают возвращающую силу. При этом мост представляет собой единую рамную систему с податливыми узлами. Эта система статически неопределимая, и в ней возникают усилия при изменении температуры и при взаимном смещении опор. Определенным достоинством такой системы являются меньшие по сравнению с простой сейсмоизоляцией взаимные смещения пролетных строений. Объединяющая сейсмоизоляция считается основной для автомобильных мостов во всем мире.

По способу создания возвращающей силы опорные части мостов, так же как и зданий, разделяются на упругие и гравитационные. В первых возвращающая сила является силой упругости, а во вторых — силой тяжести. В качестве упругих опорных частей обычно используют резиновые опорные части (РОЧ). В России, особенно для железнодорожных мостов, используются стальные пружины различного вида.

Параллельно с упругими элементами сейсмоизоляция должна включать демпферы. Так же как в сейсмоизолирующих системах для гражданского строительства, в мостах используют вязкие (гидравлические) и пластические демпферы, работающие за счет пластических деформаций материала или за счет трения между обжатными элементами.

Представляется важным разделять полную и частичную сейсмоизоляцию. При полной сейсмоизоляции другое антисейсмическое усиление не требуется. При частичной сейсмоизоляции необходимо дополнительное усиление конструкции. Частичная сейсмоизоляция применяется и в гражданском строительстве. Так, при проектировании в 9-балльном районе достаточно легко снизить нагрузку на сейсмоизолированную часть в 2 раза (на балл). При этом для восприятия 8-балльного воздействия потребуется дополнительная арматура и крепежные детали. Для мостов подобная ситуация более актуальна. У железнодорожных мостов велики силы от торможения и поперечных ударов подвижного состава. Эти нагрузки могут превышать сейсмические нагрузки 7-балльных воздействий. В связи с этим нет смысла добиваться полной сейсмоизоляции. В железнодорожных мостах, как правило, невозможно достичь

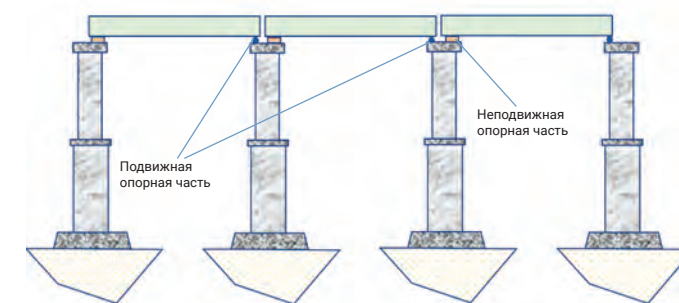


Рис.1. Простая сейсмоизоляция

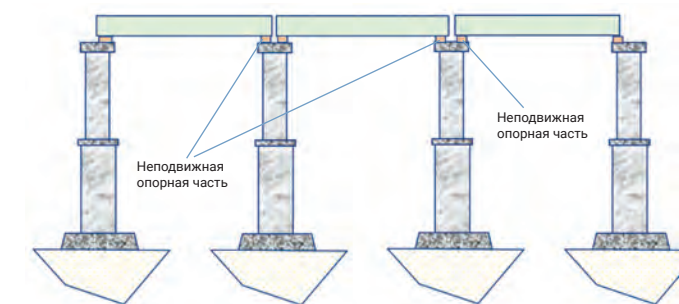


Рис.2. Объединяющая сейсмоизоляция

полной сейсмоизоляции не нарушив условия нормальной эксплуатации моста. При этом снижение сейсмических нагрузок на 30–40% за счет частичной сейсмоизоляции снимает до 80% стоимости антисейсмических мероприятий.

В соответствии с принципом поведения при землетрясениях различной силы сейсмоизоляцию также можно разделить на две группы: постоянная сейсмоизоляция и включающаяся сейсмоизоляция.

Постоянная сейсмоизоляция всегда находится в эксплуатации. Это основной способ сейсмоизоляции железнодорожных мостов в России. При условии ограничения гибкости опор с сейсмоизоляцией такое техническое решение может уменьшить только часть сейсмической нагрузки (40–60%), что зачастую вполне достаточно.

Другое решение предусматривает включение сейсмоизоляции только при сильных сейсмических нагрузках. Для этого в конструкцию вводятся выключающиеся элементы (связи). Такие конструкции используются в Европе и Японии. В этом случае опоры должны быть усилены, чтобы выдерживать нагрузки, предшествующие выключению связей и включению сейсмоизолирующих элементов.

## ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ

### 1. Требования нормальной эксплуатации в отсутствии сейсмических воздействий

Для мостов требования нормальной эксплуатации сейсмоизолированного сооружения оказываются намного более важными, чем для объектов гражданского строительства. Сейсмоизолированный мост должен пропускать транспортные средства и не требовать увеличения эксплуатационных расходов. Между тем сейсмоизолирующие опорные части ведут к увеличению взаимных смещений пролетных строений и расстройству пути на мосту вследствие тормозных нагрузок, центробежных сил для мостов на кривой и поперечных ударов транспортных средств.

Для автодорожных мостов указанные вопросы можно считать решенными. В мире разработаны надежные деформационные швы, обеспечивающие расчетные взаимные смещения пролетных строений без ущерба для пути на мосту.

Для железнодорожных мостов вопрос представляется достаточно сложным. В нормах России есть ограни-

чение податливости верха опоры. Смещение  $u$  от тормозной нагрузки должно удовлетворять условию

$$u < 0,005\sqrt{L}, \quad (1)$$

где  $L$  — величина пролета.

Это условие позволяет реализовать частичную сейсмоизоляцию для жестких опор.

Если условие (1) не выполняется, необходим расчет моста с верхним строением пути на действие поперечных ударов и центробежной силы (для кривых участков пути). При этом оцениваются усилия в рельсах и перемещения пути относительно пролетного строения. Кроме того необходима оценка зазора при случайном изломе рельса. При отсутствии сейсмоизоляции этот зазор не должен превышать 8 см. Это условие должно сохраняться и для сейсмоизолированного моста. Для этого может понадобиться дополнительное крепление рельса к пролетному строению.

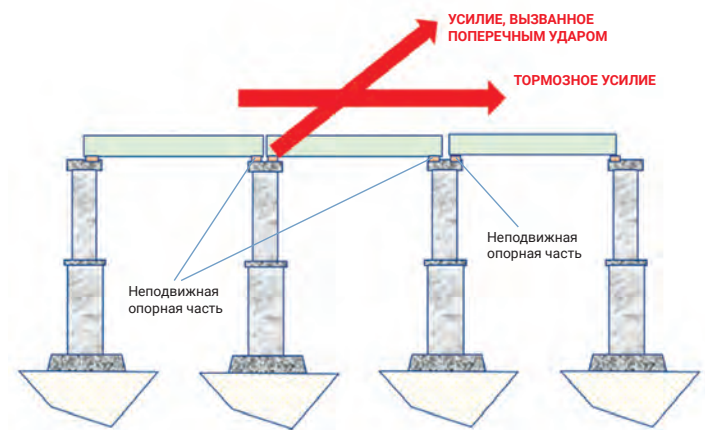


Рис.3. Эксплуатационные нагрузки на мосты

### 2. Требования нормальной эксплуатации при частых слабых землетрясениях

Эти требования аналогичны упомянутым в п. 1. Основное отличие состоит в том, что в качестве возмущения рассматривается расчетное проектное землетрясение и его сочетание с подвижной нагрузкой. Во втором случае следует обосновывать соответствующие коэффициенты сочетаний. В России при проектировании мостов поездная нагрузка берется с коэффициентом сочетаний 0,7, а сейсмическая — с коэффициентом 0,8.

### 4. Требования по ограничению повреждений опор и пролетных строений при сильных землетрясениях (максимальное расчетное землетрясение или МРЗ)

Уровень ускорений при МРЗ назначается исходя из ответственности моста и сейсмической опасности территории. Обычно в России в качестве МРЗ принимают землетрясения с повторяемостью раз в 1000 лет. При действии МРЗ необходимо исключить:

- разрушение опор;
- разрушение опорных частей;
- опрокидывание подвижного состава.

Проверка прочности опор сейсмоизолированных мостов производится так же, как и несейсмоизолированных. Допускается производить расчеты по линейно-спектральной методике с коэффициентом редукции  $K_1 = 0,25$ . При расчете с использованием акселерограмм землетрясений следует брать реальные диаграммы деформирования тела опоры и критерии ее разрушения. Полная сейсмоизоляция позволяет исключить усиление тела опоры для восприятия сейсмических нагрузок, и проверка прочности тела опоры носит формальный характер. При частичной сейсмоизоляции обычно удается снизить нагрузки на опоры примерно в 2 раза. При этом опоры, проектируемые в районах с сейсмичностью 9 баллов, приходится усиливать на действие землетрясений силой до 8 баллов. При расчете опор на действие МРЗ не учитывается (если это не предусмотрено проектом) объединение пролетных строений проезжей частью.

Расчет опорных частей является основным при проектировании систем сейсмоизоляции мостов. При этом рассчитывается перемещение опорной (сейсмоизолирующей) опорной части и ее работоспособность в процессе землетрясения.

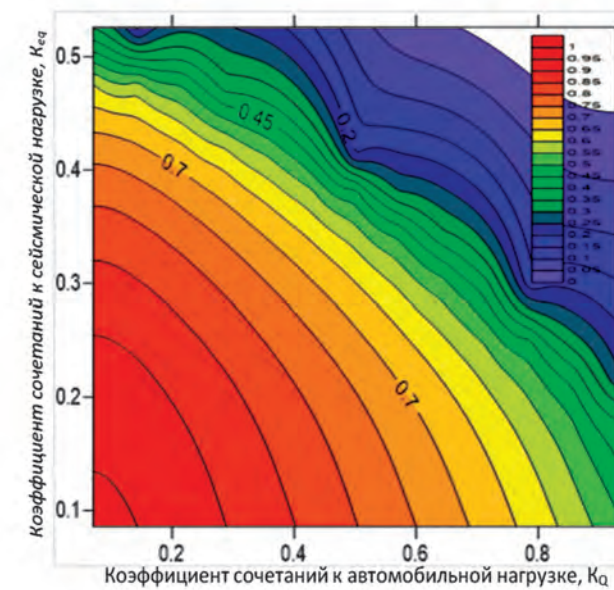


Рис.4. Зависимость вероятности появления сейсмической и автомобильной нагрузок

### 3. Требования по ограничению повреждений при землетрясениях умеренной силы и повреждаемости (умеренное землетрясение или УЗ)

Обычно к умеренным землетрясениям относят землетрясения с повторяемостью раз в 300–500 лет. При таких землетрясениях допускается разрыв рельсовой плети и, как следствие, расчет моста без учета объединяющего действия пути. В опорах допускаются ограниченные повреждения. При отсутствии необходимых исследований расчет опор производится с коэффициентом предельных состояний  $K_1 = 0,5$ . Для подвижного состава не допускается обезгруживание колес.

