



УСТОЙЧИВОЕ (ЭКОЛОГИЧЕСКИ РАЦИОНАЛЬНОЕ) ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ В РОССИИ



Овчинников Игорь Георгиевич, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ. Академик Российской Академии Транспорта, Академии инженерных наук РФ, Член Международной ассоциации по мостам и строительным конструкциям (IABSE), Международного союза лабораторий и экспертов (RILEM)

bridgesar@mail.ru +7 903 328 03 80

доктор технических наук, доцент, Академик Российской Академии Транспорта, член-корреспондент Российской Инженерной Академии, академик Российской академии общественных и фундаментальных наук им. Ак. М.В. Ломоносова

bridgear@mail.ru +7 960 344 32 36, + 7 904 244 90 43





Овчинников Игорь Георгиевич

Доктор технических наук (1988), профессор (1991), заслуженный деятель науки РФ (1998), Почетный Дорожник РФ (2003), Профессиональный инженер России сертификат №9-27 (2008), лауреат конкурса «Инженер года» в версии «Профессиональные инженеры» в номинации «Транспортное и дорожное строительство» (2009).

Действительный член Международной академии наук высшей школы (1994), Академии проблем качества (1995), Российской академии транспорта (1996); Российского общества неразрушающего контроля и технической диагностики (РОНКТД) (1997), Американского общества гражданских инженеров (ASCE) (1997), Международной ассоциации по мостам и конструкциям (IABSE) (2001), Академии инженерных наук РФ (2003), Международного союза лабораторий и экспертов (RILEM) (2006), Российской академии общественных и фундаментальных наук им. Ак. М.В. Ломоносова (2020); Российской инженерной академии (2022).

Под руководством и консультировании проф. Овчинникова И.Г. защищено более 50 кандидатских и 4 докторских диссертации.

В настоящее время работает профессором в Тюменском индустриальном университете, является приглашенным профессором в Пермском национальном исследовательском политехническом университете, Уральском государственном университете путей сообщения, Уфимском государственном нефтяном техническом университете, Харбинском институте технологии (Китай)

К настоящему времени опубликовано более 940 работ, из них 57 монографий, 47 учебных пособий, 17 патентов.



Овчинников Илья Игоревич

Доктор технических наук, доцент, Академик Российской Академии Транспорта, член-корреспондент Российской Инженерной Академии, академик Российской академии общественных и фундаментальных наук им. Ак. М.В. Ломоносова.

Научная тематика

Методы расчета прочности и долговечности конструкций с учетом воздействия агрессивных эксплуатационных сред

Техническая диагностика и обследование сооружений

Конструктивные элементы мостовых сооружений (деформационные швы, опорные части, дорожная одежда, антикоррозионная защита и др.)

Использование конечно-элементных программных комплексов для расчета сооружений

Подготовил в качестве научного руководителя более 250 специалистов, бакалавров и магистрантов, 1 кандидата наук, 1 Доктора Транспорта.

В настоящее время работает доцентом в Тюменском индустриальном университете, Саратовском государственном техническом университете имени Гагарина Ю.А., Уфимском государственном нефтяном техническом университете, преподавателем в ФАУ «РОСДОРНИИ»

Является автором более 400 научных работ (статьи в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК, цитируемые в международных базах Scopus и Web of Science, сборниках научных трудов), имеет более 10 патентов РФ на изобретения и полезные модели в дорожно-мостовой отрасли области.

В настоящее время **устойчивое развитие** рассматривается как **способ удовлетворения реальных потребностей общества без ущерба для способности будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности.**

В последнее время рассматриваемая в таком виде проблема устойчивости привлекает все большее внимание исследователей и инженеров и потому предпринимаются большие усилия для понимания и **оценки воздействия продуктов деятельности человечества на три измерения устойчивости: общество, экономику и окружающую среду.**

Для того, чтобы способствовать устойчивому развитию транспортной инфраструктуры, уменьшению влияния на окружающую среду и нарушения мобильности, строительным компаниям необходимо **анализировать свою деятельность не только в рамках строительства объектов на сегодняшний день, но и на перспективу.** Инженеры-строители отвечают за улучшение жизни населения за счет инфраструктуры. Они несут ответственность за выполнение этого действенным и рентабельным способом, кроме того, **все это должно осуществляться экологически рациональным способом или, как говорят за рубежом, «зеленым».**



*Три столпа
равновесия*

Мостостроение относится к строительной отрасли, которая в последнее время стала одним из основных факторов экологического стресса в нашем обществе, поскольку на нее приходится 30% мирового потребления энергии, 30% выбросов парниковых газов и 40% добычи сырья.

Предполагается, что мировое производство цемента в 2030 году будет в 1,4 раза выше, чем в 2013 году.

В то же время **транспортная инфраструктура регионов, включая мостовые сооружения, является важнейшим фактором экономического развития регионов.** По оценкам Международного валютного фонда, инвестирование дополнительно 1% валового внутреннего продукта (ВВП) в инфраструктуру приведет к увеличению мирового ВВП на 1,5% в течение четырех лет.

Общее количество дорожных сооружений на федеральных дорогах



Общее количество дорожных сооружений на региональных дорогах и динамика и состояния

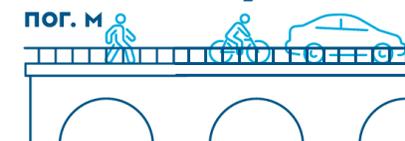


Оценка нормативного состояния в сравнении с 2021 годом

	шт.	пог. м
Аварийные	1 456,00	37 655,40
Динамика 2021–2023 годов	15,10 %	-8,26 %
Предаварийные	2 942,00	114 868,40
Динамика 2021–2023 годов	1,34 %	-7,47 %
Неудовлетворительные	8 433,00	370 000,00
Динамика 2021–2023 годов	53,33 %	63,00 %
Работоспособные	22 173,00	1 232 145,95
Динамика 2021–2023 годов	-12,98 %	-7,22 %

В рамках НП БКД за 2022–2023 годы приведено в нормативное состояние

92 576,75



Принимая во внимание огромные экономические, экологические и социальные последствия, связанные с развитием строительного сектора, **в последние годы особое внимание начинает уделяться проблеме обеспечения устойчивости инфраструктуры.**

Компоненты инфраструктуры, включая **мостовые сооружения, предназначены для обслуживания значительной группы людей в течение длительного периода времени, и потому создание устойчивых и отказоустойчивых элементов инфраструктуры является ключевым фактором для достижения устойчивого будущего.**

В этом контексте **особого внимания требуют те компоненты инфраструктуры, которые подвержены воздействию агрессивных эксплуатационных сред, которые инициируют деградационные процессы, ставящие под угрозу их функциональность, безопасность и вызывающие значительные потребности в техническом обслуживании на протяжении всего срока их службы.**

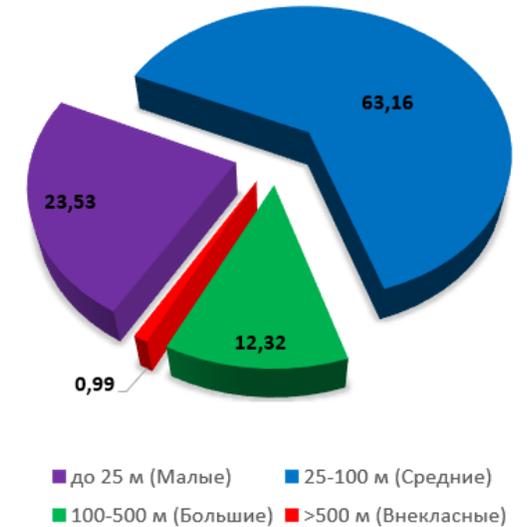


Общее количество транспортных сооружений, выполненных из обычного, предварительно напряженного и сталежелезобетона составляет 93%, то есть **подавляющее количество мостовых сооружений выполнено с применением бетона.**

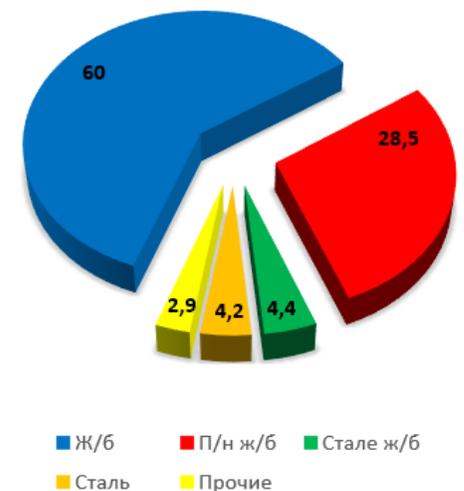
Так как бетон является наиболее используемым строительным материалом в мире и вторым по потреблению материалом в мире после воды, то **деградация бетонных конструкций и управление соответствующими стратегиями их обслуживания оказались одними из самых сложных задач, стоящих перед строительной отраслью в последнее время.**

Например, только в Европе ежегодные затраты на ремонт бетонных конструкций превышают 15×10^9 евро, что составляет более 50% годового бюджета строительства Европы.

Классификация мостов по длине, %



Материалы для строительства транспортных сооружений, %



Техническое обслуживание, связанное с коррозией, влечет за собой значительные выбросы в окружающую среду, обусловленные растущими потребностями в производстве бетона и цемента. **Только на производство цемента для бетона уходит около 8% углекислого газа, ежегодно выбрасываемого во всем мире, причем в Европе примерно 20% производимого цемента в среднем расходуется на ремонтно-восстановительные работы.**

Очевидно, что **проектирование и эксплуатация мостовых сооружений, изготавливаемых с применением бетона, является весьма важным вопросом, требующим применения особых технологий проектирования, учитывающих не только стоимость сооружения на этапе создания, но и расходы на эксплуатацию.**



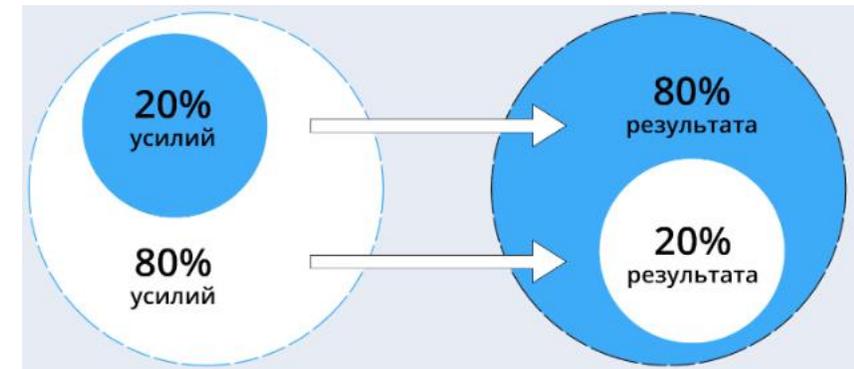
То есть проблему устойчивого развития мостовых сооружений надо решать и при проектировании, и при строительстве, и при эксплуатации и даже при утилизации отслуживших свой срок мостовых сооружений, то есть на протяжении всего жизненного цикла.

Расчетный срок службы автомобильных мостов, закладываемый при их проектировании, составляет величину порядка 100 лет, однако железобетонные мосты 1960-1970-х годов постройки и в России и в других странах начали демонстрировать признаки ухудшения их эксплуатационного состояния через 40, а некоторые и через 20 лет.

Конструктивная часть	Элемент конструкции	Срок службы, годы	Срок до первого ремонта, годы
Пролетные строения мостовых сооружений:	- ребристые сборные с обычной арматурой	50	30
	- плитные сборные сплошного сечения	50	30
	- остальные длиной до 60 м	70	40
	- длиной 60 м и выше	100	50
Опоры и фундаменты	массивные и столбчатые опоры	В 1,5 раза больше, чем пролетных строений	
	стоечные опоры	Как для пролетных строений	
	фундаменты	В 1,5 раза больше, чем пролетных строений	
	облицовка опор и стен	50	30
Мостовое полотно мостовых сооружений:	Покрытие	20	10
	Гидроизоляция	40	20
	Тротуары	40	20
	Перила	40	20

Задача проектировщиков состоит в том, чтобы добиться минимального общего потребления энергии в течение расчетного срока службы мостового сооружения и **убедить заказчиков в том, что экологически рациональный подход предпочтительнее проектирования с минимальными начальными затратами.**

Экологически рациональное проектирование максимально использует ресурсы, которые дает природа и **как можно меньше использует те, которые требуют переработки, затрат нефти, газа и других не возобновляемых источников энергии.** Применяя принцип Парето к рассмотрению жизненного цикла мостового сооружения можно отметить, что только 20% стоимости приходится на проектирование и строительство, а 80% - это затраты на стадии эксплуатации. Следовательно, инвестиции, вкладываемые на этапе проектирования, окупаются за счет эффективной эксплуатации.



Экологически рациональное проектирование это проектирование, которое не только решает сегодняшние задачи, но и способствует эффективному удовлетворению потребностей будущих поколений. Большинство целей экологически рационального проектирования направлено на снижение затрат, так что можно сказать, что **поле деятельности современной инженерии – это устойчивое развитие и применение инноваций, а цели деятельности инженеров – создание инновационных, эффективных, материалосберегающих и энергосберегающих конструкций.**

Одним из направлений экологически рационального проектирования мостовых сооружений новых конструктивных форм является бионический подход, опирающийся на концепцию применения идей природы для решения проблем мостостроения .

При этом может быть применен макроуровневый и микроуровневый подход. В первом случае используется внешний вид природных структур, причем создаваемый облик мостов может оказаться более эстетичным, менее материало- и энергоемким по

и конструкциями.

Мост Мира в Тбилиси (Грузия)



В микроуровневом подходе при создании мостового сооружения используется информация о **функциях и механизмах взаимодействия внутри микроорганизмов**, то есть о внутренней структуре и особенностях функционирования живых созданий, включая их сердечно-сосудистую систему, нервную систему, иммунную систему, а также информация о процессах преобразования энергии в организмах, включая механизм нейронных реакций, передачу и обработку информации, возможность регулирования поведения, а также способность адаптироваться в окружающей среде.

С точки зрения мостостроения **большой интерес представляет способность живых организмов к адаптации (приспособлению) и саморегулированию**, что может быть использовано при разработке конструктивных систем, **сопротивляющихся действию ветровых и сейсмических нагрузок**.

Похожий на нить ДНК и на любимого китайцами мифического дракона одновременно витой ДНК-мост учитывает идеи бионического подхода к конструированию.



Витой ДНК-мост (Nanhe River Landscape Bridge) в Китае



Пешеходный мост Helix Bridge в Сингапуре, своим видом напоминающий спираль ДНК

С точки зрения экологически рационального проектирования весьма интересной представляется **концепция «идеального моста»**, согласно которой **мостовое сооружение должно состоять из элементов, имеющих одинаковую долговечность и одинаковую скорость деградации.** В этом случае не потребуются организовывать ремонт сооружения до выработки им жизненного цикла.

Можно предложить и **другую концепцию «идеального моста»**, у которого **долговечность вышерасположенных элементов меньше, чем долговечность нижерасположенных.** Согласно такому подходу, долговечность дорожной одежды и деформационных швов может быть меньше долговечности пролетных строений, а вот долговечность опорных частей должна быть не меньше долговечности пролетных строений, в противном случае при замене опорных частей, отработавших свой ресурс, придется поднимать пролетное строение, не выработавшее свой временной ресурс, что может привести к его повреждению или даже разрушению.

Не менее важен с точки зрения экологически рационального проектирования и вопрос **антикоррозионной защиты** мостовых сооружений с применением лакокрасочных материалов.

В этой области также действует своеобразная форма принципа Парето: стоимость систем антикоррозионной защиты составляет примерно 20%, а вот стоимость работ по подготовке поверхностей к защите, устройству сложных вспомогательных сооружений и других видов работ, обеспечивающих выполнение антикоррозионной защиты с соблюдением экологических требований, составляет порядка 80%.

А это значит, **при выборе систем антикоррозионной защиты предпочтение следует отдавать** пусть и дорогим, но долговечным **системам** защиты, так как в этом случае процедура повторной окраски мостовых конструкций будет требоваться значительно реже, экономия средств будет выше, а экологическое загрязнение значительно ниже.

На рисунке показано удовлетворительное состояние лакокрасочного покрытия Stelprant толщиной 220-263 мкм (германской фирмы Стилпейнт) как на металлических, так и на железобетонных конструкциях моста в приморской зоне.

Срок службы ЛКП	СТО ЦНИИС		ISO 12944-1	
низкий /малый	(M)	< 5 лет	(L)	< 7 лет
средний	(C)	5-15 лет	(M)	7-15 лет
высокий /большой	(B)	15-25 лет	(H)	15-25 лет
очень высокий /очень большой	(ОБ)	>25 лет	(VH)	>25 лет

Состояние антикоррозионной защиты моста через реку Мацеста после 20 лет эксплуатации



Еще одним из примеров (направлений) экологически-рационального проектирования является **применения атмосферостойких сталей**, не требующих нанесения вторичной защиты (защитного лакокрасочного покрытия), загрязняющего окружающую среду

Первый опыт применения состоялся на **железнодорожных объектах**. В 1989–1990 гг. в трех различных регионах нашей страны — на Юго-Восточной ж. д. (мост через р. Ворона), на Южно-Уральской ж. д. (мост через р. Камышлы-Аят) и на Восточно-Сибирской ж. д. (мост через р. Снежная у берега оз. Байкал) -установлены три пролетных строения длиной 55 м, изготовленные Воронежским заводом из стали марки 14ХГНДЦ.



Общий вид пролетных строений из атмосферостойкой стали через 20 лет эксплуатации без окраски

Примеры автодорожных мостов из стали 14ХГНДЦ в России

В автодорожном мостостроении до недавнего времени отсутствовали объекты внедрения атмосферостойкой стали марки 14ХГНДЦ. Впервые она была применена на новой автомобильной дороге первой категории М-11 «Нева» на путепроводе на ПК 2565+44,29 и мосту через р. Шоша на ПК 1260+38



Путепровод на ПК 2565+44,29

Мост через р. Шоша на ПК 1260+38



В качестве экологически рациональной альтернативы может также рассматриваться применение атмосферостойких сталей и **алюминиевых сплавов** для изготовления мостовых конструкций, не требующих антикоррозионной защиты.

Пешеходный мост из алюминиевых сплавов в Нижегородской области и автодорожный мост из алюминиевых сплавов также в Нижегородской области.



Аналогично, весьма эффективным с экологической точки зрения является применение полимерных композитных материалов (ПКМ) в мостостроении, причем следует указать 4 возможных направления применения этих материалов:

Первое направление связано с изготовлением целых мостовых сооружений или их элементов (пролетных строений, плит проезжей части, и т.д.) из полимерных композиционных материалов.

Второе направление связано с применением неметаллической композитной арматуры для армирования бетонных конструкций. Причем арматура может быть и стержневая и полосовая и трубчатая, и жесткая и гибкая (текстильная).

Третье направление связано с применением композиционных материалов для усиления существующих металлических и железобетонных мостовых сооружений

Четвертое направление — применение полимерных композиционных материалов в малонагруженных изделиях и конструкциях (перильное ограждение, водоотводные лотки, мачты освещения, шумозащитные экраны и т.д.)



Отметим еще одно эффективное направление экологически рационального проектирования мостовых сооружений, связанное с применением трубобетонных конструкций особенно при создании малопролётных мостовых сооружений.

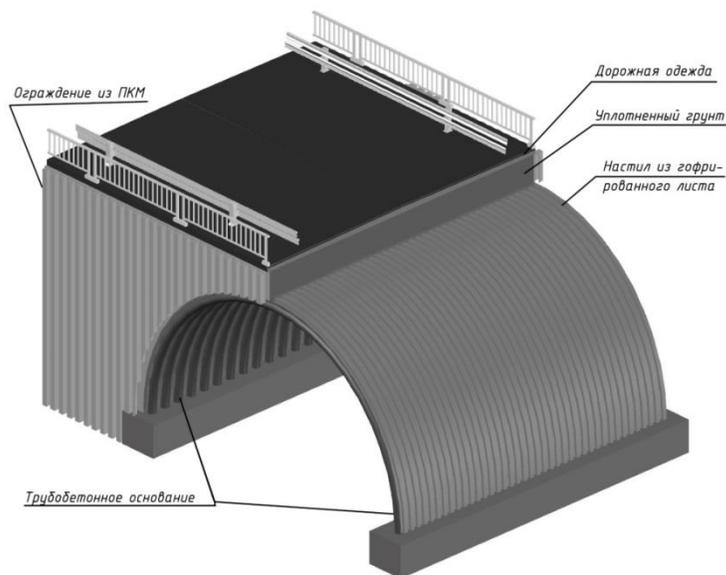


Большое развитие применение трубобетона получило в Китае для строительства арочных мостов с пролётами, превышающими 400 м, при этом экономия от применения трубобетона при использовании специальной технологии бетонирования может превышать 40% из расчёта на единицу длины моста.

Сфера применения трубобетонных элементов, испытывающих поперечный изгиб, представляется очень обширной и может охватывать почти все случаи применения балок небольших пролётов.



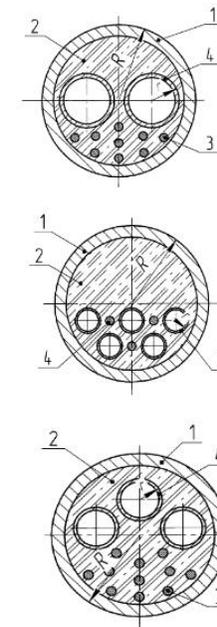
Особенно перспективным представляется использование изгибаемых трубобетонных конструкций для строительства и реконструкции малых мостов – в качестве несущих элементов арок грунтозасыпных мостов или балок пролётных строений и стоек опор балочных мостов. К настоящему времени разработан ряд оригинальных технических решений для повышения эффективности изгибаемых трубобетонных элементов



Монтаж арочных трубобетонных элементов грунтозасыпного моста в Ульяновской области



Трубобетонные элементы становятся особенно эффективными **при использовании старогодных труб** в качестве внешней оболочки. Старогодными считаются трубы, отслужившие нормативный срок в качестве элементов трубопроводного транспорта, и по сути дела являющиеся местным строительным материалом для малого мостостроения.



Можно также отметить такое направление экологически рационального проектирования транспортных сооружений, как **использование водопропускных армобетонных труб с арматурой из полимерных композитных материалов**. Это направление только начинает развиваться, и надеемся, будет весьма эффективным в будущем.

Наконец, отметим применение возобновляемых источников энергии в мостостроении, включая применение ветроэнергетических установок, солнечных батарей, гидрогенераторов на мостовых опорах, а также пьезоэлементов в составе дорожного покрытия мостовых сооружений.

В нашем патенте на полезную модель (Ветроэлектрическая установка в мостостроении. // Патент на полезную модель RU 176493. Заявка 2017100783, Приоритет от 10.01.2017. Регистрация 22.02.2018) описана ветроэлектрическая установка в мостостроении, представляющая собой ветрогенератор с вертикальной осью вращения, устанавливаемый на А-образный пилон вантового мостового сооружения. Получаемая электроэнергия будет использована системами мониторинга и освещения.

