

Транспортные сооружения / Russian Journal of Transport Engineering <https://t-s.today>

2026, Том 13, № 1 / 2026, Vol. 13, Iss. 1 <https://t-s.today/issue-1-2026.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/08SATS126.pdf>

DOI: 10.15862/08SATS126 (<https://doi.org/10.15862/08SATS126>)

2.1.8. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Мысовских, Д. А. Направления экологически рационального проектирования мостовых сооружений / Д. А. Мысовских, И. И. Овчинников, И. Г. Овчинников // Транспортные сооружения. — 2026. — Т. 13. — № 1. — URL: <https://t-s.today/PDF/08SATS126.pdf>. DOI: 10.15862/08SATS126.

**For citation:**

Mysovskikh D.A., Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G. Directions of environmentally sustainable design of bridge structures. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2026;13(1): 08SATS126. Available at: <https://t-s.today/PDF/08SATS126.pdf>. DOI: 10.15862/08SATS126. (In Russ., abstract in Eng.).

**УДК 624.04**

**Мысовских Даниил Александрович**

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Саратов, Россия  
Аспирант  
E-mail: [mysovskikh@gmail.com](mailto:mysovskikh@gmail.com)  
РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=1324961](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1324961)

**Овчинников Илья Игоревич**

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия  
Заведующий базовой кафедрой АО «Мостострой-11»  
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Россия  
Профессор кафедры «Автомобильные дороги, мосты и транспортные сооружения»  
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Саратов, Россия  
Профессор кафедры «Транспортное строительство»  
Доктор технических наук, доцент, Советник РААСН  
E-mail: [bridgeart@mail.ru](mailto:bridgeart@mail.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8370-297X>  
РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=177132](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=177132)  
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57191523104>

**Овчинников Игорь Георгиевич**

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия  
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Россия  
Профессор кафедры «Автомобильные дороги, мосты и транспортные сооружения»  
Доктор технических наук, профессор  
E-mail: [bridgesar@mail.ru](mailto:bridgesar@mail.ru)  
РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=2922](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=2922)  
WoS: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/J-5539-2013>  
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57191523105>;  
<https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=7102605749>

## Направления экологически рационального проектирования мостовых сооружений

**Аннотация.** В статье рассматриваются возможные направления экологически рационального проектирования мостовых сооружений (Sustainable bridge design). К ним относятся: использование того или иного варианта концепции идеального мостового сооружения; использование атмосферостойких сталей, не нуждающихся в нанесении защитных лакокрасочных покрытий;

применение алюминиевых сплавов для изготовления мостовых конструкций; применение принципа Парето при организации антикоррозионной защиты мостов; внедрение полимерных композитных материалов в мостостроение; применение современных модификаций бетонов в транспортном строительстве; использование трубобетонных конструкций, в особенности при возведении мало пролётных мостов; интеграция возобновляемых источников энергии в мостовые сооружения, включая установку ветрогенераторов, солнечных панелей, гидрогенераторов на опорах, а также применение пьезоэлементов в составе мостового полотна; реализация бионического подхода, основанного на заимствовании принципов и форм живой природы для решения инженерных задач в мостостроении. В заключение на примере фейкового сноса Эйфелевой башни обсуждается проблема разрушения экологически рациональных проектов инженерных сооружений вирусными мифами. Отмечается, что современная инженерия и архитектура зависят и от их общественного восприятия, поэтому крупные инфраструктурные объекты должны быть не только построены правильно с инженерной точки зрения, то для них должна разрабатываться стратегия информационной защиты, обеспечивающая доверие к построенному объекту. И информационная безопасность может рассматриваться как важное новое направление строительной экспертизы. А инженеры, проектировщики, архитекторы должны проводить специальные лекции, экскурсии, публиковать статьи, давать интервью, объясняя инженерную сторону созданных знаменитых сооружений.

**Ключевые слова:** мостовое сооружение; идеальный мост; устойчивое проектирование; экологически рациональное проектирование; антикоррозионная защита; использование трубобетона; возобновляемая энергетика; бионический подход; информационная защита инженерных объектов

## Введение

В статье [1] была кратко рассмотрена проблема устойчивого (экологически рационального) проектирования транспортных сооружений и было отмечено, что она привлекает все большее внимание исследователей. Обсуждалась концепция повышения долговечности мостовых сооружений, а также широко используемая в последние десятилетия идея сокращения срока службы создаваемых машин, оборудования, приборов и других изделий для того, чтобы обеспечить работой фирмы, производящие соответствующую продукцию. Указывалось, что эта идея вряд ли применима к мостовым сооружениям, так как ввиду их значительной дороговизны разумно обеспечивать как можно большую их долговечность и как можно эффективнее снижать их вредное воздействие на окружающую среду как при строительстве, так и при их эксплуатации и даже утилизации. Отмечено, что в этом случае эффективным может оказаться экологически рациональное проектирование мостовых сооружений, различные аспекты которого приведены в работах [28].

В [2] впервые в России рассмотрено применение концепции экологически рационального проектирования к сфере мостостроения. В работе [3] обсуждается в целом воздействие концепции экологически рационального проектирования на всю отрасль транспортного строительства, а не только на мостостроение. Публикация [4] знакомит зарубежных исследователей с уровнем развития концепции устойчивого проектирования в России. В работе [5] отмечается необходимость принятия законов, делающих устойчивое развитие обязательным требованием. В [6; 7] приведен обзор литературы по использованию методов многокритериального принятия решений при устойчивом проектировании мостов на протяжении всех стадий жизненного цикла с экономической, экологической и социальной точек зрения.

Наконец, в [8] рассматриваются методы достижения устойчивого развития при строительстве мостов на разных этапах, начиная с планирования и заканчивая эксплуатацией.

В связи со сказанным представляют интерес возможные **направления реализации экологически рационального проектирования мостовых сооружений.**

## 1. Возможные направления экологически рационального проектирования мостовых сооружений

**1.1** Представляет интерес использование того или иного варианта **концепции идеального мостового сооружения**, которые рассмотрены в статье [1]. Правда здесь возникает весьма непростая задача корректной оценки долговечности мостового сооружения. К сожалению, использование в качестве параметра поврежденности напряжений или деформаций не выдерживает критики, так как нередко, например, напряжения в определенной зоне конструкции могут уменьшаться, а вероятность разрушения конструкции именно в этой зоне может возрастать. Поэтому для оценки долговечности разумнее всего применять теорию накопления повреждений в скалярном или тензорном вариантах.

**1.2** Использование **атмосферостойких сталей**, не нуждающихся в нанесении защитных лакокрасочных покрытий, которые оказывают негативное воздействие на природу.

Первое практическое внедрение данной технологии было выполнено на объектах железнодорожной инфраструктуры. В период 1989–1990 гг. в трёх регионах страны — на Юго-Восточной железной дороге (мост через реку Ворона), на Южно-Уральской железной дороге (мост через реку Камышлы-Аят) и на Восточно-Сибирской железной дороге (мост через реку Снежная вблизи озера Байкал) — были смонтированы три пролётных строения пролётом 55 м. Конструкции были изготовлены Воронежским заводом из стали марки 14ХГНДЦ (рис. 1).



**Рисунок 1.** Элементы пролётных строений мостовых сооружений, выполненных из атмосферостойкой стали, спустя 21 год эксплуатации без применения окрасочного слоя [10]

В сфере автомобильного мостостроения вплоть до последнего времени примеры использования атмосферостойкой стали марки 14ХГНДЦ отсутствовали. Её первое применение было реализовано при строительстве новой автомобильной дороги I категории М-11 «Нева»:

на путепроводе, расположенном на ПК 2565+44,29 (рис. 2), а также на мосту через реку Шоша на ПК 1260+38 (рис. 3).

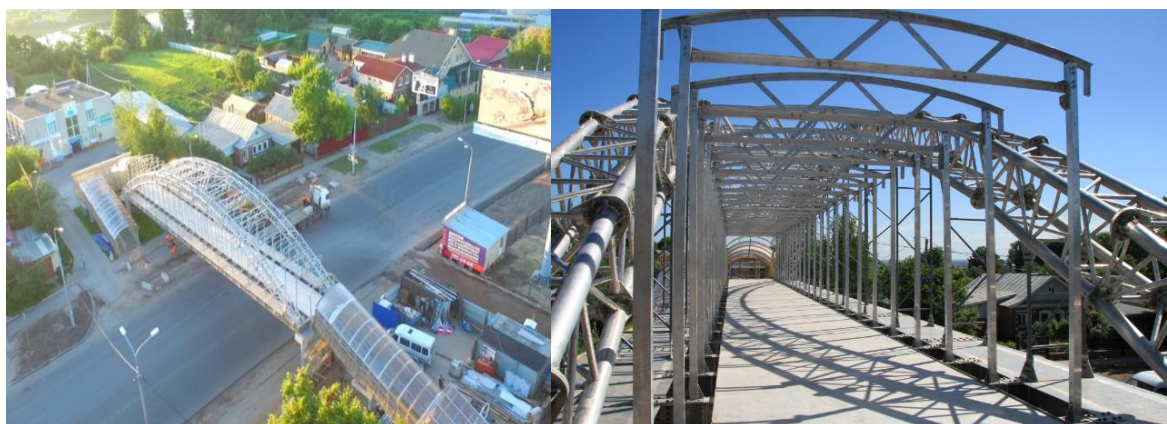


*Рисунок 2. Путепровод на ПК 2565+44,29 на автомобильной дороге первой категории М-11 «Нева» [10]*

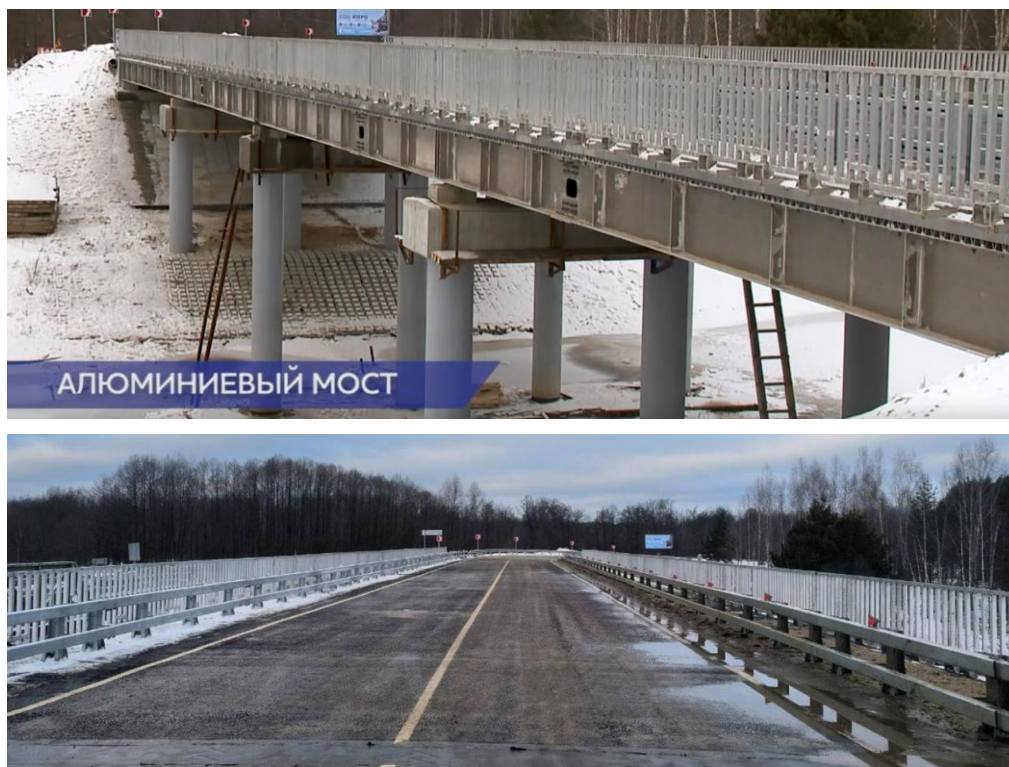


*Рисунок 3. Мост через р. Шоша на ПК 1260+38 [10]*

**1.3 Использование алюминиевых сплавов** в мостовых конструкциях позволяет отказаться от устройства антикоррозионной защиты. В Нижегородской области были возведены мостовые сооружения из алюминиевых сплавов, в том числе пешеходный (рис. 4) и автодорожный (рис. 5) мосты.



*Рисунок 4. Пешеходный мост из алюминиевых сплавов. Источник [10].*



*Рисунок 5. Автодорожный мост из алюминиевых сплавов [10]*

**1.4 Использование принципа Парето при проектировании систем антикоррозионной защиты мостовых сооружений** предполагает учёт того, что непосредственная стоимость защитных материалов составляет лишь около 20 % общих затрат. Основная же доля расходов — порядка 80 % — приходится на подготовку поверхности, устройство вспомогательных конструкций и выполнение сопутствующих операций, необходимых для экологически безопасного нанесения защитных покрытий.

В связи с этим целесообразно отдавать предпочтение более дорогостоящим, но высокоресурсным защитным системам, поскольку их применение позволяет снизить периодичность повторных окрасок, повысить экономическую отдачу в течение жизненного цикла сооружения и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду. Указанные аспекты подробно проанализированы в монографии [9]. На рисунке 6 представлено удовлетворительное состояние лакокрасочного покрытия Stelpant толщиной 220–263 мкм (производства германской фирмы «Стилпейнт»), зафиксированное как на металлических, так и на железобетонных элементах моста, расположенного в приморской зоне.



*Рисунок 6. Состояние системы антикоррозионной защиты моста через реку Мацеста в г. Сочи по истечении 20 лет эксплуатации (фото авторов)*

На рисунке 7 приведены примеры соблюдения экологических требований при производстве работ по антикоррозионной защите пролетных строений.



*Рисунок 7. Экологические мероприятия при антикоррозионной защите мостовых сооружений [10]*

**1.5 Внедрение полимерных композитных материалов в мостостроение.** В последние годы стеклопластиковые и углепластиковые материалы находят всё более широкое применение при возведении и реконструкции мостовых сооружений. В основном они используются в пролетных строениях пешеходных мостов, однако также предпринимаются попытки реализации композитных решений и для автодорожных мостов. Вследствие сравнительно недавнего начала их использования подобные конструкции сталкиваются с целым спектром задач, связанных с проектированием, технологией строительства, проведением испытаний и формированием согласованной нормативно-технической базы.

На сегодняшний день в России изготовлено и построено порядка тридцати пешеходных мостов с композитными пролетными строениями длиной до 38 м, выполненными в виде ферм. Их элементы изготавливаются из стеклопластиковых профилей методом пултрузии (уголки, швеллеры, прямоугольные трубы и др.).

В целом можно выделить пять основных направлений применения данных материалов в мостостроении. Первое из них связано с созданием мостовых сооружений целиком либо отдельных их элементов (пролетных строений, плит проезжей части и т. п.) из полимерных композиционных материалов (рис. 7).



*Рисунок 7. Пролётное строение моста выполнено из полимерного композиционного материала [10]*

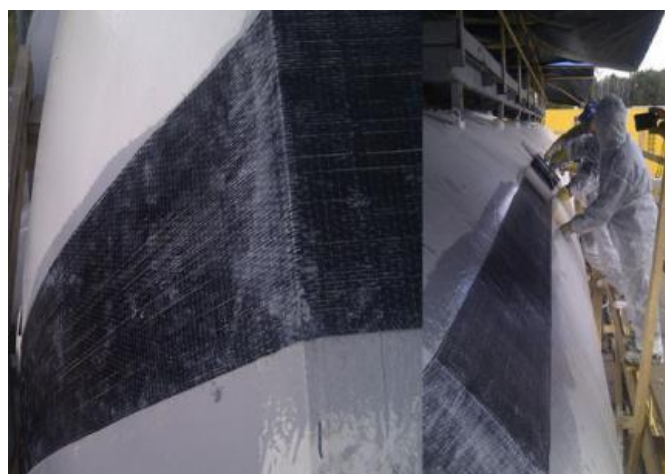
Второе направление предусматривает использование неметаллической композитной арматуры при армировании бетонных конструкций. При этом арматура может применяться в различных конструктивных формах: стержневой (рис. 8), полосовой, трубчатой, а также как в жёстком, так и в гибком (текстильном) исполнении.



*Рисунок 8. Примеры стержневой полимерной композитной арматуры [10]*

Третье направление связано с использованием композиционных материалов для усиления существующих металлических и железобетонных мостовых сооружений. На рисунке 9 представлены примеры применения композитных холстов при усилении элементов, работающих на сжатие и изгиб.

Вместе с тем следует отметить, что действующие нормативные документы в целом достаточно сдержанно подходят к вопросам внедрения полимерных композиционных материалов в мостостроение. Так, в пункте 5.4 свода правил СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы (Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84)» указано: «Мосты и трубы следует проектировать капитального типа. При проектировании пешеходных мостов, а также при реконструкции и усилении мостов (кроме железнодорожных) допускается применять полимерно-композиционные материалы».



*Рисунок 9. Применение полимерной композитной арматуры из холста для усиления элементов мостовых сооружений [10]*

Четвёртое направление заключается в использовании полимерных композиционных материалов в элементах и конструкциях, воспринимающих сравнительно небольшие нагрузки, таких как перильные ограждения, водоотводные лотки, опоры и мачты освещения, шумозащитные экраны и другие аналогичные изделия.

Перильные ограждения из полимерных композиционных материалов имеют ряд важных достоинств, которым относятся:

- коррозионная стойкость, позволяющая монтировать их в любом месте и даже там, где возможен контакт с агрессивной средой, в том числе и с морской водой;
- не подверженность гниению в отличие от перильных ограждений из дерева;
- цветовая стойкость: ввиду сквозного прокрашивания специальными красящими пигментами элемент из полимерного композитного материала с течением времени не меняет свой цвет;
- достаточно высокая прочность при относительно небольшой массе, что позволяет снижать материалоемкость продукции путем оптимизации проектных решений;
- относительная легкость изделий, при близких размерах изделие из полимерного композита будет практически в пять раз легче изделия из конструкционной стали;
- диэлектрические свойства полимерного композита, плохая проводимость тепла и электричества;
- простота монтажа элементов из полимерного композита, что позволяет не использовать тяжелую грузоподъемную технику;
- значительная долговечность из-за способности сопротивляться действию агрессивных осадков.

Однако у полимерных композитных материалов имеются и недостатки, связанные с необходимостью обеспечивать их пожарную безопасность [11], а также с большой их чувствительностью к неточностям их монтажа, что особенно проявляется при монтаже перильных ограждений из полимерных композитных материалов (рис. 10).



*Рисунок 10. Отклонение оси перильного ограждения от проектного положения [12]*

Особенности и проблемы монтажа перильных ограждений из таких материалов рассмотрены в статьях [12; 13].

**Пятое направление** — изготовление конструкций из полимеров вторичного применения. Следует заметить, что полимерные материалы с истекшим сроком годности нередко выбрасываются, однако они практически не разлагаются и загрязняют окружающую среду. Выходом из сложившейся ситуации может быть использование полимерных отходов в качестве вторичного сырья, что позволит решить проблемы с экологией, экономикой, а также утилизацией отходов.

В статье [14] рассматриваются вопросы применения материалов из вторичных полимеров в мостостроении (рис. 11).



*Рисунок 11. Пешеходный пластиковый мост из вторичных полимерных материалов выдерживает грузовик [14]*

#### **1.6 Применение современных модификаций бетонов в транспортном строительстве.**

Для устойчивого развития государства необходимо обеспечение безопасности зданий и сооружений, что возможно при высокой эксплуатационной надежности и долговечности их несущих конструкций, порядка 90 процентов которых возводятся с применением бетона. К достоинствам бетона относится возможность использования местных строительных материалов, достаточно широкий спектр механических свойств, низкие трудозатраты при создании конструкций, возможность создания различных интересных архитектурных решений [15]. Мало того, бетон — уникальный материал, свойства которого со временем могут улучшаться. Отметим, что в последнее время появились новые типы бетонов, такие как бетоны с высокими эксплуатационными свойствами (high performance concrete) [16], с использованием которых возведены мосты и путепроводы на МКАД, «Парящий мост» в Москве в парке «Зарядье» (рис. 12), мост через Яузу на Третьем транспортном кольце и другие.



*Рисунок 12. Монолитное постнатяжённое пролетное строение «Парящего моста» в парке «Зарядье» [16]*

В [17] приводится информация о создании Углеродно-негативного материала (enzymatic structural material — ESM), при создании которого используются биотехнологии, причем фермент (углеродная ангидраза) является катализатором химических реакций, которые вовлекают атмосферный  $\text{CO}_2$ . То есть если при производстве  $1 \text{ м}^3$  обычного бетона выделяется около  $330 \text{ кг CO}_2$ , то при производстве  $1 \text{ м}^3$  ESM поглощается более  $6 \text{ кг CO}_2$ .

Заметим, что производство бетона весьма энергоемкий процесс и при его использовании во всем мире ежегодно выбрасывается в атмосферу 8 % всего углекислого газа от совокупной деятельности человека. Предпринимаемые усилия по модификации обычного бетона различными добавками (золой, гидрогелем и даже грибами) пока не привели к положительным результатам: получаемый материал либо непрочный и недолговечный, либо весьма дорогой. При создании же ESM используемый фермент ускоряет превращение растворённого в воде  $\text{CO}_2$  в твёрдый карбонат кальция, связывающий частицы песка в прочные каркасы при комнатной температуре и нормальном давлении, без высокотемпературного обжига и длительного отверждения. Но авторы [17] справедливо отмечают, что этот материал нужно испытать в различных климатических условиях.

**1.7 Одним из перспективных направлений современного мостостроения является применение трубобетонных конструкций при строительстве и реконструкции малых мостов.** Наибольший интерес представляют элементы, работающие на изгиб, которые могут эффективно использоваться в качестве балок пролётных строений, стоек опор балочных мостов, а также несущих элементов арочных грунтозасыпных сооружений [18; 19].

При этом область применения трубобетонных элементов, воспринимающих поперечный изгиб, отличается высокой универсальностью и охватывает практически все случаи использования балок небольших пролётов. В настоящее время предложен и реализован ряд оригинальных технических решений, направленных на повышение эффективности работы изгибаемых трубобетонных конструкций (рис. 13–15), что дополнительно подтверждает перспективность данного направления.



*Рисунок 13. Монтаж арочных трубобетонных элементов грунтозасыпного моста в Ульяновской области [19]*

Особую эффективность трубобетонные элементы приобретают при применении старогодных труб в роли внешней оболочки конструкции (рис. 15). К старогодным относят трубы, выработавшие нормативный срок эксплуатации в составе трубопроводных систем и фактически представляющие собой доступный местный строительный ресурс, пригодный для использования в сооружениях малых мостов.



Рисунок 14. Испытание трубчатых арочных элементов в лаборатории [19]

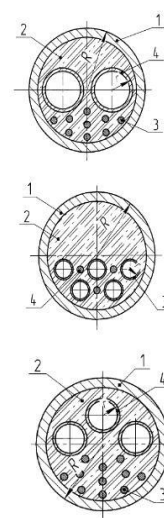
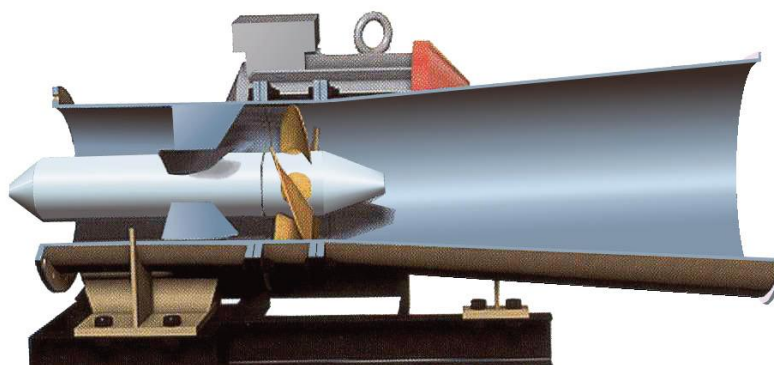


Рисунок 15. Трубобетонное пролетное строение с применением старогодных труб (фото авторов)

**1.8 Интеграция возобновляемых источников энергии в мостовые сооружения, включая установку ветрогенераторов, солнечных панелей, гидрогенераторов на опорах, а также применение пьезоэлементов в составе мостового полотна.** В настоящее время основная часть энергии, потребляемой человеком, вырабатывается за счёт природного газа, нефти и атомной энергетики. Однако все эти источники относятся к невозобновляемым и в перспективе могут быть исчерпаны. В связи с этим возникает вопрос о возможных путях обеспечения энергетических потребностей в будущем. Одним из решений является использование непрерывно протекающих природных процессов, а также растительного сырья и органических отходов. Энергия, получаемая таким образом, относится к категории возобновляемой. В качестве её источников применяются ветроэнергетические установки, солнечные электростанции и гидроэлектростанции, использующие энергию водных потоков.

Следует отметить, что принцип работы гидроэлектростанций основан на преобразовании потенциальной и кинетической энергии падающей воды в электрическую энергию. Данный способ обладает рядом преимуществ по сравнению с другими технологиями использования возобновляемых ресурсов, поскольку коэффициент полезного действия гидроэнергетических установок, как правило, превышает аналогичные показатели солнечных и ветровых электростанций.

**1.8.1 Использование гидрогенераторов.** В настоящее время данное направление является одним из наиболее востребованных и находит широкое применение в мостостроении. Гидрогенераторы размещаются под водой вблизи мостовых опор и объединяются в общий металлический каркас [20; 21]. Подобные установки способны обеспечивать стабильное и надёжное электроснабжение мостовых сооружений, эффективно заменяя традиционные, более консервативные решения. Для безопасной эксплуатации мостовых сооружений в темное время суток необходимо их освещение. Подвод электрической энергии от обычных электростанций не всегда надежен из-за высокой вероятности аварийных ситуаций в системе передачи электроэнергии, а вот использование энергии течения речной воды из-за близости к мостовому сооружению дает возможность использовать малые гидроэлектростанции (ГЭС) для освещения мостов и подпитки систем мониторинга. Эти ГЭС можно устанавливать на опорах мостов или прилегающих к мосту набережных. Малые свободно-поточные ГЭС (рис. 16) не нуждаются в частом обслуживании и имеют высокий КПД (более 90 %).



*Рисунок 16. Погружная турбина свободно-поточной малой ГЭС [21]*

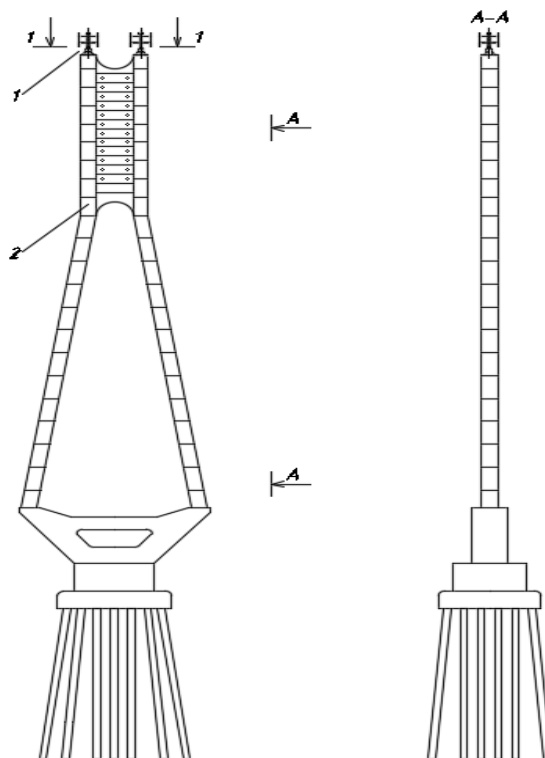
**1.8.2 Использование ветрогенераторов.** Парусные суда уже использовали ветровую энергетику. Затем ветроэнергетика стала применяться в ветряных мельницах. Наконец, еще в 1887 году Джеймс Блит из Шотландии создал ветряную турбину и автономное обеспечение электричеством, получаемым за счёт ветра. В последнее время появились упоминания о возможности использования ветрогенераторов для питания мостовых сооружений, причем ветрогенераторы предлагают устанавливать под виадуками<sup>1</sup>, так как воздушные потоки между опорами виадуков развивают большую скорость, позволяющую вращать роторы ветровых турбин (рис. 17).



*Рисунок 17. Расположение ветрогенераторов на виадуке [22]*

<sup>1</sup> KICKER. Ветрогенераторы будут устанавливать под виадуками // Строительство России. 05.07.2015. URL: <https://stroy-russia.ru/threads/vetrogeneratoriy-budut-ustanavlivat-pod-viadukami.1631/>.

В статье [22] со ссылкой на работу [23] описывается патент ветрогенератора с вертикальной осью вращения, который смонтирован на пилоне мостового сооружения (рис. 18).



1 — ветрогенератор; 2 — пилон А-образной конструкции

**Рисунок 18.** Общий вид пилона мостового сооружения с установленным ветрогенератором (источник: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39262286> [24])

Ветровые установки с вертикальной осью вращения обладают большей производительностью и работают при небольшом ветре, они создают меньший изгибающий момент и позволяют обеспечить электричеством все потребности мостового сооружения, включая и освещение, и работу систем мониторинга.

**1.8.3 Использование солнечных панелей.** В 1883 году американский учёный Чарльз Фритц создал настольную электростанцию, которая вырабатывала электричество от небольшой позолоченной селеновой пластинки [25]. В настоящее время солнечные панели широко используются для получения электроэнергии, в том числе и на мостовых сооружениях (рис. 19).



**Рисунок 19.** Солнечные панели на мосту Levis Stadium [23]

Также можно использовать для установки солнечных панелей и шумозащитные экраны, как это показано на рисунке 20.



*Рисунок 20. Шумозащитные экраны, используемые для получения солнечной энергии [23]*

В Китае построена крупнейшая в мире плавучая солнечная электростанция<sup>2</sup>. Солнечные панели расположены на специальных плотках в карьере, которые привязаны к железобетонным сваям, забитым в дно водоема. Используя этот опыт, можно также разместить солнечную электростанцию в заводях вблизи мостового сооружения. Но это решение можно использовать только на незамерзающих реках.

**1.8.4 Использование пьезогенераторов.** Перспективным инновационным направлением в сфере возобновляемых источников энергии являются пьезоэлектрические генераторы, функционирующие на основе пьезоэлектрического эффекта. Сущность данного явления заключается в возникновении электрических зарядов на поверхности материала при его механической деформации. Благодаря малой рабочей площади пьезогенераторы находят всё большее применение в дорожных покрытиях, поскольку не создают ограничений для движения транспорта и пешеходов. Возможность их интеграции непосредственно в конструкцию проезжей части обеспечивает как безопасность, так и эффективность использования, реализуя принцип: объём вырабатываемой энергии соответствует величине механического воздействия.

В качестве примера можно привести опыт Японии, где в метрополитене на станции Marunouchi Station установлен пьезоэлектрический пол, преобразующий энергию шагов пассажиров в электроэнергию, достаточную для питания турникетов. Вместе с тем существенным недостатком данной технологии является низкая мощность отдельных пьезоэлементов, что требует их применения в большом количестве. Это обстоятельство существенно увеличивает стоимость системы и снижает её экономическую эффективность при массовом внедрении.

В работе [26] описывается применение трибоэлектрического генератора для добычи электроэнергии, то есть использование амортизаторов, которые преобразуют энергию колебаний мостового полотна в электричество для питания оборудования на мостовом сооружении.

**1.9 Реализация бионического подхода, основанного на заимствовании принципов и форм живой природы для решения инженерных задач в мостостроении.** Как правило, выделяют два основных подхода. Первый — макроуровневый, основанный на заимствовании внешних форм и структур природных объектов. Второй — микроуровневый, предполагающий

<sup>2</sup> Китай запустил крупнейшую в мире плавучую солнечную электростанцию // Атомная энергия : сайт. 15.08.2017. URL: <https://www.atomic-energy.ru/news/2017/08/15/78523> (дата обращения: 13.04.2026).

применение знаний о функциях и механизмах взаимодействия в живых системах, включая особенности их внутреннего устройства и процессов жизнедеятельности: работу сердечно-сосудистой, нервной и иммунной систем, преобразование энергии, нейронные реакции, передачу информации, регуляцию поведения и адаптацию к условиям окружающей среды.

Применительно к мостостроению наибольший интерес представляют адаптационные и саморегулирующие свойства живых организмов, которые могут быть использованы при разработке конструкций, обладающих повышенной устойчивостью к ветровым и сейсмическим воздействиям. Основные положения экологически рационального проектирования подробно изложены в ряде публикаций авторов [27; 28], где также приведены соответствующие иллюстративные материалы.

### **О том, как вирусные мифы могут привести к попыткам разрушить экологически рациональные проекты инженерных сооружений**

В 2024 году появились сообщения о готовности Парижа выполнить демонтаж Эйфелевой башни из-за «структурного износа» и «дорогостоящего обслуживания». Эти сообщения привели к появлению множества эмоциональных комментариев о том, что наступил «конец эпохи» и что готовится снос «главного символа Парижа, да и всей Франции» [29].

Эта история вроде бы анекдотична, но для строительной отрасли такие фейковые новости показывают, что искаженная (намеренно или по незнанию ситуации) информация может повлиять на репутацию инженерных объектов, представляющих собой весьма большую культурную, историческую, туристическую ценность.

Интересно то, что первоначальным источником этого фейка стала юмористическая информация в сатирическом интернет журнале о том, что якобы скоро Эйфелева башня будет демонтирована. Шутка была предназначена для архитекторов, но через пару недель башня была закрыта, хотя совсем по другой причине (из-за забастовки работников бюджетной сферы, в том числе и службы охраны общественных объектов). По требованиям безопасности башня была закрыта на несколько суток. Однако фотографии закрытых касс и таблички с надписью о закрытии башни послужили «доказательством» для сторонников слухов о сносе Эйфелевой башни.

В сетях стали появляться заголовки такого типа: «Башню демонтируют в 2026 году в связи с окончанием срока ее эксплуатации», «Парижане прощаются со своей железной леди», причем авторы этих заметок ссылались на приписываемое Парижской мэрии, но не существующее решение о демонтаже вследствие усталости металлических конструкций башни и больших затратах на ее обслуживание.

Однако Эйфелева башня и памятник архитектуры, и памятник инженерного искусства, прошедший проверку временем. Она была построена к Всемирной выставке 1889 года по проекту, основную идею которого Эйфель выкупил у своих инженеров.<sup>3</sup> Элементы башни имеют запас прочности и долговечности и, кроме того, она подвергается обследованию и оценке эксплуатационного состояния каждые 7 лет. Начиная с 1990 года, для обследования башни используются современные методы неразрушающего контроля (ультразвуковая диагностика, лазерное сканирование, исследование коррозионных процессов) и в результате делается вывод, что башня находится в работоспособном состоянии.

Эйфелева башня возводилась в то время, когда архитекторы перестали бояться применять металл в создаваемых сооружениях, и до сих пор она является свидетельством

<sup>3</sup> Снос Эйфелевой башни // Всеостройке.рф. 17.11.2025. URL: <https://всеостройке.рф/snos-eyfelevoj-bashni/>.

профессиональной гордости инженеров. После появления фейковой новости о якобы предстоящем сносе башни инженеры, разбирающиеся в проблеме, стали информировать публику о том, что все с башней нормально. Башня каждые семь лет полностью перекрашивается, на что используется 60 тонн краски.

Следует заметить, что произошедшее с Эйфелевой башней не единственный случай, когда фейки вмешиваются в «жизнь» инженерных и архитектурных сооружений. Например, в 2023 году в сетях распространялась информация о том, что якобы сооружение Собора Святого Семейства в Барселоне скоро будет остановлено чуть ли не навсегда из-за недостаточного финансирования.

К сожалению, там, где информационные технологии работают быстрее бюрократической машины, инженерному сообществу нужно заниматься и борьбой с фейковыми новостями и в какой-то мере просвещать общество.

Фейковая история с якобы предстоящим сносом Эйфелевой башни — это хороший показатель того, что современная инженерия и архитектура зависят и от их общественного восприятия. Поэтому крупные инфраструктурные объекты должны быть не только построены правильно с инженерной точки зрения, но для них должна разрабатываться стратегия информационной защиты, обеспечивающая доверие к построенному объекту.

Ведь если распространяются слухи о небезопасности созданного инженерами строительного объекта, то его стоимость будет снижаться. Поэтому информационная безопасность может рассматриваться как важное новое направление строительной экспертизы. А инженеры, проектировщики, архитекторы должны проводить специальные лекции, экскурсии, публиковать статьи, давать интервью, объясняя инженерную сторону созданных знаменитых сооружений. Нам также хотелось бы, чтобы на нашем телевидении появлялись фильмы о работе, творчестве выдающихся отечественных и зарубежных инженеров, ученых, которые бы знакомили наше общество с особенностями их работы и созданными ими выдающимися сооружениями.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мысовских, Д.А. Концепция идеального мостового сооружения и ее применение для экологически рационального проектирования транспортных сооружений / Д.А. Мысовских, И.И. Овчинников, И.Г. Овчинников // Транспортные сооружения. — 2025. — Т. 12, № 4. — URL: <https://t-s.today/PDF/17SATS425.pdf> (дата обращения: 08.01.2026). — DOI: [10.15862/17SATS425](https://doi.org/10.15862/17SATS425).
2. Овчинников, И.Г. Экологически рациональное проектирование мостовых сооружений как один из факторов устойчивого развития региона / И.Г. Овчинников, И.И. Овчинников // Каспий в цифровую эпоху. Сборник материалов Национальной научно-практической конференции с международным участием в рамках Международного научного форума «Каспий 2021: пути устойчивого развития» (27 мая 2021 года). — Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2021. — С. 587–592. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45769386> (дата обращения: 08.01.2026). — EDN: [CCSJQD](https://elibrary.ru/edn/CCSJQD).
3. Коротков, М.А. Воздействие экологически-рационального проектирования на отрасль транспортного строительства / М.А. Коротков, И.Г. Овчинников // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. — 2022. — № 2. — С. 64–71. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49235115> (дата обращения: 08.01.2026). — DOI: [10.15593/24111678/2022.02.08](https://doi.org/10.15593/24111678/2022.02.08). — EDN: [QFYXSI](https://elibrary.ru/edn/QFYXSI).

4. Ovchinnikov I.G., Ovchinnikov I.I. Sustainable bridge design in Russia / I.G. Ovchinnikov, I.I. Ovchinnikov // International Scientific and Practical Conference "Railway Transport and Technologies" (RTT-2021): Collection of conference materials. — Vol. 2624, Issue 1. — USA: AIP Publishing, 2023. — P. 030021. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=60003949> (дата обращения: 08.01.2026). — DOI: [10.1063/5.0133764](https://doi.org/10.1063/5.0133764). — EDN: [YUZJFI](https://elibrary.ru/edn/YUZJFI).
5. Venkateswaran B. Sustainable Practices in Bridge Construction / B. Venkateswaran // Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies. — 2021. — Т. 6, № 1. — С. 24–28. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=71507532> (дата обращения: 08.01.2026). — DOI: [10.29187/jscmt.2021.56](https://doi.org/10.29187/jscmt.2021.56). — EDN: [OZZAHL](https://elibrary.ru/edn/OZZAHL).
6. Penadés-Plà V., García-Segura T., Martí J. V., Yepes V. A Review of Multi-Criteria Decision-Making Methods Applied to the Sustainable Bridge Design / V. Penadés-Plà, T. García-Segura, J.V. Martí, V. Yepes // Sustainability. — 2016. — Т. 8, № 12. — С. 1295. — URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/8/12/1295> (дата обращения: 08.01.2026). — DOI: [10.3390/su8121295](https://doi.org/10.3390/su8121295).
7. Navarro I.J., Penadés-Plà V., Martínez-Muñoz D., Rempling R., Yepes V. Life cycle sustainability assessment for multi-criteria decision making in bridge design: a review / I.J. Navarro, V. Penadés-Plà, D. Martínez-Muñoz, R. Rempling, V. Yepes // Journal of Civil Engineering and Management. — 2020. — Т. 26, № 7. — С. 690–704. — URL: <https://journals.vilniustech.lt/index.php/JCEM/article/view/13599> (дата обращения: 08.01.2026). — DOI: [10.3846/jcem.2020.13599](https://doi.org/10.3846/jcem.2020.13599). — EDN: [HFGSWY](https://elibrary.ru/edn/HFGSWY).
8. Venkateswaran B. Sustainable Practices in Bridge Construction / B. Venkateswaran // Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies. — 2021. — Т. 6, № 1. — С. 24–28. — URL: <https://commons.yildiz.edu.tr/jscmt/vol6/iss1/3/> (дата обращения: 08.01.2026). — DOI: [10.29187/jscmt.2021.56](https://doi.org/10.29187/jscmt.2021.56). — EDN: [OZZAHL](https://elibrary.ru/edn/OZZAHL).
9. Защита от коррозии металлических и железобетонных мостовых конструкций методом окрашивания / И.Г. Овчинников, А.И. Ликверман, О.Н. Распоров [и др.]. — Саратов: Изд-во "Кубик", 2014. — 504 с.
10. Инновационные решения для обеспечения долговечности мостовых сооружений / Н.Л. Бреус, И.И. Овчинников, И. Г. Овчинников. — Тюмень: УНПЦ "Изд-во", 2024. — 99 с. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=80387249> (дата обращения: 08.01.2026). — ISBN: 978-5-605-07331-4. — EDN: [DBLDOC](https://elibrary.ru/edn/DBLDOC).
11. Овчинников, И.И. Проблемы применения полимерных композиционных материалов в транспортном строительстве / И.И. Овчинников, И.Г. Овчинников, Б.Б. Мандрик-Котов, Е.С. Михалдыкин // Интернет-журнал "НАУКОВЕДЕНИЕ". — 2016. — Т. 8, № 6. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28420862> (дата обращения: 08.01.2026). — EDN: [XXYGYT](https://elibrary.ru/edn/XXYGYT).
12. Мандрик-Котов, Б.Б. Особенности монтажа перильных ограждений из полимерных композитных материалов / Б.Б. Мандрик-Котов, И.И. Овчинников, И.Г. Овчинников // Вестник науки и образования Северо-Запада России. — 2019. — Т. 5, № 1. — С. 1–10. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38205784> (дата обращения: 08.01.2026). — EDN: [CPROSL](https://elibrary.ru/edn/CPROSL).
13. Мандрик-Котов, Б.Б. Дефекты и повреждения перильных ограждений из полимерных композитных материалов / Б.Б. Мандрик-Котов, И.Г. Овчинников // Техника и технология транспорта. — 2019. — № 11. — С. 35. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38206127> (дата обращения: 08.01.2026). — EDN: [ZHSGRN](https://elibrary.ru/edn/ZHSGRN).

14. Аншваев, А.К. Полимерные материалы вторичного производства в мостостроении / А.К. Аншваев, И.Г. Овчинников // Транспортные сооружения. — 2022. — Т. 9, № 2. — С. 1–37. — URL: <https://t-s.today/06SATS222.html> (дата обращения: 08.01.2026). — DOI: [10.15862/06SATS222](https://doi.org/10.15862/06SATS222). — EDN: [KKSOWR](https://www.edn.net/KKSOWR).
15. Шеина, Т.В. Бетоны высотных зданий / Т.В. Шеина, М.Ю. Маслов // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии: сборник статей / Самарский государственный технический университет. — Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2017. — С. 86–89. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29782016> (дата обращения: 08.01.2026). — EDN: [ZBSSJN](https://www.edn.net/ZBSSJN).
16. Каприелов, С.С. Модифицированные бетоны: реальность и перспективы / С.С. Каприелов, А.В. Шейнфельд, И.А. Чилин, В.Г. Дондуков, Н.М. Селютин // Вестник НИЦ «Строительство». — 2024. — Т. 40, № 1. — С. 92–104. — URL: <https://vestnik.cstroy.ru/jour/article/view/374> (дата обращения: 08.01.2026). — DOI: [10.37538/2224-9494-2024-1\(40\)-92-104](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-1(40)-92-104). — EDN: [NIYJLR](https://www.edn.net/NIYJLR).
17. Wang S., Paudel P., Vakili D., Hwang S., Shinde S., Rahbar N. Durable, high-strength carbon-negative enzymatic structural materials via a capillary suspension technique / S. Wang, P. Paudel, D. Vakili [et al.] // Matter. — 2025. — Т. 9, № 3. — С. 102564. — URL: [https://www.cell.com/matter/abstract/S2590-2385\(25\)00607-1](https://www.cell.com/matter/abstract/S2590-2385(25)00607-1) (дата обращения: 08.01.2026). — DOI: [10.1016/j.matt.2025.102564](https://doi.org/10.1016/j.matt.2025.102564). — EDN: [FUBQIQ](https://www.edn.net/FUBQIQ).
18. Овчинников, И.И. О проблеме расчета трубобетонных конструкций с оболочкой из разных материалов. Часть 1. Опыт применения трубобетона с металлической оболочкой / И.И. Овчинников, И.Г. Овчинников, Г.В. Чесноков, Е.С. Михалдыкин // Интернет-журнал "НАУКОВЕДЕНИЕ". — 2015. — Т. 7, № 4. — URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/95TVN415.pdf> (дата обращения: 08.01.2026). — DOI: [10.15862/95TVN415](https://doi.org/10.15862/95TVN415). — EDN: [UMATZN](https://www.edn.net/UMATZN).
19. Михалдыкин, Е.С. Испытания балочных и арочных трубобетонных конструкций с оболочкой из полимерных композиционных материалов / Е.С. Михалдыкин, И.Г. Овчинников, Ш.Н. Валиев, С.А. Матвеюшкин, А.А. Евдокимов // Современные проблемы расчета железобетонных конструкций, зданий и сооружений на аварийные воздействия: сборник трудов Международной научной конференции, посвященной 85-летию кафедры железобетонных и каменных конструкций и 100-летию со дня рождения Н.Н. Попова (Москва, 19–20 апреля 2016 г.). — М., 2016. — С. 271–277. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26043063> (дата обращения: 08.01.2026). — EDN: [VXXKKR](https://www.edn.net/VXXKKR).
20. Соболин, Г.В. Проблемы использования малых рек и каналов ирригационных систем в целях развития малой гидроэнергетики / Г.В. Соболин, И.В. Сатункин, Ю.И. Коровин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. — 2004. — № 1(2). — С. 32–35. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15263859> (дата обращения: 08.01.2026). — EDN: [MWAMSZ](https://www.edn.net/MWAMSZ).
21. Ким, К.К. Автономное электроснабжение речных мостов и прилегающих к ним объектов / К.К. Ким, М.А. Герасимов, А.А. Смирнов // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2018. — № 4. — С. 545–550. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37156204> (дата обращения: 08.01.2026). — EDN: [ZAMGKD](https://www.edn.net/ZAMGKD).
22. Устеряков, В.А. Возобновляемые источники энергии в мостостроении / В.А. Устеряков, И.Г. Овчинников // Химия. Экология. Урбанистика: материалы

- Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). В 4 т. — Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2022. — Т. 3. — С. 172–176. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49751134> (дата обращения: 08.01.2026). — EDN: [POCKUF](#).
23. Трибунский, М.М. Использование ветроэлектрических установок на пилонах мостовых сооружений / М.М. Трибунский, И.Г. Овчинников // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. — 2017. — № 1(8). — С. 378–382. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29334357> (дата обращения: 08.01.2026). — EDN: [YRYAEZ](#).
24. Патент на полезную модель № 176493 U1 Российская Федерация, МПК F03D 3/00, F03D 9/30, F03D 9/34. Ветроэлектрическая установка в мостостроении: № 2017100783: заявл. 10.01.2017: опубл. 22.01.2018 / М.М. Трибунский, И.Г. Овчинников, И.И. Овчинников, В.К. Черных; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А." (СГТУ имени Гагарина Ю.А.). — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39262286> (дата обращения: 08.01.2026). — EDN: [KALEGD](#).
25. Твайделл, Дж. Возобновляемые источники энергии / Дж. Твайделл, А. Уэйр; пер. с англ. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 392 с. — URL: <https://search.rsl.ru/record/01001528610> (дата обращения: 08.01.2026).
26. Verziaggi N., Bartolomé L., Brinker M., Amayuelas E., Merchiori S., Arkan M.Z., Eglitis R., Huber P., Šutka A., Chorążewski M., Meloni S., Grosu Y. Triboelectrification during non-wetting liquids intrusion-extrusion in hydrophobic nanoporous silicon monoliths / N. Verziaggi, L. Bartolomé, M. Brinker [et al.] // Nano Energy. — 2025. — Т. 146. — С. 111488. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221128552500847X> (дата обращения: 08.01.2026). — DOI: [10.1016/j.nanoen.2025.111488](https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2025.111488). — EDN: [ILZAXK](#).
27. Овчинников, И.Г. Бионический подход в проектировании мостов / И.Г. Овчинников, И.И. Овчинников, А.Б. Караханян // Наука: 21 век. — Саратов, 2015. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37209555> (дата обращения: 08.01.2026). — EDN: [VXZMBC](#).
28. Современные пешеходные и велосипедные мосты (основные концепции проектирования и примеры): монография / И.И. Овчинников, А.Б. Караханян, И.Г. Овчинников, Ю.П. Скачков. — Пенза: ПГУАС, 2018. — 140 с. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37209555> (дата обращения: 08.01.2026). — ISBN: 978-5-9282-1555-2. — EDN: [VXZMBC](#).
29. Овчинников, И.Г. Густав Эйфель и развитие индустриального мостостроения / И.Г. Овчинников, С.В. Снарский, Ф.А. Еллала. — Саратов: СГТУ, 2005. — 46 с. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19637217> (дата обращения: 08.01.2026). — ISBN: 5-7433-1446-2. — EDN: [QNSTJT](#).

### Mysovskikh Daniil Alexandrovich

Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin, Saratov, Russia  
E-mail: [mysovskikh@gmail.com](mailto:mysovskikh@gmail.com)  
RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=1324961](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1324961)

### Ovchinnikov Ilya Igorevich

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia  
Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia  
Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin, Saratov, Russia  
E-mail: [bridgeart@mail.ru](mailto:bridgeart@mail.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8370-297X>  
RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=177132](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=177132)  
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57191523104>

### Ovchinnikov Igor Georgievich

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia  
Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia  
E-mail: [bridgesar@mail.ru](mailto:bridgesar@mail.ru)  
RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=2922](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=2922)  
WoS: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/J-5539-2013>  
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57191523105>;  
<https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=7102605749>

## Directions of environmentally sustainable design of bridge structures

**Abstract.** The article examines possible areas of sustainable bridge design. These include: the use of various versions of the ideal bridge concept; the use of weather-resistant steels that do not require protective paint coatings; the use of aluminum alloys for the manufacture of bridge structures; the application of the Pareto principle in organizing the anti-corrosion protection of bridges; the introduction of polymer composite materials in bridge construction; the use of modern modifications of concrete in transport construction; the use of tubular concrete structures, especially in the construction of short-span bridges; the integration of renewable energy sources into bridge structures, including the installation of wind turbines, solar panels, and hydrogenerators on supports, as well as the use of piezoelectric elements in the bridge deck; the implementation of a bionic approach based on borrowing the principles and forms of living nature to solve engineering problems in bridge construction. In conclusion, the problem of the destruction of environmentally sustainable engineering projects by viral myths is discussed using the example of the fake demolition of the Eiffel Tower. It is noted that modern engineering and architecture also depend on public perception. Therefore, large infrastructure projects must not only be constructed correctly from an engineering standpoint, but also have an information security strategy developed to ensure trust in the constructed structure. Information security can be considered an important new area of construction expertise. Engineers, designers, and architects should conduct special lectures, tours, publish articles, and give interviews explaining the engineering aspects of these famous structures.

**Keywords:** bridge structure; ideal bridge; sustainable design; environmentally friendly design; anti-corrosion protection; use of reinforced concrete; renewable energy; bionic approach; information protection of engineering facilities