

**Д.О. Кошма, Д.А. Мясников, Д.А. Бухарев**

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Санкт-Петербург, Россия)

## **КОМПОЗИТНЫЙ ВОДООТВОД КАК ЭФФЕКТИВНОЕ И ДОЛГОВЕЧНОЕ РЕШЕНИЕ**

**Обоснование.** Статья “Композитный водоотвод как эффективное и долговечное решение” рассматривает критически важный элемент современного инфраструктурного строительства – организацию надежного и бесперебойного водоотвода. В условиях интенсивной урбанизации, роста транспортных нагрузок и усиления экстремальных подобных явлений традиционные системы водоотведения демонстрируют недостаточную долговечность и высокие эксплуатационные потери. Их

применение позволяет предотвратить локальные подтопления, эрозию грунтов, разрушение оснований дорог и тротуаров, что в итоге повышает общую надежность и жизнеспособность городской среды.

**Цель.** Исследование ставит целью проведение комплексной оценки эксплуатационной эффективности и экономической целесообразности применения композитных водоотводных систем в дорожных и мостовых сооружениях. Работа направлена на комплексную оценку преимуществ композитов перед традиционными материалами и формирование четких инженерных решений для проектировщиков и подрядчиков. Это будет способствовать стандартизации передовых технологий, снижению совокупной стоимости владения объектами и повышению качества инфраструктурных проектов.

**Методы.** Методологическая база исследования включает анализ отечественных и зарубежных нормативных документов, регламентирующих проектирование и эксплуатацию водоотводных систем, а также сравнительный анализ традиционных и композитных материалов. Используются методы инженерного анализа расчетных нагрузок, оценки гидравлических характеристик и эксплуатационной надежности конструкции.

Дополнительно применялись аналитические методы сопоставления сроков службы, технологичности монтажа и эксплуатационных затрат на основе обобщения данных реализованных проектов и технических рекомендаций. Рассмотрены особенности работы композитных систем в различных климатических и эксплуатационных условиях, включая зоны интенсивного транспортного движения и районы с сезонным промерзанием грунтов.

**Результаты.** В результате исследования установлено, что композитные водоотводные системы обладают наиболее сбалансированным сочетанием прочностных, гидравлических и эксплуатационных характеристик по сравнению с традиционными решениями. Выявлено снижение конструктивной массы, повышение устойчивости к коррозии, химически агрессивным средам и циклам замораживания и оттаивания, а также увеличения нормативного срока службы. Проведенный сравнительный анализ показал снижения эксплуатационных затрат и повышение надежности водоотводных систем при их применении в городской среде и на автомобильных дорогах. Полученные результаты подтверждают целесообразность расширенного внедрения композитных водоотводных решений в практику современного транспортного и городского строительства.

**Ключевые слова:** композитные водоотводные системы; транспортная инфраструктура; городской водоотвод; дорожная одежда; композитные материалы; эксплуатационная надежность; расчетные нагрузки; долговечность конструкции.

## ВВЕДЕНИЕ

Современное развитие городской и транспортной инфраструктуры сопровождается устойчивым ростом требований к надёжности, долговечности и эксплуатационной эффективности элементов водоотвода. Поверхностные и подземные воды оказывают существенное влияние на состояние дорожных одежд, искусственных сооружений и прилегающих территорий, а недостаточная эффективность водоотводных систем является одной из ключевых причин преждевременного разрушения покрытий, деформации оснований и роста эксплуатационных затрат.

Традиционные решения в области линейного и точечного водоотвода, основанные на применении бетонных и металлических конструкций, несмотря на широкое распространение, обладают рядом ограничений. К ним относятся высокая масса элементов, подверженность коррозии, ограниченная стойкость к агрессивным средам, а также сложности монтажа и обслуживания. Эти факторы особенно критичны для объектов транспортной инфраструктуры, где водоотводные системы работают в условиях динамических нагрузок, циклического замораживания и оттаивания, воздействия реагентов против гололёда и транспортных вибраций. В этой связи всё более широкое применение находят композитные водоотводные системы, сочетающие в себе высокие прочностные характеристики, химическую и коррозионную стойкость, малый удельный вес и технологичность монтажа. Композитные материалы, основанные на полимерных связующих с минеральным наполнением, позволяют создавать конструкции с заданными эксплуатационными свойствами, адаптированными к конкретным условиям эксплуатации - от городских улиц и пешеходных зон до автомобильных дорог и транспортных развязок.

В рамках исследования были проанализированы современные подходы к применению композитных водоотводных систем в транспортной инфраструктуре. Также выполнен обзор действующей нормативной базы и зарубежных рекомендаций, регламентирующих требования к материалам,

конструкциям и условиям их эксплуатации.

Целью настоящей работы является анализ композитных водоотводных систем как эффективного и долговечного решения для объектов городской и транспортной инфраструктуры, а также обоснование целесообразности их применения с точки зрения нормативных требований, эксплуатационных характеристик и условий работы в различных климатических зонах. В рамках статьи рассматриваются конструктивные особенности композитных водоотводных элементов, требования действующих нормативных документов и предпосылки для их интеграции в современные инженерные решения.

### **ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПОЗИТНЫХ ВОДООТВОДНЫХ СИСТЕМ**

Проектирование композитных водоотводных систем представляет собой комплексный инженерный процесс, направленный на обеспечение эффективного отвода поверхностных и подповерхностных вод при одновременном сохранении прочности, устойчивости и долговечности

дорожных и городских конструкций. В отличие от традиционных решений, проектирование композитных элементов требует учёта не только гидравлических параметров, но и специфики работы полимерных и полимер-минеральных материалов под эксплуатационными нагрузками.

На начальном этапе выполняется анализ условий эксплуатации, включающий интенсивность транспортных нагрузок, климатические особенности района строительства, характеристики поверхностного стока и особенности планировочных решений. Для городских территорий особое значение имеет ограниченность пространства и необходимость интеграции водоотводных элементов в существующую застройку, тогда как для автомобильных дорог ключевыми факторами являются несущая способность системы и устойчивость к динамическим нагрузкам.

Следующим этапом является выбор типа композитной водоотводной системы и её конструктивной схемы. Композитные лотки и дренажные элементы подбираются с учётом класса нагрузки, глубины заложения, пропускной способности и условий сопряжения с дорожной одеждой. Особое внимание уделяется геометрии профиля лотка, которая должна обеспечивать устойчивый самотёк воды и минимизировать риск заиливания в процессе эксплуатации.

Расчётная часть проектирования включает определение водопропускной способности системы, проверку прочности элементов на действие вертикальных и горизонтальных нагрузок, а также оценку устойчивости конструкции в условиях температурных деформаций и циклического замораживания и оттаивания. Композитные материалы, обладая низким водопоглощением и высокой коррозионной стойкостью, позволяют снизить требования к дополнительной защите элементов, однако требуют корректного расчёта жёсткости и фиксации в теле конструкции.

Завершающим этапом проектирования является разработка узлов сопряжения водоотводной системы с дорожной одеждой, тротуарами и инженерными коммуникациями. Корректное конструктивное решение этих

узлов определяет долговечность всей системы и предотвращает локальные разрушения, связанные с неравномерными деформациями основания или подвижками покрытия.

## **ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ ВОДООТВОДНЫХ СИСТЕМ**

Применение композитных водоотводных систем в городской и транспортной инфраструктуре обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с традиционными бетонными и металлическими решениями. Одним из ключевых факторов является высокая долговечность композитных материалов, обусловленная их устойчивостью к коррозии, воздействию влаги, химически агрессивных сред и реагентов.

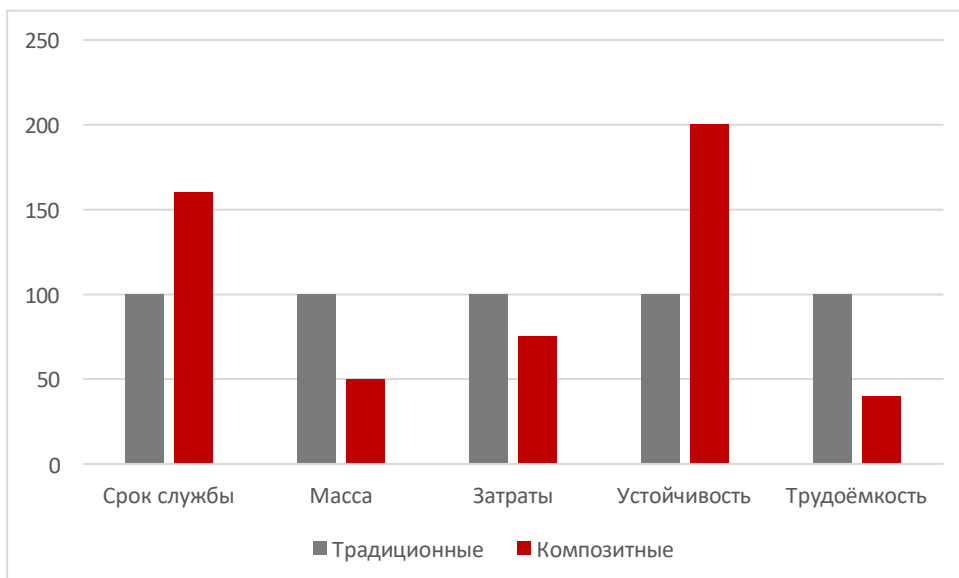
Снижение массы элементов по сравнению с бетонными аналогами упрощает транспортировку и монтаж, сокращает трудоёмкость строительных работ и снижает нагрузку на основание. Это особенно важно при

реконструкции существующих объектов, где применение тяжёлых конструкций может быть технологически затруднено. Кроме того, уменьшение массы элементов способствует сокращению сроков строительства и снижению общих затрат на устройство водоотводных систем.

Эксплуатационные преимущества композитных систем выражаются в снижении потребности в текущем ремонте и обслуживании. По данным обобщённого анализа реализованных проектов, применение композитных водоотводных лотков позволяет увеличить срок службы систем водоотвода в среднем на 25 - 40 % по сравнению с традиционными решениями, а также снизить эксплуатационные затраты на 20 - 30 % за счёт уменьшения объёма ремонтных работ.

Дополнительным преимуществом является стабильность гидравлических характеристик на протяжении всего жизненного цикла. Гладкая внутренняя поверхность композитных элементов способствует снижению гидравлического сопротивления и уменьшает вероятность накопления отложений, что положительно сказывается на пропускной способности системы даже при длительной эксплуатации.

Сравнительный анализ традиционных и композитных водоотводных систем целесообразно представить в виде схемы или диаграммы, отражающей различия по ключевым параметрам: срок службы, масса элементов, трудоёмкость монтажа и уровень эксплуатационных затрат. Такая визуализация позволяет наглядно продемонстрировать эффективность применения композитных технологий в условиях современной городской и транспортной инфраструктуры.



*Рисунок 1. Сравнительная схема эксплуатационных показателей традиционных и композитных водоотводных систем, приведенных в относительных значениях (%)*

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ ВОДООТВОДНЫХ СИСТЕМ

Таблица 1. Сравнительный анализ материалов водоотводных систем.

<b>Критерий оценки</b>	<b>Бетонные водоотводные элементы</b>	<b>Металлические водоотводные элементы</b>	<b>Композитные водоотводные элементы</b>
Конструктивная масса и влияние на основание	Значительная масса, увеличивающая нагрузку на основание и требующая усиленных конструкций	Средняя масса, допускающая применение без усиления основания в ряде случаев	Малая масса, минимально влияющая на напряжённое состояние основания
Коррозионная и химическая стойкость	Не подвержены коррозии, но чувствительны к химическому воздействию реагентов	Подвержены коррозии, требуют защитных покрытий и регулярного обслуживания	Высокая стойкость к коррозии и химически агрессивным средам
Водопоглощение и морозостойкость	Наличие водопоглощения, риск разрушения	Водопоглощение отсутствует, но возможна	Минимальное водопоглощение, высокая

	при циклах замораживания	коррозия при увлажнении	устойчивость к морозным воздействиям
Несущая способность и работа под нагрузкой	Высокая прочность, хрупкий характер разрушения	Высокая прочность, пластический характер деформаций	Высокая прочность при оптимальном соотношении жёсткости и упругости
Технологичность монтажа	Высокая трудоёмкость, необходимость применения подъёмной техники	Средняя трудоёмкость, требования к точности установки	Низкая трудоёмкость, упрощённый монтаж без тяжёлой техники
Гидравлические характеристики	Средние, шероховатая поверхность способствует заиливанию	Средние, зависят от состояния поверхности	Высокие, гладкая внутренняя поверхность снижает гидравлическое сопротивление
Эксплуатационная надёжность	Снижается при воздействии влаги и реагентов	Зависит от состояния антикоррозионной защиты	Стабильна в течение всего срока службы
Ориентировочный срок службы	20 - 30 лет	15 - 25 лет	30 - 50 лет

Бетонные водоотводные элементы обладают высокой несущей способностью, однако их значительная масса оказывает дополнительную

нагрузку на основание и усложняет монтаж. Наличие водопоглощения и чувствительность к воздействию реагентов против гололёда приводят к снижению долговечности, особенно в условиях интенсивной эксплуатации и повторяющихся циклов замораживания и оттаивания.

Металлические водоотводные системы характеризуются высокой механической прочностью и способностью воспринимать динамические нагрузки, однако их эксплуатационная надёжность в значительной степени зависит от состояния антикоррозионной защиты. В условиях постоянного увлажнения и воздействия солей возрастает риск коррозионных повреждений, что требует регулярного технического обслуживания и приводит к увеличению эксплуатационных затрат.

Композитные водоотводные элементы демонстрируют наиболее сбалансированное сочетание эксплуатационных характеристик. Малая конструктивная масса снижает влияние на основание и упрощает интеграцию системы в конструкцию дорожной одежды. Минимальное водопоглощение, и высокая химическая стойкость обеспечивают стабильность свойств материала в течение всего жизненного цикла, включая эксплуатацию в агрессивных средах и сложных климатических условиях.

Дополнительным преимуществом композитных материалов являются улучшенные гидравлические характеристики, обусловленные гладкой внутренней поверхностью элементов. Это снижает вероятность заиливания и позволяет сохранять расчётную водопропускную способность без необходимости частых очистных мероприятий. В совокупности данные факторы обеспечивают увеличение межремонтных сроков и снижение совокупных затрат на содержание водоотводных систем.

Механические особенности композитных материалов, применяемых в водоотводных системах, наглядно иллюстрируются сравнительными диаграммами «напряжение – относительное удлинение» (рисунок X). В отличие от стали, характеризующейся выраженной пластической деформацией при сравнительно низких уровнях напряжений, композиционные материалы (стеклопластик, базальтопластик, углепластик) демонстрируют значительно более высокий предел прочности при малых относительных деформациях. Это свидетельствует о высокой жёсткости и способности композитов эффективно воспринимать эксплуатационные нагрузки без изменения геометрии элементов.

Данная особенность соответствует условиям работы водоотводных систем, где приоритетными являются сохранение формы, стабильность положения элементов и отсутствие остаточных деформаций в процессе эксплуатации. Композитные материалы не рассчитаны на работу в режиме значительных пластических деформаций, однако при корректном проектировании и выборе класса нагрузки они обеспечивают надёжную и

долговечную работу конструкций, что подтверждает целесообразность их применения в составе городской и транспортной инфраструктуры.

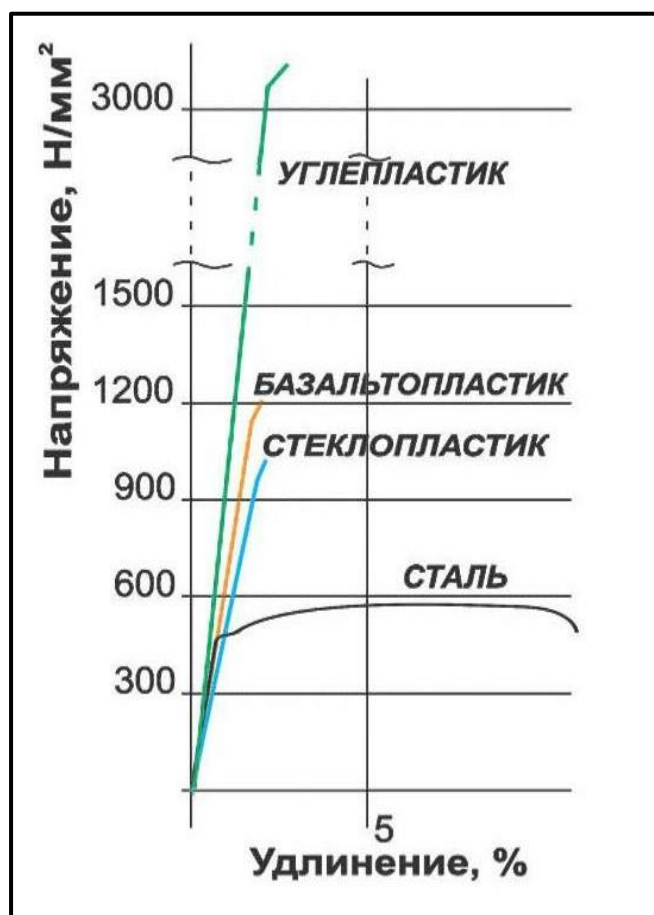


Рисунок 2. Сравнительная диаграмма «напряжение – относительное удлинение» для стали и композиционных материалов

## ОСОБЕННОСТИ КОМПОЗИТНЫХ ВОДООТВОДНЫХ СИСТЕМ

Применение композитных водоотводных систем в городской среде характеризуется рядом специфических требований, связанных с плотной застройкой, ограниченным пространством и высокой насыщенностью инженерных коммуникаций. В таких условиях особую роль играет компактность элементов, возможность их интеграции в существующие конструкции и минимизация вмешательства в окружающую инфраструктуру. Композитные лотки, обладая малой массой и высокой технологичностью, позволяют выполнять монтаж без использования тяжёлой подъёмной техники, что снижает влияние строительных работ на городскую среду.

Для городских улиц, пешеходных зон и территорий общественного назначения важным фактором является устойчивость водоотводных систем к химически агрессивным воздействиям, в том числе к реагентам. Композитные

материалы демонстрируют высокую стойкость к таким воздействиям, что обеспечивает сохранение эксплуатационных характеристик и внешнего вида элементов в течение длительного времени. Дополнительным преимуществом является возможность применения различных декоративных решёток и архитектурных решений без снижения прочности конструкции.

На автомобильных дорогах основное значение приобретают несущая способность и устойчивость водоотводных систем к динамическим нагрузкам от транспортных средств. Композитные водоотводные лотки применяются в

составе дорожной одежды при условии корректного выбора класса нагрузки и надёжного закрепления элементов в конструкции. Их использование позволяет снизить риск разрушения кромок покрытия и образования локальных дефектов, связанных с неэффективным отводом воды из зоны контакта колеса с покрытием.

В условиях сложных природно-климатических факторов, включая районы с сезонным промерзанием или вечной мерзлотой, композитные системы демонстрируют повышенную устойчивость к температурным деформациям и циклическим воздействиям. Отсутствие коррозии и минимальное водопоглощение позволяют снизить вероятность повреждений, вызванных морозным пучением и повторяющимися циклами замораживания и оттаивания.

## **РАСЧЕТНЫЕ НАГРУЗКИ И КЛАССЫ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ ВОДООТВОДНЫХ СИСТЕМ**

*Таблица 2. Расчетные нагрузки и классы применения.*

<b>Класс эксплуатации нагрузки</b>	<b>Характер нагрузки и условий работы</b>	<b>Типовые зоны применения</b>	<b>Обеспечение устойчивости к локальным нагрузкам, минимальная глубина заложения</b>
Низкие нагрузки	Пешеходное движение, отсутствие транспортных нагрузок	Пешеходные зоны, тротуары, парки, дворовые территории	Обеспечено устойчивости к локальным

			нагрузкам, минимальная глубина заложения
Средние нагрузки	Периодическое движение легкового транспорта	Внутриквартальн ые проезды, прилегающие.	Повышенная жёсткость корпуса, надёжная фиксация в основании
Повышенные нагрузки	Постоянное движение легкового и периодическое движение грузового транспорта	Городские улицы, второстепенн ые автомобильн ые дороги	Усиленное обрамлени е, перераспределен ие нагрузок на основание
Высокие нагрузки	Интенсивное движение грузового транспорта, динамические воздействия	Магистральны е улицы, автомобильны е дороги общего пользования	Высокая несущая способность, расчёт на динамические нагрузки
Особые условия эксплуатаци и	Температурные деформации, промерзание, агрессивная среда	Районы с суровым климатом, вечная мерзлота, промышленные	Устойчивость к морозному пучению, химической агрессии и циклическим

		зоны	воздействиям
--	--	------	--------------

Представленная классификация отражает необходимость дифференцированного подхода к выбору композитных водоотводных систем в зависимости от характера и интенсивности эксплуатационных нагрузок. Для пешеходных зон и территорий с низкой нагрузкой приоритетными становятся

компактность элементов и удобство монтажа, при этом требования к несущей способности носят ограниченный характер.

В условиях городских улиц и парковочных зон возрастает значение равномерного распределения нагрузок и надёжного сопряжения водоотводных элементов с дорожной одеждой. Композитные материалы позволяют обеспечить требуемую прочность при меньшей массе конструкции, что снижает риск деформаций основания и локальных разрушений покрытия.

На автомобильных дорогах с интенсивным движением транспортных средств ключевым фактором становится устойчивость водоотводных систем к динамическим нагрузкам. Композитные лотки при правильном выборе класса нагрузки и конструктивного решения способны эффективно воспринимать такие воздействия без возникновения остаточных деформаций, что особенно важно в зонах кромки проезжей части.

В особых условиях эксплуатации, включая районы с сезонным или многолетним промерзанием грунтов, композитные системы демонстрируют дополнительные преимущества. Минимальное водопоглощение, и высокая химическая стойкость позволяют снизить негативное влияние морозного пучения и агрессивных сред, обеспечивая стабильность геометрии и функциональных характеристик системы.

## **СРАВНЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИТНОГО И БЕТОННОГО ВОДООТВОДА**

Проведем сравнение основных физико-механических характеристик двух материалов:

1. Прочность на сжатие ( $R_{сж}$ ) определяет способность лотка выдерживать вертикальную нагрузку при проезде транспортных средств и проходе пешеходов.

$$R_{сж} = \frac{P}{F} \quad (1)$$

Где:

$P$  – разрушающая нагрузка;

$F$  – начальная площадь поперечного сечения образца.

- Бетон (класс В30):  $R_{сж} = 30$  МПа (расчетное сопротивление для тяжелого бетона).
- Композит:  $R_{сж} = 120 – 200$  МПа (за счет полимерной матрицы композит работает как монолит и равномерно распределяет напряжение).

Исходя из вышеуказанного, можно говорить об абсолютном превосходстве композита над бетоном по части прочности на сжатие.

2. Прочность на изгиб при растяжении ( $R_{bt}$ ) является критически важным параметром для лотков, испытывающих динамические нагрузки от колес и температурные перепады (морозное пучение грунта).

$$R_{bt} = \frac{3Pl}{2bh^2} \quad (2)$$

Где:

$P$  – разрушающая нагрузка;

$l$  – расстояние между опорами балочки;

$b$  – ширина балочки;

$h$  – высота балочки.

- Бетон (класс В30):  $R_{bt} = 1.15$  МПа (крайне низкая прочность на изгиб при растяжении, для повышения требуется сложное армирование, которое повышает стоимость и вес лотка).
- Композит:  $R_{bt} = 40 – 60$  МПа (Армирующие волокна хорошо работают на растяжение, что делает материал в 30 – 50 раз более устойчивым к изгибу, чем неармированный бетон).

Можно сделать вывод о том, что композитные системы, из-за своей структуры, включающей армирующие волокна, имеют лучшие характеристики, чем неармированный бетон.

3. Модуль упругости ( $E$ ) и жесткость определяют способность материала деформироваться и возвращаться в исходную форму.

$$E = \frac{Fl}{S\Delta l} \quad (3)$$

Где:

$F$  – сила упругости;

$l$  – длина образца до растяжения;

$S$  – площадь поперечного сечения образца;

$\Delta l$  – приращение длины образца.

- Бетон (класс В30):  $E_b = 32 * 10^3$  МПа (высокий модуль упругости говорит о высокой хрупкости и большой жесткости материала, которые не благоприятно сказываются на системах, работающих в подвижных грунтах).
- Композит:  $E_c = 12 * 10^3$  МПа (более низкий модуль упругости говорит о большей гибкости материала и способности его деформироваться вместе с грунтом без разрушения).

Композит имеет большую приспособленность к передвижениям грунта, из-за своей большей эластичности, в отличие от бетона.

4. Коэффициент шероховатости ( $n$ ), от которого зависит пропускная способность лотка водоотвода.

$$v = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times i^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Где:

$n$  – коэффициент шероховатости;

$R$  – гидравлический радиус;

$i$  – гидравлический уклон;

$v$  – средняя скорость потока.

- Бетон (класс В30):  $n = 0,014 - 0,017$  (со временем шероховатость увеличивается из-за истирания и обрастания, что ведет к уменьшению скорости потока и следовательно – к уменьшению пропускной способности лотка).
- Композит:  $n = 0,009 - 0,011$  (меньшая шероховатость свидетельствует о более гладкой внутренней поверхности, что ведет к увеличению скорости потока примерно на 15 – 20% при

одинаковом уклоне и позволяет использовать лотки меньшего сечения при той же пропускной способности).

Из-за меньшего трения композитный материал позволяет уменьшить поперечное сечение лотков при том же расходе, что уменьшает стоимость конструкции.

5. Морозостойкость (F) характеризует способность материала сохранять свои первоначальные свойства ( $R_{сж}$ ) после определенного числа циклов замораживания и оттаивания, морозостойкость определяется коэффициентом морозостойкости ( $K_{мрз}$ ), который должен после определенного числа циклов остаться в нормальных пределах.

$$K_{мрз} = \frac{R_{мрз}}{R_{20}} \quad (5)$$

Где:

$R_{мрз}$  – предел прочности при сжатии образцов после заданного количества циклов заморозки и разморозки

$R_{20}$  – предел прочности образца при сжатии при температуре 20 °С

- Бетон (класс В30): F = 200 – 300 циклов (при нарушении водонасыщения происходит скол защитного слоя и коррозия арматуры, что ведет к разрушению.
- Композит: F = более 500 циклов (из-за минимального водопоглощения (<0,5%) почти исключает возможность попадания воды внутрь материала и разрушения его изнутри).

Композит почти не подвержен перепадам температур и поэтому может быть использован в местах с агрессивным температурным воздействием.

6. Масса (m) и монтаж являются очень важными характеристиками при выборе материала, ведь иногда монтаж должен производиться в стесненных условиях.

$$m = \rho V \quad (6)$$

Где:

$\rho$  – плотность;

$V$  – объем.

- Бетон (класс В30):  $\rho = 2400 \text{ кг/м}^3$  (масса одного погонного метра типового лотка (300x300 мм) составляет около 180 – 200 кг, для монтажа такого лотка требуется грузоподъемная техника).
- Композит:  $\rho = 1800 - 1900 \text{ кг/м}^3$  (масса того же погонного метра будет сильно ниже, чем у бетона – от 40 до 50 кг, из-за меньшего объема лотка из композитного материала той же длины).

Таким образом композитный лоток будет гораздо легче, чем бетонный, поэтому может быть установлен без помощи специализированной погрузочной техники, что снижает стоимость монтажных работ.

7. Долговечность влияет на количество ремонтов и стоимость конструкции соответственно.

- Бетон (класс В30): нормативный срок службы 20 – 25 лет (потребуется ремонт через 10 – 15 лет из-за сколов кромок).
- Композит: заявленный срок службы составляет 50 – 100 лет (отсутствие коррозии и морозного разрушения обеспечивают практическое отсутствие ремонтов в течение срока эксплуатации).

Начальная более высокая стоимость композитного водоотвода компенсируется меньшим количеством ремонтов и большим сроком службы в отличие от бетонного.

*Таблица 3. Сравнение основных характеристик бетонного и композитного водоотводов.*

Характеристика	Бетонный водоотвод	Композитный водоотвод
----------------	--------------------	-----------------------

Материалы	Цемент, песок, щебень, стальная арматура, добавки	Полиэфирные смолы, композитные смолы, стекловолокно, базальт, песок
Прочность на сжатие	30-60 МПа	120-200 МПа
Прочность на изгиб	1,0-1,6 МПа	40-60 МПа
Водопоглощение	3-6 %	< 0,5 %
Морозостойкость	F = 200-300 циклов	F = 500 и более циклов
Коэффициент шероховатости	0,014-0,017	0,009-0,011
Масса погонного метра	150-250 кг	40-60 кг
Стойкость к реагентам	Низкая	Высокая
Ремонтопригодность	Сложная	Простая
Срок службы	20-25 лет	50-100 лет
Стоимость (начальная)	Средняя	Высокая
Стоимость (жизненный цикл)	Высокая	Низкая

Исходя из всего вышеперечисленного можно сделать вывод о том, что выбор бетонных лотков для водоотводной системы оправдан лишь в случаях:

- Строгих бюджетных ограничений на этапе строительства
- Обустройства больших кюветов, требующих массивных конструкций
- Наличия собственного производства железобетонных изделий недалеко от места строительства

В остальных случаях целесообразнее и выгоднее будет использовать композитные водоотводные системы, из-за ряда преимуществ, включающих меньшую стоимость в перспективе, лучшие защитные качества, лучшие прочностные качества и более легкой эксплуатации, и монтажа.

Для транспортного строительства также решающим фактором является минимизация расходов.

$$C_{\text{итог}} = C_{\text{кап}} + C_{\text{экс}} \times T \quad (7)$$

Где:

$C_{\text{итог}}$  – суммарные затраты на постройку и содержание конструкции в течение срока эксплуатации;

$C_{\text{кап}}$  – капитальные затраты на постройку;

$C_{\text{экс}}$  – затраты на эксплуатацию;

$T$  – предполагаемое время эксплуатации.

Несмотря на более высокие  $C_{\text{кап}}$  у композитных водоотводов на 30-35 %, его  $C_{\text{экс}}$  стремятся к нулю, что делает композитные системы финансово выигрышными на нормативный срок службы дороги (24 года по ГОСТ 52766-2007) по сравнению с бетонными конструкциями.

## **ОБСУЖДЕНИЕ**

Полученные в рамках исследования результаты подтверждают целесообразность применения композитных водоотводных систем в составе городской и транспортной инфраструктуры. Проведённый сравнительный анализ материалов, конструктивных решений и условий эксплуатации показывает, что композитные элементы обладают рядом устойчивых преимуществ по сравнению с традиционными бетонными и металлическими водоотводными системами.

В первую очередь следует отметить, что высокая прочность композитных материалов при малых деформациях обеспечивает стабильность геометрии водоотводных элементов в процессе эксплуатации. Это особенно важно для зон с повышенными транспортными нагрузками, где нарушение формы водоотводных лотков может приводить к локальному разрушению

дорожного покрытия и ухудшению условий водоотвода. В отличие от металлических систем, эксплуатационная надёжность композитов не зависит от состояния антикоррозионной защиты, а по сравнению с бетонными элементами они менее чувствительны к воздействию влаги и реагентов против гололёда.

Анализ классов нагрузок и зон применения показал, что композитные водоотводные системы обладают высокой универсальностью и могут эффективно применяться как в условиях городской застройки, так и на автомобильных дорогах различного функционального назначения. При этом ключевым фактором остаётся корректный выбор класса нагрузки и соблюдение технологических требований при монтаже. Недостаточная фиксация элементов или ошибки при подготовке основания способны нивелировать преимущества материала, что подчёркивает важность комплексного подхода к проектированию.

Следует отметить, что применение композитных водоотводных систем требует адаптации традиционных проектных решений и более внимательного подхода к узлам сопряжения с дорожной одеждой. В ряде случаев это может потребовать уточнения расчётных методик и накопления дополнительной практики эксплуатации. Тем не менее, анализ действующей нормативной базы и зарубежного опыта показывает, что данные ограничения носят технологический, а не принципиальный характер и могут быть устранены по мере расширения практики применения композитных решений.

В целом, результаты исследования согласуются с современными тенденциями развития транспортного строительства, ориентированными на повышение долговечности сооружений, снижение эксплуатационных затрат и внедрение материалов с прогнозируемыми характеристиками на протяжении всего жизненного цикла.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрены особенности применения композитных водоотводных систем как эффективного и долговечного решения для городской и транспортной инфраструктуры. Проведённый анализ показал, что композитные материалы превосходят традиционные бетонные и металлические решения по совокупности эксплуатационных, технологических и экономических показателей.

Установлено, что ключевыми преимуществами композитных водоотводных систем являются высокая прочность при малых деформациях, устойчивость к воздействию влаги и химически агрессивных сред, а также снижение трудоёмкости монтажа и эксплуатационных затрат. Данные свойства обеспечивают стабильность геометрии элементов и увеличение межремонтных сроков при эксплуатации в условиях интенсивных транспортных нагрузок и сложных климатических факторов.

Анализ зон применения и классов нагрузок показал, что композитные водоотводные системы могут эффективно использоваться как в городской среде, так и на автомобильных дорогах различного назначения при условии корректного проектирования и соблюдения технологических требований. Это делает их универсальным инженерным решением, отвечающим современным требованиям к надёжности и долговечности транспортных сооружений.

Таким образом, применение композитных водоотводных систем является перспективным направлением развития инженерных решений в области дорожного и городского строительства. Дальнейшие исследования целесообразно направить на уточнение расчётных методик, разработку унифицированных проектных рекомендаций и анализ результатов длительной эксплуатации таких систем в различных природно-климатических условиях.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ICC-ES AC243 — Acceptance Criteria for Composite Foundation Drainage Systems
2. СП 445.1325800.2023 - Водопрпускные трубы и системы водоотвода в районах вечной мерзлоты. Правила проектирования
3. СТО 32465249-001-2015 - Подвесные, карнизные (фасадные) и автодорожные водоотводные лотки, воронки водосточных систем и карнизные блоки
4. Прогнозирование эффективности конструкций водоотводных лотков из композитного материала методом квалиметрической оценки патентных решений в авторстве Васюткина Е.С.
5. Перспективные решения и технологии на основе композитных материалов для строительства, содержания и ремонта мостовых сооружений в авторстве Орешкина Д.А.
6. Structural Design Guidelines for Porous Asphalt Pavements - NAPA