

## Анализ аварийных ситуаций строительных конструкций и технология их устранения при строительстве тоннелей

*Л.В. Левицкая<sup>3</sup>, Л.С. Сабитов<sup>1,2</sup>, В.А. Гарькина<sup>3,4</sup>,  
Ф.М. Ахметов<sup>5</sup>, Э.С. Сибгатуллин<sup>5</sup>*

<sup>1</sup> Казанский государственный энергетический университет,

<sup>2</sup> Московский государственный строительный университет,

<sup>3</sup> Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)

<sup>4</sup> Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

<sup>5</sup> Набережночелнинский институт Казанского федерального университета

**Аннотация.** Определяются технические решения, направленные на предотвращение и устранение последствий аварийных ситуаций в практике тоннелестроения (в части прокладки инженерных коммуникаций или метрополитена). Технические решения приводятся с учетом их выполнения условиях строящихся и эксплуатируемых сооружений, отличающихся повторяемым и прогнозируемым характером возникновения.

**Ключевые слова:** строительные конструкции, технология, ремонтные работы, подземные коммуникации, тоннель, метростроение

Аварийные и чрезвычайные ситуации возникают вследствие конструктивных недостатков оборудования, недостаточной его надежности, несоответствия оборудования и материалов требованиям нормативной и проектной документации. Основными причинами аварийных ситуаций являются:

- стремление к максимализации прибыли;
- агрессивность окружающей среды;
- недостаточная согласованность между проектировщиками, строителями и эксплуатацией.

Несмотря на то, что аварийные ситуации в строящихся и эксплуатируемых тоннелях проявляются по-разному, основными из них являются:

- ошибки, вызванные недостаточной квалификацией или небрежностью в работе изыскателей, проектировщиков, строителей;

- нарушения режимов, норм и параметров, установленных правилами безопасности, инструкциями, руководствами, нормативными документами;
- несвоевременное проведение осмотров и ремонтных работ.

Ошибки при изысканиях проистекают в основном из-за неполного объема разведочных работ и геотехнических исследований, и неадекватной оценки геотехнической ситуации. Ошибки при проектировании связаны с принятием неудачных конструктивных и технологических решений, несоответствием расчетных схем тоннельных конструкций действительным, нарушением требований нормативных документов. Ошибки при строительстве сводятся к низкому качеству производства тоннелестроительных работ, использованию дефектных материалов и изделий, нарушению проектных параметров и требований технических условий. Ошибки при эксплуатации заключаются в несвоевременном и недостаточно полном проведении обследований, ремонта и реконструкции тоннелей, в нарушении штатных режимов вентиляции, освещения, водоотвода, правил безопасной эксплуатации сооружения [1,2].

подавляющее большинство аварий в строящихся и эксплуатируемых тоннелях обусловлено недостаточным учетом или неверной оценкой многочисленных определяющих факторов, которые могут быть объединены в две большие группы:

Аварийные ситуации, характерные для метро- и тоннелестроения:

- прорыв грунтовых вод через разведывательные инженерно-геологических скважины, а также из водоносных пластов приводящие к затоплению котлована;
  - суффозия грунта через крупные фильтрующие дефекты ограждающих конструкции котлована, приводящие к затоплению котлована или уложенной лотковой плиты;
  - прорыв грунтовых вод при разработке котлована;
-

– течи подземных вод и вызванные ими вымывание фундамента и просадки сооружения;

<b>Природные, геотехнические</b>	<b>Техногенные</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- состав и свойства грунтов и условия их залегания;</li><li>- режим и свойства подземных вод;</li><li>- физико-геологические процессы и явления (тектонические, сейсмические, карстово-суффозионные, геотермические)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- изменение напряженно-деформированного состояния грунтового массива вследствие вскрытия котлованов, проходки соседних подземных выработок;</li><li>- естественное или искусственное понижение, или повышение уровня грунтовых вод в районе строящегося или эксплуатируемого тоннеля;</li><li>- нарушение технологического режима проходки тоннеля;</li><li>- нарушение режима эксплуатации тоннеля</li></ul>

– прорыв грунтовых вод или плывуна при сооружении и эксплуатации сборных тоннелей закрытого способа работ приводящая к частичной деформации сборной обделки и активным водопроявлениям через конструктивные элементы тоннеля;

– некачественное выполнение тампонажных работ, приводящие к деформациям сборной обделки из высокоточных железобетонных блоков;

– обрушение слабого и неустойчивого грунтового массива при проходке тоннеля горным способом;

– поступление в строящихся тоннелях закрытого способа работ горючих веществ (бензина, керосина, нефти и т.п.);

– обводнение тоннелей открытого способа работ в случае повреждения наружного гидроизоляционного покрытия, не имеющего адгезионного закрепления непосредственно на внешних изолируемых поверхностях ограждающих конструкций обделки подземного сооружения [3,4];

– физический износ аварийного характера обделки транспортных тоннелей старой постройки (коррозия, сколы, трещины и сколы, течи и т.п. чугунных тубингов, бетонных и железобетонных обделок с частичной потерей несущей способности);

– экстремальные напорные водопроявления через швы (трещины);

– интенсивный водоприток через крупные фильтрующие дефекты и повреждения ограждающих конструкций тоннельных сооружений из монолитного и сборного железобетона;

– повреждения, вызванные путем непредвиденного механического воздействия на тоннельные обделки на стадии строительства и эксплуатации;

– частичная деформация и потеря несущей способности железобетонных конструкций подземных и наземных сооружений метрополитена .

Технологические решения и рекомендации по предотвращению аварийных ситуаций

Комплекс ремонтно-восстановительных и специальных работ по устранению аварийных ситуации в сооружениях из железобетона, как правило, включает в себя выполнение ремонтно-восстановительных работ, по устранению сопутствующих поверхностных и объемных повреждений и дефектов бетонного основания [5,6].

Герметизация рабочих швов и примыканий конструкций тоннельных обделок методом инъектирования через систему инъекционных шлангов  
Общие условия для инъектирования:

---

- необходимо знать и учитывать расположение в бетонной конструкции закладных элементов, арматуры, стальных конструкций, труб, кабелей и так далее;

- рабочая зона должна быть защищена от пыли и воды;

- дефекты на поверхности бетона должны быть отремонтированы;

- необходимо учитывать, является ли трещина активной (дышащей) при приложении временных или температурных нагрузок, или неактивной, то есть не меняет раскрытие при приложении нагрузок, а также влажностное состояние трещины, ширина ее раскрытия и глубина распространения;

- необходимо использовать насосы исходя из технико-экономических показателей и в зависимости от объема предстоящих работ и сроках проведения работ.

Предотвращение водопроявлений с применением Инжект-системы выполняется при помощи перфорированного инъекционного шланга, через который производится заполнение швов инъекционными материалами, обеспечивая тем самым их структурное уплотнение, упрочнение и водонепроницаемость [7,8].

Свойства:

- простота сборки и монтажа системы в зависимости от геометрического размера строительного объекта, формы и направления швов;

- сборка системы осуществляется сегментами с длиной инъекционного шланга не более 10 метров;

- при возникновении протечки инъектирование производится только через соответствующий ей сегмент Инжект-системы;

- система готова к инъектированию в любой момент после набора бетона марочной прочности (через 28 суток);

---



- при использовании метакрилатных гелей возможно многократное инъектирование;

- возможность монтажа в зимнее время года.

Области и особенности применения:

- остановка поступления воды, в том числе и напорной, во время эксплуатации зданий и сооружений;

- гидроизоляция, структурное уплотнение, склеивание рабочих швов бетонирования, проходов коммуникаций и стыков разнородных материалов;

- герметизация рабочих швов и примыканий через заложенную заранее систему инъекционных шлангов, проводят только на участках с водопроявлениями;

- при возобновлении протечек возможно повторное её использование;

- возможность применения с гидроизоляционными шпонками

Элементы инъекционного сегмента:

- перфорированный инъекционный шланг длиной до 10 метров;

- прозрачный инъекционный шланг для подачи материала.

Устанавливается с двух сторон инъекционного шланга;

- коннекторы для соединения шлангов (2 шт.);

- коммуникационная коробка или опалубочные пакеры для вывода шлангов для подачи материалов на поверхность конструкции;

- хомуты для механического крепления инъекционного шланга к конструкции. Устанавливаются с шагом не более 250 мм.

Подготовка системы к применению:

- перфорированный инъекционный шланг нарезается на определённые сегменты с учётом перехлёста между ними (не менее 100 мм);

- производится сборка сегмента. К перфорированному инъекционному шлангу при помощи коннекторов с двух сторон

---

присоединяются шланги для подачи материала. Их длина зависит от выбора мест вывода шлангов на поверхность конструкции.

Монтаж Инжект-системы:

- Инжект-система крепится по рабочим швам бетонирования на расстоянии не менее чем 80 мм до поверхности конструкции;
- перфорированный инъекционный шланг крепится к основанию с шагом не более чем 250 мм. Не допускается зазор между шлангом и конструкцией;
- шланги для подачи материалов выводятся в заранее определённые места и закрепляются в коммуникационных коробках или в опалубочных пакерах;
- следующий сегмент укладывается с перехлёстом 100 мм и на расстоянии не менее 50 мм.

При бетонировании конструкции Инжект-система не должна сместиться относительно своего первоначального положения. Для недопущения этого сначала шланг заливается бетоном небольшим слоем бетона с минимально возможной высоты. После этого заливается остальной бетон. Бетон должен быть качественно провибрирован.

Инъектирование шва бетонирования:

- определяется необходимый сегмент инъектирования инжект системы;
  - в шланг для подачи материала устанавливается конусовидный пакер;
  - приготавливается инъекционный материал;
  - при помощи инъекционного насоса заполняется сегмент инъекционного шланга до выхода материала из противоположной стороны;
  - установка конусовидного пакера с противоположной стороны.
  - инъектирование сегмента поочередно с двух сторон до выхода материала из шва или достижения рабочего давления при инъектировании.
-

При инъектировании метакрилатным гелем сразу после инъектирования сегмент Инжект-системы промывается водой [9,10].

Применение инъекционных шлангов при реконструкции тоннеля старой постройки путем устройства вторичной усиливающей обделки из монолитного железобетона. После нанесения на реконструируемую обделку выравнивающего слоя и гидроизоляционного покрытия по нему необходимо:

- произвести монтаж Инжект-системы в центре арочной части тоннеля;
- установить арматурный каркас и опалубку;
- произвести заливку бетона;
- снять опалубку после технологического перерыва;
- выполнить заполнение пустот арочной части через систему инъекционных шлангов составом на цементной основе (допускается также применение составов на полимерной основе) для заполнения пустот

Ликвидация водопроявлений на стадии эксплуатации, в случае появления протечек в местах заложения системы шлангов, осуществляется с помощью двухкомпонентного эластичного низковязкого полиуретанового состава из группы не конструкционного адгезионно-герметизирующего замыкания.

Предотвращение аварийной деформации перегонного тоннеля при сооружении: нагнетание за обделку тампонажных растворов. Заполнение строительного зазора между обделкой тоннеля и грунтом тампонажным раствором предназначено для:

- обеспечения геометрической неизменности обделки;
  - совместной работы с окружающим грунтом, препятствия деформации обделки и окружающего массива;
  - повышения качества гидроизоляции обделки;
-

– создания дополнительной защиты обделки от коррозионного воздействия грунтов и грунтовых минерализованных вод, содержащих агрессивные по отношению к бетону и арматуре вещества (сульфаты, хлориды, органические вещества, включая, бактерии, микроорганизмы), что характерно для сооружения коллекторных тоннелей в городской черте и загрязнение грунтов водами при прорыве коммуникаций.

При проведении работ по нагнетанию раствора за обделку следует иметь в виду, что данный процесс (давление подачи и объем подаваемого раствора в конкретные места кольца обделки) оказывает определенное управляющее действие при ведении щита по трассе и при неправильно выбранном режиме может вызвать его отклонение.

Нагнетание раствора за обделку необходимо производить одновременно по обе стороны кольца в два симметрично расположенных отверстия (нижние или верхние) в зависимости от отклонений движения щита от трассы через отверстия в блоках ранее смонтированного кольца и выходящего из щитовой оболочки при перемещении его на очередную захватку (ширину блока). Решение принимает сменный инженер или оператор щита.

Оценка напряженно-деформированного состояния обделки производится на основе маркшейдерского контроля положения колец относительно проекта и величины диаметров каждого кольца.

Применение уплотнительной инъекции в зоне входа/выхода ТПМК.

Для предотвращения выноса обводненной грунтовой массы при входе/выходе ТПМК в котлован следует предусмотреть создание уплотняющего кольца и других способов создания пригруза за ограждающей стеной котлована.

При входе/выходе ТПМК контур реза щита имеет больший диаметр по отношению к телу машины и высокоточной обделки тоннеля, в зоне

---

водонасыщенных грунтов с целью предотвращения выноса грунта внутрь котлована и безаварийного ведения работ, необходимо произвести предварительное нагнетание двухкомпонентных полиуретановых смол, специально разработанных для быстрой остановки воды в осложненных условиях, для устройства герметизирующего контура.

Предотвращение затопления строящегося котлована при разработке грунта.

Укрепление и увеличение водонепроницаемости грунта под возводимым фундаментом, когда грунты под фундаментом составлены мелкими пылеватыми песками с плавунными свойствами осуществляется путем инъекционного нагнетания акрилатного геля или его аналога на проектную глубину песчаного грунта по технологии манжетных колонн. В результате нагнетания увеличиваются механические характеристики и водонепроницаемость консолидированного грунта.

Последовательность выполнения основных работ:

- произвести разметку для бурения скважин на заданном участке. Скважины располагаются в шахматном порядке, расстояние между рядами 1500 мм, расстояние между соседними скважинами в одном ряду 1730 мм;
  - произвести бурение скважин диаметром 80 мм. Скважины бурятся под углом 90° к поверхности на проектную глубину закрепления песчаного грунта через вышерасположенный слой суглинка;
  - установить в скважины пластиковые манжетные колонны диаметром 50 мм, шаг следования манжет 300-500 мм. В которых опускаются гидравлические пакеры принудительно-разжимного типа;
  - зазор между манжетной колонной и грунтом заполнить обойменным раствором. Обойменный раствор выполняет функцию замка манжетной колонны, который не позволяет инъекционному составу утекать вдоль колонны. Обойма должна иметь низкую структурную прочность (до
-

0,1 МПа на сжатие). В момент подачи состава в зону определенной манжеты, манжета деформируется и в обойменном материале возникают поперечные трещины, которые и являются каналами доставки акрилатного геля в грунт. В качестве обойменного раствора рекомендуется применять цементно-бентонитовый раствор (цемент / бентонит / вода = 1,0 / 0,2 / 0,8);

- выдержать технологический перерыв, не менее 3 суток. В сильно обводненных грунтах (при высоком УГВ) в скважине устанавливается обсадная труба и во избежание подъема колонн в них наливается вода. Заполнение зазора обойменным раствором между манжетной колонной и грунтом производится одновременно с подъемом обсадной трубы. После технологического перерыва вода из манжетной колоны выкачивается и в нем опускается гидравлический пакер;

- подготовить и проверить оборудование для подготовки и подачи компонентов акрилатного геля. Для подачи акрилатного геля используется специализированный пневматический насос;

- подготовить к работе акрилатный гель;

- произвести подачу инъекционного состава начиная с самой нижней части манжетной колонны, ограничение области подачи инъекционного состава производится при помощи гидравлического принудительно разжимаемого пакера. Инъекция осуществляется последовательно во все зоны каждой колонны снизу-вверх. Для этого пакер разжимается на участке между первой и второй манжетой (начиная со дна манжетной колонны) тем самым герметизируя этот участок. После чего производится подача акрилатного геля в данную зону, после превышения давления манжета раскрывается, происходит растрескивание обойменного раствора и насыщение грунта на данном участке акрилатным гелем;

- подачу состава осуществить до резкого повышения давления либо до уменьшения подачи состава. После чего пакер сдувается и перемещается

---

на вышерасположенный участок манжетной колонны, операция повторяется. Таким образом происходит подача инъекционного состава через все участки манжетной колонны на проектную высоту закрепления грунта;

- выполнить последовательное инъектирование через все манжетные колонны последовательно переходя от одной к соседней в данном ряду и так далее по рядам;

- в случае разрыва грунта (падение давления до значений близких к нулю или выход состава на поверхность) следует прекратить инъекцию на 10 мин и возобновить ее с минимальной интенсивностью. Если разрывы грунта продолжаются – зафиксировать отказ инъекции для данной колонны;

- после проведения инъекции гидравлический пакер вынимается, а манжетная труба оставляется в скважине, ее излишки обрезаются, а устья манжет заделываются обойменным раствором.

Меры по восстановлению цельности и физико-механических характеристик СГ и для исключения суффозии грунта в котлован. Данный вид работ производится в случае обнаружения, в результате визуального наблюдения за строящегося СГ и динамического зондирования грунта на строительном участке, дефектов в конструкциях ограждения котлована (расхождения БНС и стыковых соединений захваток в траншейных ТСГм, сквозные трещины, пустоты и щели) и в грунтовом массиве ниже уровня низа котлована в виде пустот и ослабленных и водонасыщенных слоев. При этом, особое внимание требует уделять дефектам при расположении СВГ на уровне фундаментной плиты [11,12].

Предлагаемая технология превенции и устранения дефектов СВГ предусматривает 2-е стадии выполнения работ. Первая стадия - выполнение работ по ликвидации дефектов СВГ методом управляемого гидроразрыва, путем нагнетания вспенивающейся жесткой полиуретановой смолы по контакту конструкция-грунт с целью остановки активной фильтрации и

---

стабилизации грунта в зоне дефекта СВГ. Вторая стадия – восстановление сплошности тела СВГ путем инъецирования минеральной суспензии [13].

Работы выполняются в 5 этапов, с проведением предварительных опытных тестовых работ по инъецированию грунтов с уточнением составов, технологии, параметров инъекции, схем инъекционных тел и полей, расходов и параметров нагнетания:

### **1 этап**

а. Производится бурение в обсадной трубе под  $45^\circ$  с отметки, в зону дефекта СВГ на требуемую глубину. Бурение производится до прохода снаряда через тело СВГ (до достижения зоны контакта конструкция-грунт). Принимается отступ от тела СВГ до точки начала бурения. Внутренний диаметр обсадной трубы должен составлять не менее 38 мм;

б. Производится установка стального наборного пакера MC-DS Ø38 мм в обсадную трубу, совмещая начальную точку обсадной трубы и пакера, так, чтобы инъецирование производилось по контакту конструкция – грунт;

с. Производится нагнетания инъекционной двухкомпонентной жесткой полиуретановой смолы MC-Montan Injekt LE при помощи двухкомпонентного насоса по контакту конструкция-грунт с целью стабилизации грунта в зоне дефекта СВГ, остановки фильтрации, заполнения пустот и создания водонепроницаемого массива консолидированного грунта. Расход материала MC-Montan Injekt LE с учетом предполагаемой пустотности грунта, прилегающего к телу СВГ, составляет 20 л/м<sup>3</sup> закрепляемого грунта. Точный расход устанавливается после проведения опытного участка;

д. Производится промывка пакера.

### **2 этап:**

а. производится вытягивание обсадной трубы до внутренней плоскости СВГ котлована и установка инъекционного пакера.

---

b. производится нагнетание инъекционной минеральной суспензии Centricrete QM-70 при помощи шнекового инъекционного насоса БМП-6 в тело СВГ с целью восстановления сплошности конструкции. Расход материала Centricrete QM-70 составляет 1000 литров на 1 м<sup>3</sup> пустот тела СВГ.

**3 этап :**

- a. производится откопка до достижения отметки низа котлована;
- b. производится бурение в обсадной трубе трех скважин под углом 45° с отметки низа котлована в зону дефекта СВГ. Бурение производится до прохода снаряда через тело СВГ (до достижения зоны контакта конструкция-грунт). Отступ от тела СВГ до точки начала бурения составляет порядка 1500 мм. Расстояние между скважинами в плане составляет около 1500 мм. Внутренний диаметр обсадной трубы должен составлять не менее 38 мм;
- c. производится установка стального наборного пакера MC-DS Ø38 мм в обсадную трубу, совмещая начальную точку обсадной трубы и пакера, так, чтобы инъектирование производилось по контакту конструкция – грунт;
- d. производится нагнетания инъекционной двухкомпонентной жесткой полиуретановой смолы MC-Montan Injekt LE по контакту конструкция-грунт при помощи двухкомпонентного насоса с целью стабилизации грунта в зоне дефекта СВГ, остановки фильтрации, заполнения пустот и создания водонепроницаемого массива консолидированного грунта. Расход материала MC-Montan Injekt LE с учетом предполагаемой пустотности грунта, прилегающего к телу СВГ, составляет 20 л/м<sup>3</sup> закрепляемого грунта. Точный расход устанавливается;
- e. Производится промывка пакера.

**4 этап:**

- a. производится вытягивание обсадной трубы до внутренней плоскости СВГ котлована и установка инъекционного пакера;
-



б. производится нагнетание инъекционной минеральной суспензии Centricrete QM-70 при помощи шнекового инъекционного насоса БМП-6 в тело СВГ с целью восстановления сплошности конструкции. Расход материала Centricrete QM-70 составляет 1000 литров на 1 м<sup>3</sup> пустот тела СВГ.

**5 этап:**

а. после устройства котлована производится ремонт СВГ методом торкретирования состава Corrigan Shotcrete на требуемую толщину. Выполнения работ производится оборудованием для сухого или мокрого торкретирования с учетом максимальной фракции зерна 2мм. Ориентировочный расход материала Corrigan Shotcrete на толщину 10 см составляет 180 кг/м<sup>2</sup>. Перед выполнением работ по торкретированию требуется провести мероприятия по подготовки основания для нанесения (необходима зачистка от грязи и слабых зерен массива СВГ);

б. на финальной стадии производится демонтаж обсадных труб с пакерами.

Используя вышеизложенные методы, можно либо избежать возможных аварийных ситуаций на подземных сооружениях, либо минимизировать последствия их возникновения.

**Литература:**

1. Гусев Н.И., Кочеткова М.В., Паршина К.С. Прочность сцепления пенополимерцементных растворов с пенобетонными наружными стенами отапливаемых зданий // Региональная архитектура и строительство. 2014. № 4. С. 52-56.

2. Ведяков И.И., Гукова М.И., Фарфель М.И., Кондрашов Д.В., Яровой С.Н. Обследование конструкций зданий и сооружений завода ОАО "Тагмет" // Строительная механика и расчет сооружений. – 2013. – № 1 (246). – С. 58-64.

3. Кочеткова М.В., Гусев Н.И., Снежкина О.В., Паршина К.С. Экспериментальная оценка работы ростверков // Региональная архитектура и строительство. 2014. № 1. С. 77-81.
  4. Гучкин И.С., Булавенко В.О. Усиление железобетонной балки стальной затяжкой, накладками и фиброармированным пластиком // Региональная архитектура и строительство. 2012. № 1. С. 69-74.
  5. Евсеев А.Е., Гарькин И.Н., Ахметов Ф.М. Способ получения матрицы жёсткости стержневого конечного элемента для деформационного расчета по дифференциальному уравнению // Системные технологии. 2024. № 2 (51). С. 5-13.
  6. Кузин Н.Я., Багдоев С.Г. Оценка внешних факторов на несущую способность конструкций гражданских зданий // Региональная архитектура и строительство. 2012. №2 С.79-82.
  7. Снегирева А.И., Мурашкин В.Г. К вопросу обследования строительных конструкций, зданий и сооружений // Эксперт: теория и практика. 2021. №6 (15). С. 45-51.
  8. Шеина С. Г., Виноградова Е.В., Денисенко Ю.С. Пример применения BIM технологий при обследовании зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона. 2021. № 6. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/7037](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/7037)
  9. Garkin I.N., Garkina I.A. System approach to technical expertise construction of building and facilities // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. Vol.8. №5. pp.213-217.
  10. Петрова И.Ю., Мостовой О.О. Обзор процесса проведения обследований зданий и сооружений. Проблемы и пути их решения. // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал. 2013. № 1 (36). С. 12-20.
-

11. Гарькин И.Н., Агафонкина Н.В. Технология проведения ремонтных работ на памятнике, являющемся объектом культурного наследия // Вестник евразийской науки. 2020. Т. 12. № 2. С. 4.

12. Королев Е.В. Техничко-экономическая эффективность новых технологических решений. Анализ и совершенствование //Строительные материалы. 2017. № 3. С. 85-89.

13. Sivakumar N., Muthukumar S., Sivakumar V., Gowtham D., Muthuraj V. Experimental studies on High Strength Concrete by Using Recycled Coarse aggregate // Research Inventy: International Journal of Engineering and Science. 2014. Vol. 4. № 1. pp. 27 – 36.

### References

1. Gusev N.I., Kochetkova M.V., Parshina K.S. Regional'naja arhitektura i stroitel'stvo. 2014. № 4. pp. 52-56

2. Vedjakov I.I., Gukova M.I., Farfel' M.I., Kondrashov D.V., Jarovoj S.N. Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij. 2013. № 1 (246). pp. 58-64.

3. Kochetkova M.V., Gusev N.I., Snezhkina O.V., Parshina K.S. Regional'naja arhitektura i stroitel'stvo. 2014. № 1. pp. 77-81

4. Guchkin I.S., Bulavenko V.O. Regional'naja arhitektura i stroitel'stvo. 2012. № 1. pp. 69-74.

5. Evseev A.E., Gar'kin I.N., Ahmetov F.M. Sistemnye tehnologii. 2024. № 2 (51). pp. 5-13.

6. Kuzin N.Ja., Bagdоеv S.G. Regional'naja arhitektura i stroitel'stvo.2012. №2. pp.79-82.

7. Snegireva A.I., Murashkin V.G. Jekspert: teorija i praktika. 2021. №6 (15). pp. 45-51.

8. Sheina S. G., Vinogradova E.V., Denisenko Ju.S. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. № 6. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/7037](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/7037)



9. Garkin I.N., Garkina I.A. Contemporary Engineering Sciences. 2015. Vol.8. №5. pp.213-217.
10. Petrova I.Ju., Mostovoj O.O. Inzhenerno-stroitel'nyj vestnik Prikaspija: nauchno-tehnicheskij zhurnal. 2013. № 1 (36). pp. 12-20.
11. Gar'kin I.N., Agafonkina N.V. Vestnik evrazijskoj nauki. 2020. T. 12. № 2. P. 4.
12. Korolev E.V. Stroitel'nye materialy. 2017. № 3. pp. 85-89.
13. Sivakumar N., Muthukumar S., Sivakumar V., Gowtham D., Muthuraj V. International Journal of Engineering and Science. 2014. Vol. 4. № 1. pp. 27 – 36.

**Дата поступления: 4.11.2024**

**Дата публикации: 5.12.2024**