

## Инъектирование как метод усиления каменных конструкций

*К.т.н., доцент ГОУ ВИТУ Д.В. Курлапов\*, инженер ГОУ ВИТУ А.С. Куваев;  
инженер ГОУ ВИТУ А.В. Родионов, инженер ГОУ ВИТУ Р.М. Валеев*

В последние десятилетия наблюдается тенденция к ухудшению технического состояния зданий и сооружений различного назначения. Часть зданий в городах и населенных пунктах регионов России находятся в аварийном или предаварийном состоянии, нуждается в текущем и капитальном ремонтах. Строительные конструкции зданий и сооружений требуют обследований и усиления.

В настоящее время широкое внимание уделяется вопросу усиления строительных конструкций зданий и сооружений, как недавно построенных, так и нуждающихся в реконструкции.

С новыми зданиями вопрос усиления строительных конструкций встает из-за низкой квалификации рабочего персонала, некачественных проектных работ и работ по инженерным изысканиям.

Особенно часто образуются трещины в кирпичной кладке старых зданий и сооружений. Они образуются в результате неравномерных осадок при подводке фундаментов новых зданий и сооружений, вследствие изменения конструктивной схемы, перепланировок, изменения места проемов в несущих стенах, отсутствия или низкого качества капитального ремонта. Кроме того, трещины образуются вследствие случайных механических воздействий (взрывов, проводимых рядом работах и т.д.). Работы по реконструкции требуют индивидуального подхода в каждом случае.

При проектировании каменных конструкций зданий в ряде случаев встречаются решения, которые приводят к образованию дефектов этих конструкций. Иногда в проектах предусматривается применение разнородных по прочности, жесткости, водопоглощению и долговечности материалов для кладки стен без анализа их взаимодействия. Не всегда в проектах учитывается влияние температурного воздействия: при сезонных и суточных колебаниях температуры наружного воздуха в кладке могут возникнуть трещины. Трещины могут возникать и при нарушении правил эксплуатации зданий и сооружений, к таким нарушениям можно отнести перегрузку участков кладки, неравномерную осадку фундаментов.

Необходимо совершенствовать способы усиления конструкций, нормативную базу, разрабатывать методические рекомендации по реконструкции зданий и сооружений. В настоящее время накоплен большой опыт по усилению конструкций зданий и сооружений различных типов. В результате проведения таких работ устраняются дефекты и зачастую причины их возникновения, которые, как правило, связаны с нарушением требований по эксплуатации. Разработаны технические решения и рекомендации по восстановлению эксплуатационных свойств конструктивных элементов зданий и сооружений.

Общими характеристиками трещинообразования для каменных конструкций могут служить следующие показатели:

- размеры трещин: длина, глубина, ширина раскрытия;
- форма продольного и поперечного сечения, проникание на поверхности конструкций (сквозные, несквозные);
- расположение трещин в конструкциях, их наклон по отношению к площадкам главных напряжений в несущих элементах;
- кинетика раскрытия трещин, стабилизировавшихся или не стабилизировавшихся во времени;
- вид воздействия, в результате которого возникают трещины: силовые, усадочные, коррозионные, температурные.

Важно уметь определять причину появления трещин – это дает возможность оценить их влияние на эксплуатационные качества каменных конструкций и правильно выбрать метод устранения отрицательных последствий.

Появление больших трещин, приводящих к аварийному состоянию, связано, с одной стороны, с резким сокращением объемов строительства и, с другой стороны, с постоянно ухудшающимися условиями эксплуатационного содержания зданий и сооружений, значительным физическим износом основных фондов.

В зависимости от характера трещин можно отметить наиболее эффективные способы устранения дефектов.

- Увеличение сечения элементов наращиванием или устройством армированных рубашек и накладок. Этот метод нашел свое отражение в трудах инженера И.М. Литвинова.
- Устройство стальных обойм, хомутов и пр., рекомендуемых Руководством по проектированию каменных и армокаменных конструкций.

- Изменение напряженного состояния конструкций путем их разгрузки (работы Онуфриева Н.М.).
- Усиление каменных конструкций инъектированием специальных растворов.

Такие меры усиления кладки позволяют уменьшить прогибы, повысить нижний предел трещинообразования и растяжимость сечений, однако трудоемкость и материалоемкость производства при этом сильно возрастают.

Усиливая каменные конструкции и устраняя такие дефекты кладки как трещины стандартными способами усиления, мы решаем сразу несколько взаимосвязанных задач:

- повышаем несущую способность кладки зданий;
- удлиняем срок службы зданий за счет обеспечения монолитности кладки и стыковых соединений;
- сохраняем подлинность качественного материала кладки взамен вынужденного использования при возведении заново современного кирпича.

В настоящее время в направлении повышения несущей способности стен за счет использования высокопрочных материалов достигнуты определенные успехи, однако процент использования прочности каменного материала в кладке остается все же низким (прочность кладки составляет всего лишь 30% от предела прочности кирпича). Кроме того, растворные швы, занимая 25% объема кладки, снижают ее прочность, увеличивают деформативность и неоднородность вследствие достаточно большой толщины слоя раствора (до 15 мм) и низкого сцепления его с каменным материалом.

Среди всем известных способов усиления есть метод, позволяющий не только добиться решения вышеуказанных задач, но и добиться экономического эффекта по уменьшению себестоимости проводимых работ. Это инъектирование специальных растворов.

Инъектирование еще в конце позапрошлого столетия было оценено как способ, удобный для заделки трещин, пустот и каверн в горных породах оснований, структуры каменной кладки. Инъектирование применялось как метод усиления на различных ремонтно-восстановительных работах в послевоенный период при реконструкции зданий и сооружений.

Заметное влияние на понижение качества каменных конструкций оказывает фактор водопроницаемости каменных конструкций. Инъектируя конструкцию полимерными, цементно-полимерными и цементными растворами, мы заполняем уже имеющиеся в кладке и образующиеся при эксплуатации трещины и пустоты. Тем самым увеличивается плотность конструкции, а следовательно, предотвращается водопроницаемость каменных конструкций. Решая эту проблему, мы также решаем проблему морозостойкости, так как она опирается и непосредственно связана с вопросом водопроницаемости.

Опыт практического применения инъектирования как способа усиления конструкций свидетельствует о том, что он имеет ряд преимуществ по сравнению с другими:

- не металлоемок;
- не требует устройства дополнительных конструктивных элементов;
- позволяет приближать схему работы усиленной конструкции при ее численной оценке к первоначальной проектной схеме.

На качество работ и степень восстановления (повышения) несущей способности поврежденных усиленных элементов при применении способ инъекции влияет ряд факторов:

- вид инъектируемого раствора;
- давление при котором производилась инъекция;
- степень повреждения элемента (конструкции) трещинами;
- ширина раскрытия трещин;
- температура усиливаемого элемента (конструкции):

В настоящее время практически исчерпаны возможности улучшения качества цементных инъекционных растворов, что связано с их специфическими свойствами. Задача может быть решена за счет использования цементнополимерных и полимерных инъекционных растворов. Она обусловлена появлением новых полимерных композиций, а также ростом объема реконструкции, модернизации и капитального ремонта существующих зданий, имеющих несущие элементы с различной степенью повреждения трещинами и необходимостью оценки их прочностных и деформативных характеристик после усиления. В настоящее время цементно-полимерные и полимерные композиции являются основой многих современных строительных материалов.

На экспериментальной базе Тбилисского ЗНИИЭП были разработаны Рекомендации по восстановлению и усилению крупнопанельных зданий полимеррастворами [1]. По длине трещин в зависимости от ширины ее раскрытия через 300...500 мм на очищенную от раствора поверхность железобетонной конструкции наклеиваются шайбы из стального листа толщиной 4 мм размером 50x50 мм, имеющие в середине отверстия с нарезкой М-10. Наклейку производят на эпоксидном клее или цементном растворе с добавлением эмульсии ПВА в количестве 5% от веса цемента так, чтобы трещина совпадала с серединой отверстия в шайбе. На трещинах, расположенных у внутренних углов стен, ставят шайбы из уголка. В отверстия в шайбах ввертывают штуцеры из трубы с наружной нарезкой М-10 длиной 80 мм. Трещина между шайбами заделывается гипсовым раствором. Инъекционный раствор через штуцеры после продувки трещины сжатым воздухом и промывки водой подается в трещины, начиная с нижнего штуцера.

Известно, что свойства полимеров во многом зависят от их молекулярной массы. Для растворенной макромолекулы полимера характерно состояние непрерывного хаотичного движения. Молекула участвует в поступательном и вращательном броуновском движении. К размерам и формам макромолекул очень чувствительны гидродинамические характеристики раствора, в частности вязкость.

Для определения молекулярной массы необходимо провести достаточно большой объем экспериментов, что неудобно с практической точки зрения. Более технологичным показателем в этом случае может служить вязкость водного раствора полимера определенной концентрации.

Как характеристика для инъекции в строительные конструкции инъекционных растворов вязкость растворов имеет очень большое значение, т.к. необходимо, чтобы инжецируемый состав, проникая в тело конструкции, заполнял все трещины, каверны и пустоты. Исходя из вышесказанного, чем вязкость инъекционного раствора меньше, тем раствор легче проникает в трещины и пустоты, а следовательно, тем выше качество инъекции.

В лаборатории кафедры «Строительные конструкции и механика твердого тела» ГОУ ВИТУ были проведены опыты по изучению вязкости цементно-полимерных инъекционных растворов.

Растворы полимеров заданных концентраций готовились на дистиллированной воде. Измерение вязкости в этом случае основано на определении времени истечения через капилляр определенного объема жидкости из измерительного резервуара вискозиметра.

Как видно из графика (рис. 1), вязкость водного раствора оксиэтилцеллюлозы отечественного производства ОЭЦ-1 с увеличением концентрации растет менее интенсивно, чем у растворов с импортной добавкой ОЭЦ-2.

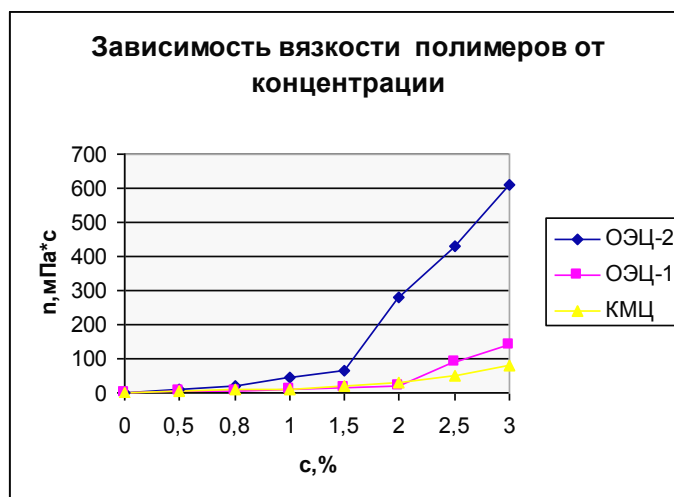
КМД образует маловязкие водные растворы, вплоть до концентрации 3%. Кривые вязкости КМЦ и ОЭЦ-1 сходны.

Инъекционные растворы, обладая повышенным В/Ц, имеют также несколько увеличенную усадку по сравнению с кладочными или даже литыми растворами. Механизм подачи раствора в конструкцию – нагнетание под давлением 0,6 МПа и последующая опрессовка его в течение 15...30 мин – способствуют уплотнению инъекционных растворов в трещинах, порах, раковинах и пр. и отжатию свободной влаги через фильтрующий материал кладки. Тем не менее, вопрос усадки играет немаловажную роль.

При проведении эксперимента изучение усадочных деформаций проводилось для цементнополимерных растворов.

По полученным результатам испытаний были установлены зависимости величины деформации усадки инъекционного раствора от продолжительности его высыхания (интенсивность процесса усадки); деформации усадки от влагопотерь образца во времени (рис. 2).

Проведенный эксперимент на образцах, изготовленных из инъекционного раствора с различным водоцементным отношением, подтвердил, что наиболее интенсивное нарастание деформаций усадки обеих групп происходило в первые дни твердения.



**Рисунок 1. График зависимости вязкости водных растворов полимеров от концентрации**

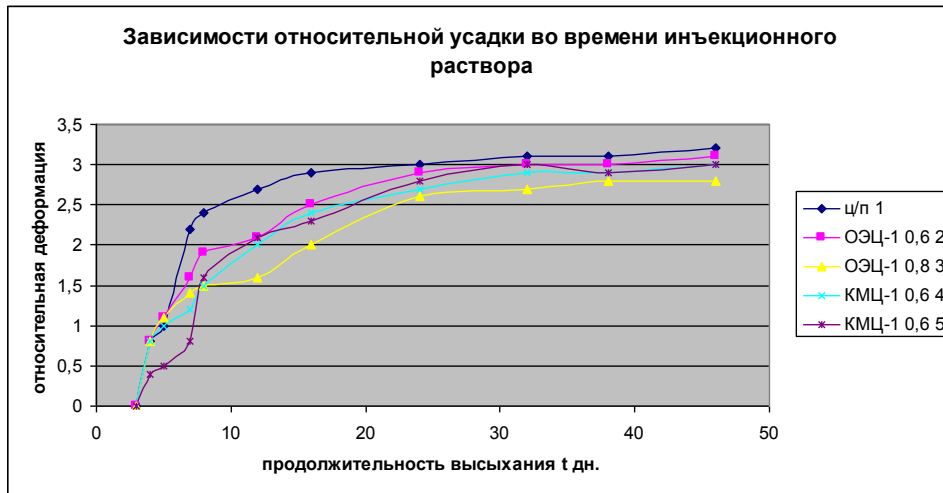


Рисунок 2. График зависимости относительной усадки инъекционного раствора во времени

Одной из важнейших характеристик инъекционных растворов является надежное сцепление материалов раствора между собой и сцепление вяжущего с материалом. Сцепление инъекционного вяжущего с материалом кладки определяется их химической связью в контактном слое. Инъекционный раствор, попадая в каменную конструкцию, увеличивает зону контакта между кирпичом и кладочным раствором. Этот факт стал основополагающим в том, что метод инъекции получил довольно широкое применение при реконструкции каменных зданий и сооружений для повышения несущей способности и долговечности.

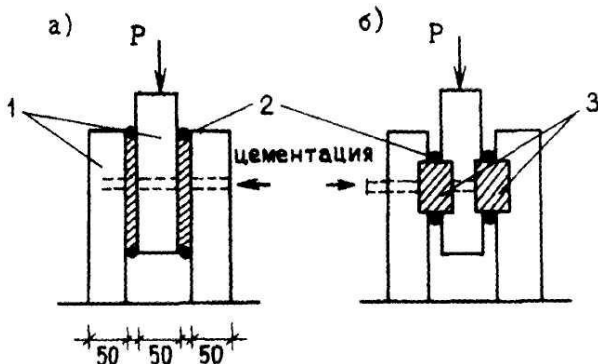


Рисунок 3. Образцы для исследования прочности на срез цементированных швов (схемы испытаний):

а – по опытам А.Н. Адамовича, 1947-46 гг.;  
б – по методике ЦНИИПС, 1948 г.;

1 – бетонная плитка; 2 – асбестовый шнур; 3 – цементационные гнезда размером 30x30 мм

Из рис. 4 видно, что наибольшую прочность сцепления показали цементнополимерные инъекционные растворы ОЭЦ-1: порядка 2,2...2,8 МПа при В/Ц, соответственно равном 0,5...0,9.

Увеличение прочности раствора с добавкой полимера объясняется механизмом его твердения, который заключается в удалении свободной влаги из материала и образованием жесткой пленки внутри последнего.

Как известно, прочность цементнополимерной композиции увеличивается в течение времени по мере испарения свободной влаги и

Методика определения сцепления инъекционного раствора с материалом кладки, предложенная А.Н. Адамовичем, заключалась в оценке прочности на срез склеенных различными растворами образцов.

Проведенные кафедрой лабораторные исследования были направлены на изыскание возможности количественной оценки инъектирования цементнополимерных составов, с использованием в качестве полимера карбоксиметилцеллюлозы и оксиэтилцеллюлозы. Причем оксиэтилцеллюлоза использовалась как зарубежного, так и российского производства.

Лабораторные исследования были проведены по методике, предложенной А.Н. Адамовичем (рис. 3а), и по методике, разработанной в ЦНИИПС (рис. 3б).

На основании полученных результатов испытаний были построены графики зависимости прочности сцепления на срез от водоцементного отношения.

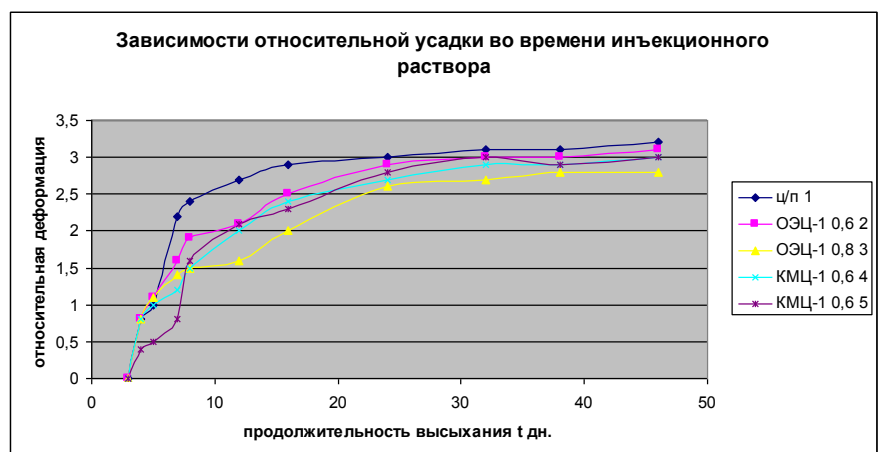


Рисунок 4. График зависимостей прочности сцепления

схватывания полимера.

При испытании склеенных образцов разрушение происходило в основном по кирпичу. Данный факт позволяет сделать вывод о том, что принятые составы цементнополимерных растворов обеспечат достаточную прочность сцепления раствора с материалом кладки.

Прочность на сжатие образцов, инъецируемых цементнополимерными растворами, превысила прочность образцов без усиления.

После испытаний на сжатие образцы были восстановлены методом инъекционного уплотнения и по истечении срока отверждения инъекционной композиции повторно испытаны на прежние виды нагружения. Нужно отметить, что образцы были заинъецированы вторично для определения эффекта восстановления разрушенной инъецированной кладки.

Для исследований были использованы опытные образцы кирпичных столбов, прошедших испытания и имеющих вертикальные трещины. Эти образцы были восстановлены путем инъекции в них цементнополимерных составов КМЦ и ОЭЦ.

Результаты испытаний образцов показывают, что при применении цементнополимерных составов для инъецирования каменной кладки несущая способность кладки не только восстанавливается полностью, но и увеличивается на 15-20%. Образцы, подвергнутые повторному инъецированию, также полностью восстановили прочность и повысили ее, но эффект увеличения прочности оказался несколько ниже. Наилучшие результаты повышения прочности кладки в целом показали образцы, инъецируемые ОЭЦ российского производства. Характер трещинообразования на образцах был идентичен результатам первичных испытаний, но отмечена повышенная хрупкость и малая деформативность восстановленных конструкций.

Инъецирование водорастворимых полимеров и эмульсий в конструкцию рекомендуется производить в утренние часы, когда конструкция имеет более низкую температуру, а трещины имеют наибольшее раскрытие. Минимальная температура стен для инъекции раствора +5°C.

Рекомендуется производить инъецирование в конструкцию, не снимая с нее нагрузки, т.е. не разгружая ее. В противном случае происходит частичное закрытие трещин, и качество инъекции резко снижается.

Исследования показывают, что инъекция водорастворимых полимеров и эмульсий значительно улучшает технологические и конструктивные характеристики усиливаемых железобетонных конструкций, повышают эффективность их работы.

Применяя этот метод, мы получаем сокращение затрат по сравнению с применением традиционных методов усиления за счет экономии стали и некоторых других материалов. Экономический эффект обеспечивается прибылью, получаемой за время проведения ремонтных работ, не требующих простоя оборудования, а также экономией на разборке поврежденных конструкций зданий и замене их на новые.

## Литература

1. Рекомендации по восстановлению и усилению крупнопанельных зданий полимеррастворами. Тбилиси, 1989.
2. Гаврилов Н.Т. Прогнозирование технико-эксплуатационного состояния зданий и сооружений. М., 2002.
3. Проблемные вопросы эксплуатационного содержания объектов оборонной инфраструктуры. Научно-технический сборник. М., 2008.
4. Гроздов В.Т., Курлапов Д.В., Тюкаев В.В. Железобетонные и каменные конструкции. СПб., 2005.
5. Гроздов В.Т., Татаренко В.Н. Реконструкция зданий и сооружений, техническое обследование, испытания и усиление строительных конструкций. СПб., 2004.
6. Адамович А.Н. Цементация оснований гидросооружений. Л., 1964.
7. Бабков В.В., Чикато А.Н., Анинов Я.Ю. Напряженное состояние элементов каменной кладки. Современные проблемы строительного материаловедения // Материалы пятых академических чтений РААСН. Воронеж, 1999.
8. Строительные материалы / Под ред. Микульского В.Г. М., 2002.

*\*Дмитрий Валерьевич Курлапов, Военно-инженерный технический университет*

*Тел. Моб. +7(921)746-96-34*