

КОНЦЕПЦИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ДЕФОРМАЦИЙ ПАМЯТНИКОВ ИСТОРИИ И КУЛЬТУРЫ (Часть 2)

A CONCEPT OF ENGINEERING-GEOLOGICAL DIAGNOSTICS OF DEFORMATIONS OF ARCHEOLOGICAL AND CULTURAL MONUMENTS (Part 2)

УДК 624.131

DOI 10.25296/1993-5056-2017-4-6-15



Журнал продолжает публикацию серии статей, посвященных вопросам сохранения памятников истории и архитектуры, учитывая актуальность этой проблемы и значимость представленных в работе материалов для практики инженерно-геологических изысканий и исследований. Приглашаем к обсуждению поднятых в статье вопросов специалистов в области инженерной геологии, геотехники, строительства и реконструкции исторических сооружений.

ПАШКИН Е.М.

Профессор кафедры инженерной геологии гидрогеологического факультета Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ), д.г.-м.н., г. Москва, empashkin@yandex.ru

Ключевые слова:

исторические природно-технические системы; воздействия; температурные воздействия; трещины; прясло стены; бегущая трещина.

Аннотация

При анализе причинно-следственных связей условий деформирования объектов культурного наследия необходим выверенный подход, который позволит правильно определить порядок исследования и выявить первостепенные следствия. Чаще всего в роли такого следствия выступают трещины, характер которых отражает различные условия их образования.

В связи с этим актуальной задачей является объяснение причин образования и механизмов развития трещин в стенах сооружений, представляющих собой объекты культурного наследия. При этом одним из факторов, влияющих на изменение структуры взаимодействия исторических природно-технических систем с окружающей средой и грунтами оснований, является температурное воздействие. Оно неодинаково в различных климатических условиях, которые характерны для нашей страны. Тем не менее имеется несколько общих черт: значительные градиенты температуры и цикличность ее изменений. Эти факторы приводят к тому, что меняется не только структура самой подсистемы «памятник», но и грунтов основания. Разработка подобного подхода в области инженерной геологии позволит грамотно интерпретировать генезис трещин, а это, в свою очередь, является залогом успешного принятия решений по сохранению объектов культурного наследия.

PASHKIN E.M.

Professor of the Department of Engineering Geology, Faculty of Hydrogeology, Russian State Geological Prospecting University name Sergo Ordzhonikidze (MGRI-RSGPU), DSc (Doctor of Science in Geology and Mineralogy), Moscow, empashkin@yandex.ru

Key words:

historical natural-technical systems; impacts; temperature effect; fractures; curtain wall; running fracture.

Abstract

To analyze cause-and-effect relations of deformation conditions of the objects of cultural heritage it's necessary to develop systematic approach. This approach should allow to determine right procedure of research and identify primary consequences. In most cases this type of consequences are fractures. Their peculiarities represent a variety of fracture formation conditions. In this regard, the relevant aim is to clarify the causes of fracture formation and mechanisms of their development at the walls of the cultural heritage objects. Thus, the temperature effect is one of the key factors, influencing the changes of the interaction structure of historical natural-technical systems, environment and soil basis. Temperature effect is unequal in different climate zones, that are presented in our country. However, there are some common features. They are substantial temperature gradient and cyclicity of its changes. These factors lead to a structural change of «architectural monument» subsystem and soil basis. Development of such engineering-geological approach allow to identify fracture genesis properly. It's a crucial stage for development of measures on preservation of cultural heritage objects.

Введение

Представленная статья является логическим продолжением опубликованной ранее в журнале «Инженерная геология» [6] и представляет собой первую публикацию из цикла, посвященного оценке воздействий¹ различных природных факторов на сохранность исторических природно-технических систем (ИПТС). Ранее было отмечено [6], что между подсистемами ИПТС устанавливаются функциональные взаимодействия, подвергающиеся различным природным воздействиям. Последние могут быть как циклическими, так и случайными. Целью настоящей статьи является изучение влияния температурных воздействий на сохранность монастырских и крепостных стен.

Большинство объектов культурного наследия на территории Российской Федерации не защищены от влияния природных факторов внешней среды (температуры, ветра, атмосферных осадков, сейсмичности и пр.). Лишь в некоторых случаях при строительстве закладывались единичные элементы или применялись методы, адаптирующие работу сооружений к воздействиям окружающей среды. Часто при этом использовались выработанные природой гармоничные формы, рациональные породные конструкции — своеобразные запатентованные природой приемы. К ним можно отнести многослойную структуру кладки стен, металлические внутрстенные и воздушные связи, глину и бересту в качестве гидроизоляционных материалов, побелку стен для увеличения их альbedo, использование уплотнительных деревянных свай и другие приемы, позволявшие в значительной степени продлить жизнь памятникам архитектуры за счет созданного взаимного гармоничного соответствия элементов ИПТС. Здесь уместно вспомнить слова известного французского архитектора и реставратора Виоллеле-Дюка о том, что «Всякое рукотворное создание, нарушающее равновесие природной системы, подвергается разрушению и тем быстрее, чем оно менее рационально в данных природных условиях» [3]. Таким образом, подчеркивалась мысль о том, что, во-первых, сохранение структуры взаимодействия ИПТС в условиях ее длительного эволюционного развития — это залог равновесия данной системы и, во-вторых, необходимо поддерживать заложенную старыми мастерами гармонию между природными условиями и возводимыми сооружениями, добиваясь сохранения этой структуры. Перефразируя определение термина «взаимодействие», данное Ф. Энгельсом, применительно к рассматриваемой проблеме можно отметить, что это то «...первое, что выступает перед нами, когда мы рассматриваем...» сферу взаимодействия объекта культурного наследия совместно с несущими конструкциями как форму связи явлений, отображающихся в нашем сознании [7].

Принято считать, что в этой области проявляются функциональные связи между нагрузками, передаваемыми от элементов подсистемы «памятник» на грунты основания, входящие в подсистему «сфера взаимодействия». Однако следует обратить внимание на то, что в инженерной геологии рассчитанные нагрузки в определенной степени идеализируются. Поскольку они не могут быть постоянными во времени, они не могут быть по расчетам равномерными из-за дискретности получаемых результатов исследований и многих других условностей.

Поэтому подобная форма взаимодействия является простейшим механическим воздействием одного элемента подсистемы на элемент другой подсистемы. Но, к сожалению, она в наших сложных природно-климатических условиях становится заложницей негативных воздействий факторов внешней среды, разрушающих ту самую природную рациональность, о которой говорил Виоллеле-Дюк [3].

Для рассматриваемой системы характерно то, что перемещение одного элемента при взаимодействии с другим происходит не линейно, а в соответствии с природной динамикой развития либо циклических событий, либо при многократном случайном повторении одних и тех же воздействий внешней среды. Это приводит к тому, что в процессе взаимодействия существенно меняется структура массива основания, особенно после деструкции деревянных свай или суффозионного процесса, так как при проявлении динамических воздействий становятся иными свойства этого массива и увеличиваются нагрузки, в результате чего формируется область с непостоянной структурой. При этом существенную роль играют факторы циклических (температурные, криогенного пучения) и случайных (ветровые, сейсмические) воздействий. Поэтому элементы ИПТС в соответствии со свойством самоорганизации за длительный период эксплуатации обретают иную связь, поскольку за длительный период своего существования они принимали на себя воздействия различных факторов окружающей среды.

Происходившие в течение столетий изменения структуры окружающей среды привели к нарушению заложенного первоначально равновесного состояния между элементами ИПТС, к ухудшению условий их дальнейшего функционирования. При этом вследствие реализации многих случайных воздействий исчезли некоторые неопределенности, но возникла необходимость в уточнении нагрузок, оказываемых на сооружения в результате проявляемых воздействий [4], — это одна из производных меняющейся структуры взаимодействия ИПТС.

Рассмотрение воздействий на стены крепостных и монастырских сооружений

Для решения проблемы влияния воздействий окружающей среды на объекты культурного наследия в качестве предметной модели исследования были рассмотрены памятники архитектуры со значительным периодом существования, так как они подвергались серьезному физическому воздействию окружающей среды в течение длительного периода времени.

Поскольку в связи с особенностями стилистики, конструктивных схем, эксплуатационного режима памятники архитектуры по-разному воспринимают воздействия факторов окружающей среды, логично рассматривать эти влияния применительно к определенному типу сооружений. В данной работе и последующих статьях цикла такими объектами исследования были выбраны стены крепостных и монастырских сооружений, наиболее уязвимые, например, к атмосферным воздействиям: температурным, значения которых характеризуются разными периодами повторяемости, и кратковременным ветровым, а также к эпизодическим сейсмическим волнам.

¹ Под воздействием понимается влияние или действия внешних факторов, оказываемые на взаимосвязанные элементы ИПТС и на развитие в ней процессов.

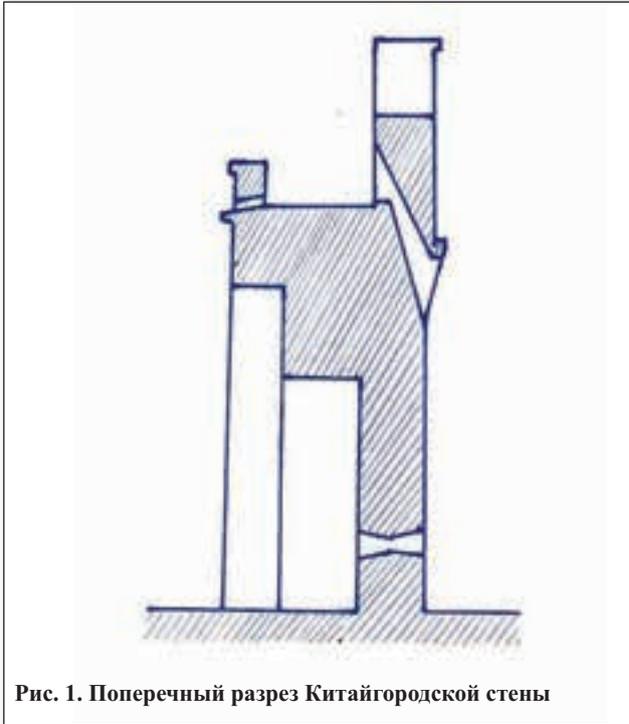


Рис. 1. Поперечный разрез Китайгородской стены

Анализ событий, происходивших в прошлом с этими линейными сооружениями (крепостными и монастырскими стенами), показывает сложную историю их «выживания» в непростых природно-климатических условиях России. Достаточно отметить, например, что до наших дней не сохранилось ни одного из сооруженных в XIV–XV вв. прясел² стен Новгородского детинца, которые в разные годы из-за обрушения неоднократно перестраивались. Последним из сохранившихся первоначальных прясел обрушился 37-метровый участок между башнями Спасской и Княжей в 1991 г. До этого прясло долгое время находилось в аварийном состоянии (в средней части оно имело значительный крен, поперечные вертикальные трещины), а после прохождения через Новгород сейсмической волны от Джварского землетрясения упало [5]. Утраты понесли также кирпичные стены Михайло-Архангельского монастыря в г. Юрьев-Польский начиная с 30-х годов XVIII в., после чего на протяжении всего XIX в. постоянно проводились работы по их ремонту и восстановлению. Для предотвращения развития кренов (отклонения от вертикали достигали 0,7 м) к ним пристраивали контрфорсы, которые оказались крайне неэффективными. Поэтому уже в 1926 г. П.Д. Барановский вынужден был укреплять цоколь и выпрямлять прясло западной стены монастыря [1].

Стены крепостных и монастырских сооружений являются основными ограждающими конструкциями ручной кладки из кирпича, белого камня, реже валунов, одновременно выполняющими самонесущие функции. В процессе возведения стен их прясла встраивались между заранее построенными башнями квадратной, круглой или многоугольной в плане формы. Как крепостные сооружения они имели ровную без каких-либо выступов внешнюю поверхность и сложную конфигурацию внутренней, включающую сверху гullyбище боевого хода и примыкающую к стене аркаду с арками пролетом от 3 до 4 м, опирающимися на пилоны шириной от 1 до 2 м. Углубление арок составляет 0,2–0,6 от ширины стены. На рис. 1

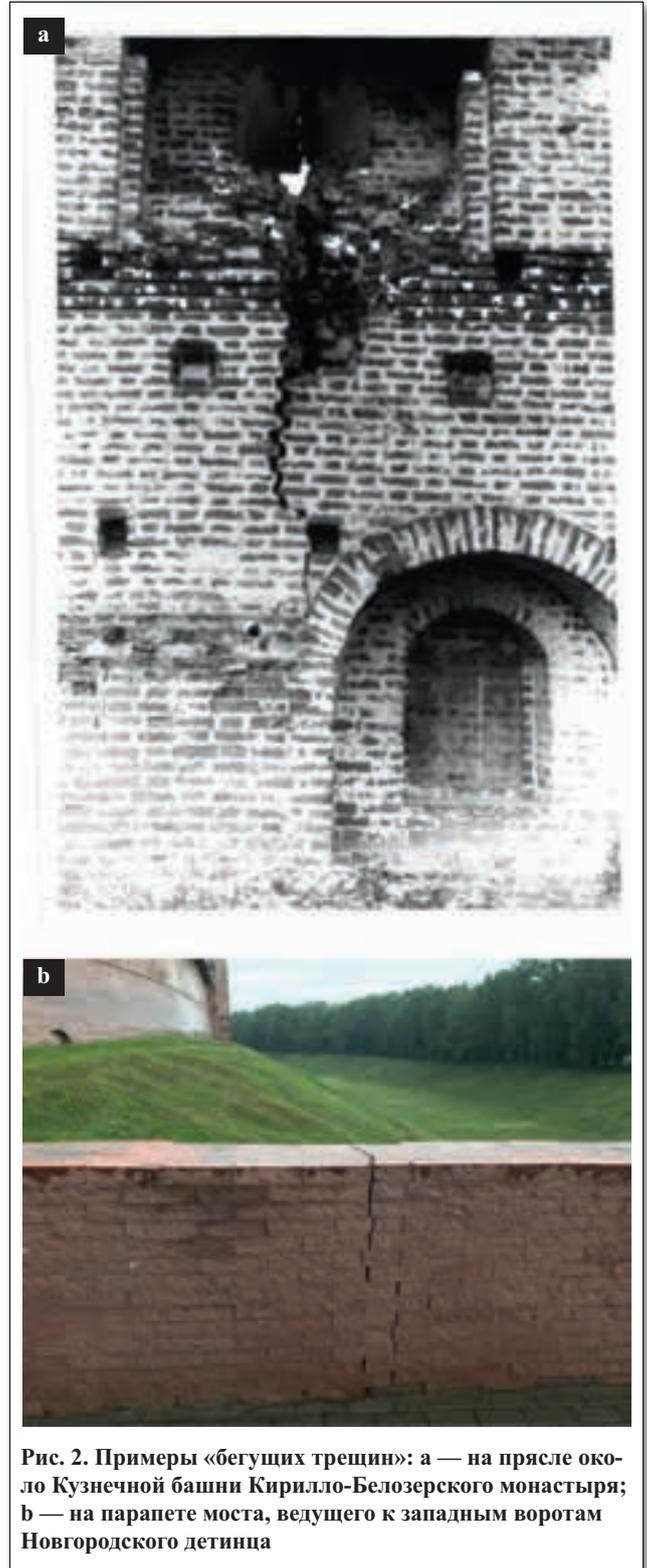


Рис. 2. Примеры «бегущих трещин»: а — на прясле около Кузнечной башни Кирилло-Белозерского монастыря; б — на парапете моста, ведущего к западным воротам Новгородского детинца

приведен поперечный разрез крепостного сооружения на примере Китайгородской стены [2].

На рис. 1 видна непростая конфигурация внутренней поверхности стен и объемов кладки в разных сечениях, обусловленная наличием чередующихся арочных проемов, разделенных мощными пилонами и перекрытых на всю ширину стены кладкой, условно выполняющей конструктивную роль балки.

Подобная морфометрия внутренней поверхности стен в соответствии с принципом сопротивляемости по форме обеспечивает стене повышенную жесткость и создает

² Прясло — часть стены, расположенная между башнями.



Рис. 3. Трещина отрыва на месте примыкания прясла к Кузнечной башне Кирилло-Белозерского монастыря

условия для снижения деформаций сооружения при внешних воздействиях.

На этом рисунке просматривается еще одна важная особенность стен: основная масса кладки стены приурочена к верхней ее балочной части, к тому же она со всех сторон: от гультбища сверху и сводов арочных проемов снизу и с боковых граней стены — подвергается наибольшему температурным воздействиям. А это, в свою очередь, означает, что верхняя часть стен обладает максимальной объемной теплоемкостью, что при естественном влиянии солнечной радиации может приводить к существенному изменению температурного режима кладки и к развитию значительных температурных деформаций именно в этих местах. На следующих фотографиях как раз показаны этапы развития этих деформаций и приуроченность трещин к арочным сводам аркад и их отображение на внешней поверхности прясел. При этом видна геометрия формирования «бегущей трещины», то есть образования разрыва прясла по вертикальным швам элементов кладки без разрушения последних. Это отличает «бегущие трещины» от осадочных, разрушающих сплошь кладку прясла с образованием разрывов горизонтальных швов. Развитие описываемого типа трещин показано на фотографиях (рис. 2).

Различные материалы, используемые при строительстве этих сооружений, значительные перепады температуры в течение года (60–70°), различное нагревание в за-

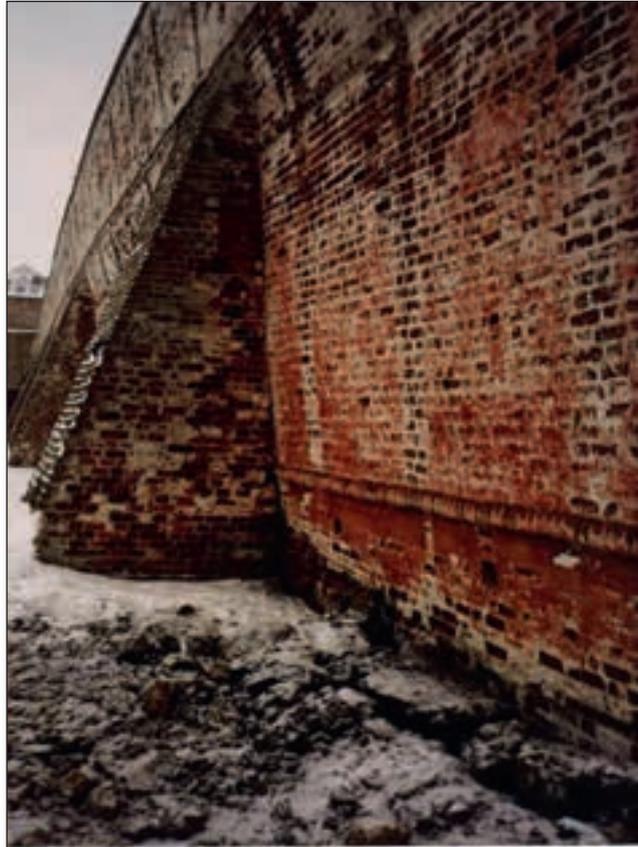


Рис. 4. Контрфорсы

висимости от альбедо поверхности стен и их ориентировки к направлению солнечной радиации, а также различные значения температурных коэффициентов объемного расширения материалов кладки создают условия для неоднородного температурного воздействия. При максимальном влиянии на верхние части стен положительных или отрицательных температурных воздействий, при преобладании там кладки со значительной объемной теплоемкостью одни части стен расширяются или сжимаются значительно, чем другие. В условиях предельных температурных градиентов в результате процесса сжатия-растяжения будут образовываться по отношению к стенам вертикальные поперечные трещины, впоследствии выполняющие функции температурных швов.

Поэтому при нагревании прясла удлиняются от середины в обе стороны до упора в стены башен, играющих роль контрфорсов, на границе с которыми в пряслах накапливаются максимальные напряжения сжатия и где при охлаждении они подвергаются релаксации с образованием трещин отрыва (рис. 3). На рисунке хорошо просматривается образование трещины отрыва с деструкцией кирпичной кладки на прясле стены Кирилло-Белозерского монастыря, примыкающей к многогранной Кузнечной башне.

Формирование температурного режима кладки стен приводит к началу образования «бегущей трещины» в верхней части прясла, откуда она «сбегает» вниз, не доходя до фундамента. Поэтому эти трещины, не разрушавшие всю конструкцию стены, а только ее верхнюю и среднюю часть, и получили название несовершенных трещин. Их появление с суммарным раскрытием до нескольких десятков сантиметров приводило к удлинению верхней части прясел. При невозможности перемеще-



Рис. 5. Отторгнутый контрфорс у стен Горицкого Воскресенского монастыря на берегу р. Шексны

ния башен и прогиба прясел внутрь из-за жесткости аркады происходили искривления последних во внешнюю сторону с образованием больших кренов, угрожающих падением. Наиболее распространенным методом борьбы с подобными последствиями температурных воздействий являлось сооружение кирпичных контрфорсов (рис. 4).

Появление контрфорсов, очевидно, относится к концу XVIII века, когда стены многих крепостных и монастырских сооружений стали ветшать. Но вскоре проявилась неэффективность этого технического решения, поскольку после значительных температурных деформаций и по возвращении прясел в исходное положение контрфорсы оказывались отторгнутыми и уже не влияли на устойчивость стен (рис. 5). Со временем от них стали отказываться, и уже в конце XVIII века при возведении подпорной стены нижней террасы перед дворцом Юсупова в Архангельском длиной около 150 м по торцам вместо контрфорсов впервые были использованы циклопические арбутаны из блоков известняка, которые смягчали внешние температурные воздействия за счет создания упругого противодействия от полуарок арбутанов (рис. 6). В дополнение к ним в середине стены был устроен грот с лестницами, который наряду с архитектурным приемом выполнял функцию продольного компенсатора для снижения температурных деформаций.

Подобным образом было стабилизировано развитие крена на прясле вблизи Елизаветинской надвратной башни Новоиерусалимского монастыря с помощью свое-



Рис. 6. Полуарки арбутанов для смягчения температурных воздействий на нижнюю подпорную стенку в Архангельском: а — полуарка восточного арбутана; б — полуарка западного арбутана (фото М.М. Михайлова)



Рис. 7. Устройство деревянного арбутана для предотвращения падения прясла вблизи Елизаветинской башни

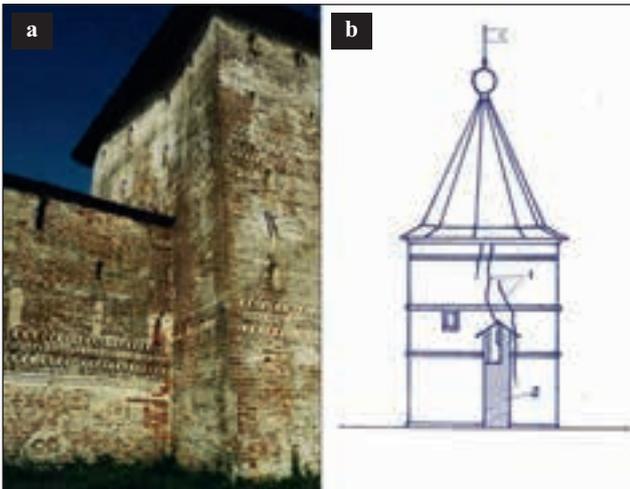


Рис. 8. Примеры деформаций стен башен различной конфигурации: а — вертикальная впадина в стене квадратной Входной башни Свято-Пафнутьева Боровского монастыря, образовавшаяся при удлинении прясла; б — вертикальные трещины на круглой башне Михайло-Архангельского монастыря: 1 — трещины в стене башни; 2 — прясло стены

образного аркбутана из деревянных конструкций (рис. 7) в середине прошлого столетия.

Вообще результаты температурных воздействий на деформацию стен довольно специфичны и непохожи на результаты влияния других факторов. В частности, температурные воздействия зависят от заложенной кривизны прясел в период строительства, от взаимосвязи прясел со стенами башен и конфигурации. Наблюдения показывают, что на пряслах с прямолинейной ориентировкой деформации приурочены к местам сопряжений с башнями, где концентрируются максимальные напряжения сжатия при нагревании прясел и наблюдается их усиленная релаксация при охлаждении.

Наименьшее сопротивление растяжению прясел оказывают стены башен квадратной и круглой формы в случае их примыкания посередине башни. Так, на рис. 8, а четко зафиксирована вертикальная впадина глубиной около 0,3 м в южной стене Входной башни Свято-Пафнутьева Боровского монастыря, образовавшаяся в результате удлинения прясла стены при его нагревании, а также трещина отрыва, возникшая в результате релаксации напряжений в месте примыкания прясла к стене башни, ставшая своеобразным температурным швом. На рис. 8, б показано, что в подобной ситуации в стене круглой башни Михайло-Архангельского монастыря в г. Юрьев-Польский образовались вертикальные трещины раскрытием до 1–2 см [1].

Иной характер образования трещин в стенах при температурных деформациях наблюдается, когда заложенная кривизна прясел обусловлена морфологией примыкающей территории и когда их излом направлен во внешнюю сторону монастырских и крепостных сооружений. При этом смежные участки прясел располагаются под тупым углом друг к другу. В этом случае локализация напряжений при температурных деформациях будет отличаться от напряжений прямолинейных прясел. Их максимальная концентрация будет приурочена к внешней поверхности стен на участках с наибольшей кривизной, где у прясел возникает степень свободы при деформации и возникают



Рис. 9. Характер развития температурных деформаций на участках прясел значительной кривизны



Рис. 10. Продольная трещина в сохранившейся части подпорной стены моста в Марфино

трещины разрыва. Именно в таких местах сооружались контрфорсы. На рис. 9 показан участок прясла Горицкого Успенского монастыря в Переславле-Залесском с максимальной кривизной и трещинами разрыва.

Но что объединяет некоторые особенности воздействий на деформирование различных по конфигурации прясел, так это общие условия формирования латентных продольных трещин, которые развивались внутри стен на границе лицевой кладки и забутовки или внутри забутовки. Объясняется данная особенность тем, что эти части прясел имеют разную структуру и сложены материалами с раз-



Рис. 11. Продольная трещина в торце сохранившегося прясла после его падения в 1991 г.

личными теплофизическими свойствами, обуславливающими на их границе появление влаги в результате конденсации водяных паров. При замораживании этой влаги и образуются продольные трещины. Со временем они расширяются кверху, достигая нескольких десятков миллиметров. Обнаружить эти трещины возможно лишь на торцах обрушенных стен или на поверхности гульбища. На рис. 10 видна продольная трещина после обрушения подпорной стены моста в усадьбе Марфино под Москвой.

Подобные трещины были зафиксированы в торцах сохранившихся прясел после последнего обрушения на территории Новгородского детинца в 1991 г. (рис. 11).

Особую группу нарушений сохранности прясел при воздействии температурных деформаций составляют случаи, связанные с заложенными при строительстве ошибочными техническими решениями на участках стыковки прясел с поверхностью круглых и многогранных башен не под прямым, а под острым углом. В этих случаях при удлинении прясло скользит по поверхности башни, отклоняясь в сторону и образуя при сжатии в кладке как самого прясла, так и башни повышенные напряжения, которые при их релаксации в процессе охлаждения приводят к образованию трещин отрыва. На рис. 12 показано подобное температурное воздействие на участке примыкания стены к круглой угловой юго-восточной башне Рождественского монастыря в Москве, когда надвигаю-



Рис. 12. Деформация прясла и юго-восточной башни Рождественского монастыря при температурном воздействии

щееся прясло скользит по касательной и, отклоняясь во внешнюю сторону, создает аварийную обстановку.

Редко встречающийся случай, когда прямолинейное прясло примыкает к грани башни не по нормали, а под углом, имеет свои характерные особенности. Подобная ситуация сложилась, например, с оградой Митрополичьего сада в Ростове Великом. На участке примыкания прясла к угловой шестигранной башне угол между нею и продольной осью прясла составлял 45° . При удлинении стены от нагревания на поверхности грани произошло разложение возникших усилий, и сдвиговыми деформациями прясло было перемещено внутрь сада. Со временем между башней и пряслом образовалась щель с раскрытием до 25–30 см, а крен стены составил не менее 0,5 м. На этом участке в результате возникшего эксцентриситета нагрузки на основание возникла дополнительная осадка, приведшая к аварийному состоянию ограды. Сложившийся результат температурного воздействия на стены Митрополичьего сада приведен на рис. 13.

Также редко встречающийся случай температурных воздействий на результат деформирования прямолинейных прясел был отмечен на южном участке Горницкого Успенского монастыря в Переславле-Залесском. Сравнительно невысокое прясло постройки XVII–XVIII вв. высотой 5,5 м, толщиной 2,5 м, с неглубокой аркадой с внутренней стороны и длиной около 80 м имеет в средней части вертикальный прогиб на 0,3–0,4 м.

В центре монастыря расположен копаный пруд, фильтрация воды из которого привела к замачиванию южной стены здания, к вероятной деструкции деревянных свай в основании стены и к снижению несущей способности грунтов основания. Таким образом, созданное ослаблен-



Рис. 13. Характер деформации прясла ограды Митрополичьего сада в Ростовском кремле

ное звено при взаимодействии фундамента стены и грунтов основания могло притягивать удлинение прясла при проявлении температурных деформаций «поглощением» его осадкой. Прогиб южной стены Горицкого Успенского монастыря приведен на рис. 14. Подобные деформации прясел можно наблюдать на прямолинейных участках стен Нового города Кирилло-Белозерского монастыря.

Рассмотренные в статье примеры температурных воздействий дают возможность осмыслить прошлое памятников архитектуры как историю их развития в границах взаимодействий с основаниями и влияния внешних факторов в режиме самоорганизации в течение длительного времени. Одновременно это позволяет согласиться с заключением об ошибочности проведения мониторинга за длительными процессами, включающими значительное число неопределенностей. Исходя из неверных предположений, по сути неправильных постановок исследований, кратковременность проведения мониторинга не может изменить интерпретацию суммарного результата наблюдений при проведении инженерно-геологического диагностирования состояния рассматриваемых памятников архитектуры. Простое отражение завершенной логически выверенной причинно-следственной связи в уме профессионально подготовленного специалиста не может быть поколеблено цифровым результатом наблюдений. Приведенная ремарка весьма уместна, поскольку в инженерной геологии сложилось мнение о «всемогуществе» мониторинга, на основе которого якобы можно «научно» прогнозировать развитие процессов и тем более управлять ими.

Заключение

В статье освещены случаи развития деформаций (образование трещин, прогибов, кренов, выпоров и пр.) в линей-



Рис. 14. Прогиб прясла южной стены Горицкого Успенского монастыря в Переславле-Залесском

ных элементах монастырских и крепостных сооружений при проявлении циклических температурных воздействий. Линейные элементы являются наиболее уязвимыми к воздействиям факторов внешней среды, из числа которых температурные оказываются наиболее устойчивыми в отличие от кратковременных и эпизодических воздействий.

В зависимости от условий соучастия температурных воздействий с особенностями рассматриваемых линейных сооружений их результаты отражают различные особенности отношений температурного фактора и структуры подсистемы «памятник».

Изложение фактического материала по проявлению температурного воздействия на сохранность памятников архитектуры и его анализ позволили сделать выводы:

- 1 — при проведении инженерно-геологической диагностики необходимо четко отличать трещины и деформации прясел от проявления температурных воздействий от трещин и деформаций иного генезиса, в частности, от неравномерных осадок;
- 2 — по результатам исследований выяснить, насколько влияют деформации в пряслах на изменения нагрузок на грунты оснований;
- 3 — рекомендовать оказывать от малоэффективных в борьбе против температурных деформаций контрфорсов и разработать технологию устройства температурных швов с использованием люфта образовавшихся трещин;
- 4 — не допускать тампонирующее трещин температурного генезиса жесткими растворами;
- 5 — организовать проведение специальных инженерно-геологических исследований оснований прясел, подвергшихся температурным деформациям. 🌐

Все фото и схемы, кроме фото на рис. 6, выполнены автором в различные годы при обследовании памятников архитектуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барановский П.Д. Отчет «О реставрации крепостной стены бывшего Михайло-Архангельского монастыря в г. Юрьев-Польский». М., 1938.
2. Брунов Н.И., Власюк А.И., Каплун А.И.; Кипарисова А.А., Максимов П.Н., Безсонов С.В. История русской архитектуры. М.: Изд-во по строительству и архитектуре, 1952. 462 с.

3. *Виолле-ле-Дюк*. Беседы об архитектуре: в 2 т. М.: Изд-во Всесоюзной академии архитектуры, 1937. Т. 1. 472 с.
4. *Гордеев В.Н., Лантух-Лященко А.И., Пашинский В.А., Перельмутер А.В., Пичугин С.Ф.* Нагрузки и воздействия на здания и сооружения. М.: Изд-во СКАД СОФТ, 2009. 514 с.
5. *Пашкин Е.М.* Инженерно-геологическая диагностика деформации памятников архитектуры. СПб.: Изд-во ПИ «Геореконструкция», 2013. 333 с.
6. *Пашкин Е.М.* Концепция инженерно-геологической диагностики деформаций памятников истории и культуры // Инженерная геология. 2017. № 2. С. 22–27.
7. *Энгельс Ф.* Диалектика природы / К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения: в 28 т. 2-е изд. М.: Партиздат, 1934. Т. 20. С. 546.

Summary

In Russian Federation, the majority of objects of cultural heritage is not protected from the impact of environmental factors (temperature, wind, precipitation, seismicity, etc.). Only in some cases rare measures were provided to adapt the structures to impacts of external factors and environmental conditions. It was often used harmonious shapes and rational breeds, developed by the nature. They can be called as a kind of method, «patented» by nature.

The article describes the cases of deformation development in the conditions of cyclic temperature effects in the linear elements of monastery and fortress buildings. These deformations lead to the formation of fractures, depressions, rolls and heave failures. Linear elements are particularly vulnerable to the impacts of environmental factors among which temperature effects are the most stable in contrast to short and episodic impacts of wind and waves.

The results of the interaction between the temperature factor and the linear structures reflect the different peculiarities of mentioned interaction. To prove this

assertion, the reasons of formation of «running» fractures, their localization in the straight and curved curtain walls, conditions of the occurrence of longitudinal fractures and rolls were analyzed in the article.

Assessment of temperature effects on the preservation of cultural heritage objects allows to distinguish fractures and deformations of curtain walls, caused by temperature factor, from fractures and deformations of different genesis during the engineering-geological diagnostic. Moreover, this assessment provides the opportunity to find out how curtain wall deformations influence the changes of loads on soil basis. This research allows to make the following recommendations:

- to reject the inefficient buttresses and to develop the technology of application of temperature joints with the use of formed fracture backlash;
- to prevent plugging of the temperature fractures with hard fluids;
- to recognize the necessity of organization of special engineering-geological surveys of the curtain wall bases, influenced by temperature deformations.

CAPTIONS TO FIGURES

Fig. 1. Transverse profile of the Kitay-gorod wall

Fig. 2. Examples of the «running fractures»: a — in the curtain wall near the Kirillo-Belozersky Monastery Smithy tower; b — in the parapet of the bridge, leading to the western gates of the Novgorod Kremlin

Fig. 3. Tension fracture in the site of the curtain wall adjunction to the Kirillo-Belozersky Monastery Smithy tower

Fig. 4. Buttresses

Fig. 5. Detached buttress near the Goritsy Monastery of Resurrection walls on the riverbank

Fig. 6. Semi-arches of the arc-boutants, used for mitigation of the temperature effect in the lower retaining wall in Arkhangelskoye: a — semi-arch of the eastward arc-boutant; b — semi-arch of the westward arc-boutant

Fig. 7. Structure of the wooden arc-boutant, designed for prevention of the curtain wall falling near the Elizabeth tower

Fig. 8. Examples of the tower wall deformations with different configurations: a — vertical cavity in the wall of the square Entrance tower of the Holy Pafnutiev Borovsky Monastery. This cavity was formed due to lengthening of the curtain wall; b — vertical fractures in the round tower of the Saint Michael the Archangel Monastery: 1 — fractures in the tower wall; 2 — curtain wall

Fig. 9. Peculiarities of the temperature deformation development in the parts of the curtain walls with different curvature

Fig. 10. Longitudinal fracture in preserved part of the bridge retaining wall in Marfino

Fig. 11. Longitudinal fracture in the gable facade of the preserved curtain wall after its falling in 1991

Fig. 12. Deformations of the curtain wall and south-east tower of the Rozhdestvensky Convent caused by temperature effect

Fig. 13. Deformation specificity of the Metropolitan's Garden curtain wall in the Rostov Kremlin

Fig. 14. Curtain wall deflection in the south part of the Goritsky Monastery in Pereslavl-Zalessky

REFERENCES

1. *Baranovskij P.D.* Otchet «O restavracii krepostnoj steny byvshego Mihajlo-Arhangel'skogo monastyrya v g. Jur'ev-Pol'skij» [Report «About the Restoration of Fortress Wall of Former Michael Archangel Monastery, Yuryev-Polsky»]. M., 1938. (Rus.).
2. *Brunov N.I., Vlasyuk A.I., Kaplun A.I.; Kiparisova A.A., Maksimov P.N., Bezsonov S.V.* Istoriya russkoj arhitektury [History of Russian Architecture]. M.: Izd-vo po stroitel'stvu i arhitekture [Civil Engineering and Architecture], 1952. 462 s. (Rus.).

3. *Violle-le-Dyuk*. Besedy ob arhitekture: v 2 t [Discourses on Architecture in 2 vol.]. M.: Izdatel'stvo Vsesojuznoj akademii arhitektury [All-USSR Academy of Architecture], 1937. T. 1. 472 s. (Rus.).
4. *Gordeev V.N., Lantuh-Lyashhenko A.I., Pashinskij V.A., Perel'muter A.V., Pichugin S.F.* Nagruzki i vozdejstviya na zdaniya i sooruzheniya [Loads and Impacts on Buildings and Structures]. M.: Izd-vo SKAD SOFT, 2009. 514 s. (Rus.).
5. *Pashkin E.M.* Inzhenerno-geologicheskaya diagnostika deformacii pamyatnikov arhitektury [Engineering-geological diagnostics of deformations of architectural monuments]. SPb.: Izd-vo PI «Georekonstrukciya» [«Georeconstruction»], 2013. 333 s. (Rus.).
6. *Pashkin E.M.* Konceptiya inzhenerno-geologicheskoy diagnostiki deformacij pamyatnikov istorii i kul'tury [A Concept of Engineering-Geological Diagnostics of Deformations of Archeological and Cultural Monuments] // Inzhenernaja geologiya [Engineering Geology]. 2017. № 2. S. 22–27. (Rus.).
7. *Engels F.* Dialektika prirody [Dialectics of Nature] / K. Marks i F. Engels. Sochineniya: v 28 t. 2-e izd [Essays in 28 vol. 2nd issue]. M.: Partizdat, 1934. T. 20. S. 546. (Rus.).

ГЕОТЕХНИКА

Журнал для изыскателей, проектировщиков и строителей

Цель журнала — ознакомление российских специалистов с передовым отечественным и зарубежным опытом в области геотехники

Периодичность в 2017 году:

6 номеров

Стоимость годовой подписки:

3900 рублей

info@geomark.ru

