

Шилин А.А., Кириленко А.М., Знайченко П.А

ЗАО «Триада-Холдинг», г. Москва

ОПЫТ ИЗУЧЕНИЯ КИРПИЧНЫХ И КАМЕННЫХ КЛАДОК ИСТОРИЧЕСКИХ ЗДАНИЙ В Г.МОСКВЕ *IN SITU*

Аннотация

В данной публикации рассмотрены некоторые результаты исследований кирпичных и каменных кладок в натуральных условиях, полученные в разные годы. Среди обследованных объектов такие значимые в России сооружения, как храмы Московского Кремля: Благовещенский, Архангельский и Колокольня Ивана Великого, постамент Царь-Колокола, несколько исторических зданий в центре Москвы. Все работы в основном проводились непосредственно на объектах и требовали особо бережного к ним отношения, поэтому велись с использованием неразрушающих методов, или с минимальными разрушениями. При изучении кирпичных и каменных кладок в основном применялись методы, основанные на распространении в изучаемой среде упругих волн (акустический и ультразвуковой), которые позволяют косвенно получить информацию о сплошности и прочности строительного материала, оценить анизотропию, связанную с трещиноватостью и микротрещиноватостью. Для общей оценки значительных по площади участков кладки применялся метод акустической томографии, а с помощью тепловизионной съемки поверхности определялись пути влагопереноса в конструкциях. В некоторых случаях проводились работы по алмазному бурению конструкций с отбором образцов-кернов, и по осмотру внутреннего состояния кладки оптическими эндоскопами. В статье приведены примеры обработки и интерпретации полученных в ходе обследований результатов.

Накопленный опыт позволил подобрать наиболее эффективный комплекс методов неразрушающего контроля для проведения предваряющего ремонт обследования и последующего контроля за качеством ремонтных работ, который дает возможность обеспечения оптимального способа восстановления и консолидации кладки и определения стоимости проведения работ.

Введение

Изучение кирпичной и каменной кладок в натуральных условиях – достаточно сложная задача с точки зрения диагностики состояния строительных конструкций, поскольку кладки являются дискретной и многокомпонентной средой. Когда же речь идет об исторических зданиях, возникают дополнительные трудности, так как каждый объект исследований уникален в своем роде, это здания и сооружения, представляющие ценность и требующие особо бережного отношения. Для решения задач по изучению кладки требуется комплексный подход: обязательное сопоставление результатов, полученных разными методами, локальное зондирование, установка систем мониторинга

для отслеживания динамики процессов. Основные задачи при исследовании кладок из кирпича и камня, с которыми приходится сталкиваться чаще всего, следующие:

- определение прочности и несущей способности кирпича и камня;
- определение ширины и динамики раскрытия трещин на поверхности кладок и глубины их распространения в конструкциях;
- определение прочности контакта штукатурных и других облицовочных покрытий с кладкой конструкций;
- определение строения конструкций, в которых используются разные типы материалов и кладок;
- поиск закладных элементов и связей в кладках;
- определение сплошности кладок из кирпича и камня;
- определение влажности и засоленности кладок, высоты капиллярного поднятия влаги (эти вопросы подробно рассмотрены в [1]).

Полученные при решении поставленных задач обследования результаты служат основой для оценки эксплуатационной пригодности, для определения необходимого реставрационного вмешательства и его направленности, для составления проектов по выполнению ремонтных и реставрационных работ.

Примеры исследований

Рассмотрим некоторые примеры изучения кладок различных зданий и сооружений в г. Москве.

Благовещенский собор Московского Кремля - памятник истории и архитектуры XIV в. Объектом исследований являлась кирпичная кладка центрального барабана и купола собора (рис.1б). На поверхности конструкций наблюдаются многочисленные трещины по живописным картинам с максимальной шириной раскрытия до 2 мм, шелушение краски, отмечена коррозия стальных элементов крепления. Наибольшее количество дефектов, связанных с разрушением белокаменных украшений приурочено к южной стороне барабана. При сопоставлении дефектовок отмечено, что трещины внутри барабана по сопряжению с куполом расположены практически на одном уровне с трещинами в наружной части стены по верхнему поясу. По этому, был сделан вывод, что данные трещины носят сквозной характер. Однако, результаты тепловизионной съемки не выявили тепловых потерь через трещины, следовательно трещины не сквозные (рис.1а). Задача исследований неразрушающими методами состояла в определении глубины и динамики раскрытия трещин в куполе и в главном барабане. Был проведен мониторинг

изменения ширины раскрытия трещин в конструкциях, который показал, что трещины носят температурно-деформационный характер (рис.1д). Исследования купола были проведены георадиолокационным неразрушающим методом контроля по сетке профилей. В результате получены развертки купола, показывающие изменение толщины штукатурного покрытия (рис.1в). Сопоставление результатов георадиолокационных исследований с дефектовочной ведомостью (рис.1г) показало, что изменение толщины штукатурного покрытия связано с его повышенной трещиноватостью и отслоением от кладки. В ходе интерпретации полученных материалов также было выявлено наличие в конструкциях крепежных металлических элементов – кламмеров, что позволило скорректировать проект реставрационных работ. Все стальные стропила главы барабана подвержены язвенной коррозии. По поверхности стальных элементов отмечаются язвы глубиной до 1,5 мм. Потеря сечения в результате коррозии составила до 10 %. Полученные результаты дали возможность оценить эксплуатационную пригодность конструкций, подобрать наиболее эффективный способ ведения реставрации.

Другим примером проведения комплексного обследования каменной кладки могут служить работы по Архангельскому собору Московского Кремля, который был возведен в начале XVI в., приглашенным из Венеции архитектором Алевизо Новым, как усыпальница царей Московской правящей династии (рис.2а). В Архангельском соборе объектом изучения являлись контрфорсы со стороны южного фасада ближе к береговому склону, которые были сооружены во второй половине XVIII века для стабилизации деформаций в конструкциях собора (рис.2б). Обследование проводилось с целью обоснования возможности увеличения музейного пространства за счет частичной разборки конструкции контрфорсов. Для уточнения типа кладки сооружений было проведено бурение с отбором кернов и зондирование в нескольких местах, осмотр шпуров с помощью эндоскопа (рис.2в). Установлен состав конструкции: снаружи облицовка блоками известняка, далее кирпичная стенка и далее внутреннее заполнение конструкции нетесаным известняком на известково-песчаном растворе с добавлением битого кирпича. Для оценки сплошности конструкции контрфорса применялся метод сейсмической томографии (рис.2г). В результате установлено, что кладка относительно однородная и возможна ее частичная разборка.

Поскольку поверхность контрфорсов в течении очень долгого времени не была защищена от атмосферных осадков важно было определить кинетику влагопереноса в конструкциях. В этой связи определялась пористость известняков облицовки и внутреннего заполнения контрфорсов. В результате установлено, что известняки очень

пористые, общая пористость известняков облицовочных блоков составляет 25,6 %. Большая часть пор (20,3%) относится к открытой пористости (капиллярной и некапиллярной), легко проницаемой для воды, что подтверждается кинетикой влагонакопления (за 30 мин. до 9,5%). Для известняков внутреннего заполнения общая пористость несколько меньше и составляет 17,5%, открытая пористость составляет 13,42 %. Характер влагонакопления аналогичен образцам облицовочного камня.

На рис.2д приведены зависимости, отражающие динамику процесса водонасыщения белого камня контрфорсов.

Прочность известняка облицовочных блоков в сухом состоянии составляет в среднем 11,4 МПа, а в водонасыщенном состоянии 9,8 МПа. Таким образом, коэффициент размягчения породы равен 0,86, т.е. потеря прочности при намокании равна 14%.

С целью определения фактической влажности внутри конструкций и поиска закладных элементов были проведены исследования георадиолокационным методом. Поскольку основной измеряемый параметр этого метода - диэлектрическая проницаемость среды существенно зависит от ее влажности, возможно косвенное измерение этого параметра, например по формуле Лихтенекера:

$$\epsilon = \epsilon_k^w \epsilon_v^{1-w}$$

- , где ϵ - значение диэлектрической проницаемости по данным георадара;
 ϵ_k - диэлектрическая проницаемость сухого кирпича и камня - 4;
 ϵ_v - диэлектрическая проницаемость воды - 81;
 w - объемная влажность.

По результатам обработки всех данных, полученных при обследовании были сделаны следующие выводы:

- определен диапазон изменения толщин кладки из облицовочного известняка и кирпича до внутреннего заполнения контрфорса колеблется от 44 до 52 см;
- белый камень облицовки имеет низкую прочность 6,4 – 10,7 МПа (кадастровое значение прочности для известняков Подмосковья, разрабатываемых в XVIII – XIX вв., составляет 28-31 МПа), отличается значительной неоднородностью. Кроме того, по фасадной стороне белый камень более ослаблен за счет атмосферного воздействия – установлено, что он обладает хорошей гигроскопичностью;
- определены мелкие закладные элементы, которые вероятней всего являются компонентами металлических связей. Для связей использовали полосовую сталь

размером 12x75 мм, укладываемую на ребро. Связи соединены вертикальными стальными штырями;

- объемное содержание влаги в кладке по фасадной части составляет 4,2-8,4 %. Кладка белого камня по фасаду находится в средне-влажном и влажном состоянии.

Полученные в результате обследования данные послужили основой для разработки проекта устройства экспозиционных помещений с частичной разборкой кладки контрфорсов.

Аналогичный комплекс работ был проведен по Колокольне Иван Великий - памятнику архитектуры начала XVI века. Вместе со Успенской Звонницей и Филаретовой пристройкой Колокольня образует комплекс архитектурных памятников широко известных в истории России.

Царь-Колокол - памятник русского литейного искусства XVIII века. Установлен на постамент из квадратных камней прочного (*прочность на сжатие* ≈ 120 МПа) и долговечного песчаника. Внутри постамент усилен дополнительным опорным несущим поясом кирпичной кладки. Связи квадратных камней между собой и с кирпичной кладкой выполнены типовыми деталями (металлические скобы, пироны, анкеры) в виде объемного усиления, как это было принято в массивных сооружениях [2]. Основной проблемой дальнейшей эксплуатации постамента, является активная коррозия как наружных, так и внутренних металлических связей, разрушение верхних слоев кирпичной кладки и материала чеканки швов каменной кладки. Задачи исследования: определение общего состояния кирпичной внутренней стенки и основной кладки из квадратных камней, поиск скрытых закладных элементов и определение их положения относительно друг друга (рис.3а). Были проведены акустические исследования кладки по методу томографии на разных уровнях от поверхности земли (рис.3б). В результате сделан вывод о большой степени неоднородности кладки, причем неоднородности, выявленные в верхнем уровне, прослеживаются на среднем и нижнем уровнях (рис.3в). Полученные результаты были подтверждены в результате бурения отверстий и осмотра кладки изнутри с помощью эндоскопа. Выявленную неоднородность кладки можно объяснить в первую очередь чрезмерным увлажнением известкового кладочного раствора вплоть до его полного раскисания в зоне контакта с квадратными камнями, а также отсутствием или выветриванием раствора в швах сопряжения квадратных камней. Такое увлажнение существенно усугубляется отсутствием гидроизоляции по контуру примыкания колокола к постаменту, затеканием воды в швы кладки, затеканием воды и

накоплением снега внутри постамента, отсутствием дренажа вокруг него. Существенно ухудшает сложившуюся ситуацию наличие хлоридов в известковом растворе кирпичной кладки, что интенсифицирует протекание коррозионных процессов в металлических связях. В результате обследования можно сделать следующие выводы, позволившие скорректировать проект реставрационных работ:

- имеющаяся система металлических элементов скрепления постамента в единую несущую конструкцию является неразборной;
- обязательными условиями ремонта следует считать герметизацию стыков (швов) сопряжения квадратных камней стен и отмостки, устройство дренажа снаружи и внутри постамента, защиту кирпича и камня от атмосферных воздействий паропроницаемыми составами;
- ремонт кирпичной кладки следует выполнять захватками с установкой дополнительных связей из коррозионностойких материалов (углепластик, стеклопластик);
- зону контакта кирпичной кладки с камнем следует уплотнить, переведя раскисший известковый раствор в устойчивое состояние и обеспечив ему водонепроницаемость.

Разработанный с учетом материалов обследования проект реставрации позволил учесть все особенности памятника, защитить его от воздействия атмосферной влаги и обеспечить все эксплуатационные требования.

Еще одним примером обследования каменной кладки являются работы по зданию начала XX века в центре Москвы по Знаменскому пер., дом 8, которое входит в комплекс зданий ГМИИ им. А.С.Пушкина и является памятником архитектуры (рис.5а). В настоящий момент ведутся работы по его реставрации и реконструкции. Внешние несущие стены зданий имеют множество осадочных трещин различной ширины раскрытия: от волосных до трещин со значительным раскрытием (до 8-10 мм), часть из которых возникла недавно в результате ведения рядом строительных работ. Обследования проводились с целью корректировки проекта производства работ по инъекционному лечению кладки. Для этого были выбраны контрольные участки, на которых проведено детальное обследование кладки и выполнены пробные инъекционные работы с использованием четырех видов материалов из которых три состава на цементной основе и один – на полимерной.

Выполнено комплексное обследование кладки, включающее осмотр конструкций,

контрольное бурение с отбором образцов-кернов для лабораторных испытаний и инструментальные исследования неразрушающими методами. Инструментальные исследования включали: склерометрические испытания кирпича и кладочного раствора, определение влажности кладки диэлькометрическим методом, тепловизионные исследования поверхности стен (рис.4б), ультразвуковые исследования кладки стен (рис.4в-д), томографические (рис.4ж) и виброакустические исследования кладки, т.е. основной набор методов неразрушающих испытаний кладки [3].

Комплексные исследования позволили оценить общее состояние кладки по всему объему стены в пределах участков обследования, ее пористость, влажность, прочность и сплошность и в конечном счете подобрать параметры инъецирования, скорректировать водоцементное отношение для материалов на цементной основе и вязкость составов на полимерной основе [4]. В частности, для лучшего проникновения цементных составов было определено необходимое количество воды для предварительного локального увлажнения кладки (прокачка каждого пакера)[5].

После проведения пробных инъецирований по участкам различными составами и по достижении ими проектной прочности были выполнены работы по контролю за качеством выполнения инъецирования, которые завершились отбором образцов-кернов, выбуренных через залеченные трещины (рис.4е). Выполненный комплекс исследований, который включал основные методы, примененные ранее (ультразвук, ультразвуковую томографию, виброакустику), показал что кладка в районе трещин сконсолидирована и отвечает необходимым требованиям заказчика.

Проведенные поэтапно работы продемонстрировали эффективность комплексного подхода к диагностике, лечению и последующему контролю за качеством выполнения работ.

Выводы.

1. Применение передовых неразрушающих методов: термографического, эндоскопического, ультразвуковой и акустической томографии, георадиолокационного и некоторых других позволяет оперативно решать поставленные задачи по изучению каменных кладок.
2. Данные полученные неразрушающими методами должны быть в обязательном порядке привязаны и уточнены результатами локальных зондажей, вскрытий или бурением с отбором образцов кладки.

3. Используя опорные точки, в которых кладка была изучена прямыми методами (отбор образцов, вскрытие) и применяя неразрушающие методы (томография, радар, термография и проч.) можно косвенно получать результаты по всему кладочному массиву.
4. При выполнении работ по лечению различных кладок необходим комплексный подход, включающий диагностику состояния кладки, выбор параметров инъектирования, проведение контрольного нагнетания и послеремонтный контроль качества выполнения инъекций.
5. Накопленный опыт по изучению кладок лежит в русле общемирового опыта и мы надеемся на то, что дальнейшие работы в этом направлении принесут полезные результаты.

Литература

1. Шилин А.А. Кирпичные и каменные конструкции // - М., Стройтехиздат, Из-во «Горная книга», 2009
2. Полещук А.А. Курс строительного искусства. Часть 2. Материалы и их обработка. Санкт-Петербург, 1903
3. L. Binda and A. Saisi. Application of NDTs to the diagnosis of Historic Structures // NDTCE'09, Non-Destructive Testing in Civil Engineering, Nantes, France, June 30th – July 3rd, 2009
4. Шилин А.А. Ремонт строительных конструкций с помощью инъектирования. – М.: Горная книга: Изд-во МГГУ, 2009
5. Рекомендации по усилению каменных конструкций зданий и сооружений // ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, М., Стройиздат, 1984

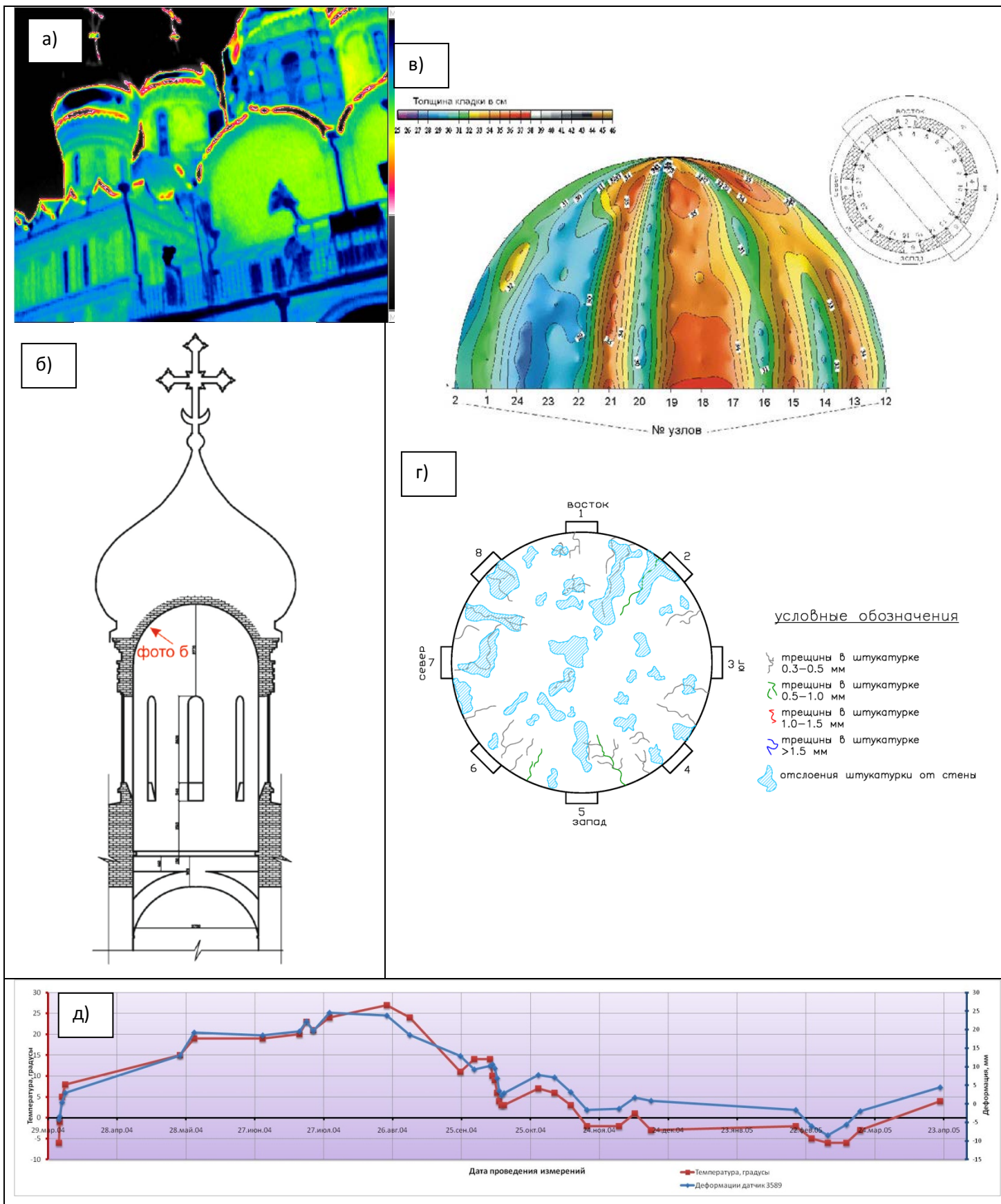
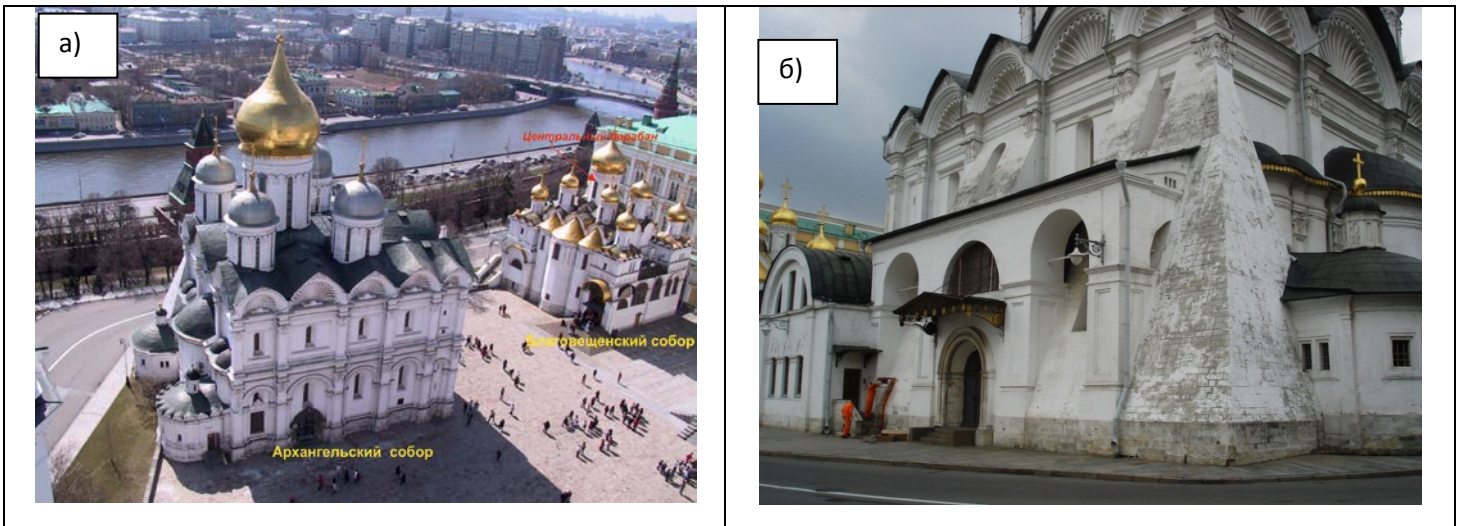


Рис.1 Благовещенский собор: а); фрагмент росписи купола по штукатурному покрытию б) разрез по центральному барабану; в) карта изменения толщины штукатурного покрытия; г) карта распределения повреждений и дефектов купола; д) результаты годового цикла измерения деформаций и температуры по трещинам оптоволоконной системой мониторинга



Западный и Восточный контрфорсы (фасад)

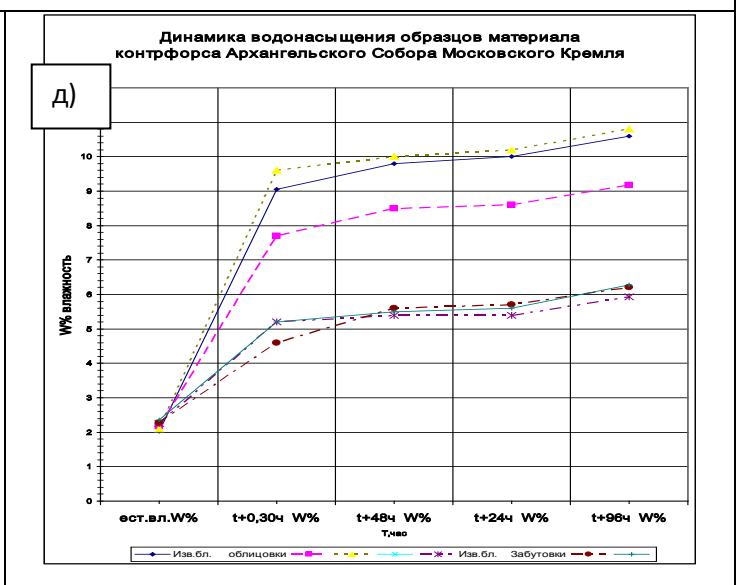
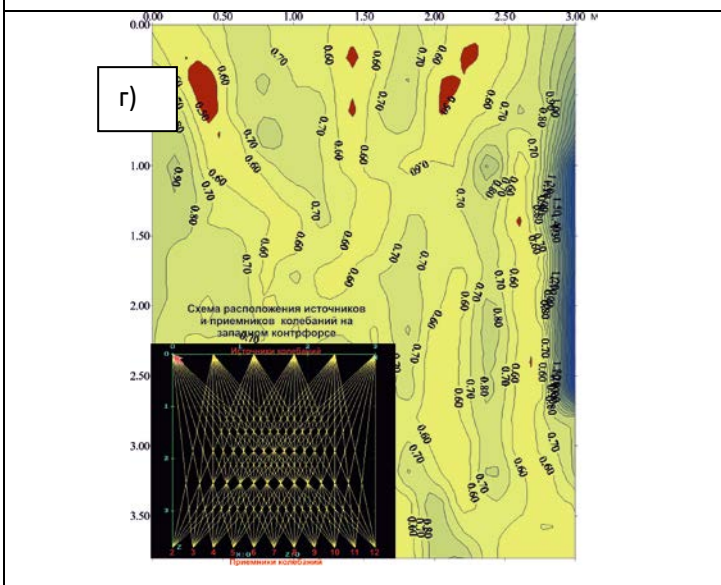
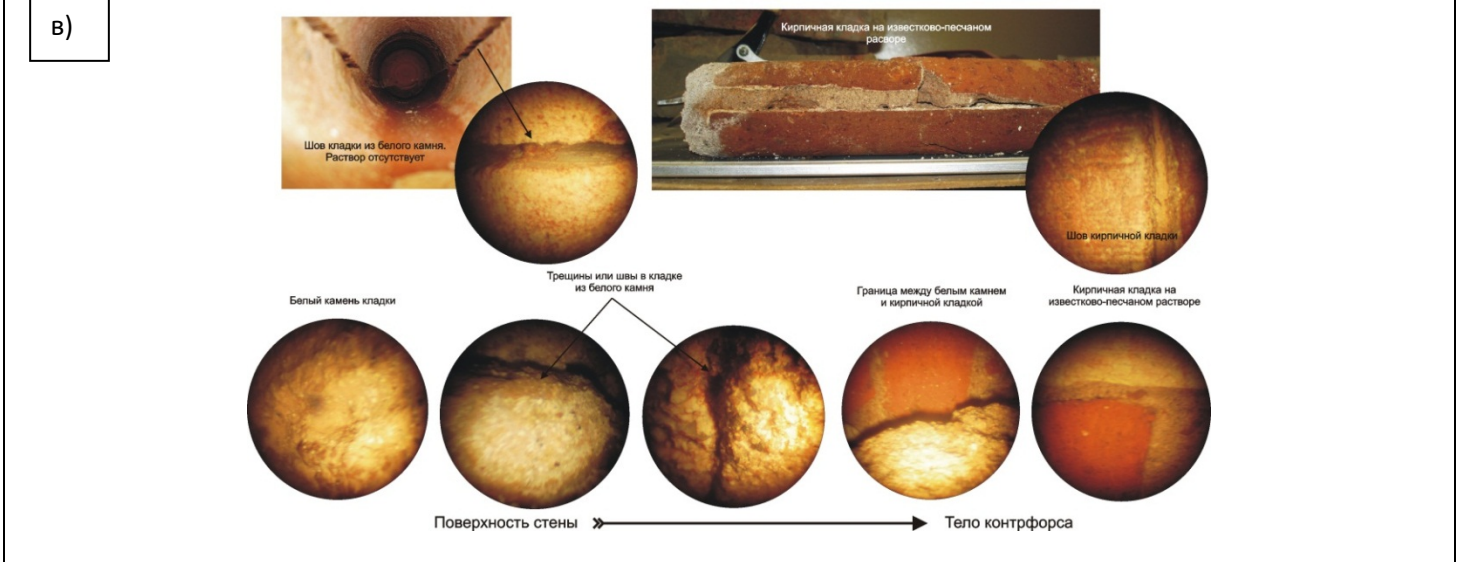


Рис.2 Архангельский собор: а) общий вид на Благовещенский и Архангельский соборы со стороны северного фасада; б) контрфорсы южного фасада; в) результаты бурения с отбором керна, эндоскопических исследований в шпуре; г) томографический разрез конструкции в горизонтальной плоскости, внизу приведена схема распространения акустических колебаний; д) графики, показывающие динамику водонасыщения известняков контрфорсов

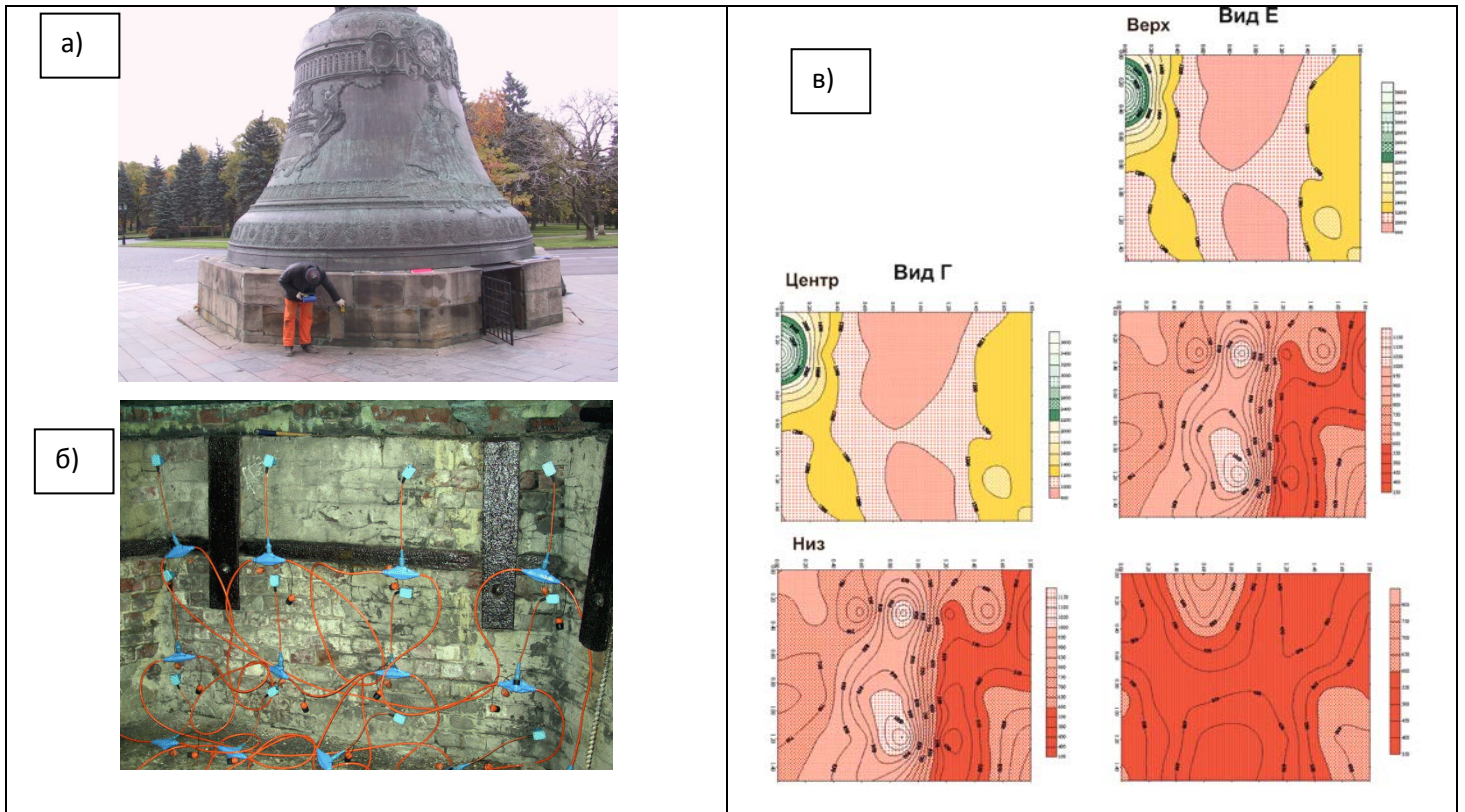


Рис.3 Царь-Колокол: а) общий вид Царь-Колокола в Кремле; б) приемники колебаний на внутренней стороне постамента; в) томографические разрезы кладки в горизонтальной плоскости

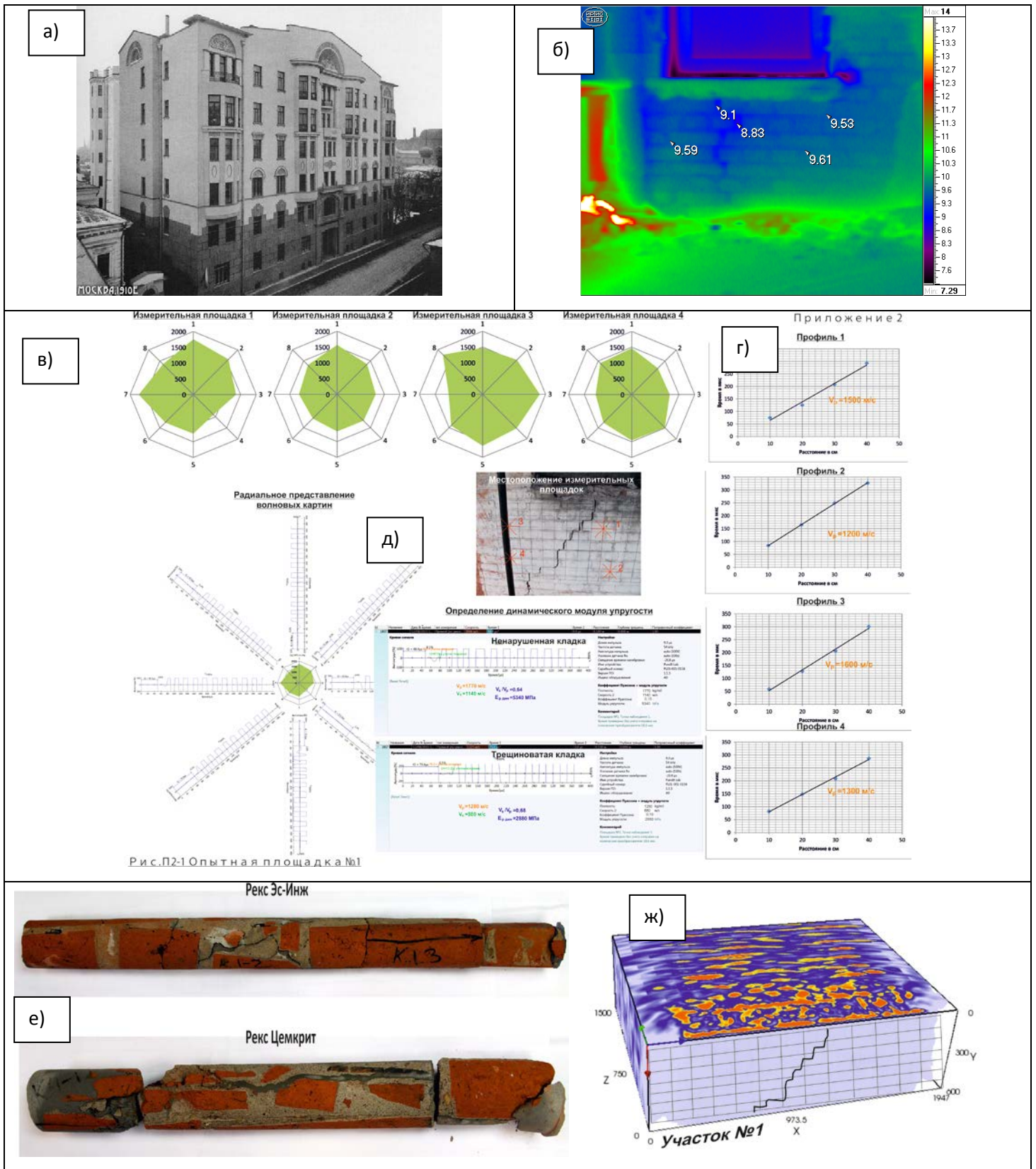


Рис.4 Здание начала XX века по Знаменскому пер.: а) общий вид здания; б) тепловизионная съемка стен здания; в) радиальные ультразвуковые исследования кладки; г) годографы продольных упругих волн: зависимость времени прохождения волны от расстояния между преобразователями; д) места радиальных измерений на участке, волновые картины по радиусу, определение динамического модуля упругости; е) керны, выбуренные из кладки по трещине укрепленной ремонтными составами; ж) результаты объемной ультразвуковой томографии по одному из участков