Министерство культуры РСФСР

Объединение «Росреставрация»

Реставрационные нормативы

ОБЕССОЛИВАНИЕ КИРПИЧНЫХ СТЕН ПАМЯТНИКОВ АРХИТЕКТУРЫ В ПОЛЕ ПОСТОЯННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Добычков В.А.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Москва 1989

Общие вопросы проектирования реставрации и приспособления памятников

Историко-архивные, археологические и другие исследования

Экономика, сметы, вычислительная техника

Инженерные вопросы: конструкции, инженерное оборудование, организация производства работ

Работы по камню и кирпичу; кровли

Работы по дереву

Наружные и внутренние отделочные работы

Монументальная, станковая живопись, скульптура

Предметы прикладного искусства

Российское республиканское специализированное научно-реставрационное объединение «РОСРЕСТАВРАЦИЯ»

Московский инженерно-строительный институт им. В. В. Куйбышева

Брестский инженерно-строительный институт

ОБЕССОЛИВАНИЕ КИРПИЧНЫХ СТЕН ПАМЯТНИКОВ АРХИТЕКТУРЫ В ПОЛЕ ПОСТОЯННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Библиотека ЦНРПМ

МИНИСТЕРСТВО КУЛЬТУРЫ СССР
В/О „СОЮЗРЕСТАВРАЦИЯ"
Н И П М

Москва—1990

Методические рекомендации разработаны сотрудниками кафедры архитектуры Московского инженерно-строительного института им. В. В. Куйбышева — кандидатами технических наук Объедковым В. А., Аксеновой И. В., инженерами Пучковым Ю. М. и Гридюшко В. В., архитектором Отрадинским Ф. И. при участии сотрудника Брестского инженерно-строительного института — кандидата технических наук Никитина В. И. Электрическая схема составлена при консультации кандидата технических наук Хохлунова П. И. (МИСИ).

В рекомендациях дана технология проведения работ по обессоливанию вертикальных конструкций кирпичных памятников архитектуры по всей толщине и на всю высоту. Приведен расчет электрических параметров установки, а также электрическая схема для обработки участка стены площадью 960 м² (длиной 80 м и высотой 12 м).

Данная работа выполнена по заказу объединения «Росреставрация».

Утверждена и рекомендована к изданию научно-реставрационным советом объединения «Росреставрация». Протокол № 17 от 2 ноября 1987 года.

© Объединение «Росреставрация», 1990 г.

XX век стал свидетелем быстрого исчезновения архитектурных памятников большой исторической ценности, которые являются своеобразными музеями «под открытым небом». Несмотря на применяемые меры, древние постройки помимо повреждений, связанных с естественными процессами старения, происходящими в природе, испытывают разрушающее воздействие окружающей среды современного промышленного района. Это явление отмечается во всех развитых странах. Причины ускоренного разрушения кроются в загрязнении атмосферы газовыми выделениями, в нарушении экологических процессов, высокой минерализации грунтовых вод. В результате глобального увеличения фоновых концентраций вредных примесей в атмосфере осадки представляют собой так называемый «кислотный дождь» с водородным показателем pH = 5,6.

По мнению большинства специалистов, все разрушительные процессы, протекающие в каменных конструкциях зданий, во много раз усугубляются водорастворимыми солями. Как подтверждает практика, стены, содержащие в порах камня соли, разрушаются более интенсивно по сравнению с конструкциями, на которые воздействуют только колебания температуры и влажности. Каменная кладка впитывает влагу как губка, а вместе с ней и растворенные в ней соли (сернокислые и хлористые соли натрия, магния, кальция и некоторые другие).

Соли усиливают разрушительное действие воды и температурных колебаний по следующим причинам.

При переходе кристаллогидратов солей одной модификации в другую стенки пор вследствие увеличения в несколько раз объема твердой фазы солей испытывают напряжения, превышающие предел прочности. Влажностный режим стен ухудшается, поскольку определяется сорбцией, повышающейся в 2—3 раза у солесодержащих материалов по сравнению с незасоленными. Это приводит к поверхностному разрушению материала конструкций на глубину до 10 см.

Снижение разрушающего действия солей важно для консервации камня. Радикальным решением этой проблемы является удаление водорастворимых солей из засоленных

конструкций. Однако все известные до последнего времени способы обессоливания дают возможность очистить только поверхностные слои. Проведение последующих работ по укреплению и защите камня в этом случае не только не обеспечивает его сохранности, но может даже ускорить разрушение, так как соли, поступающие из глубинных слоев к испаряющей поверхности, отрывают укрепленный слой камня.

Данные методические рекомендации разработаны на основании исследований, выполненных в 1985—1986 гг. Исследования были направлены на усовершенствование способа [1; 2], распространение его на обработку стены по всей высоте, а также на получение данных для предварительного расчета всех электрических параметров установки.

Усовершенствование способа удаления солей из конструкций позволит создать условия нормализации температурно-влажностного режима стен и здания в целом, проводить консервацию и реставрацию исторических объектов с большей технико-экономической эффективностью, увеличить межреставрационные сроки и повысить в конечном итоге долговечность памятников архитектуры.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СПОСОБА

1.1. Обессоливание конструкции по всей толщине и практически неограниченной высоте (объемное обессоливание) является составной частью комплекса работ по консервации памятников архитектуры. Последовательность проведения консервационных работ на памятниках, конструкции которых содержат водорастворимые соли, должна быть следующая:

— объемное обессоливание (удаление солей по всей толщине кладки);

— создание гидроизоляции (нарушенная гидроизоляция может быть восстановлена в соответствии с [3]);

— поверхностная очистка от загрязнений;

— укрепление камня, восполнение утрат;

— поверхностная защита от атмосферных воздействий.

Перечисленные работы эффективны только в комплексе и в указанной последовательности.

1.2. Необходимость проведения работ по удалению водорастворимых солей из толщи кладки устанавливают на основе результатов обследования конструкций. Определяют степень их засоленности (количественный и качественный состав солей, их распределение по высоте и толщине конструкции) и устанавливают причины засоленности (подсос грунтовых вод, загрязненная атмосфера, локальное засоление).

1.3. Предельно допустимым следует считать содержание солей в кладке не более 1% по массе как в поверхностных слоях, так и в толще [2].

1.4. Рекомендации распространяются на обессоливание тех конструкций, в которых содержание водорастворимых солей превышает предельно допустимое значение. При использовании способа исходная засоленность может быть снижена с 5—7% по массе (при большей засоленности материал практически бывает разрушенным) до сотых долей процента.

1.5. Использование постоянного электрического тока для обессоливания кладки стен эффективно, когда поровый раствор содержит не более 30% сернокислых солей магния от общего солесодержания.

2. ОПИСАНИЕ СПОСОБА УДАЛЕНИЯ ВОДОРАСТВОРИМЫХ СОЛЕЙ

2.1. Сущность способа удаления водорастворимых солей из стен заключается в обработке каменной кладки постоянным электрическим током определенной плотности, под действием которого в капиллярно-пористой системе материала, заполненного поровым раствором, протекает электроосмотическое отжатие раствора солей из мелких пор, где он удерживается капиллярными силами, в крупные дренирующие. В дренирующих порах раствор под действием гравитационных сил перемещается вниз. Оптимальная плотность тока, при которой в системе интенсифицируется электроосмос, для кирпича составляет 0,9 А/м² по сечению кладки. При меньшей плотности тока процесс электроосмоса, а следовательно и удаление солей, протекает значительно медленнее. Плотность тока на аноде не должна превышать 2—2,5 А/м².

2.2. Принципиальная схема установки для удаления водорастворимых солей из кладки стен приведена на рис. 1 и 2. Вдоль верхней грани обрабатываемого участка стены (1) устанавливают пластинчатый анод (2), который может быть выполнен из листового свинца, алюминия или другого материала, обладающего высоким сопротивлением к электрохимической коррозии. Катод (3) выполняется по типу заземления и размещается в прилегающем к фундаменту грунте на некотором расстоянии от здания. Между анодом (2) и стеной (1) пропускают фитиль (4) из хлопчатобумажной ткани, обладающей высокими капиллярными свойствами. Верхний конец фитиля (4) опускают в резервуар с водой (5), нижний — в резервуар для сбора фильтрата (6), которые располагают соответственно выше и ниже анода. Анод (2) соединяют с положительным полюсом источника постоянного электрического тока (7), катод (3) — с отрицательным.

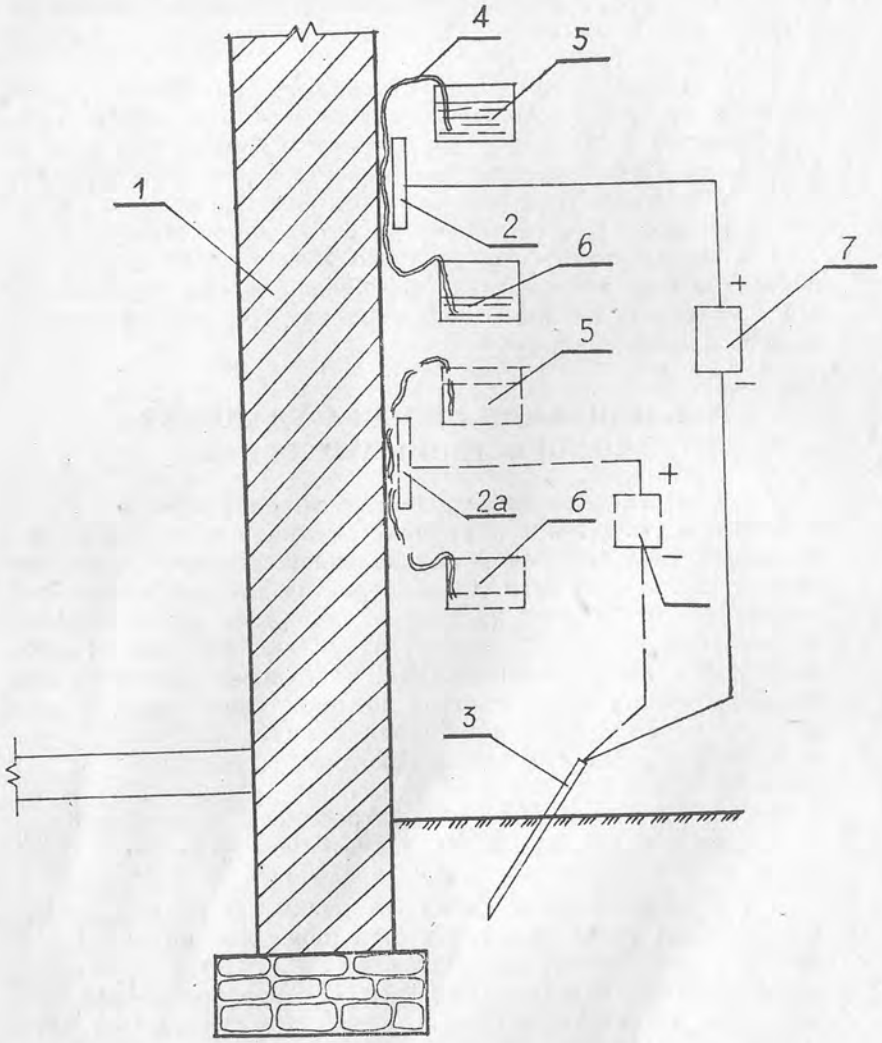

Рис. 1. Принципиальная схема установки для удаления водорастворимых солей из стен зданий (см. пп. 2.2 и 2.3)

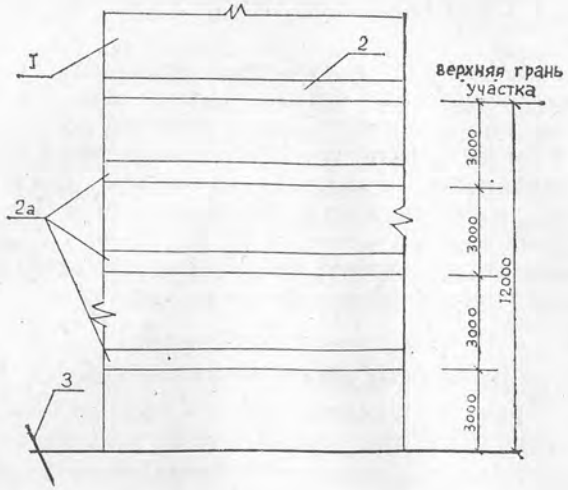

Рис. 2. Фрагмент фасада обрабатываемого участка. 1 — обрабатываемая стена; 2 — стационарный анод; 2а — переставляемый анод; 3 — катод

2.3. При достижении требуемого уровня обессоливания верхней зоны стены на 2—3 м ниже уровня стационарного анода устанавливают второй переставляемый анод (2а, рис. 1 и 2), соединенный с положительным полюсом источника постоянного электрического тока (8). Этот анод по мере обессоливания перемещают в нижние зоны ступенями по 2—3 м до тех пор, пока не будет обессолена вся кладка.

2.4. Чтобы поровый раствор не поднимался по капиллярам из нижних слоев в верхние, уже обессоленные, под действием градиентов влажности и концентрации, с помощью верхнего стационарного анода (2), поддерживается постоянная напряженность электрического поля.

2.5. Процесс обессоливания кладки протекает по всей ее толщине в зоне, расположенной ниже верхней кромки анода. Под действием электрического тока соли перемещаются в нижние ряды кладки, а затем уходят в грунт.

2.6. Промывка прианодной зоны с помощью тканевого фитиля необходима для удаления продуктов побочного процесса (электролиза). Кроме того, промывочная вода является дополнительным источником увлажнения стены, необходимого для растворения всего количества солей, содержащихся в толще кладки.

3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ОБЕССОЛИВАЕМОГО УЧАСТКА

3.1. При равномерном засолении вертикальной конструкции на расстоянии ниже верхней кромки анода, равном толщине стены, напряженность электрического поля, а следовательно и плотность тока практически постоянны по сечению. При неравномерном засолении кирпичной кладки по толщине стены величина тока в отдельных зонах обратно пропорциональна электрическому сопротивлению.

3.2. Сила тока, которую необходимо обеспечить на обрабатываемом участке, определяется по формуле:

$$I_{об} = i_{сеч} \cdot F_{сеч} = i_{сеч} \cdot B \cdot L, \qquad (1)$$

где: $I_{об}$ — сила тока на обрабатываемом участке, А;

$i_{сеч}$ — рекомендуемая плотность тока по сечению кладки 0,9 А/м²;

$F_{сеч}$ — площадь сечения обрабатываемого участка, м²;

B — толщина кладки, м;

L — длина обрабатываемого участка, м.

3.3. Исходя из силы тока на участке, а также плотности тока на аноде, которую следует поддерживать в пределах i_a =2—2,5 А/м², минимальная площадь анода определяется по формуле:

$$f_a = \frac{I_{об}}{i_a} = \frac{i_{сеч} \cdot F_{сеч}}{i_a} = \frac{0,9}{2,5} F_{сеч} =$$

$$= 0,36\, F_{сеч} \approx 0,4\, F_{сеч} \text{ м}^2, \qquad (2)$$

где: f_a — минимальная площадь анода, м²;

$I_{об}$ — сила тока на обрабатываемом участке, А;

i_a — плотность тока на аноде, А/м²;

$i_{сеч}$ — рекомендуемая плотность тока по сечению кладки, 0,9 А/м²;

$F_{сеч}$ — площадь сечения обрабатываемого участка, м².

Учитывая, что $f_a = L \cdot b$, ширина анода равна

$$b = \frac{0,4 \cdot L \cdot B}{L} = 0,4\ B \text{ м}, \qquad (3)$$

где: b — ширина анода, м;

L — длина обрабатываемого участка, м;

B — толщина кладки, м.

Исходя из ширины листового свинца, выпускаемого отечественной промышленностью (0,5 м), максимальная толщина кладки, которая может быть обработана током оптимальной плотности, составляет 0,5 : 0,4 = 1,25 м. При ширине анода 0,5 м (и меньше) обеспечиваются оптимальные условия промывки прианодной зоны. Обессоливание кладки большей толщины нужно проводить с максимально допускаемой плотностью тока на аноде (i_a =2,5 А/м²), при этом плотность тока по сечению кладки будет меньше оптимальной, что приведет к увеличению продолжительности обработки.

3.4. С учетом необходимой площади может быть применено «пунктирное» расположение анода при общей длине не менее 1/20 длины обрабатываемого участка.

3.5. Падение напряжения между анодом и катодом пропорционально величине тока и электрическому сопротивлению системы

$$E = I_{об} \cdot R = (i_{сеч} \cdot F_{сеч}) \frac{\rho \cdot H}{F_{сеч}} = 0,9\, H \cdot \rho,\ B, \qquad (4)$$

где: E — падение напряжения между анодом и катодом, В;

$I_{об}$ — сила тока на обрабатываемом участке, А;

R — электрическое сопротивление обрабатываемого участка, Ом;

$i_{сеч}$ — рекомендуемая плотность тока по сечению кладки, 0,9 А/м²;

$F_{сеч}$ — площадь сечения обрабатываемого участка, м²;

ρ — удельное электрическое сопротивление кладки, Ом·м;

H — высота обрабатываемого участка (от земли до верхней грани засоления), м.

Исходя из условий техники безопасности, на обрабатываемый участок следует подавать напряжение не выше 60 В [4]. Из этого условия может быть определена максимальная высота участка обработки оптимальной плотностью тока:

$$H = \frac{E}{0,9 \cdot \rho} = \frac{60}{0,9 \cdot \rho} = \frac{60,7}{\rho} \text{ м}, \qquad (5)$$

где: H — максимальная высота участка обработки оптимальной плотностью тока, м;

E — максимальная величина падения напряжения между анодом и катодом, 60 В;

ρ — удельное электрическое сопротивление кладки, Ом·м.

При высоте участка, подлежащего обессоливанию больше H, определенного по формуле (5), обработка будет происходить меньшей плотностью тока по сечению кладки.

Таблица 1

Удельное электрическое сопротивление строительных материалов

Материал	Тип засоления	Влажность, % от полного водопоглощения								
		100	95	90	85	80	75	70	65	65
Цементно-песчаный раствор	A, B	53,0	66,4	82,4	100,2	120,2	141,8	165,0	189,7	215,9
	C, Д, E, F, J	21,6	23,0	27,8	26,7	28,9	31,2	33,8	36	39,3
Кирпич глиняный новый Известняк старый Известняк новый Имитационные растворы кирпича и известняка	A, B	17,6	19,7	22,2	25,1	28,3	31,7	35,4	39,3	43,5
	C, Д, E, F, J	2,3	2,6	3,0	3,4	3,8	4,3	4,9	5,4	6,1
Кирпич глиняный старый	A, B	36,5	38,6	41,1	43,9	47,0	50,4	54,0	57,9	62,0
	C, Д, E, F, J	4,2	5,1	6,3	7,5	9,0	10,5	12,2	14,0	15,8

Солесодержание по массе материала:

A — без соли;
B — $Ba(OH)_2$; 0,3% по массе;
C — NaCl, 3,0% по массе;
Д — NaCl, $MgSO_4$, Na_2CO_3, 2% по массе;
E — NaCl, 0,3% по массе;
F — NaCl, Na_2SO_4, Na_2CO_3, 2% по массе;
J — NaCl, MgSO, Na_2SO_4, Na_2CO_3, 2% по массе

Примечание к табл. 1. При неравномерном засолении в расчет электрической схемы следует ввести поправки, учитывающие изменение удельного электрического сопротивления в зависимости от солесодержания и влажности.

Значения удельных сопротивлений каменных материалов в зависимости от состава и концентрации порового раствора приведены в табл. 1.

3.6. Если источник постоянного электрического тока не может обеспечить необходимую величину тока ($I_{об}$), участок, подлежащий обессоливанию, должен быть разбит на захватки, длина которых определяется по формуле:

$$l_{зах} = \frac{I_{ист}}{i_{сеч} \cdot B} \text{ м}, \qquad (6)$$

где: $l_{зах}$ — длина захватки, м;

$I_{ист}$ — величина тока, которую может обеспечить используемый источник постоянного тока, А;

$i_{сеч}$ — рекомендуемая плотность тока по сечению кладки, 0,9 А/м²;

B — толщина кладки, м.

3.7. При перемещении переставляемого анода на нижележащий ярус подаваемое в систему напряжение должно быть отрегулировано в соответствии с п. 3.5.

3.8. На стационарном аноде нужно поддерживать плотность тока в пределах 0,1—0,2 А/м².

4. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ ПО ОБЕССОЛИВАНИЮ

4.1. Работы по обессоливанию целесообразно начинать в период наибольшей влажности стен (апрель—июнь) при содержании влаги порядка 10—13% по массе, так как в это время подавляющая часть солей находится в растворенном состоянии и кладка обладает хорошей электропроводностью.

4.2. Последовательность проведения работ:

— установление границ участка, который следует обессолить;

— разбивка участка на захватки (по длине) и зоны (по высоте);

— устройство лесов (в соответствии с разбивкой на захватки и зоны), ограждений, стремянок для подъема, а также полок для установки инвентарных емкостей в соответствии с рис. 2 и 3;

— установка деревянных пробок с шагом 70 см для временной фиксации анода (на уровне верха анода);

— навеска анода из свинца на пробки. Между стеной и анодом прокладывают тканевый фитиль в два слоя; все это крепят к стене деревянными пробками в два ряда шагом 0,5 м (рис. 4);

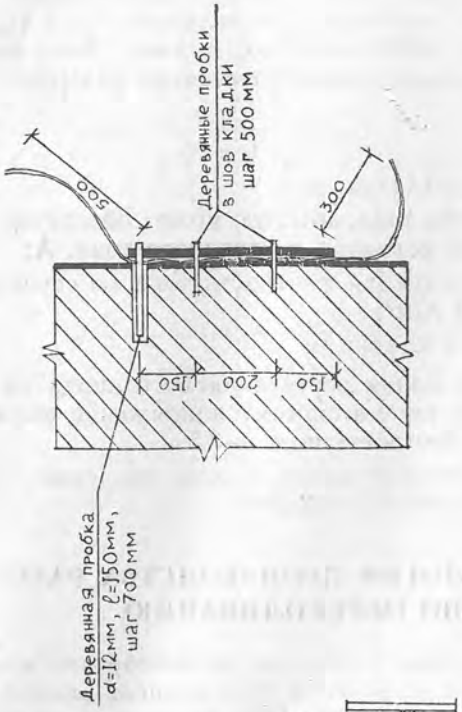

Рис. 3. Схема установки резервуаров

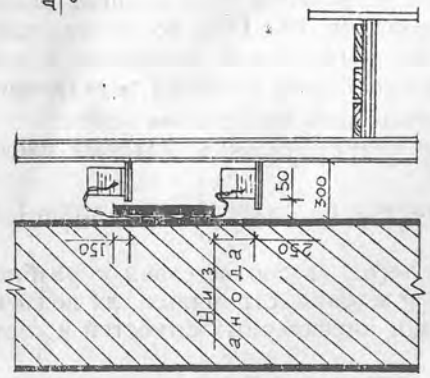

Рис. 4. Схема крепления анода и укладки фитиля

— установка инвентарных емкостей на полки на расстоянии 5—10 см от стены с последующим заведением в них концов фитиля;

— устройство катода по типу заземления (три забитые в грунт трубы, объединенные контуром из металлических пластин). Эффективность обессоливания зависит от качества выполнения заземления;

— сборка и подключение электрической схемы;

— круглосуточная подача на электроды постоянного электрического тока (за исключением времени отбора проб). Для обеспечения наибольшей эффективности солеудаления необходимо исключить перерывы в подаче тока;

— поддержание постоянного уровня воды в верхнем резервуаре (промывочную воду доливают один раз в сутки);

— удаление фильтрата из нижнего резервуара по мере накопления;

— монтаж второго яруса «переставляемого» анода, аналогично первому ярусу, после достижения требуемого уровня солесодержания в первой зоне (о чем свидетельствуют результаты химических анализов) и так далее;

— ведение журнала производства работ, в котором ежедневно записывают показания приборов, время и место отбора проб;

— прекращение работ по указанию ответственного за проведение работ на основании данных лабораторного анализа контрольных проб;

— демонтаж электрической схемы, зачеканка раствором отверстий, оставшихся после удаления пробок, разборка лесов;

— оформление акта об окончании работ, который передают заказчику.

4.3. Продолжительность обессоливания одного яруса кладки высотой 3 м составляет около 1,5 месяцев. Стена высотой 12 м может быть обессолена за 6 месяцев.

5. КОНТРОЛЬ ЗА ПРОЦЕССОМ ОБЕССОЛИВАНИЯ

5.1. Эффективность обработки каждой зоны оценивается на основании результатов химических анализов проб, отобранных на уровне нижней грани соответствующей зоны на глубине 5—10 см по толщине конструкции со стороны установки анода. Эта точка является наиболее труднообрабатываемой.

5.2. В начальный период обработки током содержание солей в нижней части стен увеличивается, что указывает на начало формирования процесса. Основанием для прекращения работ является содержание солей в контрольной пробе, равной или меньшей предельно допустимого (см. п. 1.3).

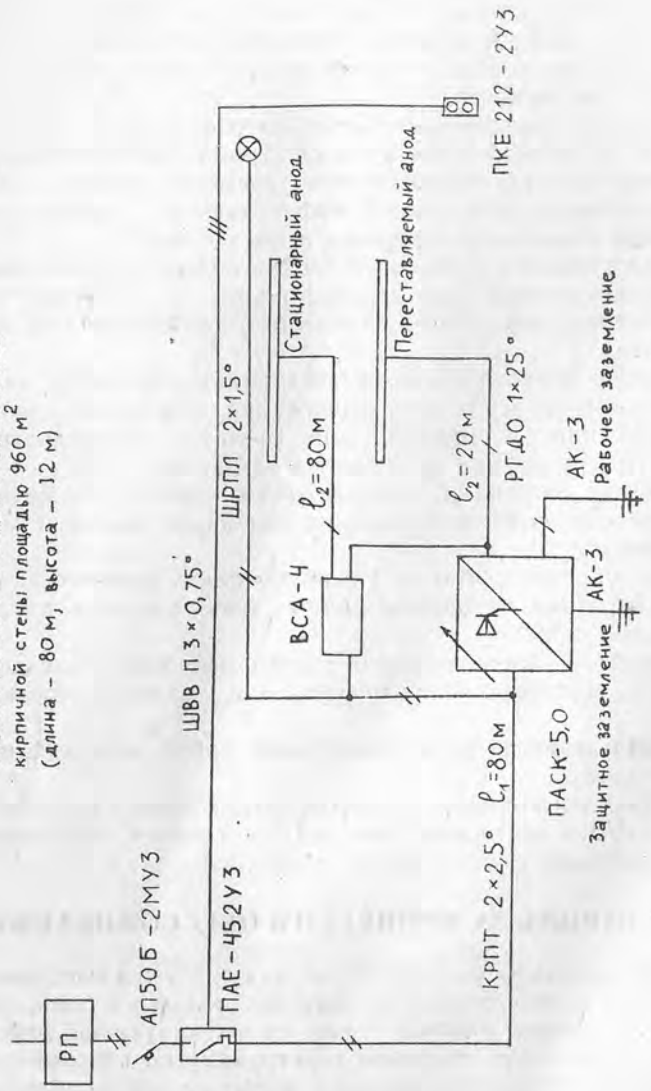

Рис. 5. Электрическая схема для обессоливания кирпичной стены площадью 960 м² (длина — 80 м, высота — 12 м)

5.3. Контрольные пробы рекомендуется отбирать один раз в 15 дней.

6. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА УСТАНОВКИ

6.1. Для обработки небольших участков стен возможно использование регулируемого выпрямителя типа ВСП-30 или ВСА-4 (максимальное напряжение 30—50 В, ток 3—10 А).

6.2. Для обработки участка стены длиной 80 м и высотой 12 м может быть использована электрическая схема, представленная на рис. 5.

Источником регулируемого постоянного тока с питанием от однофазной сети 220 В±10% частотой 50 Гц использован преобразователь для катодной защиты подземных металлических сооружений от коррозии типа ПАСК-5,0—96/48У1, позволяющий плавно регулировать выпрямленный ток в пределах 10—100% до 52А при напряжении 96В и до 104А при напряжении 52В. При этом режиме сила тока автоматически поддерживается на заданной ступени регулирования.

6.3. По мере полного удаления солей в прианодной зоне общее сопротивление кладки будет возрастать, однако последовательная перестановка анода на более низкие уровни компенсирует снижение электропроводности обрабатываемого участка.

6.4. Источник постоянного электрического тока ПАСК-5,0, расположенный в закрытом помещении (например, в одной из комнат реставрируемого памятника) не далее 20 м от участка обработки, соединяется непосредственно с анодами и катодом (рабочим заземлением). Участок обессоливания оборудован кнопочным постом типа ПКЕ-212-2У3 для обеспечения дистанционного управления установкой (включение и выключение) и сигнальной лампой для визуального восприятия состояния ПАСК-5,0, а также для освещения кнопочного поста ночью.

6.5. На обрабатываемом объекте не всегда может быть распределительный пункт с фазным напряжением 220В, поэтому схемой (см. рис. 5) предусмотрена возможность подсоединения электрической установки к распределительному пункту (РП) на расстоянии порядка 80 м. РП для защиты от перегрузок всей установки оборудован магнитным пускателем с тепловым реле типа ПАЕ-452У3, а для защиты от коротких замыканий — автоматическим воздушным выключателем типа АП50Б-2МУ3.

6.6. По мере обессоливания стены при переходе от верхних ярусов к нижним во избежание капиллярного подсоса солевого раствора в зону, расположенную выше рабочего («переставляемого» анода), на верхнем стационарном аноде селеновым выпрямителем ВСА-4 по индивидуальной схеме

поддерживается некоторая разность потенциалов относительно рабочего катода. Использование данной марки выпрямителя позволяет надежно изолировать цепь выпрямленного тока от цепей переменного тока и этим исключить возникновение уравнительных токов при последовательном включении вспомогательного источника (ВСА-4) и основного (ПАСК-5,0).

6.7. Расчет проводов и выбор аппаратуры производится, исходя из мощности потребления энергии от РП, а также допустимой мощности потерь в проводах.

6.8. В качестве анода рекомендуется использовать листовой свинец, как наиболее устойчивый к электрохимической коррозии. Кроме того, благодаря своей пластичности свинец толщиной 1 мм легко принимает форму обрабатываемой поверхности, что необходимо для хорошего контакта электрода со стеной.

6.9. В качестве фитиля эффективно использовать различные неокрашенные хлопчатобумажные ткани (можно использовать отходы текстильного производства, например, ткань полотенечную вафельную, артикул 4565). Удовлетворительная промывка обеспечивается при укладке ткани в два слоя кусками длиной не менее 1,3 м по вертикали.

6.10. В качестве простейшего устройства защитного заземления, а также рабочего катода, может быть использован погруженный в грунт электрод типа АК-3 в виде металлической трубы диаметром 187 мм и длиной 1420 мм.

6.11. В табл. 2 приведен перечень приборов, материалов и приспособлений, необходимых для производства работ на участке стены длиной 80 м и высотой 12 м по электрической схеме, показанной на рис. 5.

7. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

7.1. При производстве работ по удалению солей постоянным электрическим током необходимо руководствоваться ГОСТ 12.1.013-78 «Строительство. Электробезопасность».

7.2. Участок производства работ должен быть огражден от посторонних лиц. На ограждении необходима установка предупреждающих плакатов и знаков.

7.3. Обслуживание процесса (поддержание уровня воды в питающем резервуаре и слив фильтрата) можно проводить без отключения тока. В этом случае обязательно применение индивидуальных защитных от поражения током средств.

7.4. Электрическая схема должна быть смонтирована в отдельном закрытом помещении. Наблюдение за работой электрической схемы проводит электрик. Перед включением электрического тока в сеть электрик обязан проверить качество заземления, состояние электрооборудования, электрической цепи, отключение и подключение анодов. Отбор контрольных проб на солесодержание производят только при отключенном токе.

7.5. Процесс обессоливания конструкций проводят под руководством специально обученного сотрудника, который наблюдает за процессом, организует его обслуживание, заполняет журнал производства работ, руководит отбором проб.

7.6. Обслуживающий персонал проходит необходимый инструктаж по общим правилам проведения работ.

8. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СПОСОБА

8.1. Расчет экономической эффективности выполнен для обессоливания кирпичной стены площадью 960 м² согласно «Инструкции по определению экономической эффективности использования в строительстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений СН-509-78» [5], Сборника сметных норм и единичных расценок на реставрационно-восстановительные работы в памятниках культуры, прейскурантов, ЕНиР § 20-1-143.

Таблица 2

Приборы, материалы и приспособления	Количество
Приборы, шт	
Преобразователь ПАСК-5,0-96/48У1	1
Селеновый выпрямитель ВСА-4	1
Автоматический воздушный выключатель типа АП50Б-2 МУ3	1
Магнитный пускатель с тепловым реле типа ПАЕ-452У3	1
Кнопочный пост управления типа ПКЕ 212-2У3	1
Материалы, пог/м	
Провода изолированные:	80
КРПТ 2×2,5 кв. мм (кабель с двумя медными жилами)	110
ШВВП 3×0,75 кв. мм (трехжильный шнур)	20
МГ 6 кв. мм (медный гибкий провод)	20
ШРПЛ 2×1,5 кв. мм (двухжильный шнур в резиновой оболочке)	40
РГДО 25 кв. мм (кабель для электросварочных работ)	160
Свинец листовой, толщ. 1 мм, шириной 0,5 м	840
Ткань полотенечная вафельная, шириной 0,5 м арт. 4565	

Продолжение табл. 2

Приборы, материалы и приспособления	Количество
Приспособления, пог/м	
Инвентарные емкости из оцинкованной стали сечением 20×20 см	320
Резиновый шланг, ∅ 30	100
Электрод АК-3 (металлическая труба ∅ 187 мм, длиной 1,42 м)	2 шт. (2,84 м)
Леса, кв м обрабатываемой поверхности	960

8.2. Экономическая эффективность определена по формуле:

$$Э = C_1 \varphi - C_2 \qquad (7)$$

где: C_1 — сметная стоимость работ по базовому варианту;

C_2 — сметная стоимость работ по новой технике;

$\varphi = 2$ — коэффициент реновации, учитывающий увеличение продолжительности межремонтного цикла по сравнению с базовым вариантом (принимается по табл. 2 СН-509-78).

8.3. Исходные данные для расчета экономического эффекта приведены в табл. 3.

Таблица 3

Показатели	Ед. изм.	Технология вариантов	
		базового	нового
Прямые затраты,	руб.	92,4	30,8
в том числе:			
материалы		44,9	27,7
стоимость трудовых затрат		47,5	20,7
трудозатраты	ч/дн.	14,6	6,06
Накладные расходы, зависящие от:	руб.		
основной заработной платы рабочих			
47,5×0,15			
20,7×0,15		7,1	3,1
трудоемкости работ			
14,6×0,6			
6,06×0,6		8,8	3,6
Амортизация оборудования	руб.		
25,4 : 6 мес.×0,15		—	0,6
		108,25	37,9

8.4. Экономический эффект использования способа:

Э = 108,25×2—37,9 = 178,6 руб. на 10 м² или 17,9 руб. на 1 м².

Учет стоимости работ по гидрофобизации еще более повысит экономический эффект.

8.5. Расчет экономической эффективности использования способа обессоливания кирпичных стен следует вести по ССН-84.

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Пример 1.

Определить длину захватки обессоливаемой стены ($l_{зах}$) из старого кирпича, засоленного по типу Е (см. табл. 1).

Максимально возможное по условиям техники безопасности падение напряжения между анодом и катодом Е=60 В [4]. Величина силы тока, которую может обеспечить используемый источник постоянного тока ПАСК-5,0 при Е=60 В — $I_{ист}$ =52 А. Толщина обессоливаемой кладки В=0,72 м. Плотность тока по сечению кладки $i_{сеч}$ =0,9 А/м².

Решение.

По формуле (6):

$$l_{зах} = \frac{I_{ист}}{i_{сеч} \cdot B} = \frac{52\ А}{0{,}9\ А/м^2 \cdot 0{,}72\ м} = 80\ м.$$

Пример 2.

Определить максимально возможную высоту участка обессоливания стены (Н) при исходных данных примера 1.

Решение.

Удельное электрическое сопротивление кирпича старого, засоленного по типу Е (см. табл. 1) ρ=4,2 Ом·м.

По формуле (5):

$$H = \frac{E}{i_{сеч} \cdot \rho} = \frac{60\ В}{0{,}9\ А/м^2 \cdot 4.2\ Ом \cdot м} = 15{,}8\ м.$$

С учетом потерь электроэнергии на контакте анод-кирпич высота участка может быть уменьшена до 12 м.

Пример 3.

Определить плотность тока на аноде на длине участка обессоливаемой стены l=80 м при толщине стены В=0,72 м, ширине анода b=0,5 м и плотности тока по сечению кладки $i_{сеч}$ =0,9 А/м².

Решение.

По формуле (2): $f_a = \frac{I_{об}}{i_a}$,

где: f_a — площадь анода, м²;

$I_{об}$ — величина тока обработки, А;

i_a — плотность тока на аноде, А/м²;

откуда:

$$i_a = \frac{I_{об}}{f_a} = \frac{i_{сеч} \cdot l \cdot B}{l \cdot b} = \frac{0{,}9\ А/м^2 \cdot 0{,}72\ м}{0{,}5\ м} = 1{,}3\ А/м^2.$$

Поскольку плотность тока на аноде, равная 1,3 А/м², меньше максимально допустимой (2,5 А/м²), можно применить «пунктирное» расположение анода по длине обессоливаемого участка стены в соответствии с п. 3.4.

Пример 4.

Рассчитать мощность основного (P_1) и второстепенного (P_2) источников тока и общие затраты электроэнергии при продолжительности работы ПАСК-5,0, равной 6 месяцам, а ВСА-4 — 4,5.

Выходные параметры второстепенного источника постоянного тока ВСА-4: V_2=50 в, I_2=5 А.

Выходные параметры основного источника постоянного тока ПАСК-5,0:

V_1=60 В

I_1=52 А

Решение.

Мощность ПАСК-5,0 по формуле:

$$P_1 = \frac{V_1 \cdot I_1}{0{,}7} = \frac{60\ В \cdot 52\ А}{0{,}7} = 4{,}4\ кВт.$$

Мощность ВСА-4 по формуле:

$$P_2 = \frac{V_2 \cdot I_2}{0{,}7} = \frac{50\ В \cdot 5\ А}{0{,}7} = 0{,}4\ кВт.$$

Общие затраты электроэнергии:

$$P_1T_1 + P_2T_2 = 4{,}4 \cdot 24 \cdot 30 \cdot 6 + 0{,}4 \cdot 24 \cdot 30 \cdot 4{,}5 = 19008 + 1296 = 20304\ кВт\text{-}час,$$

где: T_1 и T_2 — время работы постоянного и второстепенного источников постоянного тока в часах.

Приложение 2

РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПОСОБА ОБЕССОЛИВАНИЯ КИРПИЧНЫХ СТЕН

По мнению специалистов, при полном удалении солей из кладки и устранении основного источника засоления — подсоса грунтовых вод путем восстановления гидроизоляции — межреставрационный период может быть увеличен по крайней мере до 30 лет. При восстановлении гидроизоляции и удалении солей с поверхности старыми способами соли, находящиеся в толще кладки, будут выходить на поверхность и продолжать свое разрушительное действие. В этом случае повторные реставрационные работы требуются каждые 3—5 лет. Поэтому экономическую эффективность использования разработанного нами способа обессоливания конструкций надо вести с учетом всех мероприятий по консервации каменной кладки в комплексе.

Базовый вариант (без объемного обессоливания кладки), принятый в расчете экономической эффективности, предусматривает следующие работы по консервации камня:

— расчистка поверхности шпателями с последующей промывкой водой за 4 раза;

— вычинка поверхности стен и реставрация архитектурного декора;

— известковая окраска фасадов за 2 раза.

Вариант новой техники:

— объемное обессоливание стен с помощью полей постоянного электрического тока;

— вычинка поверхности стен и реставрация архитектурного декора;

— известковая окраска фасадов за 2 раза.

В расчете экономической эффективности принято, что площадь декорированной поверхности составляет 20% от всей площади поверхности обессоливаемой стены.

В расчете учтена стоимость работ по частичной вычинке в объеме 10% от обрабатываемой поверхности для варианта новой техники и 30% — для базового. Это объясняется тем, что в случае базового варианта при проведении очередных работ по консервации кладки (которые принято делать каждые 5 лет), вычинке подлежат не только очередные 10% площади поверхности кладки, но и участки, на которых вычинка проводилась в процессе предыдущих реставраций.

Стоимость восстановления гидроизоляции в расчете не учитывалась, так как в обоих сравниваемых вариантах она должна проводиться единожды и стоимость ее одинакова.

Таблица 1
прилож. 2

РАСЧЕТ
стоимости работ по базовому варианту (на 10 м² обрабатываемой поверхности)

Обоснование	Работы и затраты	Стоимость, руб.		
		трудозатрат	материалов	полная
1	2	3	4	5
ССН-84, раздел 21, § 21—1, а	Устройство инвентарных металлических лесов	2—30	2—20	4—50
То же	Разборка инвентарных металлических лесов	1—10	0—70	1—80
ССН-84, раздел 4, § 4—55, А, б	Промывка поверхности водой за 4 раза	8—40	—	8—40
То же, § 4—62, а	Ручная расчистка от загрязнения и покрасок	4—80	—	4—80
ССН-84, раздел 3, № 3—4, А, г, Б 20% декорированной поверхности, 30% утрат	Реставрация поврежденных кирпичных деталей: карнизов, поясков, наличников и прочих деталей (кирпич большемерный)	11,10	7,94	19,04
ССН-84, общая часть, прилож. 4	Стоимость кирпича большемерного на 10 м²:			
	стоимость 1000 шт. — 234 руб.,	—	15,44	15,44
	стоимость 66 шт. — 15,44 руб.			
ССН-84, раздел 3, § 3—2, А, б	Реставрация лицевой поверхности кирпичной кладки в 1 кирпич большемерным кирпичом	18,20	74,40	92,60
	а) стоимость трудозатрат $75{,}9 \times 0{,}3 \times 0{,}8 = 18{,}2$			
	б) общая стоимость $386{,}1 \times 0{,}3 \times 0{,}8 = 92{,}6$			
	в) материалы $92{,}60 - 18{,}20 = 74{,}40$			

Продолжение табл. 1
прилож. 2

1	2	3	4	5
ССН-84, раздел 10, § 10—1, Ж	Известковая окраска фасадов за 2 раза Общая стоимость 0,61+0,20=0,81 Стоимость трудозатрат 0,51+0,14=0,65	0,65	0,16	0,81
	Итого:	46,55	101,04	147,59

Таблица 2
прилож. 2

РАСЧЕТ

стоимости работ по новой технологии (на 960 м² обрабатываемой поверхности при высоте участка 12 м и длине 80 м)

Раздел I

Обоснование	Работы и затраты	Ед. изм.	К-во	Стоимость, руб.	
				на единицу	на весь объем
1	2	3	4	5	6
ССН-84, раздел 21, § 21—1, а	Устройство металлических инвентарных лесов числитель — общая стоим.	м² верт. проек.	960	0—45	432
	знаменатель — стоимость трудовых затрат			0—23	220,8
То же	Разборка металлических инвентарных лесов	м² верт. проек.	960	0—18	172,8
				0—11	105,6
ЕНиР § 20—1—143	Сверление отверстий электродрелью Ø 15 мм	100 шт.	19,2	2—78	52
					52
ССН-84, раздел 6, § 6—6, А, б	Установка свинцовых полос с прокладкой хлопчатобумажной ткани (ширина свинцовой полосы 0,5)	п. м	320	0,41	131,2
				0,41	131,2
ССН-84, общая часть, прилож. 4	Стоимость свинца листового	т	1,36	1030	1400,8

Продолжение табл. 2
прилож. 2

1	2	3	4	5	6
То же	Стоимость хлопчатобумажной ткани	м²	416	0,50	208,0
ССН-84, раздел 17	Изготовление металлических емкостей	т	0,806	38,1	30
				24,8	20
ССН-84, раздел 6, § 6—16, а	Пропайка швов емкости 80×8+0,2×8=641,6	п. м	641,6	0,40	256,6
				0,13	83,4
ССН-84, общая часть, прилож. 4	Стоимость листовой оцинкованной стали для изготовления емкостей				
	100,8×8=806,4 кг	т	0,806	302	243,4
ЕНиР § 20—1—13	Наполнение емкостей водой (подсобный рабочий)	ч/дн	20	3—59	71,8
				3—59	71,8
ССН-84, раздел 6, § 6—1, А, а	Разборка свинцовой полосы	10 м²	16,0	0,45	7,2
				0,45	7,2
ЕНиР § 20—1—13	Заделка отверстий раствором после окончания процесса	шт.	1920	0,063	120,8
	Итого на весь объем:	руб.			3126,60
	а) стоимость трудозатрат	руб.			692,0
	б) стоимость трудовых затрат без учета изготовления оборудования (692,0—103,4)=588,6	руб.			588,6
	в) стоимость оборудования (п. 5, 7, 8, 9)	руб.			1827,4
	г) материалы (3126,60—1827,4—692,0)=669,6	руб.			669,6
	Итого общая стоимость на 10 м² поверхности обрабатываемой кладки (без стоимости оборудования) (3136,60—1827,4) : 96				13,53
	в том числе:				
	а) стоимость трудозатрат (588,6 : 96)	руб.			6,13
	б) оборудование (1827,4 : 96)	руб.			19,0
	в) материалы (669,6 : 96)	руб.			6,98

Таблица 3.2

Раздел II

Обоснование	Работы и затраты	Стоимость, руб.		
		трудовых затрат	материалов	полная
1	2	3	4	5
ССН-84, раздел 3, § 3—4, А, г, Б, а 20% декорированной поверхности, 10% утрат	Реставрация поврежденных кирпичных деталей: карнизов, поясков, наличников и прочих деталей (кирпич большемерный) а) общая стоимость (3,37+6,15)×0,7=6,66 б) стоимость трудозатрат (3,37+2,18)×0,7=3,88 в) стоимость материалов (6,66—3,88=2,78)	3,88	2,78	6,66
ССН-84, общая часть, прилож. 4	Стоимость кирпича большемерного 1000 шт. — 234 руб. на 10 м² 0,2 : (0,1×0,3) =7 шт.	—	1,64	1,64
ССН-84, раздел 3, § 3—2, А, б	Реставрация лицевой поверхности кирпичной кладки глубиной заделки в 1 кирпич (большемерный) а) общая стоимость 386,1×0,1×0,8=30,89 б) стоимость трудозатрат 75,9×0,1×0,8=6,07 в) стоимость материалов 30,89—6,07=24,82	6,07	24,82	30,89
ССН-84, раздел 10, § 10—1, Ж	Известковая окраска фасадов за 2 раза а) общая стоимость 0,61+0,20=0,81 б) стоимость трудозатрат 0,51+0,14=0,65 в) стоимость материалов 0,81—0,65=0,16	0,65	0,16	0,81
	Итого:	10,60	29,40	40,0

Таблица 3
прилож. 2

Раздел III
(электрическая схема)

Обоснование	Оборудование	Ед. изм.	К-во	Стоимость	
				ед. изм.	общая
1	2	3	4	5	6
Прейскурант 15—16	Преобразователь для катодной защиты подземных металлических сооружений от коррозии ПАСК-5, 0-96/48У1	шт.	1	625,0	625,0
Прейскурант 15—04	Автоматический воздушный выключатель двухполюсный типа АП 508-2	шт.	1	3,0	3,0
Прейскурант 15—04	Магнитный пускатель с тепловым реле, реверсионного типа ПАЕ-452У3	шт.	1	23,50	23,50
Прейскурант 15—04	Кнопочный пост управления ПКЕ 212-2У3	шт.	1	1,95	1,95
Розничная стоимость	Селеновый выпрямитель ВСА-4	шт.	1	55,0	55,0
Прейскурант 15—09	Кабель с двумя медными жилами КРПТ 2×2,5 кв. мм	м	80	1,2	96,0
То же	Трехжильный шнур ШВВП 3×0,75 кв. мм	м	110	0,08	8,8
»	Медный гибкий провод МГ 6 кв. мм	м	20	0,1	2,0
»	Двухжильный шнур в резиновой оболочке	м	20	0,1	2,0
»	Кабель для электросварочных работ	м	40	0,48	19,2
Прейскурант 15—05	Стоимость катода АК-3	шт.	2	14,60	29,20
Прейскурант 8—133	Резиновый шланг ∅ 30	п. м	100	0,40	4,00
Общая часть п. 9а	Стоимость электроэнергии	кВт-час	20304	0,021	426,4
	Заработная плата лаборанта	ч/дн	45	3,63	163,30
	Монтаж установки				153,85
	Итого:				1613,20

В том числе:

а) стоимость трудозатрат — 317,20 руб
б) материалы — 426,40 руб.
в) оборудование — 869,40 руб.

Итого на 10 м² поверхности обрабатываемой кладки — 16,80 руб.

В том числе:

а) стоимость трудозатрат
317,2 : 96 = 3,3 — 3,30 руб

б) материалы
426,4 : 96 = 4,44 — 4,44 руб

в) оборудование
869,4 : 96 = 9,06 — 9,06 руб

Всего по разделам I, II, III на 10 м² обрабатываемой поверхности

Общая стоимость
(без стоимости оборудования) — 13,53+40,00+7,74 = = 61,27 руб.

В том числе:

а) стоимость трудозатрат — 6,13+10,60+3,30 = 20,03 руб.
б) материалы — 6,98+29,40+4,44 = 40,82 руб.
в) оборудование — 19,00+9,06 = 28,06 руб.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. *Дворяшин В. М., Объедков В. А., Аксенова И. В., Муджири Б. Г., Кулешова И. А.* Способ удаления солей из сооружений из капиллярно-пористого каменного материала. Авторское свидетельство СССР № 1033669, кл. Е 04 В 1/64. 1983.
2. Методические рекомендации по удалению водорастворимых солей из цокольной части наружных стен памятников архитектуры. Министерство культуры РСФСР Объединение «Росреставрация». — М., 1983. — 19 с.
3. *Мисюлис Э. Б., Суроткявичюс Э. Ф.* и др. Способ изоляции строительных конструкций от воздействия влаги. Авторское свидетельство СССР № 815193, кл. Е 04 В 1/64. 1981.
4. *Кораблев В. П.* Электробезопасность в вопросах и ответах. — М.: Московский рабочий, 1985, — 192 с.
5. Инструкция по определению экономической эффективности использования в строительстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений, СН 509—78. М.: Стройиздат, 1979. — 64 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 3
1. Общие положения и область применения способа 4
2. Описание способа удаления водорастворимых солей 5
3. Электрические параметры обессоливаемого участка 8
4. Технология производства работ по обессоливанию 11
5. Контроль за процессом обессоливания 13
6. Электрическая схема установки 15
7. Техника безопасности 16
8. Экономическая эффективность способа 17
Приложение 1. Примеры расчета 20
Приложение 2. Расчет экономической эффективности использования способа обессоливания кирпичных стен 22
Библиография 28

Объедков Валентин Александрович, Аксенова Ирина Васильевна

Обессоливание кирпичных стен памятников архитектуры в поле постоянного электрического тока

Методические рекомендации

Редакционно-издательская служба
института «Спецпроектреставрация»
Москва, 105037, гор. Баумана, д. 3, корп. 4

Редактор *Кирьянова И. П.*

Л-63073 Подписано в печать 10.04.89 г. Заказ 670 Тираж 800
Объем 2 печ. л. Формат 60×90 1/16 Печать высокая

Ф-ка «Картолитография», ул. Зорге, 15

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК