

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Ивановский государственный архитектурно-строительный университет»

*Кафедра химии и охраны окружающей среды*

## **КОРРОЗИЯ И БОРЬБА С НЕЙ**

*Лабораторный практикум  
для студентов всех направлений подготовки,  
изучающих курс “Химия”*

Иваново 2013

Составители: В.Е. Румянцева, Ю.В. Манохина, В.А. Хрунов

УДК 620.193 (076)

Коррозия и борьба с ней: Лабораторный практикум для студентов всех направлений подготовки, изучающих курс «Химия» / Иван. гос. архит.-строит. ун-т; сост.: В.Е. Румянцева, Ю.В. Манохина, В.А. Хрунов. – Иваново, 2013. – 28 с.

Издание содержит общую справочную информацию, тематику, цели и порядок проведения лабораторных работ, правила техники безопасности, рекомендуемый библиографический список.

Для студентов I курса всех направлений подготовки, изучающих курс «Химия».

*Рецензент*

*кандидат технических наук, доцент кафедры ХиООС*

*М.Д. Чекунова*

## Введение

На современном этапе развития строительной индустрии одной из приоритетных задач является разработка на основе классических и новейших теоретических и экспериментальных исследований эффективных рекомендаций для предотвращения разрушения строительных конструкций от коррозии. По данным Госкомстата РФ большинство объектов строительного комплекса изношено более чем на 75 % – и в большинстве случаев причина этого кроется в коррозионном разрушении.

Коррозия – это самопроизвольное разрушение материала под действием агрессивной внешней среды. Термин «коррозия» происходит от латинского *corrodo* (обгрызать, изгрызать), где корень *-rodo-* означает «разъедать».

Из строительных материалов наиболее коррозионно-стойки и долговечны природные каменные материалы. Однако и они со временем разрушаются. Скорость разрушения зависит от состава горных пород, их структуры, фактуры поверхности, внешних условий и других факторов. Наибольшей долговечностью обладают породы магматического происхождения, наименьшей – осадочного. Накопленный опыт эксплуатации строительных конструкций показывает, что бетон и железобетон по данному показателю сравнимы с природными каменными материалами. Но, одновременно с этим, встречаются случаи преждевременного разрушения бетона и железобетона задолго до окончания проектного срока эксплуатации от действия грунтовых, речных, морских, а также сточных и производственных вод. Причина кроется в коррозионных процессах, которые наносят огромный ущерб строительному комплексу.

Поэтому уже более 100 лет ученые и строители, наблюдая и исследуя процессы деструкции, ищут пути по предотвращению преждевременных разрушений бетона и железобетона, повышению стойкости и обеспечению долговечности и надежности в реальных условиях.

Изучение данного раздела химии и строительного материаловедения является важной составляющей подготовки высококвалифицированного специалиста в области строительства.

## Справочная информация

Долговечность бетона – это способность бетона сохранять или не снижать ниже определенного предела заданные (требуемые) свойства в течение определенного времени. Это время и является технической характеристикой долговечности бетона в определенных условиях его службы.

Однако хорошо известно, что долговечность строительных конструкций при эксплуатации, то есть свойство зданий и сооружений противостоять химическим, физическим и другим воздействиям в течение длительных сроков без ухудшения проектных характеристик, определяется химическим и минералогическим составом материала, его структурой и физико-химическими свойствами, а так же видом и степенью агрессивности внешней среды.

Коррозия бетона представляет собой сложный физико-химический процесс, приводящий в итоге к разрушению конструкции. Основным компонентом бетона, участвующим на начальном этапе процесса деструкции, – это гидроксид кальция. В процессе коррозии бетона имеют место различные механизмы переноса агрессивных веществ к корродирующей поверхности.

В 1952 году профессор В.М. Москвин выделил из большого числа разнообразных процессов коррозии три основных направления, или три основных вида коррозии.

Первый вид коррозии (коррозия I вида) включает все те процессы коррозии, которые возникают в бетоне при действии жидких сред (водных растворов), способных растворять компоненты цементного камня. Составные части цементного камня растворяются и выносятся из структуры бетона. Особенно интенсивно эти процессы происходят при фильтрации воды через толщу бетона. Это физический вид коррозии, протекающий без химических превращений в бетоне.

Второй вид коррозии (коррозия II вида) включает все те процессы, которые развиваются в бетоне при действии вод, содержащих химические вещества, вступающие в обменные реакции с составными частями цементного камня.

Образующиеся при этом продукты реакции либо легко растворимы и уносятся водой, либо выделяются в виде аморфной, не обладающей вяжущей способностью массы на месте реакции.

К этой группе могут быть отнесены процессы, возникающие в бетоне при действии кислот, магниезальных солей и др.

Третий вид коррозии (коррозия III вида) включает все те процессы коррозии, при развитии которых в порах, капиллярах и других пустотах бетона происходит накопление малорастворимых солей. Кристаллизация последних вызывает возникновение значительных усилий в стенках, ограничивающих рост кристаллических сростков, и, как следствие этих усилий, разрушение структурных элементов бетона. К этой группе могут быть отнесены, например, процессы коррозии при действии сульфатов, где разрушение бетона вызывается ростом кристаллов гипса и гидросульфата алюмината кальция.

В естественных условиях редко встречается коррозия того или иного вида обособленно от остальных, но обычно наблюдается преобладание какого-либо одного вида. Всегда можно проследить и учесть роль второстепенных для данного случая видов коррозии.

Для каждого вида коррозии могут быть установлены общие закономерности, а в соответствии с этим установлены и общие мероприятия по борьбе с разрушением бетона и по обеспечению долговечности сооружений из него. Для каждого из трех основных видов коррозии могут быть намечены определенные принципы методов исследования.

Процессы коррозии бетона наиболее сильно влияют на долговечность бетонных и железобетонных конструкций. Защита от коррозии строительного материала – это способы и средства, уменьшающие или предотвращающие коррозию строительного материала. Защита от коррозии железобетонных конструкций разделена на первичную и вторичную. Первичная защита от коррозии достигается посредством выбора материалов, изменения состава или структуры строительного материала до изготовления или в процессе изготовления конструкции. К методам первичной защиты относятся все те мероприятия, которые выполняются на стадии изготовления бетона.

При проектировании бетонных и железобетонных конструкций, предназначенных для эксплуатации в агрессивной среде, их коррозионную стойкость следует обеспечивать применением коррозионно-стойких материалов, добавок, повышающих коррозионную стойкость бетона и его защитную способность для стальной арматуры, снижением проницаемости бетона технологическими приемами, установлением требований к категории трещиностойкости, ширине расчетного раскрытия трещин, толщине защитного слоя бетона.

Наиболее простой и действенной мерой предохранения бетона от влияния агрессивной среды является увеличение плотности. Повышению плотности способствуют добавки трасса, шлаковой или ка-

менной муки в количестве до 20–30 % от веса цемента.

По современным представлениям бетоны повышенной долговечности можно получать за счет управляемого структурообразования и активного на него воздействия на всех типах технологии.

Так, для получения бетона повышенной долговечности необходимо обеспечить высокую плотность цементного камня или твердой фазы, получаемую за счет гидратации цемента совместно с модификаторами структуры и дополнительными компонентами, и сохранить резерв непрореагированного цемента для заживления дефектов, которые могут возникнуть при воздействии внешних факторов в период эксплуатации. При этом структура цементного камня должна быть очень мелкокристаллической, а новообразования – более тонкодисперсными.

Использование в бетонах повышенной долговечности ультратонких наполнителей (микрокремнезем и др.), частицы которых на порядок меньше зерен цемента и могут располагаться в пустотах между зернами, также способствует повышению плотности затвердевшего цементного камня, так как они уменьшают межзерновую пористость бетона.

Как известно, долговечность бетона зависит от возраста бетона, при котором начинается воздействие отрицательных внешних факторов. Бетон приобретает необходимое качество структуры, как правило, лишь после гидратации цемента на 75–85 %. Поэтому обеспечение благоприятных условий твердения бетона является важнейшим условием получения бетона повышенной долговечности.

И, наконец, определенное влияние на показатели долговечности оказывает заполнитель. Считается целесообразным ограничивать размер зерен заполнителя 10–20 мм или применять мелкозернистые бетоны, так как крупный заполнитель уменьшает сопротивляемость бетона усталостному разрушению при воздействии различных факторов, вызывающих неоднородное поле внутренних напряжений, температурно-влажностные градиенты и др.

Применение в совокупности рассмотренных выше технологических приемов заметно улучшает показатели бетона, существенно важные для его долговечности, в том числе и коррозионной стойкости. Однако при этом следует учитывать, что такие бетоны отличаются многокомпонентностью состава, в них используются комплексы химических добавок, наполнителей, дополнительных компонентов, а к вяжущим веществам и заполнителям предъявляются определенные требования.

Вторичная защита от коррозии – это защита от коррозии, достигаемая ограничением или исключением действия среды на конструк-

цию после изготовления, в соответствии с СТ СЭВ 4419-83. В большинстве средне- и сильноагрессивных сред наиболее экономически оправданными являются вторичные методы защиты – это поверхностная защита бетонных и железобетонных конструкций материалами, позволяющими сохранить эксплуатационные свойства этих конструкций на расчетный срок службы зданий и сооружений.

Это преимущественный метод защиты железобетонных конструкций инженерных сооружений от коррозии, возникающей под действием агрессивных сред промышленных производств и грунтовых вод.

Вторичная защита может применяться в слабых, средних и сильных агрессивных средах, но окончательное решение о виде защиты следует принимать на основе сравнения технико-экономических показателей различных вариантов технических решений. Согласно основным нормативным документам СНиП 2.03.11-85 «Защита строительных конструкций от коррозии», СНиП 3.04.03-85. «Защита строительных конструкций и сооружений от коррозии», ГОСТ 28574-90 «Защита от коррозии в строительстве. Конструкции бетонные и железобетонные», Пособие по проектированию защиты от коррозии бетонных и железобетонных строительных конструкций (к СНиП 2.03.11-85), определяющим выбор противокоррозионного покрытия, способ производства работ и методы испытаний, могут применяться следующие защитные покрытия:

– Лакокрасочные армированные и неармированные на основе природных и синтетических смол. Лакокрасочные покрытия на бетоне носят не только декоративный характер, но и являются наиболее распространенным методом защиты от коррозии. К ним относятся водоэмульсионные, клеевые, масляные, силикатные краски, а также поливинилацетатные, перхлорвиниловые, кремнийорганические окрасочные составы, лакокрасочные покрытия, титановые белила. Эти покрытия имеют ряд преимуществ: сравнительно высокая химическая стойкость, возможность нанесения на поверхности сложных конфигураций, богатая цветовая гамма, простота возобновления и ремонта. Недостатками лакокрасочных покрытий являются их ограниченная водопроницаемость и небольшой срок службы, который не превышает 4–8 лет.

– Мастичные, шпатлевочные и наливные: неорганические на основе жидкого стекла; органические – на основе природных и синтетических смол. Для отделки здания материалами на основе минеральных вяжущих в основном используют сухие товарные смеси,

которые являются полуфабрикатами и состоят из декоративных заполнителей и вяжущих. Виды отделки на основе минеральных вяжущих технологичны, многие могут наноситься по любому рельефу бетонной поверхности, однако без дополнительной отделки они ограниченно изменяют цвет и свойства бетона. К тому же их коррозионные свойства мало отличаются от свойств бетона основы, и их также приходится защищать различными способами.

– Оклеечные на битумных и битумно-резиновых мастиках на синтетических клеях, на асбесте, на жидком стекле. В практике антикоррозионной защиты железобетонных конструкций от проникания агрессивных жидкостей широко применяют оклеечную рулонную изоляцию. В качестве материалов для такой изоляции применяют полиэтиленовую пленку, гидроизол, бризол, изол, стеклорубероид. Высокая прочность, эластичность, низкая проницаемость и практически универсальная химическая стойкость в сочетании с трещиностойкостью при различных способах крепления к поверхности делают полиэтиленовую пленку одним из наиболее перспективных видов химически стойкой изоляции для железобетонных конструкций. Недостаток полиэтиленовой пленки – фотохимическая деструкция. Рулонные материалы (изол, бризол, стеклорубероид) наклеивают горячими битумными составами. Покрытия из этих материалов обладают водонепроницаемостью, био- и химической стойкостью.

– Футеровочные и облицовочные на вяжущих, приготовленных на основе жидкого стекла, природных и синтетических смол. Из природного камня для отделки зданий и сооружений применяют блоки, плиты, камни, профильные элементы из обработанного природного камня, мозаичные изделия из горных пород, каменную крошку. Природные каменные материалы декоративны, стойки к атмосферным воздействиям, однако, кроме высокой стоимости, многие из них нестойки к кислым или щелочным средам, к различным газам.

Одним из последних научных достижений в области гидроизоляции и коррозионной стойкости строительных бетонных и железобетонных конструкций является система материалов «Пенетрон». Эта система состоит из шести специализированных материалов: пенетрон, пенебар, пенеплаг, ватерплаг, пенетрон адмикс, которые необходимо использовать комплексно.

Исследование коррозионной деструкции строительных материалов было бы неполным без обращения к коррозионным процессам, протекающим на границе раздела фаз «металл – окружающая среда».



Коррозия арматурной стали в бетоне электрохимическая по своему характеру и зависит как от свойств самой арматурной стали, так и от свойств и структуры бетона, а также от характера окружающей среды, в которой работает конструкция. Коррозия стальной арматуры может протекать одновременно с коррозией бетона и независимо от нее. Сталь не будет подвержена коррозии, если электролит при контакте с ее поверхностью имеет достаточно высокое значение  $pH > 12$ , чтобы пассивировать поверхность стали. Наиболее типичным разрушением, которое может происходить при коррозии арматуры в бетоне, является постепенное уменьшение ее рабочего сечения за счет перехода наружных слоев металла в продукты коррозии. Вследствие того, что железо в процессе электрохимической коррозии растворяется только на анодах коррозионных пар, должно было бы наблюдаться неравномерное уменьшение сечения. Практически характер коррозионного поражения может быть разным: от почти равномерного уменьшения сечения по всей поверхности до резко выраженного язвенного поражения. Для предотвращения коррозионной деструкции металла существует много методов, таких как легирование и нанесение защитных покрытий.

## Лабораторная работа № 1

### ДЕЙСТВИЕ РАСТВОРОВ КИСЛОТ НА ЦЕМЕНТНЫЙ КАМЕНЬ

*Цель работы:* определить степень разрушения цементного камня при взаимодействии с различными растворами кислот. Выявить причины разрушения.

#### *Порядок проведения работы*

Лабораторная работа выполняется подгруппой, которая разбивается на 4 звена. Каждое звено проводит изучение стойкости цементного камня в растворах кислот.

Для проведения работы необходимо приготовить следующие приборы и реактивы:

1. Растворы кислот: 10 %  $HCl$ , 10 %  $H_2SO_4$ , 10 %  $HNO_3$ , 10 %  $H_3PO_4$ ;
2. Раствор  $NaOH$  (0,1 Н);
3. Стакан на 200 мл (2 шт.);

4. Штатив;
5. Бюретка на 25 мл;
6. Пипетка на 5 мл;
7. Фенолфталеин (1 % спиртовой раствор).

В ходе исследования используют метод титрования, основанный на законе эквивалентов. Когда раствор известной концентрации добавляется другому раствору до завершения химической реакции между растворенными в них веществами, такая операция называется титрованием. Момент титрования, в который достигается стехиометрическая эквивалентность соединяемых количеств веществ, называется точкой эквивалентности титрования. Для ее установления при проведении кислотно-основного титрования используют органические красители кислотно-основные индикаторы. Например, фенолфталеин бесцветен в кислом растворе, но принимает малиновую окраску в основном.

Образцы из цементного раствора (любой состав) объемом 27 см<sup>3</sup> помещают в стакан емкостью 200 мл, заливают 150 мл раствора кислоты. В течение 3 суток с интервалом в 1 сутки титруют 0,1Н раствором NaOH в присутствии индикатора фенолфталеина до появления розовой окраски раствора. На каждое титрование берется 5 мл раствора кислоты. Первый раз титруют исходный раствор кислоты.

Концентрация кислоты определяется по формуле

$$a = (\Delta V \cdot 0.0028 \cdot [250 - 5(n-1)/5]) / F, \quad (1)$$

где  $a$  – количество CaO, перешедшее в раствор, г/м<sup>2</sup>;

$V$  – объем 0,1Н раствора NaOH, затраченного на титрование раствора, мл;

0,0028 – количество CaO, эквивалентное 1 мл 0,1Н раствора NaOH;

$n$  – продолжительность выщелачивания в сутки;

$F$  – площадь поверхности образца, м<sup>2</sup>.

Результаты измерений заносят в табл. 1.

Таблица 1

Экспериментальные данные

№	V, мл, 0.1Н раствора NaOH, затраченного на титрование	Продолжительность выщелачивания n, сут	a, г/м <sup>2</sup>
1		1	
2		2	
3		3	

Проводится графическая обработка экспериментальных данных, путем построения зависимости  $a = f(n)$ .

Делаются выводы по работе, оценивается стойкость цементного камня к действию различных кислот.

## Лабораторная работа № 2

### ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ И КАРБОНИЗАЦИИ БЕТОНА

*Целью данной работы* является наблюдение в лабораторных условиях за коррозией цементного камня II вида, которая вызывается действием на цементный камень неорганических кислот:



В результате этой химической реакции образуется легкорастворимый продукт – хлористый кальций, который впоследствии вымывается водой.

В ходе исследования используют метод титрования, описанный в лабораторной работе №1.

Для проведения работы необходимо приготовить следующие приборы и реактивы:

1. Раствор HCl (1%);
2. Раствор KOH (0,1 Н);
3. Стакан на 200 мл (2 шт.);
4. Штатив;
5. Бюретка на 25 мл;
6. Пипетка на 5 мл;
7. Фенолфталеин (1 % спиртовой раствор).

Образцы из цементного раствора (любой состав) объемом  $27 \text{ см}^3$  помещают в стакан емкостью 200 мл, заливают 150 мл раствора HCl (1%). В течение 3 суток с интервалом в 1 сутки титруют 0,1 Н раствором KOH в присутствии фенолфталеина. На каждое титрование берется 5 мл HCl, первый раз титруют исходный раствор соляной кислоты.

По изменению концентрации соляной кислоты определяют количество извести, перешедшей из цементного камня в раствор, которое рассчитывают по формуле

$$a = (\Delta V \cdot 0.0028 \cdot [250 - 5(n-1)/5]) / F, \quad (3)$$

где  $a$  – количество СаО перешедшее в раствор, г/м<sup>2</sup>;

$V$  – объем 0,1Н раствора КОН, затраченного на титрование раствора, мл;

0,0028 – количество СаО, эквивалентное 1 мл 0,1Н раствора КОН;

$n$  – продолжительность выщелачивания в сутки;

$F$  – площадь поверхности образца, м<sup>2</sup>.

Таблица 2

#### Экспериментальные данные

№	V, мл, 0.1Н раствора КОН, затраченного на титрование	Продолжительность выщелачивания n, сут	a, г/м <sup>2</sup>
1		1	
2		2	
3		3	

Проводится графическая обработка экспериментальных данных, путем построения зависимости  $a = f(n)$ .

Делаются выводы по работе с оценкой кинетики разрушения цементного камня во времени.

### Лабораторная работа № 3

#### ЖАРОСТОЙКОСТЬ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ НА ВОЗДУХЕ

*Цель работы:* определить жаростойкость металла и его сплавов с компонентом, повышающим жаростойкость (железа, хромистой или кремнистой стали, меди и латуни; никеля и нихрома) на воздухе при заданной температуре.

Жаростойкость – способность металла сопротивляться коррозионному воздействию газов при высокой температуре, то есть химической коррозии. Жаростойкость определяют по увеличению массы образцов, из исследуемых металлов и сплавов после их выдержки в печи при соответствующей температуре.

Испытанию подвергают по три замаркированных образца из исследуемого материала (углеродистой стали, никеля, меди и т.д.) и его жаростойких сплавов (хромистой или кремнистой стали, нихрома, латуни и др.).

Включают муфельную печь для ее нагрева до заданной температуры. Образцы металла зачищают наждачной бумагой, определяют размер каждого образца (мм), определяют площадь поверхности ( $\text{мм}^2$ ). Результаты измерений заносят в табл. 3.

Затем образцы обезжиривают органическими растворителями (толуол, изопропанол, уайт-спирит), просушивают и взвешивают на аналитических весах.

Результаты измерений заносят в табл. 3.

Таблица 3

Экспериментальные данные

Результаты измерений	№ образца		
	1	2	3
Размеры образца, мм			
Поверхность образца $S$ , $\text{м}^2$			
Начальная масса $m_0$ , г			
Время коррозии, ч			
Масса тигля $m_4$ , г			
Масса образца с окалиной и тиглем $m_2$ , г			
Масса образца с окалиной $m_3$ , г			
Удельное увеличение массы $\Delta m^+$ , $\text{г}/\text{м}^2$			
Показатель увеличения массы, $Km^+$ , $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$			

Образцы помещают в открытые тигли из огнеупорного материала (фарфора или кварца), которые находятся в гнездах подставки из жаростойкой стали, загружают подставку со всеми тиглями в нагретую до заданной температуры печь и, закрыв ее, выдерживают в ней в течение заданного времени (1 час) при данной температуре.

После этого, открыв дверцу печи с помощью специальных щипцов, закрывают тигли с образцами крышками (во избежание потери части окалины), извлекают щипцами подставку с тиглями из печи, ставят на лист асбеста. Ожидают 10–15 минут остывания на воздухе тигли с крышками, помещают в эксикатор над прокаленным хлористым кальцием для окончательного охлаждения. Затем каждый образец взвешивают вместе с тиглем, затем взвешивают пустой тигель. По разнице весов определяют массу образца с окалиной. Результаты измерений заносят в табл. 3.

Условия проведения опыта:

Материал образцов:

Температура плавления:

Продолжительность процесса коррозии:

Удельное увеличение массы образца рассчитывается по формуле

$$\Delta m^+ = (m_3 - m_0)/S. \quad (4)$$

Положительный показатель изменения массы  $Km^+$  – увеличение массы образца металла в результате коррозии, отнесенное к единице времени  $\tau$  и к единице поверхности металла  $S$ .  $Km^+$  рассчитывают по формуле

$$Km^+ = \Delta m^+/\tau. \quad (5)$$

Находят для каждого исследуемого материала среднее значение этого показателя коррозии.

Делают вывод о степени подверженности газовой коррозии каждого металла.

## Лабораторная работа № 4

### КАТОДНАЯ ЗАЩИТА МЕТАЛЛОВ

*Цель работы:* исследование эффективности электрохимической защиты сталей от коррозии в данном электролите в зависимости от силы налагаемого постоянного тока (напряжения).

Катодная защита внешним током – защита металла от коррозии с помощью постоянного электрического тока от внешнего источника, при котором защищаемый металл присоединяют к отрицательному полюсу внешнего источника постоянного тока (в качестве катода), а к положительному полюсу присоединяют дополнительный электрод (графитовый или свинцовый), поляризуемый анодно. При таком пропускании тока поверхность защищаемого металла поляризуется катодно; потенциал поверхности смещается в отрицательную сторону, что приводит к ослаблению работы локальных анодов или к их превращению в катоды, то есть к уменьшению или полному прекращению коррозионной деструкции. Анодный процесс при этом протекает на вспомогательном электроде – аноде.

Работа проводится на установке, схема которой изображена на рис. 1.

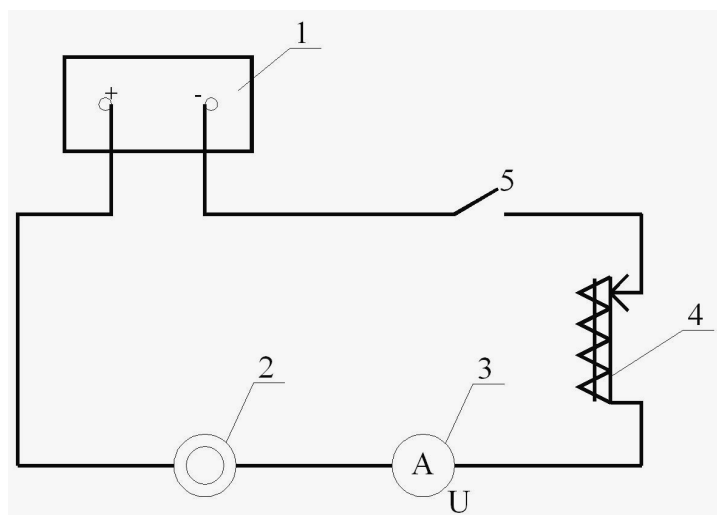


Рис. 1. Схема установки катодной защиты:  
 1 – выпрямитель; 2 – сосуд с раствором NaCl; 3 – амперметр (вольтметр);  
 4 – реостат; 5 – переключатель

В U-образный сосуд (рис. 2) наливается 3 % раствор NaCl, содержащий несколько капель концентрированного раствора красной кровяной соли  $K_3[Fe(CN)_6]$ . Стальной образец тщательно зачищается наждачной бумагой, промывается водопроводной водой, сушится фильтровальной бумагой и погружается в раствор. На поверхности образца появляются синие пятна, так называемая «турнбулиевая синь». В результате работы микроэлементов поступающие в раствор ионы железа реагируют с входящим в состав красной кровяной соли железосинеродистым калием и образуют «турнбулеву синь»:

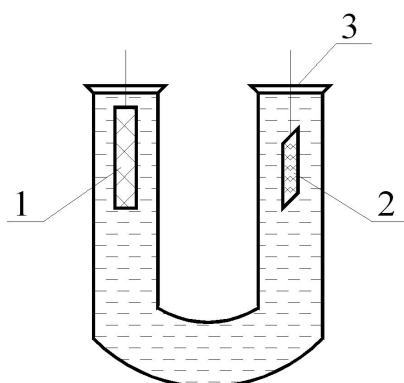
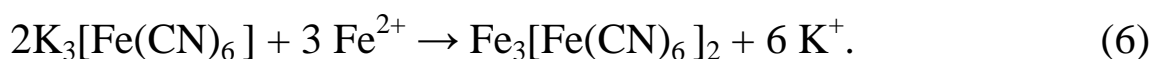


Рис. 2. Сосуд для проведения экспериментов по катодной защите:  
 1 – угольный стержень (анод); 2 – стальной образец (катод);  
 3 – изолирующая крышка

Стальной образец вновь тщательно зачищается наждачной бумагой, промывается водопроводной водой, высушивается фильтровальной бумагой, закрепляется в изолирующей крышке, не погружая в раствор электролита. Собирается схема установки (см. рис. 1). Стальной образец подсоединяется к отрицательному полюсу источника тока, угольный электрод – к положительному полюсу. Двух электродную систему погружают в раствор электролита в U-образном сосуде (рис. 2). Включается ток. С помощью реостата устанавливается сила тока 30–50 мА. Через 10-15 мин после начала опыта ток выключается и образец извлекается из раствора.

В выводе по работе объясняется отсутствие синевы на образце.

## Лабораторная работа № 5

### ПРОТЕКТОРНАЯ ЗАЩИТА

*Цель работы:* исследование эффективности катодной электрохимической защиты стали от коррозии в нейтральном электролите с помощью анодных протекторов. Механизм катодной защиты металлов от коррозии аналогичен механизму катодной защиты внешним током. Между защищаемым металлом и анодным протектором протекает электрический ток. При этом поверхность защищаемого металла поляризуется катодно, что приводит к прекращению коррозионного разрушения. Анодный процесс протекает на протекторе, который постепенно растворяется.

Стальной стержень 1 с магниевым протектором 2 тщательно зачищается наждачной бумагой, промывается в проточной воде и сушится (рис. 3). Протектор со стержнем помещается на специальные подставки в сосуд. Сосуд заливается 1 %-м раствором NaCl, содержащим несколько капель концентрированного раствора красной кровяной соли  $K_3[Fe(CN)_6]$  (раствор № 1).

Измеряется расстояние от места крепления протектора до ближайшего синего пятна на стальном стержне. Это расстояние и определяет радиус действия магниевого протектора в данном растворе.



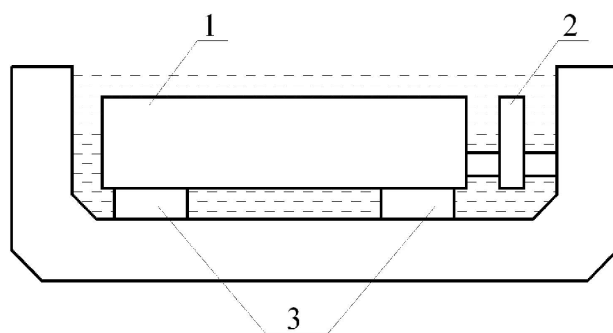


Рис. 3. Схема установки для изучения протекторной защиты:  
1 – стальной стержень (защищаемое изделие); 2 – магниевый (цинковый) протектор; 3 – стеклянные подставки

Стержень с протектором извлекается пинцетом из сосуда, промывается водопроводной водой и протирается фильтровальной бумагой. Аналогичный опыт проводят с растворами № 2 – 0,1 % NaCl и добавка  $K_3[Fe(CN)_6]$ , № 3 – 0,01 % NaCl и добавка  $K_3[Fe(CN)_6]$ , № 4 – водопроводная вода, содержащая несколько капель  $K_3[Fe(CN)_6]$ . Составляется табл. 4, показывающая зависимость радиуса действия магниевых протекторов от концентрации соли в растворе, анализ которой отражается в выводах по работе.

Таблица 4

#### Экспериментальные данные

Система “изделие- протектор”	Раствор № 1 NaCl - 1%		Раствор № 2 NaCl - 0.1%		Раствор № 3 NaCl - 0.01%		Раствор № 4 H <sub>2</sub> O	
	τ, с	r, см	τ, с	r, см	τ, с	r, см	τ, с	r, см
Fe-Mg								
Fe-Zn								
Fe-AL								

По той же методике изучается протекторная защита алюминиевого и цинкового протекторов.

### Лабораторная работа № 6

#### НАНЕСЕНИЕ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЯ

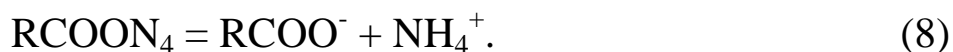
*Цель работы:* получить защитное лакокрасочное покрытие с помощью метода электроосаждения и проверить качество полученной термоотвержденной пленки.

Технологический процесс электроосаждения водорастворимых лакокрасочных материалов заключается в следующем. В ванну, корпус которой обычно служит катодом, заливается лакокрасочная композиция; вторым электродом – анодом – является покрываемое изделие. Затем от источника питания подается постоянный ток со стабильными параметрами (напряжение 30–50 А/м<sup>2</sup>) и в течение 1–2 мин на изделие осаждается лакокрасочная пленка толщиной 20–30 мкм.

Анодное электроосаждение осуществляется из электролитов, которые содержат олигомеры на основе поликарбоновых кислот (эпоксиды, алкиды, полибутадиены и т.д.). Водорастворимость поликарбоновых кислот достигается переводом пленкообразователя в солевую форму путем добавления аминов, аммиака или щелочи. В результате образуются соли:



которые диссоциируют на ионы, способные перемещаться к соответствующему электроду:



Полианионы  $\text{RCOO}^-$  адсорбируются на поверхности частиц пигментов при перетире их с пленкообразователем и увлекают их к поверхности металла в процессе электроосаждения, благодаря этому можно получить окрашенные пленки.

Окончательное формирование лакокрасочных покрытий происходит при повышенных температурах, несмотря на то, что в результате электроосмоса пленки становятся практически обезвоженными. Необходимость сушки обусловлена тем, что скорость удаления оставшейся воды определяется скоростью диффузии ее из глубинных слоев покрытия к поверхности. Для ускорения диффузии и испарения воды требуются дополнительные затраты энергии, которые получаются при повышении температуры и увеличении длительности термоотверждения. В зависимости от природы пленкообразователя и условий электроосаждения температура поддерживается в пределах 140–180 °С, а продолжительность процесса составляет 0,5–1 ч.

Электроосаждение лакокрасочных материалов на металлические поверхности имеет следующие преимущества по сравнению с другими широко известными методами окраски: 1) обеспечивается высокая адгезия пленок к поверхности металла (при сломе образцов под углом 180° не наблюдается отслаивания покрытий); 2) благодаря плотности покрытия обладают высокими защитными свойствами; 3) при опреде-

ленных условиях проведения процесса формируются равномерные покрытия даже на изделиях сложной конфигурации; 4) малые потери лакокрасочного материала, составляющие при использовании ультрафильтрации 1–2 %; 5) относительная пожаробезопасность процесса, обусловленная применением воды в качестве растворителя.

Для проведения работы используется лабораторная установка, приведенная на рис. 4.

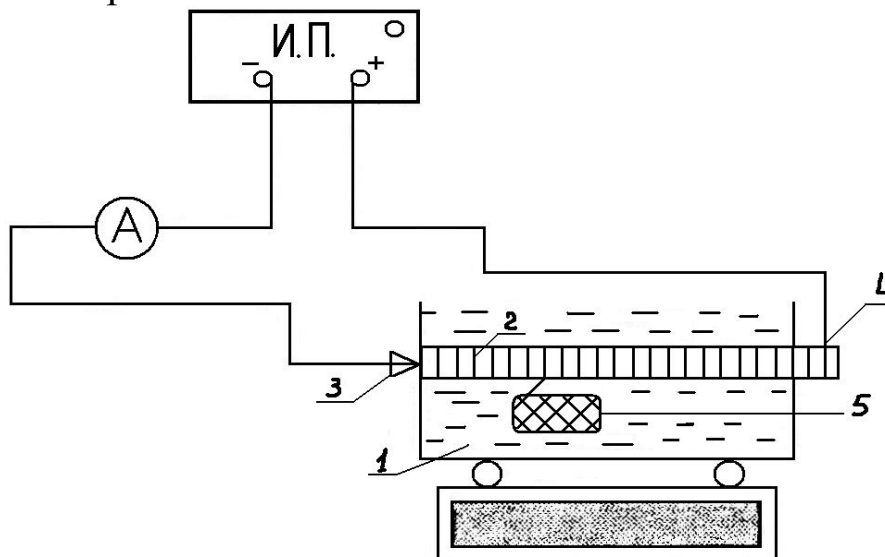


Рис. 4. Схема установки для электроосаждения лакокрасочных покрытий:

- 1 – ванна электроосаждения; 2 – анодная штанга;
- 3 – место контакта с корпусом ванны отрицательного полюса источника тока;
- 4 – место контакта с корпусом ванны положительного полюса источника тока;
- 5 – покрываемый образец

Пластинку из алюминия или другого металла размером 3×4 мм тщательно зачистить шкуркой, обезжирить органическим растворителем (толуолом), протравить в 10 % растворе NaOH (40 °С), и на специальной подвеске загрузить в ванну электроосаждения с водоразбавляемой лакокрасочной композицией на основе грунтовки ВКЧ-0207 (полибутадионовый пленкообразователь и пигменты).

Состав ванны для электроосаждения, масс. %:

Грунтовка ВКЧ-0125 .....	19
ИПС .....	40
Вода .....	40
Аммиак (25 % раствор) .....	1

С помощью выпрямителя на ванну подается заданное напряжение (U от 10 до 100 В), и в течение 60 с ведут процесс электроосаждения. В то же самое время следят за показаниями амперметра.

Если ток со временем падает, то процесс протекает без осложнений. Если же возрастает, то можно считать, что покрытия получатся недоброкачественные и эксперимент надо повторить.

Через 120 с процесса напряжение с ванны снимается, образец извлекается из ванны и некоторое время выдерживается над зеркалом для того, чтобы стекали излишки краски, увлекаемые за счет поверхностных сил.

Затем образец промывают водопроводной водой и 5–8 мин подсушивают на воздухе. После подсушки проводят отверждение пленок в термощкафе при 120 °С в течение 20–30 мин.

Образцы с покрытием проверяют на химическую стойкость капельным способом. Агрессивную хромовую смесь наносят на поверхность образца и определяют время появления пузырьков водорода в результате взаимодействия кислоты с чистым алюминием.

Строят зависимость стойкости покрытия от напряжения (скорость разрушения покрытия в минутах от напряжения). Результаты эксперимента заносят в табл. 5.

Таблица 5

Экспериментальные данные

№	U, В	$\tau$ , с	Внешний вид пленки	Коррозионная стойкость, мин
1				
2				
3				

**Лабораторная работа № 7**

**ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ БЕТОНА**

*Цель работы:* изучить методы и средства неразрушающего контроля коррозии арматуры в бетоне.

*1. Определение технического состояния конструкций по внешним признакам*

Оценка технического состояния конструкций по внешним признакам производится на основе определения следующих факторов:

- геометрических размеров конструкций и их сечений;
- наличия трещин, отколов и разрушений;

- состояния защитных покрытий (лакокрасочных, штукатурок, защитных экранов и др.);
- прогибов и деформаций конструкций;
- нарушения сцепления арматуры с бетоном;
- наличия разрыва арматуры;
- состояния анкеровки продольной и поперечной арматуры;
- степени коррозии бетона и арматуры.

## *2. Определение степени коррозии бетона и арматуры*

Для оценки характера коррозионного процесса и степени воздействия агрессивных сред различают три основных вида коррозии бетона, которые описаны в справочной информации данных методических указаний.

Механические методы неразрушающего контроля при обследовании конструкций применяют для определения прочности бетона всех видов нормируемой прочности, контролируемых по ГОСТ 18105-86.

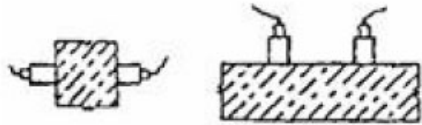

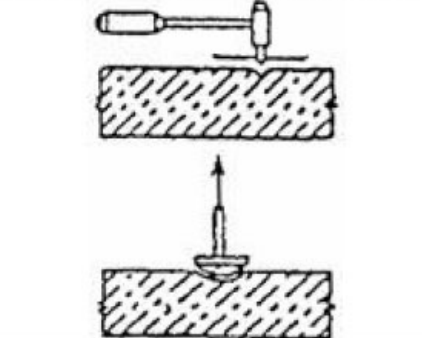
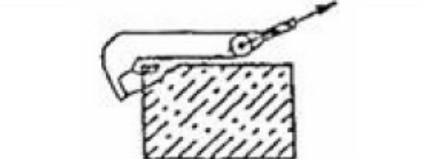
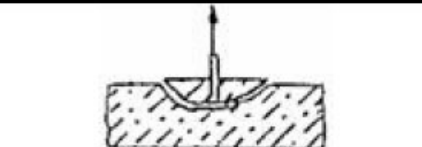
В зависимости от применяемого метода и приборов косвенными характеристиками прочности являются:

- значение отскока бойка от поверхности бетона (или прижатого к ней ударника);
- параметр ударного импульса (энергия удара);
- размеры отпечатка на бетоне (диаметр, глубина) или соотношение диаметров отпечатков на бетоне и стандартном образце при ударе индентора или вдавливании индентора в поверхность бетона;
- значение напряжения, необходимого для местного разрушения бетона при отрыве приклеенного к нему металлического диска, равного усилию отрыва, деленному на площадь проекции поверхности отрыва бетона на плоскость диска;
- значение усилия, необходимого для скалывания участка бетона на ребре конструкции;
- значение усилия местного разрушения бетона при вырыве из него анкерного устройства.

## *3. Определение прочности бетона механическими методами*

Механические методы неразрушающего контроля при обследовании конструкций применяют для определения прочности бетона всех видов нормируемой прочности, контролируемых по ГОСТ 18105-86 (табл. 6).

## Методы контроля прочности бетона

Метод, стандарты, приборы	Схема испытания
Ультразвуковой ГОСТ 17624-87 Приборы: УКБ-1, УКБ-1М, УКБ16П, УФ-90ПЦ Бетон-8-УРЦ, УК-10П	
Пластической деформации Приборы: КМ, ПМ, ДИГ-4 Упругого отскока Приборы: КМ, склерометр Шмидта ГОСТ 22690-88	
Пластической деформации Молоток Кашкарова ГОСТ 22690-88  Отрыв с дисками ГОСТ 22690-88 Прибор ГПНВ-6	
Скальвание ребра конструкции ГОСТ 22690-88 Прибор ГПНС-4 с приспособлением УРС	
Отрыв со скальванием ГОСТ 22690-88 Приборы: ГПНВ-5, ГПНС-4	

#### 4. Ультразвуковой метод определения прочности бетона

Принцип определения прочности бетона ультразвуковым методом основан на наличии функциональной связи между скоростью распространения ультразвуковых колебаний и прочностью бетона.

Ультразвуковой метод применяют для определения прочности бетона классов В7,5–В35 (марок М100–М400) на сжатие.

Прочность бетона в конструкциях определяют экспериментально по установленным градуировочным зависимостям: «скорость распространения ультразвука – прочность бетона  $V = f(R)$ » или «время распространения ультразвука  $t$  – прочность бетона  $t = f(R)$ ». Степень точности метода зависит от тщательности построения калибровочного графика.

Тарировочный график строится по данным прочностных испытаний контрольных кубиков, приготовленных из бетона того же состава.

ва, по той же технологии, при том же режиме твердения, что изделия или конструкции, подлежащие испытанию.

При построении калибровочного графика следует руководствоваться указаниями ГОСТ 17624-87.

### *5. Определение толщины защитного слоя бетона и расположения арматуры*

Для определения толщины защитного слоя бетона и расположения арматуры в железобетонной конструкции при обследованиях применяют магнитные, электромагнитные методы по ГОСТ 22904-93 или методы просвечивания и ионизирующих излучений по ГОСТ 17623-87 с выборочной контрольной проверкой получаемых результатов путем пробивки борозд и непосредственными измерениями.

Радиационные методы, как правило, применяют для обследования состояния и контроля качества сборных и монолитных железобетонных конструкций при строительстве, эксплуатации и реконструкции особо ответственных зданий и сооружений.

Радиационный метод основан на просвечивании контролируемых конструкций ионизирующим излучением и получении при этом информации о внутреннем строении с помощью преобразователя излучения. Просвечивание железобетонных конструкций производят при помощи излучения рентгеновских аппаратов, излучения закрытых радиоактивных источников.

Магнитный метод основан на взаимодействии магнитного или электромагнитного поля прибора со стальной арматурой железобетонной конструкции.

Толщину защитного слоя бетона и расположение арматуры в железобетонной конструкции определяют на основе экспериментально установленной зависимости между показаниями прибора и указанными контролируруемыми параметрами конструкций.

Для определения толщины защитного слоя бетона и расположения арматуры из современных приборов применяют в частности ИСМ, ИЗС-10Н (ТУ 5-06.18-85.79). Прибор ИЗС-10Н обеспечивает измерение толщины защитного слоя бетона в зависимости от диаметра арматуры в следующих пределах:

- при диаметре стержней арматуры от 4 до 10 мм толщины защитного слоя - от 5 до 30 мм;
- при диаметре стержней арматуры от 12 до 32 мм толщины защитного слоя - от 10 до 60 мм.

Прибор обеспечивает определение расположения проекций осей стержней арматуры на поверхность бетона:

- диаметрами от 12 до 32 мм - при толщине защитного слоя бетона не более 60 мм;

- диаметрами от 4 до 12 мм - при толщине защитного слоя бетона не более 30 мм.

#### *б. Определение прочности бетона путем лабораторных испытаний*

Лабораторное определение прочности бетона существующих конструкций производится путем испытания образцов, взятых из этих конструкций.

Отбор образцов производится путем выпиливания кернов диаметром от 50 до 150 мм на участках, где ослабление элемента не оказывает существенного влияния на несущую способность конструкций. Этот метод дает наиболее достоверные сведения о прочности бетона в существующих конструкциях. Недостатком его является большая трудоемкость работ по отбору и обработке образцов.

При определении прочности по образцам, отобранным из бетонных и железобетонных конструкций, следует руководствоваться указаниями ГОСТ 28570-90.

Сущность метода состоит в измерении минимальных усилий, разрушающих выбуренные или выпиленные из конструкции образцы бетона при их статическом нагружении с постоянной скоростью роста нагрузки.

### **Техника безопасности при выполнении лабораторных работ**

Работа в химической лаборатории связана с некоторой опасностью, поскольку многие вещества в той или иной степени ядовиты, огнеопасны и взрывоопасны. Опыт показывает, что большинство несчастных случаев, происходящих в лаборатории, является следствием небрежности и невнимательности работающих. Возможность несчастных случаев может быть исключена при выполнении всех мер предосторожности. Обычно характер предупредительных мер, обеспечивающих безопасность проведения эксперимента, зависит от вида работы. Однако существуют общие правила, выполнение которых обязательно для каждого работающего в лаборатории, независимо от



того, какой эксперимент он проводит.

1. Работать одному в лаборатории категорически запрещается, так как в ситуации несчастного случая некому будет оказать помощь пострадавшему и ликвидировать последствия аварии.

2. Во время работы в лаборатории необходимо соблюдать чистоту, тишину, порядок и правила техники безопасности, так как поспешность и небрежность часто приводят к несчастным случаям с тяжелыми последствиями.

3. Каждый работающий должен знать, где находятся в лаборатории средства противопожарной защиты и аптечка, содержащая все необходимое для оказания первой помощи.

4. Категорически запрещается в лаборатории курить, принимать пищу, пить воду.

5. Опыты нужно проводить только в чистой химической посуде. После окончания эксперимента посуду сразу же следует мыть.

6. В процессе работы необходимо соблюдать чистоту и аккуратность, следить, чтобы вещества не попадали на кожу лица и рук, так как многие вещества вызывают раздражение кожи и слизистых оболочек.

7. Никакие вещества в лаборатории нельзя пробовать на вкус. Нюхать вещества можно, лишь осторожно направляя на себя пары или газы легким движением руки, а не наклоняясь к сосуду и не вдыхая полной грудью.

8. На любой посуде, где хранятся реактивы, должны быть этикетки с указанием названия веществ.

9. Сосуды с веществами или растворами необходимо брать одной рукой за горлышко, а другой снизу поддерживать за дно.

10. Категорически запрещается затягивать ртом в пипетки органические вещества и их растворы.

11. Во время нагревания жидких и твердых веществ в пробирках и колбах нельзя направлять их отверстия на себя и соседей. Нельзя также заглядывать сверху в открыто нагреваемые сосуды во избежание возможного поражения при выбросе горячей массы.

12. После окончания работы необходимо выключить газ, воду, электроэнергию.

13. Категорически запрещается выливать в раковины концентрированные растворы кислот и щелочей, а также различные органические растворители, сильно пахнущие и огнеопасные вещества. Все эти отходы нужно сливать в специальные бутылки.

14. В каждой лаборатории обязательно должны быть защитные маски, очки.

15. В каждом помещении лаборатории необходимо иметь средства противопожарной защиты: ящик с просеянным песком и совком для него, противопожарное одеяло (асбестовое или толстое войлочное), заряженные огнетушители.

16. При работе в лаборатории необходимо применять индивидуальные средства защиты, а также соблюдать правила личной гигиены.

## Библиографический список

1. Анतिकоррозионная защита металлов в строительстве / Н.Л. Федосова, В.Е. Румянцева, К.Е. Румянцева и др. — Иваново: ИГАСУ, 2010. — 188 с.
2. Баженов Ю.М. Технология бетона. — М.: АСВ, 2002. — 500 с.
3. Коррозия бетона в агрессивных средах / под ред. В.М. Москвина. — М.: Стройиздат, 1971. — 219 с.
4. Федосов С.В., Базанов С.М. Сульфатная коррозия бетона. — М.: АСВ, 2003. — 192 с.

## С о д е р ж а н и е

<i>Введение</i> .....	3
<i>Справочная информация</i> .....	4
<i>Лабораторная работа № 1. Действие растворов кислот на цементный камень</i> .....	9
<i>Лабораторная работа № 2. Исследование кинетики выщелачивания и карбонизации бетона</i> .....	11
<i>Лабораторная работа № 3. Жаростойкость металлов и сплавов на воздухе</i> .....	12
<i>Лабораторная работа № 4. Катодная защита металлов</i> .....	14
<i>Лабораторная работа № 5. Протекторная защита</i> .....	16
<i>Лабораторная работа № 6. Нанесение лакокрасочных покрытий методом электроосаждения</i> .....	17
<i>Лабораторная работа № 7. Изучение методов неразрушающего контроля бетона</i> .....	20
<i>Техника безопасности при выполнении лабораторных работ</i>	24
<i>Библиографический список</i> .....	26

*Учебно-практическое издание*

**Составители:**

**Румянцева** Варвара Евгеньевна

**Манохина** Юлия Валерьевна

**Хрунов** Владимир Андреевич

**КОРРОЗИЯ И БОРЬБА С НЕЙ**

*Лабораторный практикум*

*для студентов всех направлений подготовки, изучающих курс “Химия”*

*Редактор Е.Л. Аверьянова*

Подписано в печать 14.03.2013. Формат бумаги 60x84 1/16.

Печать трафаретная. Печ. л. 1,5. Тираж 50 экз.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Ивановский государственный архитектурно-строительный университет»  
153037, г. Иваново, ул. 8 Марта, 20

Тираж отпечатан на копировальной технике частного предприятия  
ОГРН 304370230300436