

**АНТИКОРРОЗИОННАЯ  
ЗАЩИТА  
СТРОИТЕЛЬНЫХ  
КОНСТРУКЦИЙ  
НА ХИМИЧЕСКИХ  
И НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ  
ПРЕДПРИЯТИЯХ**

А. Ф. ПОЛАК, Г. Н. ГЕЛЬФМАН, В. В. ЯКОВЛЕВ

# АНТИКОРРОЗИОННАЯ ЗАЩИТА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ХИМИЧЕСКИХ И НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

*Глубокоуважаемому  
Евгению Андреевичу  
Гузеву  
от авторов*

БАШКИРСКОЕ КНИЖНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
УФА—1980

П 49 А. Ф. Полак, Г. Н. Гельфман, В. В. Яковлев  
 Антикоррозионная защита строительных конструкций на химических и нефтехимических предприятиях. Уфа. Башкирское книжное издательство, 1980.

80с, с илл.

В книге по материалам обследования химических и нефтехимических предприятий Башкирии определены основные причины преждевременного поражения строительных конструкций от коррозии в зданиях кислотных производств. Рассматривается кинетика коррозионных процессов железобетона в кислых жидких и газовых средах. Описываются наиболее эффективные методы и средства защиты строительных конструкций.

Книга предназначена для инженерно-технических работников строительных и проектных организаций, занимающихся возведением и эксплуатацией сооружений химической и нефтехимической промышленности.

30207—63  
 М121(03)—80 44—80

ББК34.662  
 П49  
 6П7

© Башкирское книжное издательство, 1980 г.

## ВВЕДЕНИЕ

Борьба с коррозией металла — одна из наиболее серьезных народнохозяйственных задач, связанных с рациональным использованием металла и сбережением материальных ресурсов страны.

Коррозии подвергаются оборудование, транспортные средства, металлоконструкции зданий, сооружений и объектов, что наносит значительный ущерб. Так, например, потери от коррозии ежегодно составляют: в Англии — 1,26 млрд. фунтов стерлингов, в США — 70 млрд. долларов, в ФРГ — 19 млрд. марок, или 3% национального дохода, в Японии — 1,8% валовой продукции. В СССР объем потерь только в строительстве оценивается в один млрд. рублей, а в народном хозяйстве — в несколько раз больше. В частности, значительный косвенный ущерб определяется вынужденной остановкой производства из-за необходимости срочных ремонтных работ цехов, в результате чего государство не получает продукцию на сотни миллионов рублей.

Если ущерб от коррозии в государственном масштабе достигает больших размеров, то это говорит о том, что с одной стороны, до сих пор в достаточной мере не изучена сущность процесса коррозии, с другой, как при применении средств защиты, так и во время эксплуатации сооружений, работающих в агрессивных средах, не всегда соблюдаются ГОСТы и другие нормативные указания, что не может не отражаться на состоянии вопроса в целом.

Кроме того, некоторые руководители производственных предприятий, объединений,строек не придают должного значения защите металла от коррозии, недостаточно привлекают к решению этой проблемы ученых и специалистов, не используют имеющиеся резервы и возможности.

В связи с этим партия и правительство уделяют большое внимание решению проблемы борьбы с коррозией металла. Намечены

разработки новых направлений по защите от коррозии машин, оборудования, строительных конструкций; стандартизации средств антикоррозионной защиты; финансирования научно-исследовательских и опытно-промышленных работ.

Совет Министров возложил ответственность за осуществление мероприятий по борьбе с коррозией металла, за внедрение в производство средств антикоррозионной защиты на промышленные, транспортные и строительные министерства и ведомства СССР.

За последнее время значительно расширилось производство гаммы антикоррозионных лакокрасочных и полимерных материалов, установок и оборудования для их нанесения; стальных коррозионно-стойких конструкционных материалов, сульфатостойкого цемента, каменного литья и т. д.

Создан головной научно-исследовательский институт по разработке методов и средств антикоррозионной защиты. Все это несомненно приведет к успешному решению борьбы с коррозией металла в СССР.

Железобетон, как известно, занял ведущее место среди конструкционных строительных материалов. Объем его применения достигает ежегодно миллионов кубических метров, а расход стали превышает 12 млн. тонн.

С ростом химической и нефтехимической промышленности значительно возрастает применение железобетона. При эксплуатации этих предприятий возникают условия, вызывающие коррозию арматурной стали и непосредственно бетона, что сопровождается преждевременным разрушением конструкций. В свое время при строительстве производственных корпусов из железобетона защита их от коррозии не всегда оказывалась эффективной, особенно для кислых сред. Поэтому проблема коррозии и антикоррозионной защиты строительных конструкций на химических и нефтехимических предприятиях должна решаться на стадии проектирования с учетом опыта действующих предприятий с аналогичной технологией.

Научно-исследовательские институты, проектные организации, заинтересованные министерства и ведомства поставили перед собой задачу — увеличить долговечность конструкций и сооружений, работающих в агрессивных средах химических и нефтехимических заводов. И в этом деле достигнуты определенные успехи.

Прежде всего были созданы организационные центры по вопросам коррозии строительных конструкций как при Госстрое СССР, так и при Госкомитете по науке и технике СССР, которые координируют деятельность всех институтов и определяют законодательство в данной области. Выполнен ряд важных работ по вопросам теории коррозии железобетона, позволяющие выявить, какие факторы, прежде

го, определяют скорость этого процесса, что придает проблеме разработки средств антикоррозионной защиты определенную направленность и целеустремленность. Разработаны методы пропитки бетона химически стойкими составами, которые могут быть использованы для всех видов подземных конструкций. Для изоляции перетяжки и предотвращения проникновения агрессивных кислот и щелочей сред успешно применяются полимерные пленки. Созданы темы защитных покрытий из лакокрасочных материалов.

Металлургическая промышленность приступила к выпуску новых видов эффективной термически упроченной арматуры классов  $A_T-V$  и  $A_T-VI$ , не склонной к коррозионному растрескиванию. Цементная промышленность вырабатывает сульфатостойкие цементы.

Так как применение антикоррозионной защиты приводит, на первый взгляд, к удорожанию объектов, то следует найти optimum использования. С этой целью необходимы знания в проведении элементарных расчетов как в области кинетики процесса коррозии, так экономики этого вопроса.

Задача книги — ознакомить инженерно-технических работников, проектировщиков, мастеров с комплексом знаний по вопросам коррозии бетона и железобетона, с тем чтобы выработать самостоятельное мнение и решения, суметь претворить на практике все достижения науки и техники в этой области.

Авторы выражают благодарность сотрудникам НИИпромстрой Л. И. Итневу С. Ш., Ястребовой Л. Н., Шароновой Л. А., Балакиреву Л. Ф., Рашитовой Г. Е. за участие в экспериментальных работах.

## Глава I

### НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

#### 1. ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ С АГРЕССИВНЫМИ СРЕДАМИ

Для выяснения причин преждевременного разрушения строительных конструкций в цехах с агрессивными средами были проведены натурные исследования, включающие визуальный осмотр конструкций, отбор и анализ проб бетона и агрессивных сред, замеры относительной влажности и температуры воздуха внутри помещений. Объекты обследований явились цеха по производству неорганических и органических кислот, гербицидов, химических удобрений, электролиза поваренной соли.

Анализ обследований показал, что по условиям эксплуатации все строительные конструкции подразделяются на подземные и надземные. Надземные конструкции разрушаются, как правило, под воздействием агрессивных газов и аэрозолей, а наружные надземные конструкции еще и под влиянием знакопеременных температур. Разрушение подземных конструкций связано с действием агрессивных жидкостей, содержащихся в грунтах.

Попадание агрессивных веществ в грунт или грунтовые воды может происходить по ряду причин. Основными из них являются проливы агрессивных продуктов вследствие нарушения технологического процесса или негерметичности оборудования, связанного с неисправностью запорной арматуры и кислотной канализационной сети при недостаточной нейтрализации кислых стоков. Действие проливов кислот вызывает, в основном, разрушение полов, перекрытий нижележащих этажей, фундаментов, нижних частей колонн.

Для выявления степени загрязнения грунтовых вод сточными в непосредственной близости от зданий цех

агрессивными средами на Уфимском и Стерлитамакском химических заводах был пробурен ряд наблюдательных скважин, из которых периодически проводился отбор проб и их анализ.

Результаты анализов свидетельствуют о том, что после эксплуатации цеха по производству монохлоруксусной кислоты на Уфимском химическом, соляной кислоты хлорэтила на Стерлитамакском химическом заводах, неорганических жирных кислот на Уфимском нефтеперерабатывающем заводе им. XII съезда КПСС кислотность грунтовых вод резко повышается и может достигнуть опасной для бетона величины.

Большую опасность представляет разрушение верхних частей фундаментов (роствершков, фундаментных балок), которые расположены обычно выше уровня грунтовых вод. Агрессивные растворы попадают непосредственно на конструкции, не разбавляясь грунтовыми водами. Так, на Уфимском химическом заводе в результате проливов кислоты фундаментная балка разрушилась за 6 лет эксплуатации (рис. 1), а на стене цеха образовались вертикальные трещины, что привело здание в аварийное состояние.

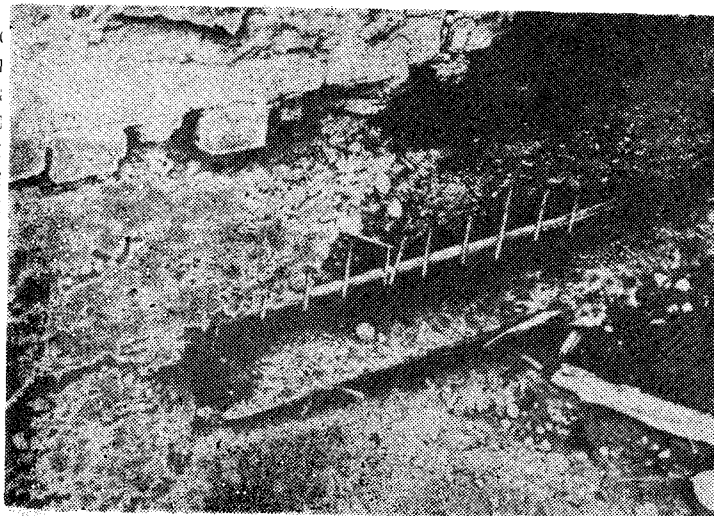


Рис. 1. Разрушение фундаментной балки кислотного отделения через 6 лет эксплуатации.

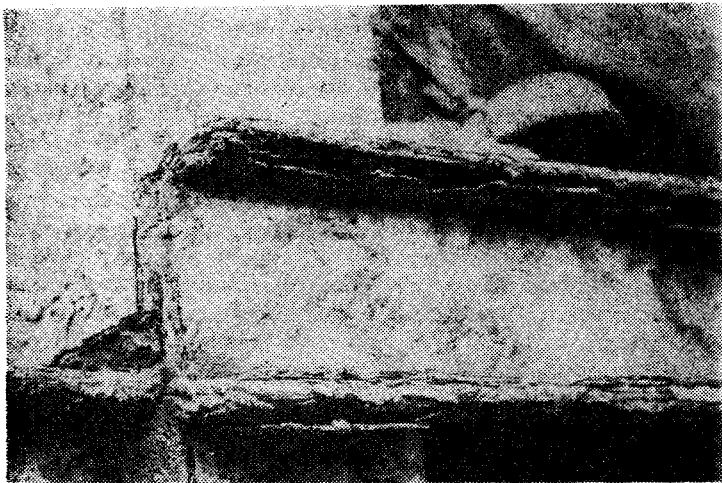


Рис. 2. Разрушение перекрытия этажерки производства соляной кислоты через 2 года (Стерлитамакский химзавод).

Имеются случаи коррозионного разрушения фундаментов. Проведенное в 1971—1972 годах на Уфимском химическом заводе обследование показало, что глубина разрушения бетона фундаментов цеха гербицидов за 9 лет эксплуатации составила в среднем 0,7 см.

В результате проливов агрессивных веществ в цехе зафиксированы многочисленные случаи разрушения пола, что вызывает необходимость их ежегодного ремонта. Объясняется тем, что часть полов выполнена из недостойных кислотостойких материалов, в том числе из Portlandцементных растворов и бетонов, обычных гидростойких рулонных материалов и т. п.

Следует учесть, что полы выполняют и ограждающую функцию между отдельными этажами и при низкой химической их стойкости агрессивные растворы достаточно быстро проникают к нижележащим конструкциям, вызывая их коррозию. Разрушение железобетонного перекрытия этажерки цеха по производству соляной кислоты на Стерлитамакском химическом заводе вследствие периодических проливов соляной кислоты на пол верхнего этажа показано на рис. 2.

Существенное влияние на развитие коррозионных процессов железобетонных конструкций оказывает присутствие

агрессивных газов и паров в окружающем воздухе. Выделение в атмосферу цеха агрессивных и кислых газов происходит из-за негерметичности технологического оборудования. При неблагоприятных температурно-влажностных условиях пары кислот могут конденсироваться на поверхности конструкций. Характер действия такого конденсата не намного отличается от действия проливов кислот на бетон.

Серьезную опасность представляет коррозия арматуры в железобетонных конструкциях в зданиях кислотных производств, произведен химический анализ воздуха внутри помещений, выполнены замеры влажности и температуры в различных точках по сечению зданий в цехах по производству монохлоруксусной кислоты Уфимского химического завода и жирных кислот УНПЗ им. XII съезда КПСС.

Для выяснения условий, в которых эксплуатируются железобетонные конструкции в зданиях кислотных производств, произведен химический анализ воздуха внутри помещений, выполнены замеры влажности и температуры в различных точках по сечению зданий в цехах по производству монохлоруксусной кислоты Уфимского химического завода и жирных кислот УНПЗ им. XII съезда КПСС.

Сечение выбирали после ознакомления с технологией производства и особенностями эксплуатации оборудования таким расчетом, чтобы оно проходило по наиболее характерным участкам газо- и паропроявлений. В каждом сечении зданий делались замеры ртутными термометрами и аспирационными психрометрами в трех точках нижней и трех точках верхней зоны каждого этажа. По максимальным показаниям температуры и относительной влажности воздуха строили графики, которые наносили непосредственно на чертеж сечения здания (рис. 3).

Исследования показали, что в цехах по производству жирных кислот Уфимского нефтеперерабатывающего завода им. XII съезда КПСС содержание агрессивных газов и паров в воздухе, как правило, превышает норму (СНиП II 28-73). Температурно-влажностный режим верхней и средней части зданий в основном образуется под влиянием тепловыделений действующего оборудования. Диапазон колебаний температур в зимний период очень велик — от 2 до 35°C. На нижних этажах температура обычно ниже расчетной.

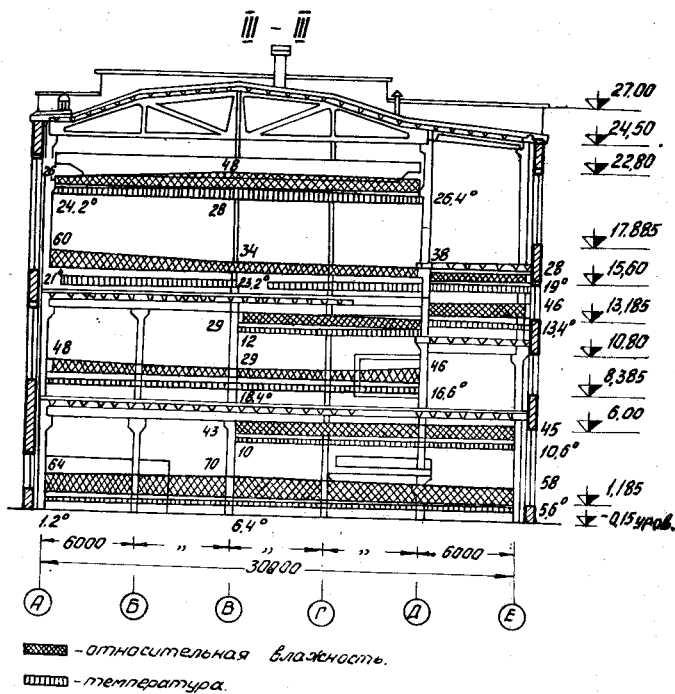


Рис. 3. Распределение температуры и влажности по сечению бетонные образцы с предварительно напряженной арматурой синтетических жирных кислот (Уфимского нефтеперерабатывающей завода им. XXII съезда КПСС).

Относительная влажность воздуха также меняется в широком диапазоне (20—90%). В летний период температура (с точки зрения коррозии стали) концентрация ионов в верхних зонах этажей доходит до 40—50°C. Относительная влажность воздуха в среднем составляет 20—60%, причем максимальной температуре соответствует минимальная влажность воздуха.

Система отопления и вентиляции в большинстве случаев не обеспечивает равномерного температурно-влажностного режима. В связи с этим неизбежно возникают очаги с пониженной температурой и повышенной (по сравнению с нормативной) влажностью воздуха, где поверхности конструкций может оказаться ниже температуры точки росы, и, следовательно, создаются условия конденсации агрессивных паров на поверхности строительных конструкций внутри цехов осуществляющих.

Таким образом, проведенные замеры свидетельствуют том, что в результате тепло- и влаговыделений технологического оборудования в обследованных цехах нефтехимических заводов создается неблагоприятный температурно-влажностный режим, способствующий развитию коррозии строительных конструкций. На формирование температурно-влажностного режима в цехе и распространение рессивных газов внутри помещений большое влияние оказывают вентиляционная система и пространственная планировка зданий. В большинстве случаев здания химических предприятий выполнены из пространственных конструкций значительной высоты и не имеют глухих перебитий между этажами; это способствует распространению за и тепла по всему объему здания. Существующая на предприятиях общеобменная приточно-вытяжная вентиляция зачастую только усиливает циркуляцию воздуха в помещении, но не обеспечивает его достаточного обмена. В этих условиях в зданиях кислотных производств ставится возможным одновременное развитие двух процессов — коррозия бетона под воздействием конденсата паров рессивных газов и коррозия арматуры в результате проникновения агрессивных газов в бетон.

Для выявления скорости и степени коррозии арматуры бетоне в натуральных условиях цеха по производству моноклоруксусной кислоты Уфимского химического завода на уровне нижнего пояса ферм были установлены железобетонные образцы с предварительно напряженной арматурой. Исследования образцов показали, что время, в течение которого на уровне поверхности арматуры образуется опасных пределов (20—90%). В летний период температура (с точки зрения коррозии стали) концентрация ионов в верхних зонах этажей доходит до 40—50°C. Относительная влажность воздуха в среднем составляет 20—60%, причем максимальной температуре соответствует минимальная влажность воздуха.

Таким образом, железобетонные конструкции в натуральных условиях химических производств с агрессивными хлоридными средами корродируют крайне интенсивно. Длительность их в большой мере зависит от качества антикоррозионной защиты. В большинстве случаев защита несущих и ограждающих строительных конструкций внутри цехов осуществляется

ся нанесением на их поверхность химически стойких лакокрасочных покрытий.

Необходимо отметить, что коррозионное разрушение обязательно связано с химической агрессией. В последнее время в Башкирии участились случаи преждевременного разрушения строительных, главным образом, наружных конструкций на объектах, не связанных с химическими предприятиями. Так, на ряде строительных объектов треста «Стерлитамакстрой» наблюдалось разрушение лакокрасочных покрытий в недопустимо короткие сроки — в течение 3-6 месяцев. При укладке плит стяжка выполнялась из цементного раствора с добавкой поваренной соли. Основной причиной крайне низкой долговечности железобетонных плит явилась недостаточная морозостойкость бетона, вызванная совместным действием мороза и поваренной соли, что привело к снижению прочности в 10—15 раз.

Анализ данных проведенных натурных обследований на химических и нефтехимических предприятиях Башкирии показал, что основными причинами преждевременного разрушения строительных конструкций в цехах с агрессивными средами являются:

1. Неправильная эксплуатация оборудования и нарушения технологического режима в процессе производства вследствие чего имеют место выбросы агрессивных газов в атмосферу цехов и проливы агрессивных жидкостей на полы и фундаменты под оборудование.

2. Неблагоприятный температурно-влажностный режим помещений, формирующийся под влиянием тепло- и паровыделений действующего оборудования, отопления и наружного климата.

3. Неэффективная антикоррозионная защита, которая не обеспечивает необходимой долговечности конструкций.

Неэффективность антикоррозионной защиты связана либо с применением недостаточно стойких материалов в данной агрессивной среде, либо с неправильным устройством антикоррозионной защиты, при котором свойства защитных материалов полностью не используются. Та недопустимо применение конструкций полов и фундаментов под оборудование, где в качестве связующего штукатурных элементов верхнего покрытия применяют портландцемент. Недостаточна стойкость в растворах кислот традиционных гидроизоляционных материалов, что приводит к разрушению полов и лотков канализации. Очень час

работы по нанесению антикоррозионных лакокрасочных покрытий выполняются с низким качеством. В особенности при возобновлении лакокрасочной защиты некачественно производится подготовка поверхности под покраску, что резко снижает эффективность антикоррозионных работ.

Для устранения причин преждевременного разрушения строительных конструкций зданий и сооружений кислотных производств следует прежде всего провести ряд мероприятий по снижению агрессивности среды по отношению к строительным конструкциям внутри зданий и сооружений нефтехимических предприятий Башкирии. Для этого следует: ужесточить контроль за герметизацией оборудования и состоянием трубопроводов; усилить вентиляцию, смонтировать дополнительные местные отсосы в местах массовых газовыделений; не допускать распространения газов по всему зданию; у ворот цехов смонтировать воздушные тепловые завесы; обеспечить контроль за состоянием канализационных систем и своевременностью их ремонта.

По устройству антикоррозионной защиты: внедрить более эффективную конструкцию химически стойкого пола, а также изоляцию фундаментов и других подземных сооружений; соблюдать правила подготовки поверхности железобетонных конструкций под окраску; внедрить наиболее эффективные лакокрасочные покрытия и ингибиторы коррозии арматуры.

Для обеспечения долговечности железобетонных конструкций, работающих в наружных условиях, необходимо строго контролировать введение добавок ускорителей твердения, в частности хлористых солей, в строительные растворы и бетоны.

Проведенные натурные обследования зданий и сооружений кислотных производств химических и нефтехимических предприятий Башкирии дают основание считать, что основной причиной преждевременного разрушения строительных конструкций является коррозия бетона и железобетона под действием кислых агрессивных сред. Для борьбы с коррозией необходимо знать основы механизма и кинетики коррозионных процессов, описанию которых посвящена вторая глава.



## Глава II

### КОРРОЗИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА В КИСЛЫХ АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ

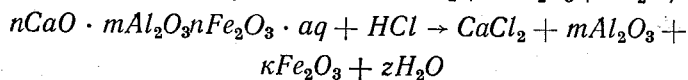
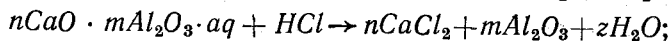
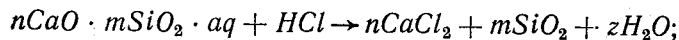
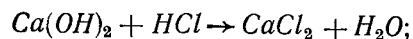
Все случаи коррозионного повреждения железобетонных конструкций по признаку разрушения могут быть разделены на два класса:

- разрушения, связанные с коррозией бетона;
- разрушения, вызываемые коррозией арматуры в бетоне.

Коррозия бетона, как правило, имеет место в конструкциях, на которые воздействуют проливы агрессивных жидкостей (покрытия, плиты перекрытий и т. п.), или в подземных конструкциях, омываемых грунтовыми водами. Несущие конструкции, эксплуатирующиеся в газовой среде промышленных предприятий, обычно разрушаются в результате коррозии стальной арматуры.

#### 1. КОРРОЗИЯ БЕТОНА И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА ПОД ДЕЙСТВИЕМ РАСТВОРОВ КИСЛОТ

Для этого вида коррозии бетона характерным являются процессы растворения минералов цементного камня в результате обменных реакций по схеме (на примере действия соляной кислоты)



Под действием других неорганических (серной, азотной) и органических кислот (уксусной, монохлоруксусной,

синтетических жирных), в цементном камне происходят аналогичные процессы.

В результате таких реакций цементные минералы — твердые вещества, образующие цементный камень, под действием кислот разрушаются. Образуется кальциевая соль и рыхлая масса окислов.

С растворением цементного камня, выполняющего роль связующего в бетоне, последний, как правило, разрушается.

Несколько отличаются процессы коррозии бетона в кислой газовой среде. Вид разрушения в данном случае очень похож на вид разрушения при коррозии бетона в кислотах. Также наблюдаются рыхлые продукты коррозии, слой которых со временем увеличивается, аналогично образуется четкая граница между разрушенным и неразрушенным бетоном.

Однако имеются и отличительные особенности. Так, непосредственному химическому взаимодействию предшествует стадия превращения кислого газа в кислоту. Это происходит в результате диффузии газа и растворения его в поровой жидкости бетона. Далее процесс протекает так же, как при воздействии на бетон кислоты. Поскольку бетон находится в газовой среде, то продукты химической реакции остаются в поровой жидкости. Постепенно они насыщают ее и выпадают в осадок.

Понимание механизма процесса коррозии еще недостаточно для того, чтобы оценить опасность коррозионного поражения строительных конструкций в агрессивной среде. Не менее важно знать, как быстро протекают процессы коррозии.

Скорость коррозии бетона при воздействии кислых сред зависит от плотности бетона, вида и концентрации кислоты, температуры окружающей среды. Рассмотрим несколько подробнее влияние этих факторов на процессы коррозии бетона.

**Вид и концентрация кислоты.** В зависимости от вида кислоты в результате реакции нейтрализации образуются продукты коррозии — главным образом соли кальция различной растворимости. При образовании хорошо растворимых солей кальция процесс коррозии протекает с максимальной скоростью. В случае образования мало- или труднорастворимых солей кальция процесс коррозии замедляется.

На нефтехимических и химических предприятиях Башкирии самыми распространенными являются соляная, азотная, серная, фосфорная, монохлоруксусная, хлорсульфоновая, синтетические жирные кислоты, которые при действии на бетон дают продукты реакции, обладающие различной растворимостью.

По признаку растворимости солей кальция, образующихся в процессе коррозии, все кислоты можно разделить на две группы. К первой группе относятся соляная, азотная, хлорная кислота. Эти кислоты при взаимодействии с  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  образуют хорошо растворимые соли, которые ни при каких условиях не выпадают в осадок в порах и пустотах разрушенного слоя бетона.

Ко второй группе относятся серная, фосфорная и другие кислоты. При увеличении концентрации воздействующих на бетон кислот возможно выпадение образующихся солей кальция в осадок. Выпавшие в осадок кристаллы уплотняют структуру разрушенного (буферного) слоя бетона, препятствуя диффузии агрессивного вещества к непораженному бетону. Скорость коррозии в таком случае, как правило, значительно замедляется. Однако при этом может иметь место и разрушение буферного слоя вследствие интенсивного роста кристаллов новообразований. Тогда замедление процесса коррозии не наблюдается.

Иногда выделяют и третью группу кислот: фтористоводородную, кремнефтористоводородную, щавелевую и др. Воздействие этих кислот практически любой концентрации приводит к образованию кристаллических продуктов реакции, выпадающих немедленно в осадок, и частичной закупорке пор. Скорость коррозии бетона в кислотах третьей группы примерно в 1000 раз меньше, чем для кислот первой группы.

С повышением концентрации кислоты скорость процесса разрушения резко возрастает и при воздействии концентрированных кислот на бетон коррозия происходит настолько быстро, что дает основание считать применение бетона на портландцементе в этих условиях недопустимым. Строительные конструкции, подвергающиеся периодическому воздействию производственных проливов (кислот высоких концентраций), изготавливают из кислотоустойчивых материалов, либо предусматривается облицовка поверхности конструкций антикоррозионными, главным образом, полимерными материалами.

При действии разбавленных растворов кислот скорость коррозии резко уменьшается.

Действию разбавленных растворов кислот в основном подвергаются подземные конструкции, в том числе фундаменты зданий кислотных производств. Концентрация кислот в грунтовых водах может достигать 3—4 г/л, что соответствует кислотности раствора с показателем  $\text{pH} = 1$ . По [9] скорость коррозии бетона в растворах различных кислот может быть рассчитана по формуле

$$L = \sqrt{Kt}, \quad (1)$$

где  $L$  — глубина повреждения бетона;  
 $t$  — время воздействия агрессивной среды.

Коэффициент пропорциональности  $K$  можно назвать коэффициентом скорости коррозионного процесса. Этот коэффициент учитывает свойства агрессивной среды и бетона и может быть вычислен по формуле

$$K = \frac{2C_{1\infty} \cdot D_1 \cdot P_{2c}}{m_1} \left( 1 + \frac{1}{\mu} \frac{D_2 C_{20}}{D_1 C_{\infty}} \right), \quad (2)$$

где  $C_{20}$  — концентрация агрессивной жидкости;  
 $C_{1\infty}$  — «растворимость» цементного камня в воде;  
 $m_1$  — количество вещества, которое может раствориться в воде в единице объема бетона;  
 $D_1, D_2$  — коэффициенты, диффузии ионов растворенного цементного камня и агрессивной среды соответственно;  
 $\mu_1$  — коэффициент, рассчитываемый по химической реакции и учитывающий необходимое количество кислоты для нейтрализации одного грамма щелочи цементного камня;  
 $P_{2c}$  — сквозная пористость разрушенного слоя бетона.

Для проверки зависимости  $K = f(C_{20})$  были выполнены следующие эксперименты. В специальные установки (рис. 4), обеспечивающие непрерывную смену агрессивного раствора, помещались образцы цементного камня. После выдержки образцов в агрессивной среде замерялась глубина их коррозионного поражения и по формуле (1) рассчитывалось значение  $K$ . На рис. 5 приведены результаты данной серии экспериментов. Концентрация кислоты выражена через значения  $\text{pH}$  среды. Как видно из рисунка, экспериментальные данные совпадают с теоретической

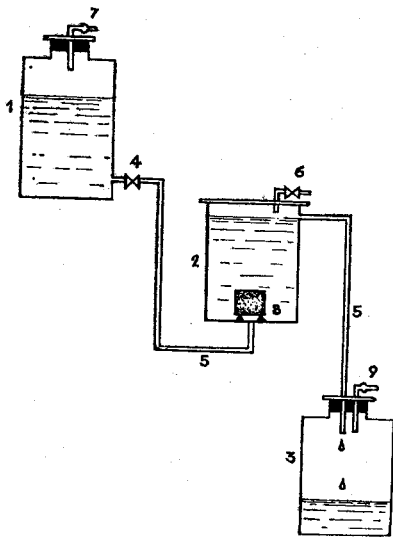


Рис. 4. Установка для определения скорости коррозии бетона в растворах кислот.

в этих средах это ускорение может быть выражено следующим уравнением

$$K = K_0 e^{-\frac{E}{RT}}$$

где  $K_0$  — предэкспоненциальный множитель;  
 $E$  — эффективная энергия активации процесса;  
 $R$  — газовая постоянная;  
 $T$  — абсолютная температура.

В случае, если известна константа коррозионного процесса при нормальной температуре ( $t = 20^\circ\text{C}$  или  $T = 293^\circ\text{K}$ ), то с помощью формулы (3) можно легко рассчитать значение  $K$  для любой температуры эксплуатации

$$K = K_{293} \exp\left[-\frac{E}{R}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{293}\right)\right]$$

Значения эффективной энергии активации в интервале  $5-50^\circ\text{C}$  равны: для случая воздействия на бетон соляной кислоты — 3600, азотной — 3900, серной — 5500 и монохлорфосфорной — 6300 кал/моль.

Однако необходимо упомянуть, что не всегда повышение температуры ведет к ускорению процесса коррозии. На-

пример, рассчитанной по формуле (2). При увеличении рН кислой среды до значения 3, кривая  $K = f(C_{20})$  становится параллельной оси абсцисс, то есть при дальнейшем снижении концентрации агрессивности раствора не уменьшается и действие растворов кислот таких концентраций на бетон аналогично действию нейтральной среды.

**Температура окружающей среды.** Большинство коррозионных процессов ускоряются с повышением температуры. Так, для коррозии бетона в жидких кислых

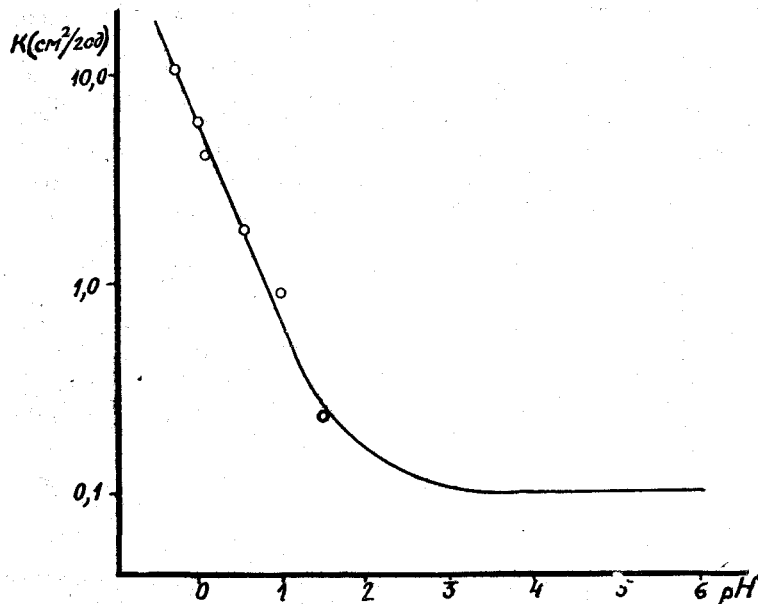


Рис. 5. Зависимость константы скорости коррозии цементного камня ( $B/C_2 = 0,3$ ) от концентрации действующей соляной кислоты.

пример, в таких процессах, когда разрушение материала (3) происходит за счет кристаллизации в порах вновь образующихся веществ, часто увеличение температуры приводит к замедлению процесса коррозии бетона, вследствие снижения скорости роста кристаллов.

**Состав бетона.** Структуру бетона приближенно можно охарактеризовать его пористостью. Если бетон на плотном заполнителе хорошо уплотнен и в нем отсутствуют пустоты, являющиеся дефектами технологии его изготовления, то пористость бетона будет целиком определяться пористостью цементной связки. Несложный расчет позволяет выявить зависимость пористости бетона от его состава

$$P_1 = \frac{G_{ц}}{\gamma_{ц}} \left[ W \frac{\gamma_{ц}}{\gamma_{в}} - \Theta (\delta - 1) \right], \quad (5)$$

где  $G_{ц}$  — количество цемента в единице объема бетона или расход цемента;

$W$  — отношение массы воды к массе цемента при затво-

рении бетонной смеси или водоцементное отношение;

$\Theta$  — степень гидратации цемента в бетоне, выражаемая отношением массы прогидратированного цемента к массе всего цемента;

$\gamma_{ц}$ ,  $\gamma_{в}$  — плотность цемента и воды соответственно;

$\delta$  — коэффициент, учитывающий расширение цемента при его гидратации. Для обычного портландцемента  $\delta = 1,58$ .

Поскольку основные процессы массопередачи при коррозии бетона, а именно: диффузия агрессивного агента, диффузия растворенных компонентов цементного камня, химическая реакция и удаление продуктов новообразования — протекают в разрушенном слое бетона, то на скорость коррозионного процесса будет оказывать влияние пористость буферного слоя по формуле

$$P_2 = \frac{G_{ц}}{\gamma_{ц}} \left[ W \frac{\gamma_{ц}}{\gamma_{в}} - \Theta(\delta - 1)(1 - \beta) + \beta \right]. \quad (6)$$

$\beta$  — доля растворимого вещества в цементе.

Из уравнений (5) и (6) видно, что пористость как не разрушенного бетона, так и буферного слоя прямо пропорциональна расходу цемента и водоцементному отношению.

Из уравнения (2) следует, что на константу коррозионного процесса влияют два фактора, зависящие от расхода цемента в бетоне. Во-первых, это коэффициент, характеризующий реакционную емкость бетона  $m_1$ , который пропорционален расходу цемента  $G_{ц}$ ,

$$m_1 = \beta \cdot G_{ц}. \quad (7)$$

Во-вторых, расход цемента влияет на пористость буферного слоя бетона  $P_2$ , согласно уравнению (6).

Допуская, что «сквозная» пористость буферного слоя бетона прямо пропорциональна общей пористости, то есть,  $P_{2с} = P_2 \cdot \text{const}$ , и решая совместно уравнения (2), (6), (7), получим для константы скорости коррозионного процесса

$$K = K_0 \left[ W \frac{\gamma_{ц}}{\gamma_{в}} - \Theta(\delta - 1)(1 - \beta) + \beta \right]; \quad (8)$$

$$K_0 = \frac{2D_1 C_{1\infty}}{\beta \gamma_{ц}} \left( 1 + \frac{1}{\mu} \frac{D_2}{D_1} \cdot \frac{C_{20}}{C_{1\infty}} \right) \text{const},$$

где  $K_0$  — условная константа процесса коррозии, характеризующая скорость коррозионного поражения беспористого клинкерного материала.

Экспериментами, проведенными в НИИпромстрое, установлено, что степень гидратации цемента в бетоне, приготовленном при обычной технологии, составляет примерно одинаковую величину  $\Theta = 0,67$ . Тогда для бетона на портландцементе уравнение (8) приближенно можно записать в виде

$$\frac{K}{K_0} \approx 3,15w + 0,5. \quad (9)$$

Следует заметить, что при выводе формулы (8) принято идеальное уплотнение бетонной смеси, следовательно, эта формула применима только для бетонов с коэффициентом уплотнения близким к единице и не применима для специальных бетонов с воздухововлекающими добавками, крупнопористых и т. п.

Из анализа формул (8) и (9) следует, на первый взгляд, весьма парадоксальный вывод о том, что скорость коррозии плотного бетона в растворах кислот зависит только от водоцементного отношения и не зависит от расхода цемента в бетоне. Однако внимательное рассмотрение формулы (2) показывает, что, с одной стороны, увеличение расхода цемента приводит к увеличению сквозной пористости буферного слоя бетона, то есть к ускорению процесса коррозии; с другой стороны, увеличение расхода

Т а б л и ц а 11

Глубина коррозионного поражения и константа скорости коррозии образцов бетона с различным расходом цемента

Расход цемента в бетоне, кг/м <sup>3</sup>	В/Ц	Время испытания t, час	Глубина коррозионного поражения L, см	Константа скорости коррозии K, см <sup>2</sup> /год
310	0,5	133	0,38	94,2
450	0,5	133	0,40	103,7
584	0,5	133	0,39	98,5

цемента влечет за собой увеличение реакционной емкости бетона и замедление коррозионного процесса.

Эти факторы взаимно компенсируют друг друга, что приводит к независимости константы скорости коррозионного процесса от расхода цемента в плотном бетоне.

Наглядным подтверждением сказанному являются результаты следующих экспериментов. Для опытов были изготовлены образцы с различным расходом цемента, но при одинаковом водоцементном отношении. Затем образцы в течение 133 часов подвергались испытаниям в агрессивной среде соляной кислоты концентрации 0,66 N. Результаты эксперимента (табл. 1) свидетельствуют о независимости скорости коррозии от количества цемента в бетоне.

## 2. КОРРОЗИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА ПОД ДЕЙСТВИЕМ КИСЛЫХ ГАЗОВ

Как показали обследования состояния строительных железобетонных конструкций, интенсивные разрушения последних наблюдаются при эксплуатации их в атмосфере цехов, содержащей кислые газы.

К наиболее распространенным кислым газам относятся: углекислый газ, сернистый ангидрид, сероводород, хлор, хлористый водород, окислы азота, достаточно полно представленные на предприятиях химии и нефтехимии.

При взаимодействии кислых газов и бетона происходит либо упрочнение тела бетона, вследствие карбонизации (при действии углекислого газа), либо незначительное понижение прочности защитного слоя бетона — в случае коррозии его в среде хлористого водорода.

Наиболее опасной является коррозия арматуры железобетона в среде кислых газов и, как следствие — преждевременное разрушение конструкции. Опасность коррозии арматуры усугубляется тем, что ремонт ее или замена в процессе эксплуатации невозможны. Не существует и надежных методов определения степени поражения арматуры в бетоне.

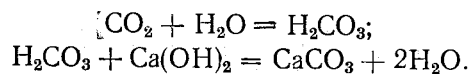
### Основные факторы, вызывающие коррозию стали в бетоне

Известно, что бетон на портландцементе является хорошей защитной средой для стальной арматуры, вследствие того, что поровая влага бетона обладает достаточно высокой щелочностью ( $pH = 12-13$ ).

В результате реакции нейтрализации между кислым газом и компонентами цементного камня щелочность поровой жидкости бетона понижается. При уменьшении  $pH$  среды до значения  $\approx 11,8$  наступают условия, при которых пассивность стали не сохраняется. Самый распространенный случай коррозии арматуры в бетоне, вследствие снижения щелочности, имеет место при взаимодействии бетона с углекислым газом, то есть карбонизация бетона.

Распространенность данного вида коррозии объясняется тем, что углекислый газ содержится в атмосфере (0,03—0,04% по объему) и карбонизации подвергаются все без исключения бетонные и железобетонные конструкции.

В газовой среде химических и нефтехимических производств содержание  $CO_2$  часто выше, и процессы карбонизации идут быстрее. Сущность процесса карбонизации заключается в следующем. Углекислый газ, проникая в бетон, по пути растворяется в поровой жидкости с образованием углекислоты. Углекислота немедленно вступает в реакцию с гидратом окиси кальция, содержащемся в жидкой фазе бетона. Продуктом химической реакции является карбонат кальция, который, обладая малой растворимостью, выпадает в осадок



Насыщенный раствор карбоната кальция имеет  $pH = 9$ . При такой щелочности среды все гидратированные компоненты цемента неустойчивы, поэтому они подвергаются гидролизу с выделением новых порций гидроокиси кальция.

Процесс идет до того момента, пока все соединения цементного камня не превратятся в карбонат кальция и гидроокиси кремния, алюминия и железа. По мере нейтрализации поверхностных слоев фронт карбонизации перемещается в глубь бетона, достигая арматуры. Прочность бетона при этом обычно не уменьшается.

Нередко и при достаточно высоком значении  $pH$  в бетоне развиваются процессы коррозии стальной арматуры. Химические анализы показывают, что это связано, как правило, с наличием в бетоне агрессивных ионов хлора. Соединения хлоридов могут попадать в бетон различными путями: при введении в бетонную смесь добавок — хло-

ристых солей, как ускорителей твердения, при использовании материалов для бетонной смеси, содержащих хлористые соли, и, главным образом, при действии на железобетонные конструкции хлорсодержащих газов, аэрозолей и растворов.

При возрастании концентрации ионов хлора в бетоне повышается вероятность их адсорбции на поверхности стали. В отдельных местах, где поверхность стали наиболее активна, они адсорбируются, разрушают пассивирующую пленку и вызывают образование коррозионных точек (язв, питтингов). Особенно опасна питтинговая коррозия для предварительно напряженной арматуры, так как язвы, занимая небольшую площадь, развиваются вглубь, уменьшая сечение стержней, что, в свою очередь, может привести к появлению коррозионных трещин в стали и быстрому разрушению конструкций. Такой вид коррозии арматуры получил название коррозионного растрескивания [1].

Скорость коррозии железобетона в газовых средах зависит от состава газа, скорости подвода агрессивных ионов к арматуре, концентрации газов, влажности окружающей среды и состава бетона.

Рассмотрим влияние этих факторов на скорость коррозии арматуры в бетоне.

### Классификация кислых газов

Механизм коррозии железобетона в кислых газовых средах во многом определяется составом газа, точнее — свойствами солей кальция, образующихся при реакции нейтрализации между кислотой, возникающей в результате растворения данного газа, и щелочными составляющими бетона. Наиболее существенными из этих свойств являются: изменение объема твердой фазы при химическом взаимодействии газа и минералами цементного камня; агрессивность соли по отношению к стальной арматуре; растворимость в воде и гигроскопичность кальциевых солей.

В зависимости от этих свойств предложено деление газов на три группы [2].

1. Газы, образующие практически нерастворимые и малорастворимые соли кальция, которые не содержат кристаллизационной воды. Объем этих новообразований незначительно превышает объем исходных продуктов. При кристаллизации таких солей в порах плотность и проч-

ность бетона несколько возрастает. К газам этой группы относятся: фтористый водород, четырехфтористый кремний, углекислый газ.

2. Газы, образующие слабо растворимые кальциевые соли, которые при кристаллизации присоединяют значительное количество воды. В связи с большим увеличением объема твердых фаз плотность бетона при нейтрализации значительно возрастает. Например, при воздействии на бетон сернистых газов образуется двуводный гипс, объем которого в 2,2 раза больше исходного объема гидрата окиси кальция. Вследствие роста кристаллов гипса на начальной стадии проницаемость бетона уменьшается, затем в бетоне возникают внутренние напряжения от давления растущих кристаллов гипса, и вблизи от поверхности бетона разрушается. В последующем процесс охватывает новые ненарушенные слои бетона. Представителями этой группы являются: сернистый и серный ангидриды, сероводород и сероуглерод.

3. Газы, образующие хорошо растворимые кальциевые соли, которые обладают высокой гигроскопичностью и способны присоединять кристаллизационную воду.

В зависимости от того, агрессивна или неагрессивна соль по отношению к стали, газы этой группы подразделяются на две подгруппы. К первой относятся газы, образующие соединения, способные вызывать коррозию стали при высокой щелочности среды. Это хлористый водород, хлор, пары брома, йода и некоторых кислот. Ко второй подгруппе следует отнести газы, которые в результате реакции с гидратом окиси кальция образуют нейтральные по отношению к стальной арматуре соли. Газы этой подгруппы — окислы азота.

Поскольку газы первой и второй группы образуют мало растворимые соединения, то концентрация растворимых солей в поровой жидкости бетона незначительна и диффузия их в глубь бетона весьма мала. Коррозия арматуры при воздействии на железобетон этих газов может наступить только в результате нейтрализации защитного слоя, то есть с понижением щелочности.

Газы третьей группы второй подгруппы (табл. 2) также вызывают коррозию арматуры в результате нейтрализации защитного слоя. Однако, так как продукты реакции хорошо растворимы, то плотность нейтрализованного слоя уменьшается и, несмотря на увеличение его толщины, воз-

Т а б л и ц а 2

## Классификация газов (по С. Н. Алексею и Н. К. Розенталю)

Группа газов и паров	Вид газа, пара	Образующая соль	Растворимость соли в воде, г/л	Причина коррозии арматуры
I.	Двуокись углерода CO <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	0,065	Уменьшение щелочности бетона
	Фтористый водород HF	CaF <sub>2</sub>	0,018 <sup>25</sup>	
II.	Сернистый ангидрид SO <sub>2</sub>	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	2,04	Уменьшение щелочности бетона
	Серный ангидрид SO <sub>3</sub>	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	2,04	
	Сероводород H <sub>2</sub> S	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	2,04	
III-1.	Хлористый водород HCl	CaCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	745	Адсорбция анионов на поверхности стали
	Хлор Cl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	745	
	Соляная кислота HCl (пары)	CaCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	745	
	Йод (пары) I <sub>2</sub>	CaI <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	2086	
	Бром (пары) Br <sub>2</sub>	CaBr <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	1430	
III-2.	Оксиды азота NO, NO <sub>2</sub>	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	845 <sup>18</sup>	Уменьшение щелочности бетона
	Азотная кислота (пары) HNO <sub>3</sub>	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	845 <sup>18</sup>	

- Примечания: 1. В третьем столбце приведены конечные продукты взаимодействия.  
2. Растворимость солей дана в расчете на безводные соединения.  
3. Растворимость солей приведена при 20°C или температуре, указанной в верхнем индексе.

растание диффузионного сопротивления может не наблюдаться.

Газы третьей группы первой подгруппы занимают особое место, так как механизм коррозии железобетона при воздействии этих газов имеет принципиальное отличие от описан-

ного выше. Продукты химической реакции, образуясь в поверхностных слоях бетона, вследствие хорошей растворимости остаются в поровой жидкости и диффундируют в глубь материала.

Агрессивные ионы, достигая арматуры, активируют ее поверхность, вызывают распассивацию и последующую коррозию металла. Интенсивность коррозии зависит от количества прориффундировавших ионов, а именно: чем больше агрессивного вещества накапливается в зоне расположения арматуры, тем выше скорость коррозии.

## Скорость проникновения агрессивных ионов

Коррозия арматуры при воздействии газов типа хлористого водорода наступает быстрее, чем при действии CO<sub>2</sub>, вследствие опережающего воздействия агрессивных ионов. Схему процесса коррозии железобетона в газах типа хлористого водорода можно представить следующим образом. Агрессивный газ, диффундируя в глубь бетона, по пути растворяется в поровой жидкости, которая присутствует в бетоне практически при любой влажности атмосферы. В результате растворения газа образуется соляная кислота, которая взаимодействует с щелочными составляющими бетона.

Продукты реакции, содержащие ионы хлора, в растворенном виде диффундируют в глубь бетона к арматуре. Содержание агрессивных ионов хлора постепенно возрастает и при их критической концентрации наступает коррозия арматуры. Накопление агрессивных ионов по глубине бетона можно выразить следующими формулами

$$\lambda = 1,67\sqrt{D_3^*t}$$

$$C_3 = C_{30}\left(1 - \frac{x}{\lambda}\right) \quad (10)$$

$$C_{30} = 44,5 \frac{q_4}{G_{II}} \sqrt{\frac{t}{D_3^*}}$$

где  $\lambda$  — глубина проникания хлоридов в бетон;  
 $C_3$  — содержание ионов хлора по глубине бетона;  
 $C_{30}$  — содержание ионов хлора на поверхности бетона;  
 $D_3^*$  — эффективный коэффициент диффузии хлор-ионов в поровой жидкости бетона;

$q_4$  — количество агрессивного газа, поглощаемого бетоном в единицу времени;  
 $x$  — расстояние от поверхности бетона;  
 $t$  — время.

Как следует из уравнений (10), глубина проникания хлоридов в бетон изменяется в зависимости от времени и эффективного коэффициента диффузии по закону квадратного корня. Концентрация хлоридов на поверхности бетона прямо пропорциональна количеству поглощаемого бетоном агрессивного газа и корню квадратному из времени и обратно пропорциональна расходу цемента и корню квадратному из эффективного коэффициента диффузии.

Сохранность арматуры железобетонных конструкций для данного случая определяется временем  $t_k$ , в течение которого на расстоянии  $h$  (толщина защитного слоя бетона) концентрация агрессивных продуктов достигнет критического значения  $C_{зк}$ .

Из уравнений (10) получаем выражение, которое может быть использовано для расчета долговечности железобетонных конструкций в следующем виде

$$t_k = \left( \frac{C_{зк} G_{ц}}{44,5 q_4} \sqrt{D_s^*} + \frac{0,635h}{\sqrt{D_s^*}} \right)^2 \quad (11)$$

Нашими экспериментами установлено, что предельно допустимое значение хлоридов в бетоне на Стерлитамакском портландцементе  $C_{зк} = 0,5\%$  Cl от массы цемента. С учетом этого

$$t_k = \left( 0,011 \frac{G_{ц}}{q_4} \sqrt{D_s^*} + 0,635 \frac{h}{\sqrt{D_s^*}} \right)^2 \quad (12)$$

Из анализа формулы (12) следует, что долговечность конструкций в хлорсодержащей среде определяется двумя процессами. Первое слагаемое правой части уравнения описывает процесс накопления продуктов химической реакции на поверхности бетона. На этот процесс также оказывают влияние такие факторы, как: расход цемента в бетоне, концентрация и влажность агрессивной среды, структурные характеристики бетона. Второе слагаемое характеризует процесс проникания хлоридов в глубь бетона к арматуре. Время, в течение которого хлориды достигают поверхности арматуры, зависит от толщины защитного слоя бетона и коэффициента их диффузии.

Кроме того, из уравнения (12) можно получить выражение для нормирования толщины защитного слоя бетона

$$h = 1,58 \sqrt{D_s^*} t_n \left( 1 - 0,011 \frac{G_{ц}}{q_4} \sqrt{D_s^*} \right) \quad (13)$$

Здесь  $t_n$  — нормируемый срок службы конструкций. Таким образом, для расчета долговечности железобетонных конструкций в газовой среде типа хлористого водорода необходимо экспериментально определить коэффициент диффузии продуктов реакции в поровой жидкости бетона и поток газа, поглощаемого единицей поверхности бетона в единицу времени.

**Концентрация газа.** Взаимосвязь между потоком газа, поглощаемого бетоном  $q_4$ , и концентрацией агрессивного газа в атмосфере  $C_{40}$  может быть выражена следующим уравнением

$$q_4 = v_4 \cdot C_{40}, \quad (14)$$

где  $v_4$  — константа скорости поглощения газа, показывающая какой объем газа поглощается единицей площади бетона в единицу времени.

**Влажность окружающей среды и состав бетона.** Скорость процесса поглощения газа зависит от влажности агрессивной газовой среды и структуры бетона. Чем выше влажность окружающей атмосферы и чем больше в бетоне пористых размеров, тем больше в нем конденсируется влаги и тем быстрее происходит процесс растворения и поглощения газа. Скорость поглощения газа может быть определена по изменению массы образцов, находящихся в агрессивной среде. Для константы скорости получаем

$$v_4 = \frac{\alpha \Delta q}{C_{40} S_{обр}}, \quad (15)$$

где  $\alpha$  — безразмерный коэффициент;  
 $\Delta q$  — прирост массы образцов в единицу времени;  
 $S_{обр}$  — площадь поверхности образцов.

В результате реакции между кислым газом и щелочью гидроксидной фазы бетона выделяется вода, которая в зависимости от скорости ее образования и влажности окружающей среды может либо полностью удаляться из зоны реакции, либо накапливаться в бетоне. Этот процесс учитывается безразмерным коэффициентом  $\alpha$ , значение которого зависит от воздействия на бетон хлористого водорода лежит



в пределах 1÷2 и зависит от концентрации и влажности агрессивной среды. Результаты наших работ показывают, что накопление влаги в бетоне вследствие химической реакции может происходить только при аномально высокой концентрации агрессивной среды ( $C_{40} > 10 \text{ г/м}^3$ ), что чрезвычайно редко встречается на практике. В реальных условиях накопления влаги не происходит и значение коэффициента  $\alpha$  для газа HCl равно 2.

При определении скорости поглощения газа необходимо точно выдержать заданную влажность газовой смеси. В таком случае в качестве агрессивной среды может служить пары соляной кислоты, концентрация которой указывается по табл. 3 в соответствии с требуемой относительной влажностью атмосферы. После определения в данной атмосфере значения  $\Delta q$  вычисляется скорость поглощения газа, для чего в формулу (15) подставляется значение концентрации газа, применявшегося в экспериментах в соответствии с данными табл. 3.

Определенная по этому методу скорость поглощения газа бетонами М200 при 80% относительной влажности атмосферы оказалась равна  $(0,9—1,4) \cdot 10^{-2} \text{ см/с}$  в зависимости от вида заполнителя в бетоне. Значение  $v_4 = 10^{-2} \text{ см/с}$  соответствует бетону, в котором в качестве заполнителя использовался щебень, а  $v_4 = 1,4 \cdot 10^{-2} \text{ см/с}$  характерно для бетона с пористым заполнителем, типа керамзита. При уменьшении влажности среды скорость поглощения газа уменьшается. Например, при влажности

Т а б л и ц а

Относительная влажность паров и концентрация хлористого водорода над соляной кислотой ( $t=20^\circ\text{C}$ )

Концентрация кислоты, % . . . . .	6,5	12	16	19,5	23	26,5
Относительная влажность паров, %	90	80	70	60	50	40
Концентрация хлористого водорода, мг/м <sup>3</sup> . . . . .	1,8	18	85	320	1400	4800

атмосферы  $\varphi = 70\%$  значения  $v_4$ , определенные для  $\varphi = 80\%$ , необходимо умножить на поправочный коэффициент 0,9, а для  $\varphi = 60\%$  — на 0,8. При этом значения параметра могут быть использованы для ориентировочных расчетов при проектировании железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в агрессивных средах типа хлористого водорода. Эффективный коэффициент диффузии хлор-ионов в пористой жидкости бетона будет меньше молекулярного коэффициента диффузии данного вещества в объеме раствора.

Это наблюдается вследствие того, что большая часть пористой влаги в бетоне находится в адсорбированном состоянии. Свойства адсорбированной влаги, а также свойства жидкости, сконденсированной в тонких капиллярах, существенно отличаются от свойств воды в объеме.

Поскольку непосредственное определение эффективного коэффициента диффузии экспериментальным путем достаточно сложно и трудоемко, то для нахождения этого коэффициента можно использовать косвенный метод. Он заключается в определении сквозной пористости капиллярно-пористого тела с помощью замера электропроводности образцов.

По методике измерений для влагонасыщенных образцов и в воздушно-сухом состоянии, можно определить удельное сопротивление бетона и вычислить искомый коэффициент диффузии. С этой целью может быть использована формула

$$D_3^* = D_3 \frac{\rho_0}{\rho_w} \cdot \frac{1}{P_w}, \quad (16)$$

где  $D_3$  — молекулярный коэффициент диффузии хлористой соли в воде;

$P_w$  — объемное влагосодержание образца;

$\rho_w$  — удельное сопротивление образца бетона при данной относительной влажности среды;

$\rho_0$  — удельное сопротивление жидкой фазы.

Для бетонов на портландцементе удельное сопротивление жидкой фазы равно 120—125 ом · см при  $t = 20^\circ\text{C}$ . Начення молекулярных коэффициентов диффузии приводятся в справочной литературе. Таким образом, для вычисления коэффициента диффузии хлор-ионов в бетоне достаточно определить его удельное сопротивление и объемное влагосодержание при данной относительной влажности атмосферы. Последнее определяется по разнице массы исходного и высушенного образца, отнесенной к его объему.

## Прогнозирование долговечности бетонных конструкций в растворах кислот и кислых газах

Прогнозирование долговечности имеет целью рассчитать время и безопасный срок эксплуатации конструкций в конкретной агрессивной среде.

Для проектирования фундаментов зданий и сооружений кислотных производств прогнозирование производится с учетом ожидаемой глубины коррозионного поражения бетона.

Расчет допускаемой глубины коррозионного поражения бетона производится по формуле (1).

Константа скорости коррозионного процесса вычисляется на основании результатов экспериментов по описанной выше методике определения глубины коррозионного поражения.

При отличии концентрации и температуры агрессивного раствора, используемого в эксперименте, от его концентрации и температуры в производственных условиях возможен перерасчет величины  $K$  по формулам приведенных ниже в примерах расчетов.

В зависимости от значения коэффициента  $K$  изменяется и величина, на которую необходимо увеличить сечение конструкций. Условие сохранности конструкций, которое заключается в том, что под действием агрессивной среды сечение бетонного элемента не должно быть меньше некоторой предельной величины на протяжении всего срока эксплуатации, выражается в виде

$$F \geq \frac{F_1}{K_3} = F_{\text{доп}}, \quad (17)$$

где  $F_1$  — начальное сечение конструкции;

$F$  — допустимое сечение;

$K_3$  — коэффициент запаса сечения на коррозию.

При уменьшении сечения в процессе коррозии уменьшается и коэффициент запаса  $K_{\text{зап}}$ , предельное значение которого равно единице. В целях упрощения допускаем, что конструкция, на которую воздействует агрессивная среда, имеет квадратное сечение. Тогда

$$F_{\text{доп}} = a^2; \quad F_1 = (a + 2L_{\text{доп}})^2, \quad (18)$$

где  $a$  — размер стороны сечения после коррозии;

$L_{\text{доп}}$  — допускаемая глубина поражения бетона.

## Глава III

### МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОТ КОРРОЗИИ

#### 1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ АНТИКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ

Проектирование антикоррозионной защиты зданий и сооружений кислотных производств должно проводиться на основании технических расчетов с учетом условий, в которых эксплуатируются конструкции, и прогнозирования долговечности бетона и железобетона в агрессивной среде.

Результаты прогнозирования в сопоставлении с фактическими сроками службы зданий и сооружений на действующих предприятиях заданными нормативными сроками долговечности позволяют определить необходимость и сделать выбор эффективной антикоррозионной защиты.

Предлагаемый метод проектирования исключает возможность необоснованного выбора дорогих и дефицитных материалов, увеличивающих стоимость объекта и затрудняющего обеспечение строительства. Остановимся несколько подробнее на отдельных этапах проектирования.

Для выяснения условий эксплуатации конструкций перед проектированием должны быть обследованы действующие предприятия с аналогичной технологией производства.

Определяется вид и концентрация агрессивных веществ реагирующих с поверхностью конструкций, в частности кислот и кислых газов. Снимаются температурно-влажностные параметры по разрезу здания. Кроме того, выясняются нормативный ( $t_n$ ) и действительный сроки службы объекта ( $t_d$ ), сроки эксплуатации на момент обследования ( $t_0$ ), количество ремонтов за период эксплуатации ( $n$ ); стоимость антикоррозионной защиты ( $C_T^a$ ), возобновления защиты ( $C_T^{a-3}$ ); количество возобновлений ( $m$ ).

Т а б л и ц а

Кoeffициент запаса на коррозию в зависимости от агрессивности среды защиты, например, экранирования поверхностей химически стойкими материалами.

$K, \text{ см}^2/\text{год}$	10	5,0	1,0	0,5	0,1	0,05	0,0
$K_{\text{зап.}}$	9,0	5,95	2,5	2,1	1,44	1,28	1,1
$a_1$	60	48,8	31,6	29,0	24,0	23,2	21,1
$\frac{a_1}{a}$	3,0	2,42	1,635	1,45	1,2	1,14	1,0

$$K_{\text{зап}} = \frac{F_1}{F_{\text{доп}}} = \left( \frac{a + 2L_{\text{доп}}}{a} \right)^2 \sim 1 + \frac{4L_{\text{доп}}}{a}$$

По формуле (1) допускаемая глубина поражения бетона равна  $L_{\text{доп}} = \sqrt{Kt_n}$ , где  $t_n$  — нормируемый срок службы конструкции. Тогда

$$K_{\text{зап}} = \left( \frac{a + 2\sqrt{Kt_n}}{a} \right)^2 \sim 1 + 4 \frac{\sqrt{Kt_n}}{a}$$

Как видно из уравнения (20), коэффициент запаса ( $K_{\text{зап}}$ ) по сечению является функцией константы коррозионного процесса  $K$ . В табл. 5 приведены значения  $K_{\text{зап}}$  в зависимости от агрессивности среды для допустимого значения  $a = 20$  см и срока эксплуатации  $t_n = 40$  лет.

Получив условия стойкости строительных конструкций в зависимости от агрессивности среды, коэффициента запаса сечения на коррозию и линейного размера сечения конструкции, можно судить о целесообразности методов защиты строительных конструкций и их выбору.

Из табл. 5 видно, что при сравнительно невысокой агрессивности ( $K \leq 0,1 \text{ см}^2/\text{год}$ ) есть возможность обеспечить долговечность конструкций увеличением размера сечения путем использования так называемой первичной защиты. При агрессивности ( $K > 0,1 \text{ см}^2/\text{год}$ ) увеличение сечения чрезвычайно велико и влечет за собой резкое изменение конфигурации конструкции, нерациональный расход бетона. Поэтому в данном случае более эффективным по-видимому, применение вторичной антикоррозионной

При прогнозировании долговечности железобетонных конструкций в среде кислых газов рассчитывается время, в течение которого на поверхности арматуры достигается предельно допустимое содержание агрессивных ионов. Расчеты ведутся по формуле (12).

Значение эффективных коэффициентов диффузии хлоридов в поровой жидкости бетонов в зависимости от влажности среды приведены в табл. 4.

Если расчетное время меньше нормативного срока эксплуатации, то поверхность конструкций должна быть защищена.

**Расчет необходимости антикоррозионной защиты**  
Из сравнения рассчитанного срока эксплуатации конструкции с нормативным наглядно видна степень необходимости защиты и коррозионной стойкости конструкции.

Если  $S$ -коррозионная стойкость конструкции,  $t_n$  — нормативный срок службы,  $t_d$  — действительный срок службы,  $\Delta t$  — недостающий срок службы до нормативного, тогда

$$S = \frac{t_d}{t_n} = \frac{t_n - \Delta t}{t_n}, \quad (21)$$

то есть коррозионная стойкость выражает долю нормативного срока эксплуатации конструкции без антикоррозионной защиты. Необходимость антикоррозионной защиты ( $H$ ) может быть выражена

$$H = 1 - S = \frac{t_n - t_d}{t_n} = \frac{\Delta t}{t_n}, \quad (22)$$

то есть необходимость коррозионной защиты характеризуется долей нормативного срока, которую следует обеспечить

антикоррозионными мероприятиями. Практика показывает, что, если  $H < 0,25$ , то необходимая долговечность конструкций может быть достигнута рядом дополнительных технологических мероприятий по повышению стойкости бетона: увеличение плотности бетона, величины защитного слоя бетона, размеров конструкций и т. д.

При  $H > 0,25$  необходимо устройство антикоррозионной защиты, причем, чем больше значение  $H$ , тем более надежной должна быть антикоррозионная защита.

Антикоррозионная защита должна быть оправдана экономически. Необходимо соблюдение условия, при котором общая стоимость объекта с защитой ( $C_T^\Phi$ ) будет меньше или равна стоимости объекта без защиты ( $C_T^0$ ) плюс стоимость его ремонтов в процессе эксплуатации ( $C_T^P$ ).

$$C_T^\Phi \leq C_T^0 + nC_T^P,$$

где  $n$  — количество ремонтов за период эксплуатации.

$$n = \frac{t_H}{t_d} - 1 = \frac{H}{S}.$$

С другой стороны, стоимость объекта с защитой состоит из суммы затрат на строительство объекта с его защитой ( $C_T^3$ ) и возобновления защиты ( $C_T^{3,3}$ ).

$$C_T^\Phi = C_T^0 + C_T^3 + mC_T^{3,3},$$

где  $m$  — число возобновлений защиты в процессе эксплуатации

$$m = \frac{t_H}{t_3} - 1,$$

где  $t_3$  — срок службы антикоррозионной защиты до возобновления. По аналогии с 21 имеем

$$m = \frac{1}{S_3} - 1,$$

где  $S_3$  — коррозионная стойкость защиты.

Допускаем, что  $C_T^3 = C_T^{3,3}$ , тогда  $C_T^\Phi = C_T^0 + (m + 1)C_T^3$

Из выражения (23) и (28) имеем

$$\mathcal{E} = nC_T^P - (m + 1)C_T^3.$$

то есть экономический эффект от антикоррозионной защиты равен разности стоимостей ремонтов (если сооружение эксплуатируется без защиты) и стоимости защиты. Пусть сколько необходимое количество ремонтов ( $n$ ) зависит от коррозионной стойкости конструкций ( $S$ ), а необходимо количество возобновлений защиты ( $m$ ) от стойкости антикоррозионной защиты ( $S_3$ ), то экономический эффект может быть рассчитан по формуле

$$\mathcal{E} = \frac{H}{S} C_T^P - \frac{C_T^3}{S_3}.$$

Используя уравнения (29) и (30), можно проводить сравнение различных вариантов антикоррозионной защиты и выбрать наиболее целесообразный.

Приведем примеры расчетов проектирования антикоррозионной защиты строительных конструкций с учетом прогнозирования их долговечности.

(2) **Пример 1.** Рассчитать ожидаемую глубину коррозионного поражения железобетонного основания пола, если в результате проливов на него постоянно воздействует раствор соляной кислоты 0,01N концентрации при температуре 20°C. Бетон с  $W = 0,6$ , расход цемента — 370 кг/м<sup>3</sup>. Заполнитель — кислотостойкий. Заданный срок эксплуатации — 18 лет.

Бетонные образцы данного состава для ускорения эксперимента испытывались в проходящем токе соляной кислоты 0,1N концентрации в течение 150 суток при температуре 20°C. Затем с помощью измерения объемов образцов с дуктами коррозии и без них определялась глубина разрушения, которая составила 1,18 см. По формуле (1) вычисляем константу скорости коррозионного процесса.  $K_{оп} = \frac{L^2}{t} = \frac{0,55^2 \cdot 365}{150} = 0,785$  см<sup>2</sup>/год.

Ожидаемая глубина коррозии бетона в данных условиях составит

$$(2) \quad L = \sqrt{K_{op} t_p} = \sqrt{0,785 \cdot 18} = 3,8 \text{ см}$$

Следовательно, при проектировании конструкции пола необходимо увеличить толщину его основания на 3,8 см.

(2) Если по каким-либо причинам такое увеличение недопустимо, то следует предусмотреть экранирующую защиту от коррозии.

(2) **Пример 2.** Рассчитать увеличение толщины ленточного фундамента в агрессивной среде. Состав бетона и концентрация агрессивной среды такие же, как в первом примере. Грунт не реагирует с кислотой. Средняя годовая температура окружающего бетона грунта +5°C. Бетонные образцы испытывались в песке, через который постоянно фильтровался раствор соляной кислоты 0,01N концентрации в течение 150 суток при температуре 20°C. Глубина разрушения в среднем оказалась равной 0,41 см.

Константа скорости коррозии в условиях опыта составила

$$(3) \quad K_{оп} = \frac{0,41^2 \cdot 365}{150} = 0,48 \text{ см}^2/\text{год}.$$

Так как температура опыта отличается от температур среды при эксплуатации, то расчетный коэффициент коррозии определяем по следующей формуле

$$K = K_{293} \lambda_{xp} \left[ -\frac{E}{R} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{293} \right) \right],$$

где  $K_{293}$  — константа коррозионного процесса при  $T = 293^\circ\text{K}$  или  $20^\circ\text{C}$ ;

$R$  — газовая постоянная;

$T$  — абсолютная температура;

$E$  — эффективная энергия активации в интервале  $5-50^\circ\text{C}$  для случая воздействия на бетон соляной кислоты равна  $3600$  кал/моль.

Для нашего примера

$$K_0 = 0,438 \lambda_{xp} \left[ -\frac{3600}{2} \left( \frac{1}{278} - \frac{1}{293} \right) \right] = 0,303 \text{ см}^2/\text{год}$$

Увеличение толщины фундамента составит

$$L = \sqrt{0,306 \cdot 18} = 2,3 \text{ см}$$

**Пример 3.** По состоянию конструкции на данный момент определить, какова будет глубина поражения бетона к концу срока эксплуатации.

В этом случае в результате обследования определяется средняя глубина поражения бетона и затем, зная закон продвижения границы коррозии во времени (формула 1) вычисляется глубина коррозии бетона на любой срок эксплуатации

$$L_p = L_0 \sqrt{\frac{t_p}{t_0}},$$

где  $t_p$  — расчетный срок эксплуатации;

$L_0$  — глубина коррозионного поражения бетона на момент обследования;

$t_0$  — время воздействия агрессивной среды на бетон до момента обследования.

При воздействии агрессивной среды на бетон открытых конструкций, то есть полов, колонн, фундаментов под оборудование за время  $t_0$  можно принимать срок эксплуатации. Согласно данным натурных обследований, в цехах химических производств этот срок равен примерно одному году.

Т а б л и ц а 6

Ожидаемая глубина коррозионного поражения фундаментов цехов Уфимского химического завода для различных сроков эксплуатации после обследования

Наименование цеха	Время воздействия среды до обследования, $t$ год	Глубина коррозионного поражения $L_0$ , см	$L_p$ , см		
			через 10 лет	через 25 лет	через 50 лет
Производство монохлоруксусной кислоты . . . . .	8,0	0,35	0,53	0,71	0,94
Производство хлорсульфоновой кислоты . . . . .	8,0	0,3	0,45	0,61	0,81
Производство гербицидов . . . . .	8,0	0,7	1,05	1,42	1,9

В качестве примера в табл. 6 приведен расчет ожидаемой глубины коррозионного поражения бетона фундаментов цехов Уфимского химического завода.

**Пример 4.** Конструкция — плита перекрытия — предназначена для эксплуатации в цехе производства соляной кислоты. Концентрация агрессивного газа (хлористого водорода) в атмосфере цеха  $C_{40} = 5$  мг/м<sup>3</sup>. Среднегодовая относительная влажность — 70%.

Конструкция изготовлена из плотного бетона М200. Заполнитель — щебень. Расход цемента — 350 кг/м<sup>3</sup> или (0,35 г/см<sup>3</sup>). Толщина защитного слоя бетона ( $h$ ) = 2 см. Проектируемый срок службы цеха 50 лет. Требуется рассчитать время, в течение которого содержание хлоридов у поверхности арматуры достигает предельно допустимой величины.

Скорость поглощения газа  $V_4$  для тяжелого бетона при 80% относительной влажности атмосферы принимаем равной  $0,9 \cdot 10^{-2}$  см/с. Учитывая, что относительная влажность атмосферы в цехе составляет 70%, вводим поправочный коэффициент равный 0,9. Тогда

$$v_4 = 0,9 \cdot 0,9 \cdot 10^{-2} = 0,81 \cdot 10^{-2} \text{ см/с.}$$

Поток газа, поглощаемый бетоном, определяется в соответствии с выражением  $q_4 = V_4 \cdot C_{40}$ .

где  $C_{30}$  — концентрация агрессивного газа в атмосфере. Для нашего примера:  $q_4 = 0,81 \cdot 10^{-2} \cdot 5 \cdot 10^{-9} = 0,405 \cdot 10^{-10}$  г/см<sup>2</sup>с.

По табл. 4 принимаем для данного случая величину эффективного коэффициента диффузии  $D_3^* = 0,45 \cdot 10^{-7}$  см<sup>2</sup>/с.

Подставляя значения  $q_4$  и  $D_3^*$  в формулу (21) и учитывая, что по условию  $G_{ц} = 0,35$  г/см<sup>3</sup> и  $h = 2$  см, определяем, что время накопления хлоридов у поверхности стальной арматуры равно

$$t_k = \left( 0,011 \frac{0,35 \cdot \sqrt{0,45 \cdot 10^{-7}}}{0,45 \cdot 10^{-10}} + 0,635 \sqrt{\frac{2}{0,45 \cdot 10^{-7}}} \right)^2 = 6,76 \cdot 10^8 \text{ сек.}$$

или  $t_k = 21,5$  года.

Поскольку проектируемый срок службы цеха составляет 50 лет, то необходимость антикоррозионной защиты данной конструкции очевидна.

**Пример 5.** Определить безопасный срок службы конструкций по результатам натурных обследований и целесообразность антикоррозионной защиты плит покрытий. Безопасный срок эксплуатации конструкции рассчитывается по формуле

$$t_k = t_0 \left( \frac{C_{зк}}{C_{30}} + \frac{h}{\lambda_0} \right)^2,$$

где  $t_0$  — срок эксплуатации конструкции на момент обследования, год;

$C_{зк}$  — предельно допустимое содержание хлоридов на поверхности арматуры, %;

$C_{30}$  — содержание хлоридов на поверхности бетона в момент наблюдения, см;

$\lambda_0$  — глубина проникания хлоридов в бетон в момент обследования, см.

Данное выражение было использовано при обследовании железобетонных конструкций, на которые воздействовали агрессивные хлорсодержащие газы. На момент обследования цех эксплуатировался восемь лет.

Глубина заложения арматуры железобетонных балок, определенная с помощью прибора ИЗС-2, составила в среднем 2 см. Для оценки состояния плит покрытий были отобраны пробы бетона.

Послойный химический анализ показал, что содержание ионов хлора на поверхности бетона  $C_{30} = 6\%$  ( $Cl^-$  от массы цемента) и глубина их проникания в бетон 1,7 см. Вычисленное значение допустимого срока эксплуатации плит — 13 лет. Учитывая, что до обследования плиты эксплуатировались 8 лет, начало коррозии арматуры следует ожидать через 5 лет. Нормативный срок службы железобетонных плит покрытий равен 25 годам.

Антикоррозионная защита, рекомендуемая для данных условий, система лакокрасочного покрытия из одного слоя грунтовки лаком ХВ-784 и 8 покрывных слоев эмали ХВ-785. Срок службы покрытия 5 лет. Стоимость защиты (по ЕРЕР № 20-50 и № 20-78) составляет 122 руб. на 100 м<sup>2</sup> защищаемой поверхности. Стоимость капитального ремонта или замены плит покрытия в расчете на 100 м<sup>2</sup> поверхности составляет ~1200 руб.\*

Определим необходимость и экономическую эффективность антикоррозионной защиты, если общая площадь плит покрытия в цехе составляет 1500 м<sup>2</sup>.

Степень коррозионной стойкости незащищенных покрытий

$$S = \frac{t_d}{t_n} = \frac{13}{25} = 0,52.$$

Необходимость антикоррозионной защиты (22)

$$H = 1 - S = 0,48.$$

Коррозионная стойкость защитного покрытия

$$S_3 = \frac{t_3}{t_n} = \frac{5}{25} = 0,2.$$

Экономический эффект от применения антикоррозионной защиты (30) составляет

$$\mathcal{E} = \frac{H}{S} C_p - \frac{C_3}{S_3} = \frac{0,48}{0,52} \cdot 1200 - \frac{122}{0,2} = 500 \text{ руб.,}$$

а в целом по цеху —  $500 \cdot \frac{1500}{100} = 7500$  руб.

Таким образом, в данном случае применение антикоррозионной защиты экономически целесообразно.

\* В стоимость капитального ремонта входит оптовая цена железобетонных плит покрытий, транспортно-заготовительные расходы (прейскурант № 06-08) и затраты на демонтаж старых и укладку новых плит покрытий (ЕРЕР № 11-238).

## 2. СРЕДСТВА АНТИКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ

Строители располагают достаточно большим выбором кислотостойких материалов и композиций на их основе с целью применения в строительстве и антикоррозионной технике для экранирующей защиты. Широкое распространение получили неорганические материалы — изделия кислотоупорной керамики, кислотоупорных растворов и бетонов, используемых для устройства кислотостойких полов и футеровок.

Кислотостойкость неорганических материалов зависит от наличия в их составе нерастворимых и труднорастворимых в кислотах минералов и окислов ( $\text{SiO}_2$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). К кислотостойким материалам относятся кварц, андезит, диабаз, жидкое стекло, обычное стекло, у которых содержание нерастворимого в кислоте окисла кремнезема ( $\text{SiO}_2$ ) находится в пределах от 100% (кварц) до 65% (андезит).

Высокой кислотостойкостью отличаются бетоны на жидком стекле, огнеупорный и кислотостойкий кирпич, керамические и стеклянные облицовочные плитки, ситаллы, несколько меньшей кислотостойкостью — обычный глиняный кирпич и керамзит.

Большинство силикатных материалов отличается высокой стойкостью в неорганических и органических кислотах, характерных для химической и нефтехимической промышленности Башкирии. Силикатным материалам присуща стойкость в растворах солей и в окислителях.

О долговечности силикатных материалов судят по изменению прочности образцов, хранящихся в агрессивных средах. Силикатные материалы в антикоррозионной технике применяются главным образом в виде штучных изделий — плитки, кирпича для футеровок, кладки и облицовок.

С развитием производства и применения пластических масс ассортимент антикоррозионных, в частности кислотостойких, материалов существенно расширился. Наше применение изделия на основе отвержденных термореактивных смол: фенольных, фурановых, полиэфирных, эпоксидных.

Полимерные смолы применяются в качестве связующих при изготовлении кислотостойких лаков, красок, мастик, замазок, используемых для экранирования поверхностей и как связующее при креплении штучных силикатных

делий. Последнее особенно ценно, так как обычные, применяемые в строительстве неорганические вяжущие на основе порландцемента, извести, гипса, для этих целей неприемлемы как неацетостойкие. Органические вяжущие на основе битумов и каменноугольных дегтей — неацетостойкие.

С применением полимерных смол, как вяжущих для штучных силикатных материалов, появилась возможность создания практически кислотостойких полов и футеровок. В последнее время получают применение и термопластические полимеры, к которым относят полиэтилен, поливинилхлорид, полиизобутилен, фторопласт. Они применяются главным образом в качестве пленок и листовых материалов для экранирования поверхности конструкций и в качестве изоляционного слоя кислотостойких полов или футеровок.

В табл. 7 приведены данные о стойкости основных антикоррозионных полимерных материалов в кислотах. Наибольшей химической стойкостью во всех упомянутых кислотах, в том числе концентрированных, отличаются пленочные материалы из фторопласта.

Высокой кислотостойкостью обладают полиэтиленовые, поливинилхлоридные, полиизобутиленовые пленки и пластины, перхлорвиниловые лаки и краски, фурановые и эпоксидные смолы, замазка арзамит.

Однако эти материалы не стойки в концентрированных серной и азотной кислотах, а часть из них и в монохлоруксусной кислоте.

Химическая стойкость полимеров зависит в основном от их природы и строения. Наибольшей кислотостойкостью отличаются такие полимеры, цепочки которых состоят из атомов углерода (карбоцепные полимеры). Эти полимеры характеризуются пониженной реакционной способностью к кислотам. Повышенной кислотостойкостью обладают полимеры сетчатого строения, так как процессы диффузии агрессивных веществ в них происходят с замедленной скоростью.

К карбоцепным линейным полимерам относятся термопласты: полиэтилен, изобутилен, поливинилхлорид, фторопласт. К карбоцепным сетчатым полимерам — термореактивные смолы: фенолформальдегидные, фуриловые, фурановые. К гетероцепным полимерам, но с хорошо развитой сетчатой структурой, — полиэфирные и эпоксидные термореактивные смолы. На основе смол изготавливают

## Стойкость полимерных материалов в кислотах [6]

Материалы	Серная				Соляная		Азотная			Уксусная		Моно-хлор-уксусная	Фосфорная 10—90%
	до 5%	10—60%	70%	олеум	до 5%	10—35%	до 40%	40—70%	90%	до 80%	98—100%		
Пленочные, пластинчатые:													
Полиэтилен . . . . .	В	В	В	Н	В	В	О	Н	Н	В	Н	Н	В
Полиизобутилен . . . .	В	С	О	Н	В	В	С	Н	Н	В	С	В	В
46 Поливинилхлорид . . .	В	С	В	Н	В	В	В	Н	Н	В	В	В	О
Фторопласт-4 . . . . .	В	В	В	С	В	В	В	В	В	В	—	В	В
Пентапласт . . . . .	В	—	С	—	В	В	О	Н	Н	В	С	О	С
Фенопласты:													
Стеклопластики . . . . .	В	В	Н	Н	В	С	Н	Н	Н	С	С	С	В
Фаолит . . . . .	В	В	Н	Н	В	В	Н	Н	Н	В	О	—	В
Текстолит . . . . .	В	В	Н	Н	В	С	Н	Н	—	В	С	—	О
Лакокрасочные:													
Перхлорвиниловые . . .	В	В	Н	О	С	В	О	О	Н	В	Н	О	В
Битумные . . . . .	В	С	Н	Н	С	В	О	Н	Н	С	Н	Н	В
Фуриловый лак . . . . .	—	—	С	—	В	Н	—	—	Н	Н	—	—	В

Материалы	Серная				Соляная		Азотная			Уксусная		Моно-хлор-уксусная	Фосфорная 10—90%
	до 5%	10—60%	70%	олеум	до 5%	10—35%	до 40%	40—70%	90%	до 80%	98—100%		
Бакелитовый лак на основе . . . . .	—	В	—	—	В	В	—	Н	Н	В	Н	В	—
Хлорсульфид. поли-этилен . . . . .	—	В	В	—	В	В	В	О	Н	—	—	—	—
47 Замазки, мастики: . .													
Арзамит . . . . .	С	С	Н	С	С	В	О	Н	Н	В	В	В	О
Смолы фурановые . . . .	С	В	Н	Н	В	В	Н	Н	—	С	С	В	В
Смолы эпоксидные . . . .	В	В	О	Н	С	В	О	Н	Н	Н	Н	В	В

Примечание. В—вполне стойкие; С—стойкие; О—относительно стойкие; Н—нестойкие.



мастики, замазки, пластбетоны, стеклопластики. улучшения физико-механических свойств смолы совмещают друг с другом в различных соотношениях. Для снижения стоимости замазок в смесь вводят различные мелкодисперсные наполнители.

Широкое применение получили полимерные составы из термореактивных смол с тонкомолотыми кремнеземистыми кислотостойкими наполнителями, значительно удежающие композицию. В качестве последних применяют дезит, диабаз, кварцевый песок, асбест.

Применение термопластов в антикоррозионной технике в настоящее время ограничивается использованием их для изготовления готовых изделий: труб, втулок, вкладышей и др. Причиной ограниченного применения изделий и составов на основе пластических масс является их высокая стоимость. Наиболее дешевые фенольные и фурановые смолы в 15—20 раз, а эпоксидные в 200 раз превышают стоимость традиционных связующих — битума, жидкого стекла, серы. Стоимость полиэтиленовой пленки в 3 раза больше традиционного гидроизоляционного материала — бероида.

Тем не менее применение мастик, пластрасоворов, пластрасоворов и пленок на основе пластмасс, может оказаться рентабельным, если они заменяют дорогие и дефицитные материалы, например, цветные металлы, либо когда применение традиционных материалов в сильно агрессивных средах неоправдано, так как ведет к преждевременному разрушению конструкций и выходу их из строя. Эффективность применения пластмасс для антикоррозионной защиты строительных конструкций в каждом конкретном случае должна подтверждаться технико-экономическим анализом.

Рассмотрим новые материалы, применяемые для защиты строительных конструкций в кислотных производственных химических и нефтехимических предприятиях Башкирии.

**Дублированный полиэтилен.** В настоящее время широкое развитие получило производство одного из кислотостойких термопластов — полиэтилена. В массовом масштабе полиэтиленовые трубы, как более стойкие, заменяют стальные при транспортировании агрессивных жидкостей. Большой интерес представляет применение для защиты строительных конструкций полиэтиленовой пленки как экранирующего кислотостойкого покрытия. Одна-

препятствием к применению ее является плохая адгезия полиэтилена к поверхности конструкций.

Для обеспечения надежного сцепления полиэтиленовой пленки с поверхностью конструкции нами предложено дублировать пленку различными листовыми (рулонными) материалами методом горячего прессования. В качестве дублирующих материалов можно использовать: стеклоткань, крафтбумагу, асбестовую бумагу, картон. В результате образуется гибкий листовой пластик, получивший название дублированный полиэтилен (ДП).

Надежное сцепление слоев ДП между собой обеспечивается погружением поверхностных волокон дублирующего материала на некоторую глубину в размягченный при нагреве полиэтилен (рис. 6). Наличие поверхностных армирующих слоев изменяет физико-механические свойства полиэтиленовой пленки, увеличивает ее прочность на растяжение (табл. 8).

Материалы, используемые для дублирования, как правило, имеют хорошую адгезию к поверхности бетона на битуме и клее 88-Н. Сила сцепления, за которую принимается критическая нагрузка, в момент отрыва образца ДП-СПС от поверхности бетона, отнесенная к единице ширины образца, составляет на битуме — 0,8 кг/см, на клею 88-Н — 1,3 кг/см.

Химическая стойкость дублированного полиэтилена оценивалась по изменению водонепроницаемости, газонепроницаемости и прочности образцов дублированного полиэтилена после их выдержки в агрессивной среде. Испытания показали, что дублированный полиэтилен отличается высокой кислотостойкостью; после выдержки в течение 2—3 лет в концентрированных соляной, серной, монохлоруксусной кислотах образцы остаются газо- и водонепрони-



Рис. 6. Микрофотография дублированного полиэтилена. Разрез,  $\times 200$ .

## Физико-механические показатели дублированного полиэтилена

Вид дублированного полиэтилена	Предел прочности на растяжение МПа
ДП-СПС (стеклоткань — полиэтилен — стеклоткань) . . . . .	70—80
ДП-СПБ (стеклоткань—полиэтилен—бумага) . . . . .	50—60
ДП-БПБ (бумага—полиэтилен—бумага) . . . . .	25—30
Полиэтиленовая пленка ГОСТ 10354-73. . . . .	12—15

цаемыми. Прочность образцов снижается незначительно до 25%. Высокую изоляционную способность сохраняют образцы ДП и после многократного замораживания и оттаивания (225 циклов). Физико-механические свойства ДП химическая стойкость, высокая прочность, морозоустойчивость, надежное сцепление с поверхностью бетона на битуме и клеях позволяет рекомендовать дублированный полиэтилен как материал для изготовления коррозионно-стойкого изоляционного покрытия.

**Изготовление полотнищ дублированного полиэтилена (ДП).** Для изготовления полотнищ покрытия используется вулканизатор непрерывного действия, основной рабочей частью которого является металлический вращающийся барабан с прижимной прорезиненной лентой. Степень натяжения ленты регулируется давлением на барабан. Необходимая температура (120—130°C) обеспечивается за счет обогрева барабана паром. Процесс дублирования полиэтиленовой пленки ведут следующим образом: между двумя слоями стеклоткани или бумаги вводится полиэтиленовая пленка толщиной ~200 мкм, после чего все три полотнища подаются в зазор между обогреваемым вращающимся барабаном и прижимной лентой (рис. 7). Скорость движения ленты — 2 м/мин. Под влиянием повышенной температуры полиэтилен размягчается и под давлением в него впрессовываются волокна дублирующих материалов.

Возможно изготовление полотнищ дублированного полиэтилена так называемым «рулонным» способом, заключающимся в том, что полиэтиленовую пленку совместно с дублирующими материалами сматывают в рулон, который

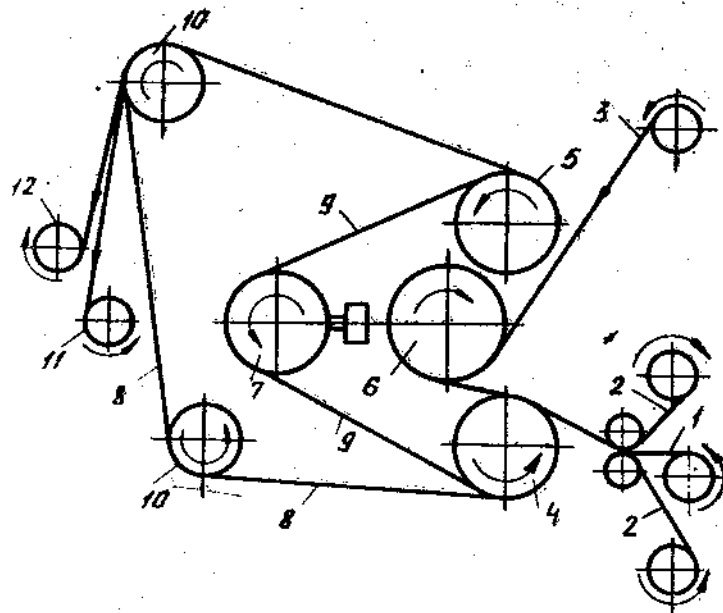


Рис. 7. Схема изготовления дублированного полиэтилена:

1 — подкатиленовая пленка; 2 — стеклоткань или бумага; 3 — подложка; 4 — нижний натяжной барабан; 5 — верхний натяжной барабан; 6 — вулканизационный барабан; 7 — натяжной барабан; 8 — предохранительная лента; 9 — прижимная лента; 10 — натяжные ролики; 11, 12 — ролики закаточного устройства.

подвергают термообработке при температуре 140—150°C. Способ высокопроизводителен и не требует применения сложного оборудования.

**Укладка полотнищ.** Укладка полотнищ на бетонную поверхность производится на битуме или клее 88-Н, при этом следует учитывать, что на поверхности, подлежащей защите, не допускаются трещины, раковины, отколы, обнажения арматуры. В случаях наличия неровностей последние должны быть выравнены цементно-песчаным раствором состава 1 : 3 с водоцементным отношением 0,5. Перед укладкой полотнищ поверхность конструкции должна быть очищена от грязи и обеспылена, а поверхность, подвергавшаяся действию кислот агрессивных сред, предварительно нейтрализована 10%-ным раствором аммиака, затем вновь полита водой и высушена. Клей 88-Н на подготовлен-

ную поверхность наносится путем распыления или кистью двумя тонкими равномерными слоями. После нанесения первого слоя дается выдержка 8—10 минут, после второго — 2—3 минуты. Затем производится приклейка. При укладке на битуме проводят двухразовую предварительную грунтовку поверхностей раствором битума в бензине следующего состава: битум — бензин (первый слой — 25 : 75, второй слой — 50 : 50). Для приклейки полотнищ применяют битум марок БН-IV и БН-V, толщина слоя которого не более 3 мм. Укладка полотнищ производится с перекрытием одного другим на 10—15 см.

Сращивание полотнищ покрытия производится на расплаве битума, клеях или методом сварки. Выбор метода связан со стойкостью шва в данной агрессивной среде, так как от этого зависит изоляционная способность покрытия. Для выбора наиболее эффективного метода сращивания нами изучались химическая стойкость сварного шва швов на клеях 88-Н, НКП-20 (на основе полиэтилена) в эпиксидном в концентрированных кислотах: соляной, серной, хлорсульфоновой, азотной, синтетических жирных кислотах и растворителях: бензине, толуоле, трихлорэтилене, бензоле, ксилоле. Испытания показали, что в условиях действия неокисляющих кислот ( $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) можно применять: клей 88-Н, НКП-20, эпиксидный. При действии окисляющих кислот ( $\text{HNO}_3$ ) — клей 88-Н, НКП-20. В слабых органических растворителях (бензине, толуоле, трихлорэтилене) — эпиксидный клей.

Во всех перечисленных средах наиболее стойким оказался сварной шов. При сращивании полотнищ методом сварки их укладывают внахлест с прокладкой полиэтиленовой ленты шириной 8—12 см. Сварка осуществляется при прикатке сверху горячим катком. Целесообразно применение утожков, имеющих на поверхности прорезь, куда пропускается полиэтиленовый шнур.

Для обеспечения надежной сварки полотнищ, последние могут быть изготовлены с кромками из односторонне дублированного полиэтилена, то есть каждое полотнище имеет кромки с открытой поверхностью полиэтилена. В этом случае полотнища укладывают так, чтобы кромки полотнищ находились в положении «полиэтилен к полиэтилену». Прокладки полиэтиленовой ленты или шнура в этом случае не требуется.

Покртия из дублированного полиэтилена успешно применяются в качестве изоляционного слоя в химически стойких полах на площади 35 тыс. м<sup>2</sup> на различных предприятиях химической промышленности.

Так, на одном из нефтехимических предприятий через 5 лет после укладки дублированного полиэтилена произвели вскрытие пола. Осмотр показал, что покрытие не утратило изоляционных свойств. Экономический эффект от применения дублированного полиэтилена в химически стойких полах составляет 6,5—7,5 руб. на 1 м<sup>2</sup> (в зависимости от вида ДП).

Наши исследования показали более широкую возможность использования дублированного полиэтилена. Покрытия из этого материала могут быть применены при защите поверхности конструкций (несложной конфигурации), для изоляции резервуаров, трубопроводов, устройств в кровле.

### 3. ЗАЩИТА ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ ОТ КОРРОЗИИ

Выполнение антикоррозионных мероприятий по защите строительных конструкций нулевого цикла — значительная и ответственная часть комплекса работ по обеспечению необходимой долговечности зданий и сооружений с агрессивными средами. Устройство антикоррозионной защиты подземных сооружений требует особой тщательности как на стадии ее выбора, так и при ее выполнении. Это основано на том, что возобновление защиты почти всех подземных сооружений практически невозможно. Исключения представляют лишь части сооружений, например, для транспортных коммуникаций неглубокого заложения (трубопроводов, канализационных сооружений). Однако и в этом случае антикоррозионную защиту желательно проводить сразу во время строительства на весь срок эксплуатации, ибо ее возобновление связано с большими дополнительными материальными затратами.

При выборе способа антикоррозионной защиты следует учитывать, что агрессивность грунтовых вод площадок промышленных предприятий, как отмечалось ранее, возникает часто вследствие попадания в грунт агрессивных компонентов данного производства. Это может случиться по двум основным причинам: непосредственными проливами агрессивных растворов с последующей фильтрацией

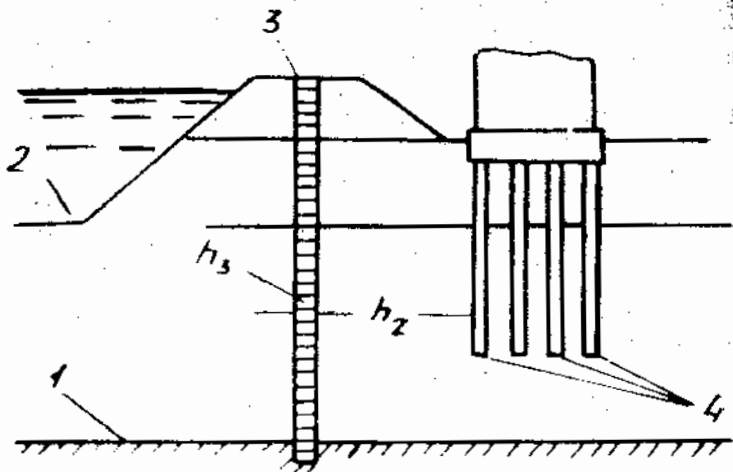


Рис. 8. Глиняная завеса, возведенная методом «стена в грунте»:  
1— водоупорный пласт естественного залегания; 2— пруд-отстойник; 3— глиняная завеса; 4— защищаемый объект.

их в грунт и загрязнение грунтов промышленными стоками вследствие неисправностей канализационной системы. Устранение этих причин обязательно и является наиболее действенным способом защиты подземных конструкций. Основной и практически единственный способ предотвращения фильтрации агрессивных растворов в грунт представляет собой устройство надежной гидроизоляции химически стойких полов и лотков для промышленных стоков.

Кроме основных причин, вызывающих повышение агрессивности грунтовых вод, могут быть и другие, например, фильтрация агрессивных веществ из отстойников, течей технологических трубопроводах, выпадение метеорологических осадков при загрязненной атмосфере и т. п. Не следует забывать также о возможной естественной агрессивности грунтов, образующейся, например, при наличии в грунтах соединений сульфатов. В этих случаях наряду с устройством надежной гидроизоляции полов и лотков применяются и другие методы защиты подземных конструкций от коррозии, которые рассматриваются ниже.

### Защита конструкций глинистыми преградами\*

Одним из наиболее распространенных способов защиты подземных сооружений от агрессивных грунтовых вод является устройство преград на пути проникновения жидкости к сооружению. С этой целью издавна практиковали устройство вокруг подземных конструкций специальных траншей, которые набивали глиной. В практике строительства такие глинистые «замки» используются и в настоящее время.

С середины 50-х и начала 60-х годов за рубежом и у нас начали сооружаться глинистые завесы, возводимые методом «стена в грунте». Такими завесами можно защищать целые комплексы подземных бетонных и железобетонных сооружений от проникновения агрессивных грунтовых вод (рис. 8).

При сооружении завес разработка грунта ведется буровыми или скребковыми механизмами под защитой глинистого раствора, при этом глинистые частицы проникают в поры грунта, образуя глинистую корку, которая, в свою очередь, может явиться преградой на пути проникновения агрессивных жидкостей. Толщина и плотность корки зависит от свойств глинистого раствора, пористости грунта и, по опытным данным, достигает в супесях 2—3 см, песках до 8 см, галечнике до 1,5 м. Конструкции завес могут выполняться и из грунтобетона на цементном вяжущем, бетона и железобетона. Обычно завесы имеют глубину заложения 20—30 м, ширину 0,4—0,75 м.

В рассматриваемых нами конструкциях завес применяются глинистые грунты нарушенной структуры, имеющие повышенную пористость и водопроницаемость, большую способность к усадке и набуханию.

Установлено, что в глинистых завесах следует применять глины с содержанием частиц размером менее 1 мкм в пределах 16—20% от общей массы глины, так как такие пасты обладают лучшими защитными свойствами.

При устройстве глинистого замка или завесы прежде всего необходимо знать основной параметр — толщину преграды, которая была бы достаточной для предотвращения фильтрации агрессивных вод и обеспечила бы таким образом защиту подземных сооружений. Если бетонное

\* Данный параграф написан В. Д. Кандиным.

сооружение защищено от воздействия агрессивных кислотных грунтовых вод глинистым замком и фильтрации воды через замок нет, то его толщина определяется по формуле

$$h = f \frac{K_a \cdot t_n}{L_{\text{доп}}}$$

где  $h$  — толщина глинистого замка в см;

$f$  — коэффициент надежности, учитывающий неопределенность концентрации среды, неоднородность структуры бетона и глинистого замка, разброс экспериментальных данных. Опытным путем установлено, что коэффициент надежности следует принимать равным 1,3;

$t_n$  — нормативный срок службы конструкции в годах, устанавливается согласно СНиП для каждого класса зданий и сооружений;

$L_{\text{доп}}$  — допускаемая глубина коррозионного поражения бетона.

Константа скорости коррозии бетона при наличии глинистого замка определяется из равенства

$$K_a = \frac{P_{c.з}}{2P_{c.б}} \cdot K,$$

где  $P_{c.з}$  и  $P_{c.б}$  — сквозная пористость глинистого замка и бетона, %;

$K$  — константа скорости коррозионного процесса в данной агрессивной среде, см<sup>2</sup>/год.

**Пример расчета.** Требуется рассчитать толщину глинистого замка в неподвижной агрессивной среде кислой среде, если коэффициент агрессивности среды к бетону в условиях эксплуатации равен 4,44 см<sup>2</sup>/год, проектируемый срок службы сооружения принят равен 50 лет, допускаемая глубина коррозионного поражения бетона  $L_{\text{доп}} = 0,5$  см.

**Решение.** Пористость глинистого замка и бетона равны  $P_{c.з} = 3,3\%$ ;  $P_{c.б} = 27\%$ .

Вычисляем константу скорости коррозии бетона при наличии глинистого замка и пораженного участка бетона

$$K_a = \frac{3,3}{2 \cdot 27} \cdot 4,44 = 0,27 \text{ см}^2/\text{год}$$

Толщина глинистого замка рассчитывается по формуле (31)

$$h = 1,3 \frac{0,27 \cdot 50}{0,5} \approx 35 \text{ см}$$

Следует отметить, что в практике строительства достаточно часто встречаются инженерные решения, в которых глинистые замки являются единственным возможным видом антикоррозионной защиты. Так, глинистые «рубашки» опускных колодцев, предназначенные для сокращения бокового трения при их погружении, могут одновременно выполнять роль антикоррозионных замков.

Стены тоннелей мелкого заложения, например, подземных галерей, линейные подпорные конструкции в ряде случаев экономичнее возводить методом «стена в грунте» и, если среда агрессивна к бетону, то глинистые корки, образующиеся при заложении стен, также будут выполнять роль антикоррозионных замков.

### Антикоррозионная защита фундаментов

Антикоррозионная защита фундаментов проектируется на основании установления агрессивности грунтовых вод по результатам предварительных геологических изысканий, проведенных на строительной площадке и агрессивности производственных стоков.

Данные обследования дают основания утверждать, что при проектировании зданий и сооружений кислотных производств следует предусматривать усиленную антикоррозионную защиту фундаментов. В первую очередь необходимо обеспечить надежную антикоррозионную защиту верхней поверхности фундаментов, которая должна предотвратить его преждевременное разрушение от воздействия технологических проливов.

В настоящее время, как правило, на поверхность бетона фундаментов наносятся битумные замазки либо ведется оклейка гидроизоляционными листовыми битумными материалами. Однако эти материалы недостаточно стойки в кислых средах. Целесообразно использовать для оклейки верхней, а в ряде случаев боковой поверхности фундаментов, более стойкое покрытие на основе дублированного полиэтилена марки БПБ (бумага — полиэтилен — бумага) с укладкой его на битумной мастике по битумно-бензиновой грунтовке (праймеру).

Состав грунтовки (по массе):

первый слой — 25% битума, 75% бензина,  
второй слой — 50% битума, 50% бензина.

Примерный состав битумных мастик

Холодная	Горячая
битум (БН-V) — 50%; зеленое масло (продукт нефтепереработки) — 25% асбест — 25%.	битум (БН-III-IV) — 40% наполнитель (каменная ма- ка) — 45% асбест — 15%.

Для сохранности рулонной изоляции, например, нарушений при осадке зданий, а также с целью усиления антикоррозионной защиты фундамента укладывается прижимная стенка в 1/2 кирпича из клинкерного дорожного или красного кирпича, пропитанного битумом. Кладку ведут на горячем битумном растворе — смеси битума и мелкого песка (1 : 3). Защита ленточного фундамента снизу производится, как правило, укладкой слоя щебня толщиной 10—15 см с проливкой расплавом битума.

### Защита железобетонных свай

Защита железобетонных свай в условиях агрессивных жидких сред возможна двумя путями:

нанесением на поверхность конструкции кислотостойких полимерных покрытий (обмазка конструкций);

заполнением порового пространства бетона полностью или частично кислотостойкими материалами (пропитка бетона).

Первый метод основан на создании на поверхности бетона химически стойкой преграды, не изменяющей свойств бетона. Долговечность свай в таком случае зависит от долговечности органических лакокрасочных покрытий, которая, как известно, ограничена 3—6 годами (в зависимости от условий эксплуатации).

К недостаткам метода обмазки следует отнести возможность нарушения поверхности покрытия абразивными включениями грунта в процессе забивки свай. Кроме того процесс обмазки свай крайне трудоемок, так как предусматривает многократную обработку поверхностей с выдержкой для отверждения каждого слоя. Для защиты свай от силно агрессивных вод методом обмазки поверхности испол-

зуются покрытия на основе полимерных смол. Однако высокая стоимость и дефицитность полимерных составов в настоящее время резко ограничивает их применение.

Значительный интерес представляет частичная пропитка, при которой пропиточный материал, проникая на некоторую глубину в толщу бетона, уменьшает проницаемость поверхностного слоя. При этом исключается возможность нарушения изоляционного слоя при забивке свай в абразивный грунт.

В качестве пропиточных материалов нами опробован битум, петролатум, смесь битума с петролатумом. Однако использование этих материалов для пропитки вызывает существенные затруднения. Так, для проникновения битума в бетон необходимы дополнительные специальные способы, которые удорожают процесс пропитки и делают его экономически нецелесообразным. К таким следует отнести методы предварительного вакуумирования бетона, принудительной пропитки изделий под высоким давлением в специальных автоклавах.

Представляет интерес пропитка бетона битумом с предварительной обработкой изделий поверхностно активными веществами. В настоящее время пользуются методом конденсационного вакуума или «самовакуума», связанного с нагреванием бетона в ванне с пропиточным материалом, испарением воды из пор и капилляров, расширением в них газовой фазы и последующим снижением температуры (без извлечения изделий). При этом в порах и капиллярах возникает разрежение, в результате чего происходит заполнение их пропиточными материалами.

Нами для пропитки бетона предложено применять асфальто-смолистые вещества, являющиеся промежуточными продуктами процесса нефтепереработки: крекинг-остатки, асфальт деасфальтизации, гудрон.

Глубина проникновения пропиточных материалов в бетон зависит от вида материала, вязкости, продолжительности пропитки, плотности бетона и др. Не останавливаясь детально на влиянии каждого из этих факторов, приводим параметры оптимального режима пропитки бетонов в крекинг-остатках (табл. 9).

Исследования показали, что в растворах 2,5% соляной кислоты скорость коррозионного поражения бетона, пропитанного гудроном, крекинг-остатком и асфальтом деасфальтизации в 6—7 раз ниже, чем для непропитан-

Т а б л и ц а 9

Параметры оптимального режима пропитки бетона в крекинг-остатках

Плотность бетона по СНиП-П-28-73	Марка бетона по водопо- вод.	Максимальная температура про- питки, °С	Режим пропитки, час		
			подъем тем- пературы	выдержка при максимальной температуре	снижение тем- пературы до 80—90 °С
Нормальная . . . . .	В-2	110—120	5	7	4—5
Повышенная . . . . .	В-4	120—130	5	6	5—6
Особо . . . . .	В-8	140—160	5	5	6—7
плотный . . . . .					

ного бетона. Сравнительно высокая стойкость нефтепродуктов в кислотах объясняется наличием в их составе большого количества нейтральных нефтяных смол (68—70%). Глубина проникновения крекинг-остатков в бетон при всех прочих равных условиях колеблется в пределах 5—20 мм, что, по-видимому, следует объяснять неоднородностью структуры бетона.

В производственных условиях железобетонные сваи рекомендуются пропитывать на установках, смонтированных на заводах железобетонных изделий и являющихся продолжением цеха формовки и пропарки этих изделий. Это позволит совместить пропарку и пропитку железобетонных свай, в результате чего сократится цикл тепло-влажностной обработки изделий.

Пропиточная установка представляет собой ванны (металлические или железобетонные), соединенные с резервуаром для пропиточного материала. Из резервуара материал подается в ванну насосом. Ванны и резервуары оснащаются паровыми регистрами для подогрева материала.

Пропитка крекинг-остатками в промышленных масштабах осуществлена на пропиточных установках треста «Востоктяжстрой» (г. Усолье-Сибирское).

#### 4. УСТРОЙСТВО ХИМИЧЕСКИ СТОЙКИХ ПОЛОВ

Химически стойкий пол, эксплуатирующийся в агрессивных кислых средах — это ограждающая строительная

конструкция, работающая в чрезвычайно сложных условиях одновременного разрушающего действия агрессивных жидкостей, в особенности кислот и механических нагрузок — ударных и истирающих. Растворы кислот, вызывая коррозию материалов покрытия пола, могут понизить прочность сцепления между слоями, а значит, существенно ослабить удароустойчивость пола, что вызывает его преждевременное разрушение. В случае механического нарушения гидроизоляционного слоя кислота может проникнуть к нижележащим элементам конструкции пола, то есть к стяжке, поверхности железобетонного перекрытия или бетонного основания и вызвать их ускоренное коррозионное поражение. Проникая в грунт, кислоты вызывают коррозию бетона фундаментов здания.

Долговечность химически стойких полов в зданиях кислотных производств обеспечивается применением кислотоустойчивых материалов с сохранением их высокой адгезионной прочности.

Покрытия кислотостойких штучных полов выполняются главным образом из кислотоупорных керамических изделий — кислотоупорного кирпича или плитки. В ряде случаев используются плиты из шлакоситалла, формируемые из расплава гранулированного доменного шлака, или плиты из каменного литья, изготавливаемые из расплавов диабазов, базальтов и доломитов.

Перечисленные штучные изделия отличаются достаточной стойкостью по отношению к кислотам; возможность фильтрации кислот через штучные материалы практически исключается. Пути проникновения агрессивных кислот жидкостей через покрытия проходят через швы между штучными материалами и далее через прослойку.

Как показали обследования, в целом ряде цехов по производству кислот верхние покрытия штучных полов ремонтируются ежегодно. Быстрое разрушение верхнего покрытия полов объясняется недостаточной стойкостью материалов для расшивки швов и прослойки; портландцементных растворов, битумных вяжущих, кислотостойкого раствора. Вяжущие на основе портландцемента неустойчивы в растворах кислот, а следовательно, вообще непригодны для использования в химически стойких полах. Вяжущие на основе битума неустойчивы к воздействию концентрированных кислот. Кислотоупорный раствор

на основе жидкого стекла ограниченно устойчив к действию слабых растворов кислот и неустойчив к действию воды.

Для расшивки швов и укладки штучных кислотоупорных изделий верхнего покрытия пола наиболее целесообразно применять растворы на основе полимеров.

Для приготовления пласторастворов используют композиции из терморезактивных смол (эпоксидных, полиэфирных фурановых, фенольных, карбамидных и др.) и минерального наполнителя. В качестве наполнителя применяют уголь, графит, кварц, гипс, цемент. Широкое распространение при устройстве химически стойких полов получили пласторастворы на основе фенольных и фурановых смол, как кислотостойких, сравнительно недорогих и не дефицитных. Быстрое отверждение терморезактивных фенольных и фурановых смол легко достигается при добавлении растворов кислот в качестве отвердителей.

Из пласторастворов на основе фенольных смол чаще всего применяется замазка арзамит. Примерный состав замазки (в весовых частях):

феноло-формальдегидная смола	— 70
бензиловый спирт	— 7
кварцевая мука	— 100
паратолуолсульфохлорид	— 10.

Замазка готовится непосредственно перед применением и сводится к перемешиванию компонентов до однородной массы. При нормальной температуре замазка схватывается в течение 6 часов и затвердевает в течение 1 суток. При повышенной температуре (70°C) почти полное отверждение происходит за несколько часов.

В настоящее время для расшивки швов получали применение замазки на основе фурановых смол «фаизол» и «ферганит», представляющих собой композиции фуранола — ацетонового мономера, кислого отвердителя — бозолсульфо кислоты БСК и химически стойких минеральных наполнителей. Примерные составы фаизола и фергамита приводятся в табл. 10.

В таблице приведены ориентировочные составы, которые должны уточняться перед проведением работ. Готовят

Таблица 10

Составы замазок фаизол и ферганит (в вес. частях)

Компоненты	Фаизол	Ферганит
Мономер ФА . . . . .	25	25
Андезитовая мука . . . . .	—	100
Углеродистый порошок . . . . .	100	5
Контакт Петрова . . . . .	22	—
Отвердитель БСК . . . . .	5	5

они путем перемешивания мономера ФА с минеральным наполнителем и последующим введением отвердителя. Замазки готовят небольшими порциями достаточными для работы в течение 15—20 минут. Более продолжительное хранение готовых смесей приводит к потере их удобоукладываемости. К недостаткам пласторастворов на фурановых и фурановых смолах относятся малая эластичность и низкая адгезия к поверхности изделий из шлакоситаллов и каменного литья.

Для устройства прослойки и стяжки химически стойких полов широко используются замазки, растворы и бетоны на жидком стекле (табл. 11).

На основании результатов экспериментальных и опытно-промышленных работ нами рекомендуется следующая конструкция штучного кислотостойкого пола:

- верхнее покрытие — кислотостойкий кирпич, установленный ребром в один слой высотой 12 см на замазке арзамит или фаизол (ферганит);
- прослойка — полимерраствор на мономере ФА (фаизол) или силикатная замазка на жидком стекле;
- стяжка — кислотоупорный раствор или бетон;
- изоляционный слой — дублированный полиэтилен, приклеенный на растворе битума или клею 88-Н;
- бетонное основание.

Представляют интерес полы, в которых верхнее покрытие выполнено из полимерных смол, обеспечивающих их кислотостойкость и непроницаемость. Конструктивно такие кислотостойкие наливные полы предусматривают:



Т а б л и ц а 11

Составы кислотостойких замазок, растворов и бетонов на основе жидкого стекла

Составляющие	Расход материалов, кг/м <sup>2</sup>		
	замазки	раствор	бетон
Жидкое стекло . . . . .	600	400	300
Кремнефтористый натрий .	100	60	50
Пылевидный наполнитель .	1300	440	400
Песок средней крупности .	—	1300	550
Щебень . . . . .	—	—	1100

- а) отделочный слой — из окрашенного полимерраствора на том же связующем, что и основной слой;
- б) основной слой — мастика, растворы или бетоны на основе полиэфирных, эпоксидных или полиуретановых смол. В качестве наполнителей для мастики и растворов применяют песок, маршалит, молотые андезит или диабаз, в качестве отвердителей — органические вещества — полиэтиленполиамин, метилэтилкетон, гипериз, диметилбензиламин, этилсиликат;
- в) прослойка — грунтовочный слой из лака на связующем, которое берется для основного слоя (без наполнителей);
- г) стяжка — из бетона на жидком стекле с добавкой каучукового латекса марки СКС-ГПБ;
- д) изоляционный слой — рубероид;
- е) бетонное основание.

При необходимости устройства полов высокой удароустойчивости основной слой выполняется из волокнистого пластика, например, на основе эпоксидной или полиэфирной смолы и армирующих наполнителей — асбестовых, стеклянных или полимерных волокон.

Наиболее распространенным способом устройства монолитных покрытий является налив полимерной мастики по подготовленному основанию или стяжке, поверхности которых предварительно очищают и отгрунтовывают.

Устройство монолитных полов требует меньших трудозатрат сравнительно с обычными штучными полами, однако высокая стоимость и дефицитность термореактивных смол пока ограничивают их применения.

## 5. АНТИКОРРОЗИОННАЯ ЗАЩИТА НАДЗЕМНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В отличие от подземных надземные конструкции в основном подвергаются воздействию агрессивных газовых сред и аэрозолей. Кроме того, конструкции, эксплуатирующиеся на открытом воздухе, подвержены еще и действию атмосферных осадков и мороза.

Воздушная среда внутри производственных помещений часто содержит вредные примеси в количествах, превышающих допустимые нормы. На химических предприятиях Башкирии наиболее агрессивными по отношению к железобетону и наиболее часто встречающимися в атмосфере являются хлористые газы.

Основной причиной разрушения надземных конструкций является коррозия арматуры. Арматуру в железобетоне можно защитить от воздействия хлористых сред двумя принципиально различными методами:

устройством экранирующей защиты путем окраски поверхности конструкций; введением в бетонную смесь при изготовлении конструкции специальных добавок — ингибиторов, подавляющих или резко замедляющих коррозионный процесс стальной арматуры.

При защите поверхности несущих конструкций лаками и красками следует учитывать одну особенность. В процессе эксплуатации в растянутых зонах бетона могут появляться трещины, ширина которых по нормативным документам допускается до 0,3 мм. Таким образом, лакокрасочные покрытия должны быть эластичными и сохранять свои защитные функции при появлении в конструкциях трещин таких размеров.

К покрытиям наружных конструкций предъявляются повышенные требования по водо- и морозостойкости, по совместимости компонентов покрытий с щелочной средой бетона, сохранению цветовой гаммы в процессе эксплуатации.

## Антикоррозионная защита конструкций лакокрасочными покрытиями

Применение лакокрасочных покрытий — основной метод защиты от коррозии. Более 80% поверхностей металлических и железобетонных строительных конструкций химических и нефтехимических предприятий защищены лакокрасочными покрытиями.

Основными компонентами антикоррозионных покрытий являются растворы полимерных смол. Наибольшее распространение получили лаки и эмали на основе перхлорвиниловой смолы. В качестве растворителей применяют толуол, ксилол, бутилацетат, уайт-спирит.

В зависимости от назначения различают несколько слоев лакокрасочных покрытий:

1. Грунтовочный слой. Наносится для смачивания поверхности основания с тем, чтобы последующие слои покрытия лучше сцеплялись с основанием. Грунты состоят из дисперсии минеральных пигментов в растворе полимера. Они должны обладать сравнительно малой вязкостью и легко проникать в поры и капилляры бетона.

2. Шпатлевочный слой. Наносится при необходимости выравнивания поверхности. Для шпатлевок применяются дисперсии пигментов и минеральных наполнителей в растворе полимера. В смесь могут входить добавки пластификаторов, ускорителей высыхания, отвердители. Консистенция — густая, пастообразная.

3. Окрасочные слои. Для окрасочных слоев используются эмали — дисперсии пигментов и наполнителей в растворе полимера. Эмали должны иметь рабочую вязкость, позволяющую наносить их тонкими слоями с помощью распыляющих устройств. Кроме того, они должны обладать достаточной структурной вязкостью, препятствующей стеканию состава с вертикальных поверхностей.

4. Покрывной слой. Для нанесения покрывного слоя применяются лаки — растворы полимерных смол в органических растворителях. Лаки могут содержать пластификаторы, ускорители отверждения, органические красители. Покрывной слой наносится поверх слоев эмали. Лаки создают прочную, эластичную пленку и придают покрытию блеск.

Для обеспечения специальных свойств покрытия применяют:

пигменты — минеральные вещества (окислы металлов), основное назначение которых придавать покрытию цвет. Кроме того, введение пигментов повышает твердость покрытия;

наполнители — порошкообразные вещества (гипс, цемент, тальк и др.). Они способствуют улучшению адгезии, замедлению осаждения пигмента, удешевлению покрытия; специальные добавки, регулирующие свойства покрытия (эфирные, мыла и др.), которые способствуют пластификации и стабилизации дисперсии, ускоренному отверждению пленки.

Стойкость лакокрасочного покрытия в агрессивных средах зависит главным образом от структуры полимера — наличия в его составе различных реакционноспособных гидроксильных, карбоксильных, аминных, эфирных групп, атомов хлора и серы. Наибольшей устойчивостью отличаются покрытия из полимеров трехмерной структуры с плотной упаковкой макромолекул. Защитные свойства покрытия возрастают с увеличением его толщины (количества слоев в покрытии) и снижаются с увеличением концентрации агрессивных веществ и с повышением температуры окружающей среды. Недостатком лакокрасочных покрытий, в том числе перхлорвиниловых, является их низкая плотность, вследствие содержания большого количества растворителей — до 90%. Последний улетучивается после нанесения составов, что приводит к созданию пористых пленок. Поэтому на практике приходится наносить многослойные покрытия, что связано с резким ростом их стоимости, высокой трудоемкостью и длительностью нанесения. В зависимости от агрессивности среды применяют различные варианты покрытий. Для сильноагрессивной газовой среды (при содержании хлористого водорода более  $10 \text{ мг/м}^3$ ) рекомендуется 1—2 слоя грунтовки — химически стойкий грунт (ХСГ) с наполнителем, 4—5 слоев покрывных эмалей (ХСЭ) и слой лака (ХСЛ). При этом для получения относительно непроницаемых пленок приходится наносить от 6 до 10 слоев.

Химическая стойкость перхлорвиниловых покрытий была проверена нами после четырехлетней их выдержки в газовой камере (концентрация хлористого водорода  $20 \text{ мг/м}^3$ , относительная влажность — 80%). Испытывались образцы бетона, поверхность которых изолировалась 7 слоями перхлорвинилового покрытия.

В результате установлено, что многослойное перхлорвиниловое покрытие является химически стойким и может быть надежной защитой бетона в среде хлористого водорода.

Недостатком перхлорвиниловых покрытий является их низкая трещиностойкость. В то время как СНиПом допускается раскрытие трещин в бетоне железобетонных конструкций шириной 0,2—0,3 мм, перхлорвиниловое лакокрасочное покрытие разрывается при возникновении в бетоне трещин шириной раскрытия всего 0,01—0,05 мм. Через образующиеся дефектные места в покрытии может происходить диффузионное проникновение агрессивных газов через бетон к поверхности арматуры. Для обеспечения надежной защиты конструкций необходимы не только химически стойкие покрытия, но и покрытия, обладающие такой эластичностью, которая обеспечивала бы ее сплошность при образовании в бетоне трещин шириной раскрытия не менее 0,3 мм. В центральном научно-исследовательском институте бетона и железобетона (НИИЖБ) и Ереванском политехническом институте созданы трещиностойкие покрытия на основе хлорсульфированного полиэтилена и наирита, которые образуют стойкие деформированные пленки. Однако материалы для таких покрытий являются дефицитными, массовый выпуск их крайне не достаточен. В НИИпромстрое исследованы комбинированные трещиностойкие лакокрасочные покрытия, состоящие из эластичной подложки — эмульсии латекса и покрывных слоев — перхлорвиниловых эмалей. Эластичная подложка обеспечивает высокую трещиностойкость, а покрывные слои достаточную химическую стойкость покрытия.

Результаты физико-механических испытаний покрытий показали, что ширина раскрытия трещины в бетоне, при которой зафиксирован разрыв покрытия, равна 0,7 мм. Таким образом, латексовиниловые покрытия характеризуются высокой трещиностойкостью, в 10—14 раз превышающей трещиностойкость обычных перхлорвиниловых покрытий, не уступая последним в химической стойкости, адгезионной прочности и прочности на удар (табл. 12).

Повышенная трещиностойкость комбинированных покрытий объясняется тем, что каучукообразная эмульсия латекса, заполняя микронеровности на поверхности бетона, служит компенсирующей буферной прослойкой при образовании трещин в бетоне.

Т а б л и ц а 12

Физико-механические свойства трещиностойких лакокрасочных покрытий

Грунт	Система покрытия		Ширина раскрытия трещин в бетоне, при котором происходит разрыв покрытия, мм	Адгезионная прочность, атм	Прочность при ударе, МПа
	Грунт	Покрывные слои			
Перхлорвиниловый лак ХСЛ 1 слой	Перхлорвиниловая эмаль ХСЭ-23 6 слоев	0,05	9—10	5,0	5,0
Водная дисперсия тиксола Т-50 1 слой	Перхлорвиниловая эмаль ХСЭ-23 4 слоя				
Эмульсия латекса СКС-65ГПБ 2 слоя	Перхлорвиниловая эмаль ХВ-785 4 слоя	0,72—1,2	9—10	5,0	5,0
		0,7—1,3	12,0—13,1	5,0	5,0

Опытно-промышленное внедрение трещиностойких и лакокрасочных покрытий проведено при защите строительных конструкций в цехах хлорного комплекса Стерлитамакского химического завода.

Обследования окрашенных строительных конструкций, эксплуатирующихся в течение четырех лет в атмосфере, загрязненной хлористым водородом, показали, что комбинированное трещиностойкое покрытие находится в удовлетворительном состоянии и не потеряло своих защитных свойств.

### Защита арматуры в бетоне введением добавок — ингибиторов коррозии

Одним из наиболее технологичных методов защиты стальной арматуры в бетоне является введение в бетонную смесь специальных добавок — ингибиторов коррозии.

Обычно ингибиторы, адсорбируясь на поверхности металла, образуют или способствуют образованию пассивирующей пленки. Если осаждаясь на поверхности металла ингибиторы не вступают в химическое взаимодействие с атомами металла, то имеет место так называемая «физическая адсорбция». Некоторые ингибиторы образуют на поверхности металла новые химические соединения, то есть протекает химическая адсорбция. Часто в качестве ингибиторов применяются комплексные композиции, причем их компоненты, действуя по разным механизмам, взаимно влияют друг на друга, значительно повышая эффект замедления процесса коррозии металла.

Так как в бетоне поровая влага, с которой контактирует стальная арматура, имеет щелочную реакцию, то в этом случае обычно используют ингибиторы, применяющиеся для нейтральных и щелочных сред. К таким ингибиторам относятся растворимые неорганические вещества: хроматы, нитриты, фосфаты калия и натрия. Большой эффективностью обладают сочетания этих веществ с поверхностно активными веществами.

Из существующих ингибиторов коррозии арматуры в бетоне наиболее известны соединения окислительного типа на основе нитритов. Этот ингибитор, химически адсорбируясь на поверхности металла, сильно сдвигает его потенциал в положительную сторону, переводя сталь в пассивное состояние. Для усиления ингибирующего действия нитрит натрия рекомендуется вводить совмест-

но с бензоатами аммония и натрия, поверхностно активными веществами. Иногда применяется и сочетание нитрита натрия с хроматами [2].

Особый класс составляют ингибиторы, образующие с металлом труднорастворимые соединения. Нами предложено для защиты арматуры от коррозии вводить в бетон добавки — ингибиторы на основе фосфатов натрия. При введении фосфатов в бетон могут наблюдаться два различных типа пассивации. Пассивация первого типа может наступать за счет повышения щелочности среды при гидролизе тринатрийфосфата, а пассивация второго типа обусловливается непосредственным участием анионов в процессе формирования пассивирующего слоя на поверхности металла.

Наши исследования по механизму ингибирования коррозионного процесса стали в бетоне подтверждают, что ингибирующий эффект в основном проявляется за счет хемосорбции фосфат-ионов на поверхности арматуры. Для этих экспериментов использовалась методика снятия хроноамперометрических кривых, разработанная в Центральной лаборатории коррозии бетона и железобетона.

Эта методика снижает трудоемкость и ускоряет электрохимические испытания, позволяя в одном опыте ориентировочно установить критическую концентрацию агрессивного агента ( $\text{CaCl}_2$ ) при заданной концентрации ингибитора. Стальной электрод погружают в модельную поровую жидкость, содержащую определенное количество ингибитора. С помощью потенциостата накладывают потенциал (обычно + 300 мВ по хлорсеребряному электроду) и измеряют плотность тока, протекающего через поверхность электрода. Последовательно добавляя в раствор хлористый кальций определяем концентрацию агрессивного вещества, при которой плотность тока резко увеличивается, что свидетельствует о развитии коррозионного процесса.

График плотности тока в зависимости от концентрации хлористой соли представляет собой ломаную линию, по длине горизонтального участка которой можно судить о пассивирующих свойствах данного ингибитора.

Нами предложена ингибирующая композиция, состоящая из 2% тринатрийфосфата и 1% соли Мора (от массы цемента). Данная композиция позволяет нейтрализовать до 4% хлористого натрия в бетоне (рис. 9), что резко

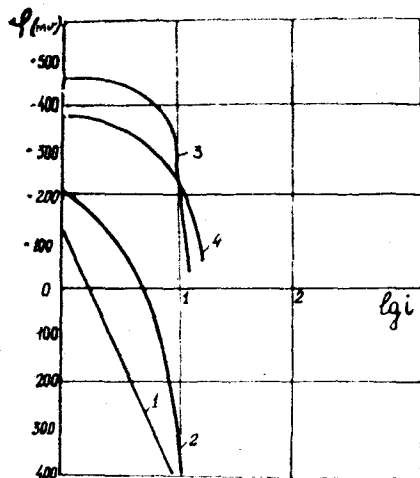


Рис. 9. Анодные поляризационные кривые поведения стали в бетонных образцах с добавкой:

- 1—2%  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ +1% соли Мора+2%  $\text{NaCl}$ ;  
 2—2%  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ +1% соли Мора+4%  $\text{NaCl}$ ;  
 3—2%  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ +1% соли Мора+6%  $\text{NaCl}$ ;  
 4—2%  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ +1% соли Мора+8%  $\text{NaCl}$

Промышленное опробование предлагаемого ингибитора, проведенное на Уфимском и Стерлитамакском заводах железобетонных изделий, показало, что добавка его не осложняет технологию изготовления железобетонных конструкций. Для введения добавок — ингибиторов в бе-

повышает долговечность железобетонных конструкций в газовых хлорсодержащих средах. Предельно допустимое содержание хлор-ионов в бетоне без добавок составляет 0,5% или примерно 0,85%  $\text{NaCl}$ .

Поскольку тринарийфосфат несколько снижает прочность бетона, то для компенсации в бетон вводится соль Мора как уплотняющая добавка. Специальными исследованиями было установлено, что введение комплексного ингибитора существенно не влияет на физико-механические свойства бетона (табл. 13.)

Таблица 13

Физико-химические свойства бетонной смеси и бетона с добавкой ингибитора

Добавка	Сроки схватывания, час		Осадка конуса, см	Прочность бетона после пропарки, МПа
	начало	конец		
Без добавок	3,5	8,2	2	19,7
2% $\text{Na}_3\text{PO}_4$ + 1% соли Мора	2,1	11,5	2	20,6

тонную смесь может быть использована технологическая линия по введению противоморозных добавок.

Данная ингибирующая композиция может применяться в конструкциях, эксплуатирующихся в среднеагрессивных газовых хлорсодержащих средах. В сильноагрессивных средах (по СНиП 11-28-73) комплексный ингибитор на основе фосфатов может использоваться наряду с нанесением на конструкции лакокрасочной защиты.

### Защита наружной поверхности ограждающих конструкций

Наружная поверхность ограждающих конструкций зданий химических и нефтехимических предприятий подвержена атмосферным воздействиям, присущим континентальному климату БАССР, и влиянию окружающей среды, загрязненного агрессивными газами и аэрозолями. В этих условиях к материалам, используемым для отделки наружных поверхностей, должны предъявляться повышенные требования по химической стойкости и морозостойкости. Кроме этого, наружные покрытия должны отвечать эстетическим требованиям.

В качестве долговечных фасадных красок можно применять полимерцементные составы на основе эмульсии синтетического латекса с наполнителями и пигментами. Наполнителями служат маршалит, кварцевый песок, мел, белый цемент, пигментами — крон, охра, окислы металлов. Составы фасадных полимерцементных красок приведены в табл. 14. Окраску ведут краскораспылителями по поверх-

Таблица 14

Полимерцементные составы для отделки фасадов

Наименование компонентов. Слой покрытия	Портланд-цемент белый, ГОСТ 965-66	Маршалит, ГОСТ 9077-59 или мел	Горный песок	Пигмент	Эмульсия латекса СК-65-ГПВ	Вода
Грунтовка . . . . .	—	—	—	—	100	300
Шпатлевка . . . . .	100	300	—	—	100	40
Краска . . . . .						
1 слой . . . . .	100	100	—	40	100	40
2 слой . . . . .	100	—	50	50	80	15

ности бетона, штукатурок, красного и силикатного кирпича, асбоцемента. Можно вести окраску по поверхностям, ранее окрашенных масляными или синтетическими красками.

Сухая пигментная часть и водная эмульсия латекса готовятся и хранятся раздельно. Перемешивание их производят непосредственно перед употреблением, поскольку сохранность краски не превышает 18 часов с момента ее приготовления. С увеличением в полимерцементной композиции содержания инертного наполнителя (до 300 массовых частей) получают шпатлевки в виде паст, применяющихся для отделки поверхностей фасадов.

Латексные шпатлевки отличаются водо- и морозостойкостью, обеспечивают прочное сцепление с поверхностью строительных материалов. С применением полимерцементной шпатлевки, сравнительно с масляной, резко сокращаются сроки производства отделочных работ, так как слой указанного состава твердеет в течение 1—3 часов. Покрытия характеризуются повышенной удароустойчивостью, водоморозостойкостью.

Применение полимерцементных составов в промышленном строительстве (Главбашстрой) в течение ряда лет свидетельствует о целесообразности их широкого использования.

## 6. ХИМИЧЕСКИ СТОЙКАЯ КРОВЛЯ

Для устройства кровли промышленных зданий применяются мягкие кровельные материалы, представляющие собой картон, пропитанный битумом или дегтем (руберонд, пергамин, толь).

Широкое применение мягких кровель объясняется их положительными свойствами, как-то: рулонные кровельные материалы водонепроницаемы, атмосфероустойчивы, обладают малой теплопроводностью, отличаются низкой стоимостью и доступностью сырья, благоприятными технико-экономическими показателями производства. К недостаткам битумных изоляционных кровельных материалов следует отнести низкую морозостойкость, склонность к образованию трещин при небольших деформациях сооружений, в результате чего нарушается сплошность покрытия.

Для повышения пластичности (трещиностойкости) битумных материалов в их состав вводят синтетические полимеры. Институтом БашНИИ НП предложены составы битумов с добавками высокомолекулярных соединений — продуктов нефтепереработки. В результате получены битумнополимерные составы повышенной эластичности.

На территории химических заводов, атмосфера которых загрязнена агрессивными веществами, здания и сооружения должны иметь высокую химической стойкости. В качестве изоляционного кровельного покрытия нами предложено применение нового кровельного материала — полирубероида, в котором основой является дублированный полиэтилен. Полируберонд отличается от рубероида наличием в его основе полиэтиленовой пленки толщиной 200 мк, обеспечивающей повышенную коррозионную стойкость и пластичность кровельного покрытия. В случае образования трещин в поверхностном слое битума полиэтиленовая пленка, как химически стойкий материал, обеспечивает сохранность защитных свойств покрытия.

Укладка дублированного полиэтилена возможна на расплаве битума или битумных мастик непосредственно на основании кровли. Технология укладки полирубероида не отличается от общепринятой при устройстве кровли из мягких кровельных материалов.

Стоимость кровельных материалов с применением полиэтиленовой пленки в настоящее время значительно превышает стоимость традиционных рулонных кровельных изоляционных материалов, поэтому их применение целесообразно в особо агрессивных условиях, например, при совместном действии кислых газов и попеременного замораживания и оттаивания, высушивания и увлажнения.

Широкое развитие производства полиэтиленовой пленки дает, однако, основание предполагать, что в последующем стоимость полимерных кровельных покрытий будет значительно снижена.

Таким образом, для сохранения нормативной долговечности зданий и сооружений кислотных производств при строительстве их необходимо осуществить антикоррозионную защиту практически всех основных частей зданий — от фундамента до кровли. Для этой цели, на основании проведенных исследований, рекомендуется следующий комплекс наиболее эффективных, научно обосно-

ванных мероприятий. Так, антикоррозионную защиту монолитных фундаментов следует производить оклейкой их поверхности покрытием из дублированного полиэтилена; для сборных железобетонных элементов (свай, фундаментных блоков) предусмотрена пропитка в горячих нефтепродуктах — крекинг-остатках, асфальте деасфальтизации, гудроне.

При устройстве химически стойких полов и футеровок в качестве изоляционного слоя рекомендуется использовать покрытия из дублированного полиэтилена марок ДП-СПС или ДП-СПБ на клею 88-Н или расплаве битума. С целью защиты арматуры в железобетонных несущих и ограждающих конструкциях при их изготовлении вводить в бетонную смесь добавки — ингибиторов коррозии на основе фосфатов.

Изоляцию внутренней поверхности железобетонных несущих и ограждающих конструкций необходимо производить лакокрасочными перхлорвиниловыми покрытиями, а поверхности растянутых зон — трещиностойкими латексовиниловыми покрытиями. Для защиты наружной поверхности ограждающих конструкций целесообразно применение полимерцементных красок на основе латекса.

При устройстве кровли может быть использовано покрытие из дублированного полиэтилена.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Здания и сооружения кислотных производств предприятий химической и нефтехимической промышленности Башкирии в результате коррозии бетона и железобетона разрушаются в 3—4 раза раньше установленного срока. Это приводит к непроизводительным затратам на проведение текущих и капитальных ремонтов, вынужденным остановкам производства. В итоге народное хозяйство несет существенный материальный ущерб.

Проведенные обследования показали, что в вопросе обеспечения долговечности строительных сооружений в агрессивных средах имеются серьезные организационные недостатки и технические трудности.

Можно назвать три основные организационные и технические причины преждевременных коррозионных поражений:

1. Строительные проекты не учитывают опыт эксплуатации и фактические условия работы конструкций на действующих предприятиях, вследствие чего предусматриваемая антикоррозионная защита неэффективна.

2. Проект предусматривает необходимые защитные мероприятия, но при строительстве допускаются нарушения: либо имеются отклонения от проекта, либо неудовлетворительно качество выполненных строительных или антикоррозионных работ.

3. На действующих предприятиях нарушаются правила эксплуатации оборудования, в результате чего допускаются проливы и выбросы агрессивных веществ. Кроме того, приточно-вытяжная вентиляция, как правило, не обеспечивает необходимого обмена воздуха. Это ведет к избыточ-

ному содержанию агрессивных веществ в атмосфере цехов, а также к установлению неблагоприятного температурно-влажностного режима.

Ликвидация этих недостатков должна явиться результатом совместных усилий специалистов ряда областей народного хозяйства — проектировщиков, строителей, работников производства стройматериалов, эксплуатационников химических и нефтехимических производств.

Проектировщики должны вести проектирование строительных сооружений предприятий с агрессивными средами, в частности кислотных производств, с учетом опыта эксплуатации сооружений, то есть на основании анализа результатов натурных исследований, проведенных на действующих предприятиях с аналогичной технологией производства.

При выборе эффективных средств антикоррозионной защиты необходимо, во-первых, практиковать способы прогнозирования степени ожидаемого поражения бетона и железобетона во времени; во-вторых, отдавать предпочтение первичным методам защиты — использованию ресурсов бетона как материала, введению в бетонную смесь химических добавок и т. д.

Задача строителей заключается в том, чтобы ввести в практику работы заводов железобетонных изделий специализированные линии по производству строительных конструкций заданной долговечности и повысить контроль за качеством строительных и антикоррозионных работ и материалов. При возведении сооружений кислотных производств необходимо обеспечить широкое применение разработанных научно обоснованных методов антикоррозионной защиты строительных конструкций.

Эксплуатационникам следует максимально снизить агрессивность среды в цехах нефтехимических предприятий. Для этого необходимо прежде всего ликвидировать проливы и выбросы продуктов производства за счет герметизации действующего оборудования и соединений продуктопроводов; нормализовать тепловлажностный режим, что в значительной мере зависит от упорядочения работы вентиляционных систем.

С целью повышения эффективности и надежности проводимых мероприятий в борьбе с коррозией строительных конструкций зданий и сооружений считаем целесообразным укрепить организацию этого дела, создав единый

государственный орган для надзора за проектированием, строительством и эксплуатацией предприятий с агрессивными средами.

Изложенный в книге материал не является исчерпывающим. Исследования коррозии и разработка эффективных методов защиты строительных конструкций продолжаются. Так, в настоящее время широко и успешно ведутся эти работы в рамках социалистического экономического содружества стран народной демократии (СЭВ). Успехи в области науки о долговечности бетона и железобетона, создания эффективных методов антикоррозионной защиты вселяют уверенность в то, что постановления партии и правительства по усилению антикоррозионной службы в стране, в частности задача обеспечения долговечности строительных сооружений, будет успешно решена.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев С. Н. Коррозия и защита арматуры в бетоне. М., Стройиздат, 1962.
2. Алексеев С. Н., Розенталь Н. К. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде. М., Стройиздат, 1976.
3. Балалаев Г. А., Медведев В. М., Мочанский Н. А. Защита строительных конструкций от коррозии. М., Стройиздат, 1966.
4. Балалаев Г. А., Дерешкевич Ю. В. «Производство антикоррозионных работ». М., Стройиздат, 1962.
5. Винарский В. Л. «О противокоррозионной защите цехов хлорного производства», «Промышленное строительство», № 4, 1963.
6. Воробьева Г. Я. Коррозионная стойкость материалов в агрессивных средах химических производств. М., «Химия», 1975.
7. Москвин В. М. Коррозия бетона. М., Госстройиздат, 1952.
8. Розенфельд И. П., Жигалова Х. А. Ускоренные методы коррозионных испытаний металлов. М., «Металлургия», 1966.
9. Полак А. Ф., Ратилов В. Б., Гольфман Г. Н. Коррозия железобетонных конструкций зданий нефтехимической промышленности. М., Стройиздат, 1971.



# ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение . . . . .	3
Глава I. <b>Натурные исследования нефтехимических и химических производств</b> . . . . .	6
1. <b>Обследование зданий и сооружений с агрессивными средами</b> . . . . .	6
Глава II. <b>Коррозия железобетона в кислых агрессивных средах</b>	
1. <b>Коррозия бетона и железобетона под действием раствора кислот</b> . . . . .	14
2. <b>Коррозия железобетона под действием кислых газов</b> . . . . .	22
Глава III. <b>Методы и средства защиты строительных конструкций от коррозии</b> . . . . .	34
1. <b>Проектирование антикоррозионной защиты</b> . . . . .	34
2. <b>Средства антикоррозионной защиты</b> . . . . .	44
3. <b>Защита подземных сооружений от коррозии</b> . . . . .	53
4. <b>Устройство химически стойких полов</b> . . . . .	60
5. <b>Антикоррозионная защита надземных конструкций</b> . . . . .	65
6. <b>Химически стойкая кровля</b> . . . . .	74
<b>Заключение</b> . . . . .	77
<i>Литература</i> . . . . .	79

**Полак Алексей Филиппович  
Гельфман Георгий Нисонович  
Яковлев Владимир Валентинович**

## **АНТИКОРРОЗИОННАЯ ЗАЩИТА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ХИМИЧЕСКИХ И НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

Редактор *Г. А. Осташевская*  
Рецензент *А. П. Бугырский*  
Художественный редактор *С. П. Евлдов*  
Художник оформитель *А. В. Веселов*  
Технический редактор *Н. Я. Зарипова*  
Корректоры *Т. Н. Горяйнова*  
*З. В. Сайфуллина.*

ИБ № 1162

Сдано в набор 21.05.80. Подписано к печати 04.08.80. Формат бумаги 84×1081/32  
Бумага тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Условн. печ. л.  
4,20. Учетн. изд. л. 3,7. Тираж 1 000 экз. П01698. Заказ № 150. Цена 20 коп.  
Башкирское книжное издательство. Уфа-25, ул. Советская, 18. Уфимский полиграфкомбинат Госкомиздата Башкирской АССР. Уфа-1, проспект Октября, 2.