

Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины
Украинская государственная академия железнодорожного транспорта

На правах рукописи

ДУДИН Алексей Аркадьевич

УДК 691.32:620.193.7 (043.3)

**МЕХАНИЗМ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА УТЕЧКИ
И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ОБВОДНЁННЫЕ
БЕТОННЫЕ, ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ И КАМЕННЫЕ СООРУЖЕНИЯ**

05.23.05 – строительные материалы и изделия

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель –
доктор технических наук, профессор
Плугин Андрей Аркадьевич

Харьков 2012

СОДЕРЖАНИЕ

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ	6
ВВЕДЕНИЕ	9
РАЗДЕЛ 1 АНАЛИЗ ДАННЫХ О ВЛИЯНИИ ПЕРЕМЕННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ОТ ТОКА УТЕЧКИ И БЛУЖДАЮЩЕГО ТОКА, ОТ КОНТАКТНЫХ ПРОВОДОВ И ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НА КОРРОЗИЮ БЕТОННЫХ, ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ, КАМЕННЫХ И МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ	19
1.1. Данные об электрификации железных дорог Украины	19
1.2. Источники и пути наведения электрического поля переменного тока на искусственные сооружения железнодорожного транспорта и другие конструкции и сооружения	23
1.3. Существующие способы контроля электрокоррозионного состояния конструкций	31
1.4. Существующие способы защиты конструкций от электрокоррозионного влияния переменного напряжения и тока	33
1.5. Факторы разрушающего влияния переменного тока на конструкции и сооружения	35
1.6. Существующие представления о влиянии переменного напряжения и тока на конструкции	37
ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ 1	42
РАЗДЕЛ 2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	46
2.1. Материалы, примененные для исследований	46
2.2. Методы исследований	47
2.2.1. Эксплуатационные исследования параметров токов утечки и токов, вызванных высоковольтным напряжением в контактных проводах	47
2.2.2. Моделирование воздействия токов утечки и блуждающих токов на бетон и цементный камень	49
2.2.3. Определение физико-механических свойств и водопроницаемости бетона	50
2.2.4. Физико-химические исследования с помощью рентгенофазового анализа	52
2.2.5. Теоретические исследования	53
РАЗДЕЛ 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА КОНСТРУКЦИИ И СООРУЖЕНИЯ	54
3.1. Исследование влияния переменного тока утечки с рельсового пути на состояние конструкций и сооружений	54
3.1.1. Влияние переменного тока утечки на состояние каменной кладки водопропускных труб	54
3.1.1.1. Водопропускная труба на 119 км участка Харьков –	54

Купянск	
3.1.1.2. Водопропускная каменная труба на 111 км участка Харьков – Купянск ЮЖД	70
3.1.2. Исследование влияния переменного тока утечки на состояние железобетонных конструкций водопропускной трубы на участке Гребенка – Полтава – Лозовая ЮЖД	80
3.2. Исследование влияния высоковольтного переменного поля от контактного провода на состояние железобетонных конструкций	83
3.2.1. Железобетонный путепровод на 802 км участка Гребенка – Черкассы ЮЖД	83
3.2.2. Железобетонный путепровод тоннельного типа на 837 км участка Нежин – Киев ЮЗЖД	90
3.3. Исследование влияния переменного тока от высоковольтной ЛЭП на состояние каменной облицовки набережной р. Харьков в г. Харькове	95
ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ 3	101
РАЗДЕЛ 4 РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О МЕХАНИЗМЕ ЭЛЕКТРОКОРРОЗИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ И СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА	103
4.1. Механизм электрокоррозии бетона постоянным и переменным токами	107
4.2. Механизм электрокоррозии арматуры в бетоне переменным током критической частоты по механизму переноса катионов железа и электронов через ДЭС частиц продуктов гидратации цемента	108
4.3. Механизм влияния электрического поля отрицательно заряженной поверхности частиц гидросиликатного геля на коэффициент диффузии катионов Ca^{2+}	125
ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ 4	132
РАЗДЕЛ 5 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОКОРРОЗИОННОГО ВЛИЯНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ ТОКОВ НА БЕТОН	137
5.1. Обоснование методики исследования влияния переменного тока на электрокоррозию бетона	137
5.1.1. Обоснование схем протекания токов через реальные конструкции и адекватных лабораторных схем и устройств	137
5.1.2. Обоснование признаков разрушения экспериментальных образцов бетона и цементного камня под влиянием циклического переменного напряжения 220 В	145
5.2. Экспериментальное исследование влияния циклического переменного напряжения на электрокоррозию бетона, непосредственно контактирующего с водой	148
5.2.1. Экспериментальное исследование токов, проходящих	148

через бетон под влиянием циклического переменного напряжения, подаваемого на верхний электрод и стальную емкость	
5.2.2. Экспериментальные исследования разности постоянных потенциалов в бетоне между электродом и корпусом ячейки	153
5.2.3. Расчетно-теоретические исследования возникновения начальной разности постоянных потенциалов при контакте бетона с водой	160
5.2.4. Исследование влияния циклического переменного напряжения величиной 220 В на водопроницаемость и прочность бетонных образцов, непосредственно контактирующих с водой	163
5.3. Исследования влияния циклического переменного напряжения на бетон при подаче напряжения между электродами, закрепленными на образце	166
5.3.1. Экспериментальные исследования изменения разности постоянных потенциалов в бетонных образцах при длительном действии пульсирующего переменного напряжения различной величины	166
5.3.2. Экспериментальные исследования изменения разности постоянных потенциалов в бетонных образцах при длительном воздействии пульсирующего переменного напряжения различной величины	170
5.3.3. Исследование влияния пульсирующего переменного напряжения величиной 80, 40, 10 и 5 В на потерю массы и прочность бетонных образцов	175
5.3.3.1. Исследование влияния пульсирующего переменного напряжения на потерю массы бетонных образцов	175
5.3.3.2. Исследования влияния пульсирующего переменного напряжения на прочность бетонных образцов	181
5.3.3.4. Рентгенографические исследования влияния величины пульсирующего переменного напряжения на фазовый состав цементного камня	184
ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ 5	195
РАЗДЕЛ 6 РАЗРАБОТКА, ВНЕДРЕНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ СПОСОБОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ПО ЗАЩИТЕ ОТ ПЕРЕМЕННЫХ ТОКОВ УТЕЧКИ И НАПРЯЖЕНИЙ БЕТОННЫХ, ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ И КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ	200
6.1. Методика проведения эксплуатационных исследований электрокоррозионной опасности бетонных, железобетонных и каменных конструкций сооружений от действия переменных напряжений и токов утечки	200
6.2. Защита конструкций путепроводов от электрокоррозии с	202

помощью защитных экранов	
6.2.1. Защита от электрокоррозии с помощью сплошного стального экрана с глубинным заземлителем	202
6.2.2. Защита конструкций от электрокоррозии с помощью сетчатых экранов понизу опор с глубинным заземлением	202
6.2.3. Защита конструкций от электрокоррозии переменным током с помощью жидкостекольных экранов с глубинным заземлением	205
6.3. Защита конструкций от электрокоррозии путем замены скреплений типа КБ или КПП на упругие скрепления типа УС-1 или PRS с анкерами на серной мастике	209
6.4. Использование результатов исследований при разработке и внедрении новых технологий для защиты от электрокоррозии, восстановлении и усилении аварийных конструкций и сооружений	211
6.4.1. Аварийные водопропускные трубы	212
6.4.2. Аварийный железобетонный путепровод на 802 км участка Гребенка – Черкассы Южной ж.д.	212
6.4.3. Увеличение устойчивости крайних в пролете балочных пролетных строений	214
6.5. Разработка нормативных документов	215
6.6. Другие области внедрения	216
6.7. Эффективность разработанных решений и экономический эффект от их внедрения	216
ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ 6	218
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ	221
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	224
Приложение А Технические указания. Ведомственные строительные нормы. Рекомендации	234
Приложение Б Акты внедрения	242
Приложение В Патенты на изобретения	251
Приложение Г Анализ напряженно-деформированного состояния конструкций водопропускной трубы	258
Приложение Д Рентгенограммы цементного камня	265

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

В/Ц –	водоцементное отношение
(В/Ц) _{ХС} –	отношение количества химически связанной воды к расходу цемента
ГМСАК –	гидромоносульфоалюминат кальция $3CaO \times Al_2O_3 \times CaSO_4 \times 11H_2O$
ГСАК –	гидросульфоалюминаты кальция
ГСК –	гидросиликаты кальция
ДЛФО –	Теория Дерягина – Ландау – Фервея – Овербека устойчивости дисперсных систем
ДЭС –	двойной электрический слой
ПК –	персональный компьютер
Пор ^Г –	пористость геля
ПОИ –	потенциалоопределяющий ион ДЭС
ПРИ –	противоион ДЭС
РГ –	рентгенограмма
РФА –	рентгеновский фазовый анализ
Ц –	расход цемента на 1 м ³ бетона, кг
ЭПС –	электрический подвижной состав
ЮЖД –	Южная железная дорога
ЮЗЖД –	Юго-Западная железная дорога
A –	площадь пластины конденсатора, см ²
Å –	ангстрем, $1 \text{ Å} = 1 \times 10^{-10} \text{ м}$
a_0 –	расстояние между ПОИ или ПРИ на поверхности частицы, м
b –	длина пути диффузионного перемещения ионов, м
$b_{\text{КР}}$ –	длина ребра блока кристаллогидрата, м
C_3A –	$3CaO \times Al_2O_3$, трехкальциевый алюминат
C_3S –	$3CaO \times SiO_2$, трехкальциевый силикат, алит
CH –	$Ca(OH)_2$, гидроксид кальция, портландит
D –	коэффициент диффузии, см ² /с
$D_{\text{ГС}}$ –	коэффициент диффузии иона в граничном слое воды, см ² /с
d –	расстояние между пластинами конденсатора, см
d_1 –	расстояние между слоями ПОИ и не гидратированных ПРИ, м
d_{H_2O} –	диаметр молекулы воды, м
$d_{Ca^{2+}}$ –	диаметр катиона Ca^{2+} , м
$\frac{dc_i}{dx}$	градиент концентрации, $\frac{\text{моль / л}}{\text{м}}$
E –	напряженность электрического поля, В/м
e –	элементарный заряд, $1,6 \times 10^{-19} \text{ Кл}$
$F_{\text{ОТТ}}$ –	отталкивающая сила, кгс/см ²
$F_{\text{ТР}}$ –	сила трения, Н
$F_{\text{ЭМ}}$ –	движущая сила электромиграционного потока, Н

f	частота, Гц
$f_{ЭС}$	энергия электростатического взаимодействия ионов, Дж
k	константа Больцмана
$l_{КП}$	расстояние до контактного провода, м
$l_{ЭМ}$	длина пути электромиграционного переноса ионов, м
$m_1; m_2$	масса образца в сухом и водонасыщенном состоянии, кг
N	число ПРИ на ребре блока кристаллогидрата
N_A	число Авогадро, $6,02 \cdot 10^{23}$ 1/моль
n	поверхностная концентрация ПОИ, 1/м ²
Q	электрический заряд диффузной части ДЭС геля, Кл
q	плотность поверхностного заряда, Кл/м ²
R	универсальная газовая постоянная, 8,31 Вт/м×К
r	радиус частицы, м
r_{H_2O}	радиус молекулы воды, м
$r_{Ca^{2+}}$	радиус катиона Ca^{2+} , м
$r_{КАТ}$	радиус катиона, м
$S^Г$	площадь поверхности гидросиликатного геля, м ²
$s^Г$	удельная поверхность гидросиликатного геля, 200–700 м ² /г
T	абсолютная температура, К
t	время, с
$U; \Delta U$	потенциал, разность потенциалов, напряжение, В
$U_{ЛАТ}$	полная энергия латерального отталкивания на ребре блока кристаллогидрата, Дж
$u_{ЛАТ}$	энергия латерального отталкивания между ионами на ребре блока кристаллогидрата, Дж
$U_{ПР}$	энергия, препятствующая выходу одного ПРИ из капилляра, Дж
$u_{ЭС}$	работа по отрыву иона от молекулы воды, Дж
V	скорость движения, см/с, м/с
V_O	объем образца, см ³
$V_{ПОР}^Г$	объем пор в геле, м ³
W	марка по водонепроницаемости, атм = гс/см ²
z	валентность (заряд) иона
α	степень гидратации цемента
$\delta_{ГС}$	толщина граничного слоя воды, м
$\gamma^Г$	доля гидросиликатного геля в продуктах гидратации
ε	относительная диэлектрическая проницаемость
ε_0	диэлектрическая постоянная, $8,85 \times 10^{-12}$ Ф/м
$\varepsilon_{ГС}$	диэлектрическая проницаемость граничного слоя воды
δ	расстояние от поверхности частицы, м
$\delta_{СК}$	расстояние линии скольжения от стенки капилляра, м
ζ	электрокинетический потенциал (дзета-потенциал), В
η	вязкость, Па·с
$\rho^Г$	плотность гидросиликатного геля, 2,7 г/см ³

$\rho_{\text{CP}}^{\Gamma}$ –	средняя плотность гидросиликатного геля, 2,7 г/см ³
ψ_{M} –	мембранный потенциал, В
$\psi_{\text{ЭП}}$ –	абсолютный электроповерхностный потенциал, В
$\psi_{\text{ЭП}}^{\text{P}}$ –	равновесный электроповерхностный потенциал, В
$\psi_{\text{ЭПА}}^{\text{P}}$ –	равновесный электроповерхностный потенциал алита, В
$\psi_{\text{ЭПГ}}^{\text{P}}$ –	равновесный электроповерхностный потенциал геля, В
$\psi_{\text{ЭПАК}}^{\text{P}}$ –	равновесный электроповерхностный потенциал трехкальциевого алюмината, В
$\psi_{\text{ЭПП}}^{\text{P}}$ –	равновесный электроповерхностный потенциал портландита, В
$\psi_{\text{ЭПЭ}}^{\text{P}}$ –	равновесный электроповерхностный потенциал этtringита, В
ρ^{Γ} –	плотность гидросиликатного геля, г/см ³
$\rho_{\text{CP}}^{\Gamma}$ –	средняя плотность гидросиликатного геля, г/см ³
$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$ –	плотность воды, 1 г/см ³

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы

Согласно данным «Укрзалізниці» на железных дорогах Украины электрифицированные участки составляют 41,7 %, из которых 51 % электрифицировано переменным током. Доля участков с переменным током будет возрастать, поскольку переменный ток считается экономически более выгодным и электрификация в последние годы осуществляется исключительно на переменном токе. Переход на переменный ток в какой то мере стимулируется и тем, что он, в отличие от постоянного, считается коррозионно неопасным.

Однако, анализ литературных данных и многолетние наблюдения ученых кафедры «Строительные материалы, конструкции и сооружения» (СМКС) УкрГАЖТ, в частности ОНИЛ «Коррозии и защиты от коррозии конструкций и сооружений железных дорог» свидетельствует о том, что для многих обводненных бетонных, железобетонных и каменных конструкций мостов, тоннелей, труб и других сооружений на электрифицированных переменным током участках наблюдается их очень интенсивная электрокоррозия. Во многих случаях она приводит к разрушению кирпичной кладки водопропускных труб вплоть до сквозных вывалов. Особо сильные разрушения наблюдаются от действия высоковольтного переменного напряжения в контактных проводах, закрепленных на железобетонных пролетных строениях путепроводов. При этом разрушается защитный слой, сильно корродирует арматура, зафиксирован случай обрушения балочного железобетонного пролетного строения на одном из путепроводов.

Вместе с тем мероприятия по предотвращению от электрокоррозии железобетонных конструкций переменным током в нормативных документах для железнодорожных сооружений не предусматриваются. Не предусматриваются также специальные меры по ограничению утечки тяговых токов на рельсовых путях и устройствах. Согласно СНиП 2.03.11-85 Защита строительных конструкций от коррозии защита от действия

переменного тока предусматривается лишь для железобетонных конструкций, используемых в качестве заземляющих устройств.

Отсутствует единство мнений различных ученых относительно влияния переменного тока на металлические, железобетонные и бетонные конструкции. По мнению большинства из них, бетон можно считать устойчивым к воздействию переменного электрического тока.

В реальных условиях эксплуатации дистанции пути, если и принимают вынужденно самостоятельные меры по защите конструкций от разрушения, то они оказываются малоэффективными и недолговечными.

Подобное отсутствие системных мероприятий по защите от электрокоррозии искусственных сооружений имеет место и на железных дорогах других стран, в частности в России.

Одной из причин этого является специфика процессов электрокоррозии бетона, железобетона и раствора в обводненных конструкциях, не укладывающаяся в рамки традиционной электрофизики и электротехники. Пользуясь такими представлениями многие годы, ученые и специалисты, естественно, не смогли выделить из числа эксплуатируемых искусственных сооружений обводненные и объективно оценить механизм влияния и степень опасности переменного напряжения для них.

В связи с этим раскрытие механизма повреждения цементного камня и бетона переменным током утечки остается нерешенной научной задачей.

Указанная специфика бетона и раствора, соответственно и железобетона, заключается в высокой дисперсности и электроповерхностных свойствах продуктов гидратации цемента в них. В результате процессы переноса ионов и, соответственно, токи в них в переменном электрическом поле, особенно высоковольтном, не подчиняются традиционным законам электрофизики, на основе которых построены представления об их электрокоррозии переменным током.

Раскрыть механизм электрокоррозии раствора в кладке, бетона и железобетона в переменном электрическом поле можно, дополнив

традиционные положения электрофизики фундаментальными положениями об электроповерхностных, в т.ч. электрокинетических, явлениях в дисперсных системах, физической химии в целом. Это позволит разрабатывать и внедрять высокоэффективные и надежные способы, технологии и конструкции для защиты от электрокоррозии переменным напряжением и током утечки обводненных конструкций.

Исходя из изложенного, тема диссертации, посвященная раскрытию механизма воздействия переменного тока утечки и высоковольтного напряжения на бетонные, железобетонные и каменные конструкции инженерных сооружений железных дорог для повышения эффективности их защиты, является актуальной.

Связь работы с научными программами, планами, темами. Работа выполнялась в составе госбюджетных научно-исследовательских тем УкрГАЖТ по планам НИОКР Министерства транспорта и связи (с 2011 г. Министерства инфраструктуры) Украины:

- №ГР 0108U000076 (6/2-2008Б) «Розробка теоретичних та експериментальних основ захисту від електрокорозії споруд залізничного транспорту» [1];

- №ГР 0110U002128 (6/2-2010Б) «Розробка теоретичних основ та експериментальні дослідження впливу струмів витоку та блукаючих струмів на бетон та розчин бетонних, залізобетонних та кам'яних конструкцій» [2], а также хозяйственных тем по планам НИОКР Укрзалізниці:

- №4/07-ЦТех-778/07-ЦЮ (60/3-2007) «Дослідження та розробка рекомендацій по захисту конструктивних елементів будівель та споруд, що експлуатуються, від агресивних дій» [3];

- №№21/08-ЦТех-0281/08-ЦЮ (6/11-2008) Проведення досліджень та нормування електричного опору бетону і залізобетонних шпал та розробка методики і засобів вимірювань для їх контролю [4];

- №24/08-ЦТех-319/08-ЦЮ (60/2-2008) «Дослідження та розробка рекомендацій із захисту та підсилення будівель та споруд станційних

комплексів, що руйнуються від спільної дії електричного струму, вібрації, ґрунтових вод» [5];

- №48/09-ЦТех-151/09-ЦЮ (60/1-2009) «Проведення досліджень з розширенням статистичних даних для розробки відомчих будівельних норм із захисту будівельних конструкцій та споруд залізничного транспорту від агресивних дій» [6];

- №31/10-ЦТех/165/10-ЦЮ (60/3-2010) «Проведення досліджень корозії елементів верхньої будови колії в залізничних тунелях, визначення їх термінів експлуатації та розробка заходів щодо їх захисту від корозії» [7];

- №31/11-ЦТех/81/2011-ЦЮ (60/3-2011) «Розробка та випробування нових конструктивних рішень захисту від електрокорозії конструкцій шляхопроводів, на яких закріплена контактна мережа» [8];

- №25/11-ЦТех-75/2011-ЦЮ (60/2-2011) «Проведення досліджень і розробка рекомендацій із захисту та підсилення конструкцій пасажирських платформ на електрифікованих ділянках залізниць [9].

Цель исследований – раскрытие механизма воздействия переменного тока утечки и высоковольтного напряжения на бетонные, железобетонные и каменные инженерные сооружения железных дорог для повышения эффективности их защиты от электрокоррозии на основе фундаментальных представлений об электроповерхностных явлениях дисперсных систем и материалов коллоидной химии и физико-химической механики.

Объект исследования – цементный камень, бетон, железобетонные и каменные конструкции сооружений железных дорог, электрифицированных переменным током.

Предмет исследования – механизмы воздействия переменных тока утечки и высоковольтного напряжения на цементный камень и бетон, процессы, взаимодействия и явления в дисперсных системах, механизмы защиты.

Научная гипотеза: переменные ток утечки и высоковольтное напряжение вызывают в обводненных бетонных, железобетонных и

каменных конструкциях искусственных сооружений преобладающий вынос катионов кальция Ca^{2+} из гидросиликатного геля цементного камня, приводящий к возникновению в конструкциях растягивающих напряжений, а также электрокоррозию цементного камня, заключающуюся в растворении и выносе из него портландита, гидроалюминатов и гидросульфалюминатов кальция.

Увеличение электрокоррозионной стойкости цементного камня и бетона и защита сооружений от электрокоррозии могут быть достигнуты за счет предотвращения выноса продуктов растворения цементного камня из бетона, в частности с помощью металлоинъекционных обшивок с глубинным заземлителем, устройства различных защитных экранов и т.п.

Задачи исследований:

1) обследование состояния зданий и сооружений вблизи электрифицированных переменным током железнодорожных путей, выявление зависимости износа искусственных сооружений от воздействия переменных токов утечки и высоковольтного напряжения.

2) обзор и критический анализ литературных данных, обобщение результатов исследований воздействия переменного тока утечки на цементный камень и бетон, бетонные, железобетонные и каменные конструкции искусственных сооружений железных дорог и других конструкций и сооружений;

3) исследование в эксплуатационных условиях и установление характерных признаков разрушения конструкций переменными током и напряжением, характерных путей протекания переменного электрического тока от рельсового пути в грунте и от контактного провода по конструкциям.

4) разработка специальных методик исследований и лабораторных установок для исследования влияния переменного потенциала и тока на цементный камень и бетон;

5) экспериментальные исследования изменения тока во времени при продолжительном воздействии переменного напряжения и водотока, влияния переменного напряжения различной величины на свойства бетона.

6) описание механизма (в виде схем и уравнений) электрокоррозионного повреждения цементного камня и бетона под воздействием переменного электрического поля, установление его влияния на долговечность бетона;

7) разработка, эксплуатационная проверка и внедрение эффективных способов защиты бетона и сооружений, расположенных вблизи электрифицированных переменным током железнодорожных путей, и соответствующих рекомендаций.

Методы исследований: Изменение свойств бетона в результате воздействия переменного электрического тока исследовали следующим образом: воздействия моделировали по оригинальным методикам с помощью специально разработанных и изготовленных лабораторных установок и датчиков; физико-механические свойства бетона после воздействия определяли стандартными методами; фазовый состав цементного камня – с помощью физико-химических методов (рентгенофазового анализа), структуру цементного камня и бетона – с помощью световой электронной микроскопии; электрические характеристики бетона – с помощью специально разработанных методик и лабораторных установок. Характеристики распространения электрического поля от тока утечки с рельсов на обводненные конструкции и сооружения исследовали в соответствии с разработанными специальными методиками и схемами измерений с помощью цифровых мультиметров, оснащенных интерфейсом с компьютером, и специальных датчиков.

Научная новизна полученных результатов:

1. Электрокоррозионное разрушение цементного камня и бетона обусловлено односторонней проводимостью в электрическом поле гидросиликатного геля, электромиграционным и диффузионным переносами ионов. Электрокоррозия арматуры осуществляется путем выноса из нее

катионов железа Fe^{2+} , что сопровождается выносом из арматуры освобождающихся электронов, их переходом на протоны H^+ в гидроксильных комплексах типа $OH-H^+-OH^-$, которые подходят к поверхности арматуры по эстафетному механизму.

2. Количественное описание основополагающих процессов и механизмов электрокоррозии бетона:

- электромиграционного переноса на основе уравнения стационарного потока в капилляре, эстафетного и электромиграционного переноса и представлений о гигантской низкочастотной диэлектрической дисперсии дисперсных систем;

- влияния преобладающего переноса катионов в гидросиликатном геле на коэффициент диффузии ионов в бетоне, которое рассмотрено на основе уравнения Эйнштейна для коэффициента диффузии D коллоидных частиц, а также первого закона Фика для диффузионного переноса вещества:

- влияния электрического поля отрицательно заряженной поверхности частиц гидросиликатного геля на коэффициент диффузии катионов Ca^{2+} в граничном слое воды, что обусловлено торможением диффузии под влиянием взаимодействия между ионом Ca^{2+} и потенциалопределяющим ионом OH^- гелевой частицы. Согласно выведенному уравнению, коэффициент диффузии катиона Ca^{2+} в граничном слое находится в обратно пропорциональной зависимости от диэлектрической проницаемости воды в этом слое и в обратно-квадратичной зависимости от V/ζ .

3. Зависимость коэффициентов диффузии бетона от его марки по водопроницаемости W и V/ζ , на основе которых усовершенствована классификация бетонов по проницаемости, принятая в СНиП 2.03.11-85 .

4. Результаты экспериментальных исследований изменения токов, проходящих через бетон под длительным воздействием циклического переменного напряжения 220, 80, 40, 10 и 5 В в проточной воде. При этом установлено, что напряжения 40 В в сочетании с потоком воды вызывает максимальную убыль массы C_3A и C_3S и наибольшее уменьшение прочности

бетонных образцов, 63 %, и 105 %, по сравнению с проточной и стоячей водой, соответственно.

5. Результаты физико-химических исследований, которые подтвердили, что циклическое переменное напряжение $U = 40$ В интенсивно растворяет портландит $Ca(OH)_2$, приводит к растворению алита C_3S и других минералов цементного камня. Напряжение 80 В интенсивно растворяет ГСАК, а 10 В – C_3A . Напряжение 5 В растворяет ГСАК, но не выносит продукты растворения, т.к. величина 5 В является недостаточной для этого.

Практическая значимость полученных результатов: По результатам теоретических и экспериментальных исследований разработаны схемы и конструктивные решения по защите от электрокоррозии конструкций путепроводов и других бетонных, железобетонных и каменных сооружений от действия переменного напряжения и токов утечки, в т.ч. с помощью: сплошного стального экрана с глубинным заземлителем; сетчатого экрана понизу опор с глубинным заземлителем; жидкостекольного экрана с глубинным заземлителем.

Рекомендована замена на шпалах или плитах мостового полотна скреплений типа КБ или КПП-5 на упругие скрепления УС-1 или PRS-4 с анкерами на серной мастике, которые имеют намного большее электрическое сопротивление по сравнению с ними.

С учетом результатов исследований при личном участии соискателя разработаны инструктивные документы Укрзалізниці (Приложение А): «Технічні вказівки з контролю електричного опору бетону і залізобетонних шпал у заводських та експлуатаційних умовах» [10]; «Рекомендації по захисту конструктивних елементів будівель та споруд, що експлуатуються, від агресивних дій» [11]; «Рекомендації із захисту та підсилення будівель та споруд станційних комплексів, що руйнуються від спільної дії електричного струму, вібрації, ґрунтових вод» [12]; «Споруди транспорту. Захист конструкцій будівель і службово-технічних споруд залізничного транспорту від агресивних дій: Галузеві будівельні норми України» (проект,

утвержденный Главным управлением строительно-монтажных работ и гражданских сооружений Укрзалізниці, прошедший согласования в Держгірпромнагляді, Мінекології, Мінохорони здоров'я и проходящий согласования в Мінрегіонбуді України) [13]; «Рекомендації із захисту від електрокорозії конструкцій шляхопроводів, на яких закріплена контактна мережа» [14]; «Рекомендації із захисту та підсилення конструкцій пасажирських платформ на електрифікованих ділянках залізниць» [15].

Указанные разработки внедрены (Приложение Б) и прошли эксплуатационную проверку при разработке проектов и капитальном ремонте: водопропускных труб на 119 и 111 км участка Харьков – Купянск [16], на 365 км участка Основа – Букино [17], на 19 км участка Харьков – Люботин ЮЖД [18]; железобетонного путепровода на 802 км участка Гребенка – Черкасы ЮЖД; стоек железобетонного путепровода №26 на перегоне Сартана-Северная ОАО «МК «Азовсталь»» [19], при разработке проекта усиления существующих конструкций автодорожного путепровода на ст. Лозовая ЮЖД [20], при отработке беспропарочной технологии производства железобетонных шпал на предприятии ТД «Украина Промресурс».

Экономический эффект от внедрения результатов исследований обусловлен преимущественно выполнением капитального ремонта поврежденных конструкций в сочетании с их защитой от электрокоррозии вместо их полной замены. Экономический эффект от внедрения электрокоррозионностойкого бетона обусловлен изготовлением шпал без тепловлажностной обработки. Суммарный подтвержденный экономический эффект от внедрения результатов исследований соискателя составил 137 тыс. грн. (Приложение Б). Социальный эффект от внедрения заключается в повышении безопасности движения поездов на участках с отремонтированными сооружениями.

Материалы диссертации используются в УкрГАЗТе в учебном процессе при подготовке бакалавров, специалистов и магистров по специальностям

«Железнодорожные сооружения и путевое хозяйство» (специализация «Техническая эксплуатация сооружений железнодорожного транспорта») и «Промышленное и гражданское строительство» (специализация «Содержание и реконструкция зданий железнодорожного транспорта»): в лекционных курсах, на лабораторных и практических занятиях, в курсовом и дипломном проектировании. Результаты исследований включены в подготовленное в соавторстве учебное пособие «Улаштування, експлуатація та реконструкція інженерних споруд» [21].

Личный вклад соискателя. Критический анализ существующих представлений по изучаемым вопросам, обобщение данных о состоянии сооружений после длительной эксплуатации, экспериментальные исследования и анализ большей части результатов, расчеты по разработанным уравнениям и формулам, выполнение схем и конструкций защиты от электрокоррозии, эксплуатационная проверка результатов внедрения выполнены автором лично. Разработка научной гипотезы и новых научных положений выполнены совместно с научным руководителем, внедрение результатов исследований – совместно с соавторами публикаций, которым автор выражает искреннюю благодарность.

Апробация результатов диссертации проведена на 17-й Международной конференции по строительным материалам «17.Ibausil», Веймар, Германия, 23–26 сентября 2009 г.; 3-й научно-технической конференции «Математичні моделі процесів в будівництві» (Залізобетонні конструкції та матеріали), Луганск, 24-25 марта 2010 г., 3-й Международной конференции по строительным материалам, конструкциям и сооружениям «Проблемы надежности и долговечности инженерных сооружений и зданий на железнодорожном транспорте», Харьков, 12-13 апреля 2011 г., 70÷73 Международных научно-технических конференциях кафедр УкрГАЗТ и специалистов железнодорожного транспорта и предприятий (2008÷11).

Публикации. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 10 статьях в сборниках научных трудов, входящих в

перечень ВАК [22–30, 34], описании к 3 патентам на изобретение [31-33] (Приложение В). Результаты диссертационной работы дополнительно отображены в 2 статьях в сборниках научных трудов и докладов конференций [35–36].

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 6 разделов, основных выводов, списка литературы из 147 наименований на 10 страницах; содержит 154 страницы основного текста, 136 рисунка, 22 таблицы, 5 приложений.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Розробка теоретичних та експериментальних основ захисту від електрокорозії споруд залізничного транспорту: Звіт з НДР / УкрДАЗТ. – Харків, 2009. – д/т №6/2-2008Б. – №ДР 0108U000076. – 268 с.
2. Розробка теоретичних основ та експериментальні дослідження впливу струмів витоку та блукаючих струмів на бетон та розчин бетонних, залізобетонних та кам'яних конструкцій: Звіт з НДР / УкрДАЗТ. – Харків, 2011. – д/т №6/2-2010Б. – №ДР 0110U002128.
3. Дослідження та розробка рекомендацій по захисту конструктивних елементів будівель та споруд, що експлуатуються, від агресивних дій: Звіт з НДР / УкрДАЗТ. – Харків, 2007. – г/д №4/07-ЦТех-778/07-ЦЮ (60/3-2007). – Етап 1. – 71 с.; Етап 2. – 99 с.; Етап 3. – 114 с.
4. Проведення досліджень та нормування електричного опору бетону і залізобетонних шпал та розробка методики і засобів вимірювань для їх контролю: Звіт з НДР за г/д №21/08-ЦТех-0281/08-ЦЮ (6/11-08) / УкрДАЗТ: Харків, 2007. – Етап 1. – 85 с.; Етап 2. – 62 с.; Етап 3. – 119 с.
5. Дослідження та розробка рекомендацій із захисту та підсилення будівель та споруд станційних комплексів, що руйнуються від спільної дії електричного струму, вібрації, ґрунтових вод: Звіт з НДР / УкрДАЗТ. – Харків, 2008. – г/д №24/08-ЦТех-319/08-ЦЮ (60/2-2008). – Етап 1. – 61 с.; Етап 2. – 92 с.; Етап 3. – 110 с.
6. Проведення досліджень з розширенням статистичних даних для розробки відомчих будівельних норм із захисту будівельних конструкцій та споруд залізничного транспорту від агресивних дій: Звіт з НДР / УкрДАЗТ. – Харків, 2009. – г/д №48/09-ЦТех-151/09-ЦЮ (60/1-2009). – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Етап 1. – 60 с; Етап 2. – 86 с; Етап 3. – 80 с.
7. Проведення досліджень корозії елементів верхньої будови колії в залізничних тунелях, визначення їх термінів експлуатації та розробка заходів щодо їх захисту від корозії: Звіт з НДР / УкрДАЗТ. – Харків, 2011.- №31/10-ЦТех/165/10-ЦЮ (60/3-2010). – Етап 1. – 71 с.; Етап 2. – 99 с.; Етап 3. – 114 с.
8. Розробка та випробування нових конструктивних рішень захисту від електрокорозії конструкцій шляхопроводів, на яких закріплена контактна мережа: Звіт з НДР / УкрДАЗТ. – Харків, 2011. – г/д №31/11-ЦТех/81/2011-ЦЮ (60/2-2010). – Етап 1. – 71 с.; Етап 2. – 99 с.

9. Проведення досліджень і розробка рекомендацій із захисту та підсилення конструкцій пасажирських платформ на електрифікованих ділянках залізниць: Звіт з НДР / УкрДАЗТ. – Харків, 2010. – г/д №25/11-ЦТех-75/2011-ЦЮ (60/2-2011). – Етап 1. – 71 с.; Етап 2. – 99 с.

10. Технічні вказівки з контролю електричного опору бетону і залізобетонних шпал у заводських та експлуатаційних умовах / УкрДАЗТ; ЦП Укрзалізниці.- Затв.11.12.2008.- Харків; Київ, 2007.- 25 с.

11. Рекомендації по захисту конструктивних елементів будівель та споруд, що експлуатуються, від агресивних дій / УкрДАЗТ; ЦБМЕС УЗ. – Затв. 03.12.2007. – Харків, 2007. – 88 с.

12. Рекомендації із захисту та підсилення будівель та споруд станційних комплексів, що руйнуються від спільної дії електричного струму, вібрації, ґрунтових вод / УкрДАЗТ; ЦБМЕС УЗ.- Затв. 01.12.2008. – Харків, 2008. – 83 с.

13. Споруди транспорту. Захист конструкцій будівель і службово-технічних споруд залізничного транспорту від агресивних дій: Галузеві будівельні норми України (проект) / Головне управління будівельно-монтажних робіт і цивільних споруд Укрзалізниці; УкрДАЗТ. – Харків, 2010. – 199 с.

14. Рекомендації із захисту від електрокорозії конструкцій шляхопроводів, на яких закріплена контактна мережа / УкрДАЗТ; ЦП УЗ. – Затв. 20.12.2011. – Харків, 2011. – 29 с.

15. Рекомендації із захисту та підсилення конструкцій пасажирських платформ на електрифікованих ділянках залізниць / УкрДАЗТ; ЦБМЕС УЗ. – Затв. 20.12.2011. – Харків, 2011. – 26 с.

16. Капітальний ремонт водопропускної труби на 111 км дільниці Харків-Куп'янськ: Роб. проект П/П-062975/НЮ від 25.12.2006 і вик. док. №П/П-07587/НЮ від 23.03.2007 / СУНЦЗТ ХарДАЗТ.- Харків, 2007.

17. Капітальний ремонт верхової частини водопропускної труби на 365 км дільниці Основа – Букіне: Роб.проект №П/П-062974/НЮ від 25.12.2006 і вик. док. №П/П-07586/НЮ від 23.03.2007 / СУНЦЗТ ХарДАЗТ.- Харків, 2007.

18. Капітальний ремонт водопропускної труби на 19 км дільниці Харків – Люботин: Роб. проект і вик. док. № П/П-071913/НЮ від 16.06.2007 / УкрДАЗТ, 2007.

19. Експериментальний ремонт дослідної ділянки залізобетонного шляхопроводу №26 на перегоні ст. Сартана – ст. Сортувальна: Креслення, технол. схеми, склади рем. матер., кошт. док. за г/д №6/10-07 / УкрДАЗТ.- Харків, 2007.

20. Підсилення існуючих залізобетонних конструкцій автодорожнього шляхопроводу через залізничні колії станції Лозова на 928 км дільниці Харків – Лозова: Робочий проект № П-05-06/1987 (6/1-2010) / УкрДАЗТ.- Харків, 2010.

21. Лютий В.А. Улаштування, експлуатація та реконструкція інженерних споруд: Навч. посібник / В.А.Лютий, А.В.Никитинський, О.А.Дудін. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Ч.1. – 253 с.

22. Плугин А.Н. Механизм разрушения кирпичной кладки водопропускной трубы переменным блуждающим током или током утечки / А.Н.Плугин, А.А.Плугин, О.С.Герасименко, А.А. Дудин, Ал.А.Плугин // Науковий вісник будівництва.- Харків: ХДТУБА; ХОТВ АБУ, 2007. – Вип.42. – С.112–119.

23. Плугин А.А. Теоретические предпосылки защиты бетонных, железобетонных и каменных конструкций от переменных токов утечки / А.А.Плугин, А.А.Дудин, Ал.А.Плугин, А.Н.Плугин // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА; ХОТВ АБУ, 2008.- Вип.47. – С.179–184.

24. Плугин А.Н. Исследование влияния токов утечки и блуждающих токов на здания и сооружения, расположенные возле электрифицированных железнодорожных путей / А.Н.Плугин, Ал.А.Плугин, А.А.Дудин, О.С.Борзяк, А.А.Плугин, Д.А.Плугин // Вестник НТУ «ХПИ»: Сб. науч. тр. – Харьков, 2009. – Вып.40 (Тематический выпуск «Химия, технология и экология»). – С.88–104.

25. Плугин А.Н. Блуждающие токи на конструкциях, зданиях и сооружениях, расположенных вблизи электрифицированных постоянным током участках железных дорог / А.Н.Плугин, А.А.Плугин, О.А.Калинин, Д.А.Плугин, Ал.А.Плугин, А.А.Дудин, О.С.Борзяк // Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті: Зб.наук.праць.- Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип.109.- С.131-143.

26. Плугин А.Н. Электрическое сопротивление железобетонных шпал с различными типами рельсовых скреплений / А.Н.Плугин, А.А.Плугин, Ал.А.Плугин, А.А.Дудин // Зб.наук.праць.- Харків: УкрДАЗТ, 2009.- Вип.111.- С.245-261.

27. Плугин А.Н. Механизмы формирования структуры, прочности и долговечности стали и железобетона на основе электроповерхностного потенциала простых веществ / А.Н.Плугин, А.А.Плугин, Д.А.Плугин, Трикоз Л.В., Плугин Ал.А., Дудин А.А.// Науковий вісник ЛНАУ. – Луганськ, 2010. – Вип.14. – С.250–270.

28. Плугин А.Н. Исследование влияния переменного электрического поля в бетоне на его электрокоррозию / А.Н.Плугин, А.А.Плугин, А.А.Дудин, Ал.А.Плугин, О.С.Борзяк, А.А.Конев // Вісник ОДАБА. – Одеса, 2010. – Вип.43. – С.517–524.

29. Плугин Ал.А. Защита металлических и железобетонных сооружений железнодорожного транспорта от электрокоррозии с помощью диодного заземления / Ал.А.Плугин, О.С.Борзяк, А.А.Дудин, А.А.Конев, А.А.Плугин // Зб.наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип.127. – С.204–212.

30. Дудін О.А. Дослідження руйнівних факторів на будівлі та споруди станційних комплексів залізниць / О.А. Дудін, Є.О. Мовчан, О.О. Султанова // Зб.наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип.103. – С.228–235.

31. Пат.87795 UA Рідкоскляна композиція. МПК С04В28/26 Е01С21/00 / А.А.Плугін, А.М.Плугін, О.С.Герасименко, Л.В.Трикоз, С.В.Мірошніченко, О.А.Калінін, Д.А.Плугін, О.А.Дудін, В.А.Лютій, О.А.Плугін.- Заявл.07.10.2008. – Заявка № а200811931. – Опубл.10.08.2009. – Бюл.№15.

32. Пат.88998 UA Спосіб визначення електрокорозійної стійкості захисних покриттів. МПК Е04В1/66 Е04В 1/62 / А.А.Плугін, А.М.Плугін, І.В.Потележнікова, О.В.Афанасьєв, Ю.М. Горбачова, С.В.Мірошніченко, Д.А.Плугін, О.А.Плугін, О.А.Дудін, О.С.Борзяк. – Заявл.07.10.2008. – Заявка №а200811897. – Опубл.10.12.2009.- Бюл.№23.

33. Пат.94875 UA Спосіб вимірювання вологості і визначення вологісного стану ґрунтів, у тому числі на глибині / А.А. Плугін, А.Н. Плугін, О.С. Герасименко, Л.В. Трикоз, Д.А. Плугін, О.А. Дудін, О.А. Плугін, В.А. Лютій. – Опубл. Бюл. № 11, 10.06.2011.

34. Плугін А.А. Дослідження можливості виробництва залізобетонних шпал за безпропарувальною технологією / А.А.Плугін, А.М.Плугін, О.В.Романенко, В.О.Яковлев, О.С.Борзяк, О.А.Плугін, О.А.Дудін // Удосконалення конструкції залізничної колії та системи ведення колійного господарства: Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. – Вип.91. – С.211–224.

35. Палій В.В. Дослідження спільної дії вібрації і обводнення на будівлі та споруди станційних комплексів / В.В.Палій, А.А.Плугін, О.А.Плугін, О.А.Дудін // Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті: Зб.наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип.109. – С.151–167.

36. Plugin A.N. Research of influence of leakage currents and stray currents on railways on buildings and constructions / A.N.Plugin, A.A.Plugin, O.Plugin, O.Dudin, O.Borzyak // 17 Internationale Baustofftagung, 23-26 September 2009, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. – Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2009. – Band 2. – P.1151–1156.

37. Плугин Ал.А. Влияние постоянного тока на бетон обводненных конструкций и сооружений, расположенных вблизи электрифицированных железнодорожных путей: Дисс... к.т.н. - 05.23.05. - Защ.23.09.10. - Харьков: УкрГАЖТ, 2010 . - 256 с.

38. Борзяк О.С. Механизм электрокоррозии бетона железобетонных конструкций в сложных условиях эксплуатации: Дисс... к.т.н.- 05.23.05.- Защ. 30.09.10.- Харьков: УкрГАЖТ, 2010.- 240 с.

39. Защита подземных трубопроводов от коррозии. Сборник... коррозия блуждающими токами // <http://www.zodchii.ws/books/info-196.html>

40. Высоковольтная линия постоянного тока // [ru.wikipedia.org/...](http://ru.wikipedia.org/)

41. Территория Нефтегаз – Новое оборудование для защиты...// <http://neftegas.info/page.php?id=7521>

42. Corrosion influenced by alternating current (AC) // info.tuwien.ac.at/.../forschung/accorr.html.

43. Про подстанции... // railway.te.ua/subst53.htm

44. Теория – ООО Предприятие Электрохимзащита г. Уфа... // www.elhim.ru/index.php.

45. Справочник по электроснабжению железных дорог / Под ред. К.Г. Марквардта. – М.: Транспорт, 1981. – Т.2. – 392 с.

46. Подтележникова И.В. Защитные составы для железобетонных и стальных конструкций мостов и других сооружений, эксплуатируемых в

условиях обводнения и токов утечки: Дисс. к.т.н. – 05.23.05. – Харьков: УкрГАЗТ. – 2008. – 237 с.

47. Плугин А.Н. Механизм электрокоррозии бетонных конструкций пульсирующим однонаправленным блуждающим током или током утечки / А.Н.Плугин, А.А.Плугин, С.В.Мирошниченко и др.// Науковий вісник будівництва. - Харків: ХДТУБА; ХОТВ АБУ, 2007. – Вип.42. – С.106–111.

48. Устройство контактной подвески в искусственных сооружениях // domremstroy.ru/zeldor/rels21.htm.l.

49. Монтаж контактной сети в искусственных сооружениях – СЦБИСТ // scbist.com/.../7252-statya-mont...oruzheniyah.html.

50. Поддерживающие конструкции My test site. rzd.wmsite.ru/.../podderzhivajusche-konstrukcii/

51. Correlation of Corrosion Measurements and Bridge Conditions with NBIS... scholar.lib.vt.edu/.../unrestricted/ARTHESIS.pdf.

52. Реферат -... сети переменного тока на металлические сооружения... www.webkursovik.ru/kartgotrab.asp?id=2296

53. ЦЭ 518 Инструкция по защите железнодорожных подземных сооружений от коррозии блуждающими токами / МПС РФ. – М.,1997.

54. ГОСТ 9.602-2005 Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии.

55. Коррозия и защита оборудования от коррозии: Учебное пособие // t...window.edu.ru/window/library/?p_id=13969&p_page=20.

56. Камчатная С.Н. Долговременная ползучесть и бетоны с низкой деформативностью. Дисс... к.т.н. – 05.23.05. – Харьков: УкрГАЗТ. – 2005. – 247 с.

57. Лютый В.А. Повторяющаяся быстронатекающая ползучесть бутовой кладки мостовых опор при механоэлектрических воздействиях: Дисс... к.т.н. – Харьков: УкрГАЗТ. – 2007. – 201 с.

58. Плугин А.Н. Долговременная ползучесть бетона и напряженно-деформированное состояние железобетонных изделий и конструкций / А.Н.Плугин, А.А.Плугин, С.Н.Кудренко, О.А.Калинин, С.В.Мирошниченко,

Л.В.Трикоз, А.В.Никитинский, В.А.Лютый // Зб.наук. праць.- Харків: ХарДАЗТ, 2004.- Вип.63. – С.5–42.

59. Брунауэр С. Гидратация трехкальциевого и β -двухкальциевого силиката в температурном интервале 5-50С / С.Брунауэр, Д.Л.Кантро // Химия цементов. Под ред. Х.Ф.У.Тейлора. – М: Стройиздат, 1969. – С.214-232.

60. Шейкин А.Е. Структура и свойства цементных бетонов. / А.Е.Шейкин, Ю.В.Чеховский, М.И.Бруссер. – М.: Стройиздат, 1979. – 344 с.

61. Духин С.С. Диэлектрические явления и двойной слой в дисперсных системах и полиэлектrolитах / С.С.Духин, В.Н.Шилов. – К.: Наук. думка, 1972. – 204 с.

62. Плугин А.Н. Электрогетерогенные взаимодействия при твердении цементных вяжущих: Дисс... д.х.н.: 02.00.11. – Харьков: ХИИТ, 1989. – 282 с.

63. Плугин А.Н. Об электроповерхностном потенциале твердой фазы в цементно-водных системах / А.Н.Плугин, А.А.Плугин // Сб.тр. по техн. химии.- Киев, УкрХО, 1997. – С.363–367.

64. Бирюков А.И. О механизме электровоздействия на ранней стадии твердения цемента / А.И.Бирюков, А.Н.Плугин, И.А.Чулков // Повышение долговечности бетона транспортных сооружений: Межвузовский сборник.- МИИТ, 1980. – Вып.662. – С.59–66.

65. ТУ У 45.2-01116472-105:2006 Склади захисні кольорові ЗС-1М і ЗС-3М для бетонних, залізобетонних і металевих конструкцій. Технічні умови. – Харків: УкрДАЗТ, 2006. – 33 с.

66. ДСТУ Б В.2.7-42-97 "Методи визначення водопоглинання, густини і морозостійкості будівельних матеріалів і виробів "

67. А.с.1561661 SU Способ определения водопроницаемости бетона. Способ определения водопроницаемости бетона / Плугин А.Н., Т.Г.Сацук, А.И.Бирюков, Н.В.Вдовенко, Овчаренко Ф.Д., Стифеев В.А., Бакаев С.А. – Заявл. 23.12.1987.

68. ГОСТ 12730.4-78 Бетоны. Методы определения показателей пористости // Бетон и железобетонные изделия. – М.: Изд-во стандартов, 1980.– Ч.3. – С.138–145

69. Горшков В.С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ / В.С. Горшков, В.В. Тимашев, В.Г. Савельев. – М.: Высш. школа, 1981. – 335 с.
70. Ларионова З.М. Методы исследования цементного камня и бетона. – М.: Стройиздат, 1970. – 159 с.
71. ...так и на переменном токе) ВЛ82м, локомотивное депо Основа, Купянск... // portal-sab.org.ua/zhd/1770-yelektroaoz-vl82m.html.
72. Дистлер Г.И. Декорирование поверхности твердых тел / Г.И.Дистлер, В.П.Власов, Ю.Л.Герасимов и др.- М.: Наука, 1976.- 111 с.
73. ТУ У 01116472.042-2000 Склад захисний ЗС-3 для вологих та мокрих поверхонь залізобетонних конструкцій. Технічні умови / ХарДАЗТ. – Увед. 01.05.2000. – Харків, 2000. – 14 с.
74. Вайнер А.Л. Стеkanie тока с элементов железобетонных фундаментов опор линий электропередачи / Электричество. – 1960. – №12. – С.34.
75. Котельников А.В. Коррозия и защита сооружений на электрифицированных железных дорогах./ А.В.Котельников, В.И.Иванова, Э.П.Селедцов и др. – М.: Транспорт, 1974. – 150 с.
76. СНиП 2.05.03-84* Мосты и трубы / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 200 с.
77. ДБН В.2.3-14:2006 Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування / НТУ. – Київ: Мінбудархжиткомгосп, 2006. – 359 с.
78. Инструкция по защите от электрокоррозии арматуры подземных железобетонных напорных трубопроводов. – М.: ОНТИ АКХ, 1970. – 24 с.
79. ЦЭ 3551 Инструкция по защите железнодорожных подземных сооружений от коррозии блуждающими токами / МПС СССР. – М.: Транспорт, 1979. – 89 с.
80. The NACE Annual Conference and Corrosion Show, 11–15.03.1995, Cincinnati Convention Center, Cincinnati, Ohio. – 1995. – P.519.

81. Старосельский А.А. Коррозия и долговечность железобетона в условиях электрических воздействий: Дис... д.т.н.: 05.23.05. – Х.: ХИИТ, 1989. – 282 с.

82. Котельников А.В. Блуждающие токи электрифицированного транспорта / Котельников А.В.– М.: Транспорт, 1986. – 279 с.

83. Старосельский А.А. Электрокоррозия железобетона. – Киев: Будівельник, 1978. – 168 с.

84. Старосельский А.А. Повышение долговечности железобетонных конструкций электрифицированного транспорта / А.А. Старосельский, А.П. Сивцов, И.Б. Дмитриев. – Харьков: ХИИГХ, 1989. – 76 с.

85. Старосельский А.А. Методы защиты от электрокоррозии под действием блуждающих токов: Учебное пособие / А.А. Старосельский, В.А. Шмалько, А.Э. Гвоздев. – Х.: ХПИ, 1980. – 46 с.

86. Старосельский А.А. Бетоны с улучшенными электроизоляционными свойствами для защиты от коррозии / А.А. Старосельский, И.Б. Дмитриев, А.П. Сивцов. – Харьков: ХИИГХ, 1986. – 48 с.

87. Артамонов В.С. Защита от коррозии железобетона транспортных сооружений / В.С.Артамонов, Г.М.Молгина. – М.: Стройиздат, 1976. – 192 с.

88. Бутт Ю.М. Влияние импульсного электрического поля на кинетику гидратации и твердение структуры цементного камня / Ю.М. Бутт, В.М. Колбасов, А.М. Левшин // Изв. вузов. Строительство и архитектура, 1973. – №9. – С.65–68.

89. Горбачева Ю.Н. Механизм коррозии стали под защитным покрытием и разработка эпоксикаменноугольного покрытия на основе обезвоженной каменноугольной смолы: Дисс... к.т.н. – 05.23.05. – Харьков: УкрГАЖТ, 2010. – 241 с.

90. Афанасьев А.В. Цеолитонаполненные эпоксидно-каменноугольные покрытия для защиты от электрокоррозии: Дисс... к.т.н. – 05.23.05. – Харьков: УкрГАЖТ, 2010. – 229 с.

91. Михайловский Ю.Н. Электрохимический механизм коррозии металлов под действием переменного тока // Коррозия металлов и сплавов. – М. : Metallurgizdat, 1963. – 300 – С.88. Никифорова Е.Ю. Закономерности электрохимического поведения металлов при наложении переменного тока / Е.Ю.Никифорова, А.Б.Килимник // Вестник ТГТУ. – 2009. – Т.15. – № 3. – С.604–614.

92. Corrosion influenced by alternating current (AC) // info.tuwien.ac.at/.../forschung/accorr.html.

93. Kruger S. Corrosion of Metals by Applied Alternating Currents / S.Kruger, C.E.Bird // British Corrosion jour. - №13. – Т.163. – 1978.

94. Каданер Л.И. Разрушение платины при наложении переменного тока / Л.И. Каданер, Т.Н. Загребская, И.П. Владимирова // Журн. прикл. химии. – 1967. – № 6. – С. 118–121.

95. Гуриев Р.А. Электрохимическое растворение вольфрама под действием переменного тока / Р.А. Гуриев, М.И. Алкацев // Изв. ВУЗов. Цветн. металлургия. – 1980. – №1. – С. 61–64.

96. Михайловский Ю.Н. Растворение титана под действием переменного тока. / Ю.Н. Михайловский, Г.Г. Лоповок, Н.Д. Томашев // Коррозия металлов и сплавов. – М. : Металлургия, 1963. – С. 263–265.

97. Гуриев Р.А. Влияние частоты переменного тока на электрохимическое растворение тугоплавких металлов / Р.А. Гуриев, А.Д. Подгорелый // Изв. ВУЗов. Цветн. металлургия. – 1982. – №3. – С.45–48.

98. Михайловский Ю.Н. Влияние частоты переменного тока на скорость растворения металлов / Ю.Н.Михайловский, Н.М.Струкалов, Н.Д.Томашев // Коррозия металлов и сплавов. – М. : Металлургия, 1969. – С.267–279.

99. Михайловский Ю.Н. Влияние переменного тока на скорость коррозии металлов под действием переменного тока низкой частоты // Журн. прикл. химии. – 1964. – Т. 37. – С. 267.

100. Бирюков А.И. О механизме электровоздействия на ранней стадии твердения цемента / А.И.Бирюков, А.Н.Плугин, И.А.Чулков // Повышение долговечности бетона транспортных сооружений: Межвуз.сб.науч.тр. - М.: МИИТ, 1980. – С.59.

101. Бирюков А.И. Повышение долговечности бетона с помощью электрического поля критической частоты / А.И.Бирюков, Арк.Н.Плугин, И.А.Чулков // Повышение долговечности бетонов транспортных сооружений: Межвуз. сб. научн. тр.- М.: МИИТ, 1962. – Вып.714. – С.57.

102. А.с.1158552 SU Способ обработки цементной бетонной смеси / А.Н.Плугин, И.А.Чулков, А.И.Бирюков, С.С.Духин, Ф.Д.Овчаренко и др. – 1985. – Бюл.№20.

103. Бирюков А.И. Исследования влияния частоты электрического поля на твердение вяжущих / А.И.Бирюков, Арк.Н.Плугин, А.А.Старосельский // Коллоид.журн. – 1980. – №42. – С.326.
104. Григоров О.Н. Электрокинетические явления. – Л.: Изд ЛГУ, 1973. – 198 с.
105. Дамаскин Б.Б. Электрохимия / Б.Б.Дамаскин, О.А.Петрий. – М: Высшая школа, 1987. – 295 с.
106. Багоцкий В.С. Основы электрохимии. М: Химия, 1988. – 400 с.
107. Плугин А.Н. Развитие коллоидной химии и физико-химической механики для строительных материалов и конструкций / А.Н.Плугин, А.А.Плугин, Ал.А.Плугин // Зб.наук.праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип.125. – С.108–139.
108. Булычев В.П. Состояние квантово-химической теории водородной связи / В.П.Булычев, Н.Д.Соколов // Водородная связь. – М.: Наука. – С.10.
109. de Grothuss C.J.T. (1806) Sur la décomposition de l'eau et des corps qu'elle tient en dissolution à l'aide de l'électricité galvanique // Ann. Chim. – 58:54. –73.
110. Привалов П.Л. Вода и ее роль в биологических системах / Биофизика. – Т.1. - Вып. 1. – 1968. – С.163–177.
111. Пааш Г. Поверхности твердых тел / Г.Пааш, М.Хитшольд // Достижения электронной теории металлов. – М.: Мир, 1984. – С.466.
112. Эстрела-Льопис В.Р. / В.Р.Эстрела-Льопис, С.С.Духин, В.Н.Шилов // Коллоид. журн. – 1974. – Т.30. – С.328–332.
113. Пособие по проектированию защиты от коррозии бетонных и железобетонных строительных конструкций (к СНиП 2.03.11-85) / НИИЖБ. – М., 1987.
114. Ратинов В.Б. Добавки в бетон / В.Б.Ратинов, Т.И.Розенберг. – М.: Стройиздат, 1973. – 207 с.
115. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии. – Л.: Химия, 1984. – 368с.

116. Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии. – М.: Химия, 1976 . – 511 с.
117. Щукин В.Д. Коллоидная химия / В.Д.Щукин, А.В.Перцов, Б.А.Амелина. – М.: Высшая школа, 2006. – 444 с.
118. Братчун В.І. Фізико-хімічна механіка будівельних матеріалів / В.І.Братчун, В.О.Золотарьов, М.К.Пактер, В.Л.Беспалов. – Макіївка: ДонНАБА, 2006. – 303 с.
119. Духин С.С. Электропроводность и электрокинетические свойства дисперсных систем. – К.: Наук. думка, 1975. – 246.
120. СНиП 2.03.11-85 Защита строительных конструкций от коррозии / Госстрой СССР.- М.: Стройиздат, 1985. – 45 с.
121. Технология изготовления железобетонных шпал | ООО "Инвест...
www.rostov-invest.ru/index.php?id=2.
122. Губкин А.Н. Физика диэлектриков. – М.: Высшая школа, 1971. – 272 с.
123. Илюхин В.В. Гидросиликаты кальция. Синтез и кристаллохимия / В.В.Илюхин, В.А.Кузнецов, А.Н.Лобачев, В.С.Бакщотов. – М.: Наука, 1979. – 185 с.
124. Ахадов Я.Ю. Диэлектрические свойства бинарных растворов. – М.: Наука, 1977. – 399 с.
125. Сканапи Г.И. Физика диэлектриков (Область слабых полей). – М.–Л.: Госиздат технико-теорет. лит-ры, 1949. – 500 с.
126. Юхневич Г.В. Структура и организация воды // Журн. структ. химии. – 1984. – 25. – №2. – С.71.
127. Эйзенберг Д. Структура и свойства воды / Д.Эйзенберг, В.Кауцман. – М.: Наука, 1973. – 280 с.
128. Бернал Дж.Д. Структура жидкостей // Квантовая макрофизика. – Вып.5. – М., 1967.
129. Смит К. Дипольный момент, диэлектрические потери и молекулярные взаимодействия // Молекулярные взаимодействия. – М.: Мир, 1984. – С.306.

130. Ансельм А.И. // ЖЭТФ. – 1938. – 13. – №11–12. – С.432.
131. Браун В. Диэлектрики. – М.: ИЛ, 1962. – 325 с.
132. Структурированная вода -... гексагональной макрокластерной структурой... // bronnikov.kiev.ua/srtucturator_6.php
133. Растум Рой Структурированная вода – основа гармонизированной жизни организма... // bronnikov.kiev.ua/srtucturator_6.php.
134. Мосин О.В. О структуре воды. Все про воду // provodu.kiev.ua/oleg-mosin/o-strukture-vody/
135. Зенин С.В. Гидрофобная модель структуры ассоциатов молекул воды / С.В.Зенин, Б.В.Тяглов // Ж.физ.химии. – 1994. – Т.68. – №4. – С.636–641.
136. Дерягин Б.В. Поверхностные силы / Б.В.Дерягин, Н.В.Чураев, В.М.Муллер. – М.:Наука, 1987. – 399 с.
137. Kirkwood J.G.J. // Chem.Phys. – V.1. – 1936. – P.911.
138. Краткий справочник физико-химических величин. – Л.: Химия, 1983 . – 231 с.
139. Orion – Схемы... // orion.ucoz.com/.../48-1-0-112.
140. Плугин А.А. Долговечность бетона и железобетона в обводненных сооружениях: Коллоидно-химические основы. Дисс. ... д.т.н.- Харьков: УкрГАЗТ, 2005. – 442 с.
141. А.с. 94042090 SU Способ определения водонепроницаемости бетона и изделий / Плугин А.Н., Прокопова И.Г., Косинов Д.Н. – Заявл. 15.04.94. – Опубл. 25.12.98. – Бюл. № 6.
142. Кухлинг Х. Справочник по физике. – М.: Мир, 1965. – 519 с.
143. Герасименко О.С. Увеличение проникающей способности и прочности жидкого стекла: Дисс... к.т.н. – 05.23.05. – Харьков: УкрГАЗТ, 2008. – 231 с.
144. Пат.78666 UA Упругое рельсовое крепление PRS-4 / А.Н.Плугін, О.І. Белорусов, С.В.Мірошніченко, О.А.Калінін, А.А.Плугін, Д.А.Плугін,

В.А.Лютий, А.В.Никитинський, Ю.М.Федюшин, П.В.Рагулін,
А.О.Івановський. – Опубл.10.04.2007. – Бюл.№4.

145. Пат.78667 UA Шпала Ш-1-1-PRS / А.Н.Плугін, А.А.Плугін, О.І. Белорусов, С.В.Мірошніченко, О.А.Калінін, Д.А.Плугін, П.В.Рагулін. – Опубл.10.04.2007. – Бюл.№4.

146. Пат.58250 UA Спосіб ремонту шпал або інших підрейкових основ (варіанти) / А.М.Плугін, Ю.П. Либенко, О.І. Белорусов, О.М. Жученко, Рибко О.В., С.В.Мірошніченко, О.А.Калінін, А.А.Плугін, Д.А.Плугін, В.А.Лютий, А.В.Никитинський, Ю.М.Федюшин, М.Д.Костюк, В.О.Яковлев, Г.О.Линник, А.О.Івановський, В.О.Голубєв, В.Г.Міщенко. - Опубл.15.12.2005. – Бюл.№7.

147. ДСТУ Б В.2.7-61-97 Кирпич и камни керамические рядовые и лицевые / Держкоммістобудування України – Київ: 1997. – 20 с.