

УДК 620.193.7

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.143.2014.79031>

РАЗРАБОТКА СХЕМ ПРОТЕКАНИЯ ПОСТОЯННЫХ ТОКОВ УТЕЧКИ ЧЕРЕЗ БЕТОННЫЕ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Д-р хим. наук А.Н. Пругин, д-р техн. наук А.А. Пругин, кандидаты техн. наук Д.А. Пругин, Л.В. Трикоз, Ал.А. Пругин

РОЗРОБЛЕННЯ СХЕМ ПРОТІКАННЯ ПОСТІЙНИХ СТРУМІВ ВИТОКУ КРІЗЬ БЕТОННІ Й ЗАЛІЗОБЕТОННІ КОНСТРУКЦІЇ

Д-р хім. наук А.М. Пругін, д-р техн. наук А.А. Пругін, кандидати техн. наук Д.А. Пругін, Л.В. Трикоз, Ол.А. Пругін

DEVELOPMENT OF FLOW ROUTES OF DC LEAKAGE CURRENT THROUGH CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTIONS

Doct. of chem. sciences A.N. Plugin, doct. of techn. sciences A.A. Plugin, candidates of techn. sciences D.A. Plugin, L.V. Trykoz, Al.A. Plugin

Установлено, что одной из основных причин повреждений и преждевременного снижения долговечности бетонных и железобетонных конструкций сооружений, эксплуатируемых на железных дорогах Украины, электрифицированных постоянным током, является несовершенство теории электрокоррозии бетона и железобетона и конструкций из них. В рамках развития новых теоретических представлений разработаны принципиально отличающиеся от существующих новые схемы протекания электрокоррозионноопасных токов утечки с рельсов, токов от электрополя контактных проводов, а также от избыточных зарядов Земли природного и антропогенного характера.

Ключевые слова: электрокоррозия бетона и железобетона, токи утечки, мост, тоннель, пассажирские платформы, схемы протекания.

Встановлено, що однією з основних причин пошкоджень і передчасного зниження довговічності бетонних і залізобетонних конструкцій споруд, які експлуатуються на залізницях України, що електрифіковані постійним струмом, є недосконалість теорії електрокорозії бетону й залізобетону і конструкцій з них. У рамках розвитку нових теоретичних уявлень розроблено нові схеми, що принципово відрізняються від існуючих, протікання електрокорозійнонебезпечних струмів витоку з рейок, струмів від електрополя контактних проводів, а також від надмірних зарядів Землі природного й антропогенного характеру.

Ключові слова: електрокорозія бетону і залізобетону, струми витоку, міст, тунель, пасажирські платформи, схеми протікання.

It is found that one of the main causes of premature damage and reduce durability of concrete and reinforced structures, that are maintained on the railways of Ukraine, that electrified by a DC, is the imperfection of the electrocorrosion theory of concrete and reinforced concrete structures and constructions of them. The leakage current is a very corrosion-dangerous item for concrete and reinforced concrete, that are work in dry and wet condition. As part of the development of theory a new scheme of flow routes are developed, that different from existing schemes. It is the schemes for corrosion due to leakage-current from the rails, currents from electric field from contact wires, as well as the Earth's excess charges of natural and anthropogenic character.

Keywords: electro-corrosion of concrete and reinforced concrete, leakage current, bridge, tunnel, passenger platforms, flow routes

Введение. Постановка проблемы в общем виде, ее связь с важными научными и

практическими задачами. На основании длительных исследований состояния бетонных

и железобетонных конструкций сооружений, эксплуатируемых на железных дорогах Украины, электрифицированных постоянным током, установлено, что одной из основных причин повреждений и преждевременного снижения долговечности указанных конструкций является несовершенство теории электрокоррозии бетона и железобетона и конструкций из них. В наибольшей степени это относится к обводненным конструкциям.

Анализ последних исследований и публикаций. Одним из фрагментов несовершенства теории является несоответствие схем протекания токов утечки

через конструкции, в частности представленных на рис. 1, 2 [1, 2].

Это обусловлено, на наш взгляд, тем что:

- бетон рассматривается как электрическое активное сопротивление, намного порядков большее, чем сопротивление арматуры, но намного меньшее, чем сопротивление изоляторов;

- токи от контактных проводов через воздух попасть на конструкции не могут из-за считающегося бесконечным сопротивления воздуха;

- бетон как таковой считается неподверженным электрокоррозии.

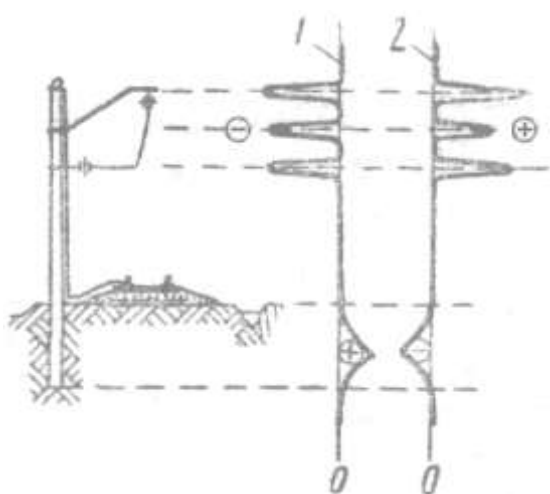
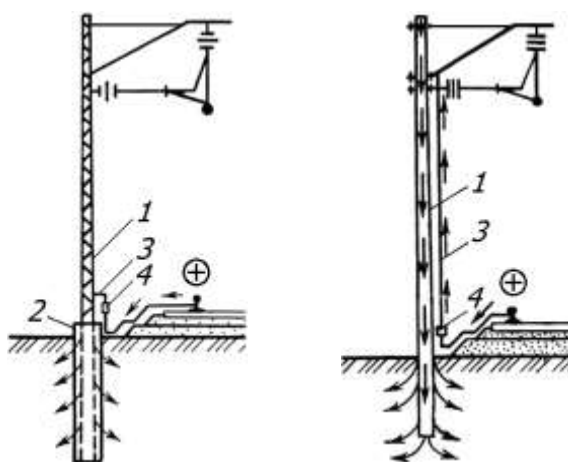


Рис. 1. Распределение зон утечки тока и протекания вдоль арматуры опоры при положительных (1) и отрицательных (2) значениях потенциалов «рельс-земля» [1]



1 – опора; 2 – фундамент; 3 – заземляющий проводник; 4 – поврежденный искровой промежуток
Рис. 2. Схема стекания тока с рельсов через фундаменты металлических (а) и железобетонных (б) опор при неисправной изоляции [2]

Подобные схемы представлены и для других конструкций, в частности мостов, железобетонных шпал и др. В этих схемах предполагается, что ток утечки протекает только по арматуре, которая при этом подвергается электрокоррозии. Однако для сложных условий эксплуатации (сочетание обводнения конструкций со значительными токами утечки с рельсов) эти пути не соответствуют действительным путям протекания тока утечки.

Особенностью действия постоянного тока на электрифицированных путях является то, что в действительности это не постоянный, а пульсирующий однонаправленный

постоянный ток. При таком токе и обводненности бетон обладает очень высокой емкостной проводимостью, обусловленной его гигантской диэлектрической проницаемостью, что в условиях пульсирующего однонаправленного постоянного тока создает сопоставимую с активной и даже превышающую ее емкостную проводимость $2\pi fC$. Кроме того, на основе выполненных аналитических исследований нами установлено, что интенсивную электрокоррозию железобетонных конструкций вызывают также природные и антропогенные избыточные заряды в верхних слоях грунта.

Определение цели и задачи исследования. С учетом изложенного нами разработаны принципиально отличающиеся от существующих новые схемы протекания электрокоррозионноопасных токов утечки с

рельсов, токов от электрополя контактных проводов, от избыточных зарядов Земли природного и антропогенного характера (рис. 3).

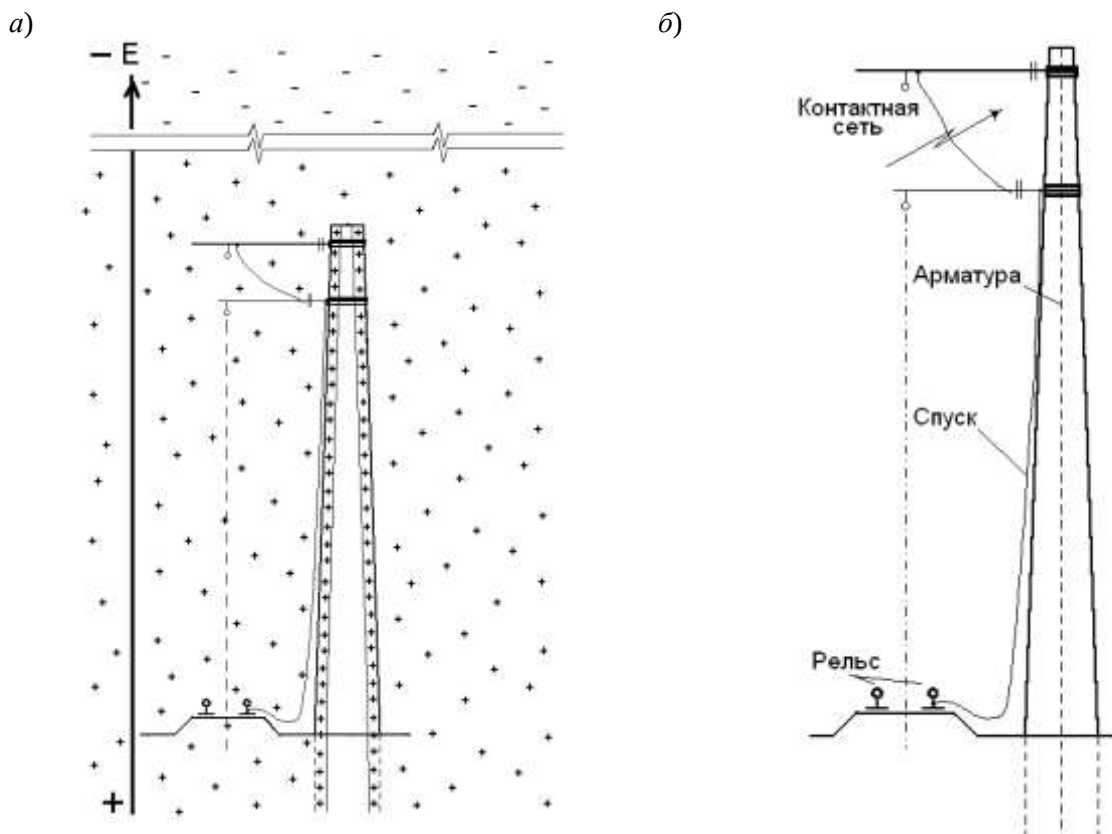


Рис. 3. Схема заземления консоли железобетонной опоры в обычных условиях (а) и при избыточном положительном заряде Земли (б) [3]

Согласно этим схемам и с учетом высокой емкостной проводимости бетона ток в железобетонных опорах и в поверхностных слоях фундаментов металлических опор, а также в других обводненных железобетонных конструкциях протекает по схемам с параллельным соединением активного и емкостного сопротивления арматуры, точнее, ее защитного слоя. При этом в связи с тем, что арматура в начале эксплуатации опоры или фундамента находится в щелочной среде бетона, электрокоррозии подвергается в первую очередь бетон.

Основная часть исследований. В железобетонных опорах контактной сети, для которых обнаружена высокая повреждаемость

от избыточного положительного заряда, возникающего при космическом запуске ракет, опора приобретает избыточный положительный заряд. В случае, когда комель опоры имеет исправную гидроизоляцию, это приводит в дождливую погоду к выносу катионов Ca^{2+} на поверхность опоры и их стеканию с водным потоком в грунт. Вслед за катионами в грунт стекают также гидроксильные ионы, т. е. протекает интенсивная электрокоррозия бетона в опорах. В сухую погоду токи от избыточного заряда на опоре стекают в грунт и достигают максимальных величин при высоком уровне грунтовых вод (рис. 4).

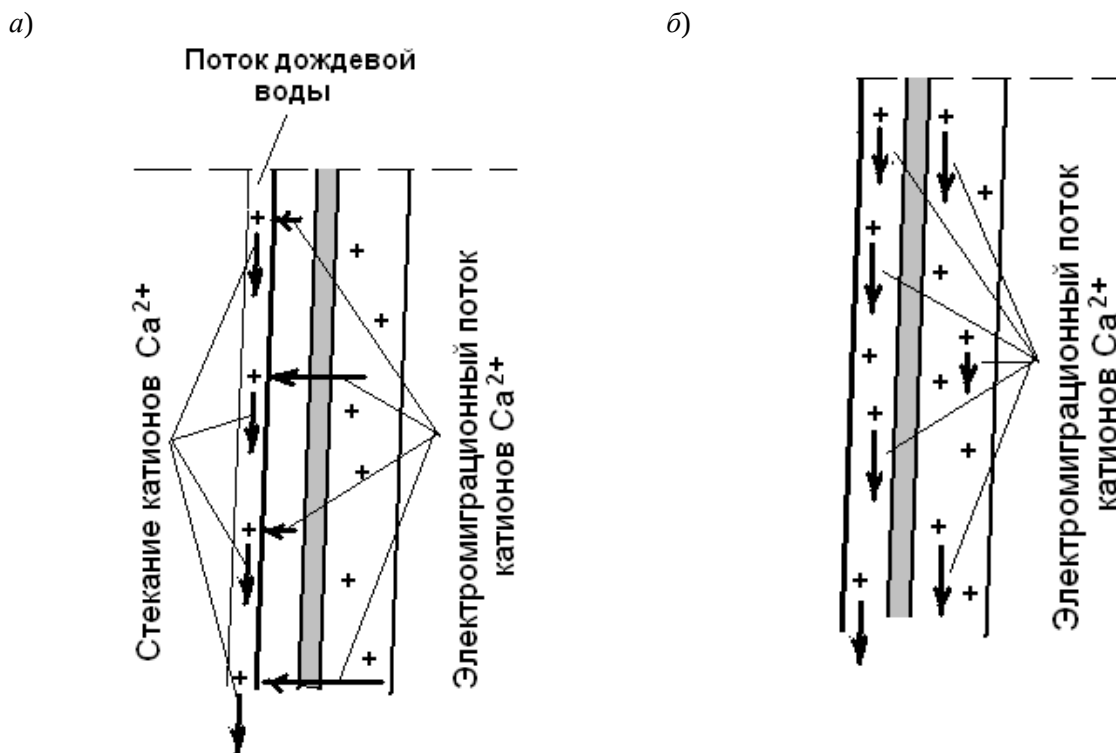


Рис. 4. Стеkanie токов при избыточном положительном заряде Земли в дождливую (а) и сухую (б) погоду

Избыточный положительный заряд может быть природным, например, у подножия гор или на побережье морей, океанов, больших рек и др. В этом случае избыточный положительный заряд накапливается в конструкциях обделки тоннеля. При поврежденной гидроизоляции обделки из бетона или раствора каменной кладки возникают электромиграционные потоки катионов Ca^{2+} , которые с потоками воды через обделку стекают внутрь тоннеля и уносятся за его пределы по водоотводным лоткам (рис. 5). То есть протекает электрокоррозия бетона и раствора, а также железобетона обделки тоннеля.

По схеме протекания тока утечки с рельсов по конструкциям высокой пассажирской платформы (рис. 6) ток с рельсов проходит через бетон и раствор, который является хорошим проводником электрического тока. Стеkanie тока утечки с конструкций проходит по кратчайшим путям с наименьшим сопротивлением. Таким местом является более близкий к ним торец бетонного блока-опоры. В период дождей по этому месту под действием постоянного потенциала на

рельсе возникает направленный поток катионов кальция Ca^{2+} , а за ними анионов OH^- из бетона опоры в землю, точнее в воду грунта, то есть протекает электрокоррозионное выщелачивание бетона.

Но при этом растет концентрация этих ионов в воде грунта, и электромиграционный поток останавливается, за счет чего останавливается электрокоррозионное выщелачивание бетона. Процесс выщелачивания и разрушения таким образом бетона опоры будет продолжаться лишь при условии отведения ионов из-под опоры в грунт, другими словами, когда возникает диффузионный поток ионов от опоры в грунт и растекание ионов в нем (по аналогии с сопротивлением растекания тока в грунте). При этом общий поток ионов из бетона опоры и, соответственно, скорость электрокоррозии бетона определяются коэффициентом диффузии ионов в грунте.

На скорость растекания ионов в грунте влияет также его влажность, скорость течения грунтовых вод, а потому и напор грунтовых вод, т. е. отношение разницы уровней грунтовой воды под платформой и в водоеме к

расстоянию между ним. Расположение водоема или водотока неподалеку от платформы обуславливает ускорение такого потока и, соответственно, ускорение вынесения ионов из бетона опор, т. е. электрокоррозию бетона.

По схеме протекания токов утечки с рельсов по конструкциям высоких пассажирских платформ с железобетонными стойками и ригелями (рис. 6) ток утечки попадает в конструкции в период дождя через мокрый от дождя грунт перед платформой и частично под ней через защитный слой бетона на стойку и через ее арматурный каркас в каркас железобетонного ригеля. Ригели и железобетонные ребристые плиты соединены друг с другом через закладные детали, которые приварены к их арматурным каркасам или соединены с каркасами другим способом. Следовательно, потенциал от рельса передается в арматурный каркас наружных граней плит по всей их поверхности. Поверхность грунта с наружной стороны платформы, как правило, переходит в откос, в связи с чем во время дождей с этой поверхности и на откосе

происходит вымывание катионов K^+ и Na^+ (в основном), и грунт имеет в этом месте избыточный отрицательный заряд. Соответственно, с боковой грани плиты возникает электромиграционный поток катионов Ca^{2+} из бетона и катионов Fe^{2+} из арматуры, т. е. электрокоррозия железобетона наружной грани железобетонной плиты. Согласно схеме протекания токов в конструкциях путепровода возникает поток ионов как от потенциала рельсов, так и от электрического поля контактного провода (рис. 7, а).

В условиях, когда под путепроводом сухие грунты (большинство путепроводов), на электрокоррозию их конструкций в большей степени влияют не токи утечки с рельса, а электрическое поле, наведенное контактными проводами. В этом случае большое значение имеет состояние балласта (загрязненность), состояние рельсовых креплений (повреждения) и удаленность путепровода от водоема или водотока (реки).

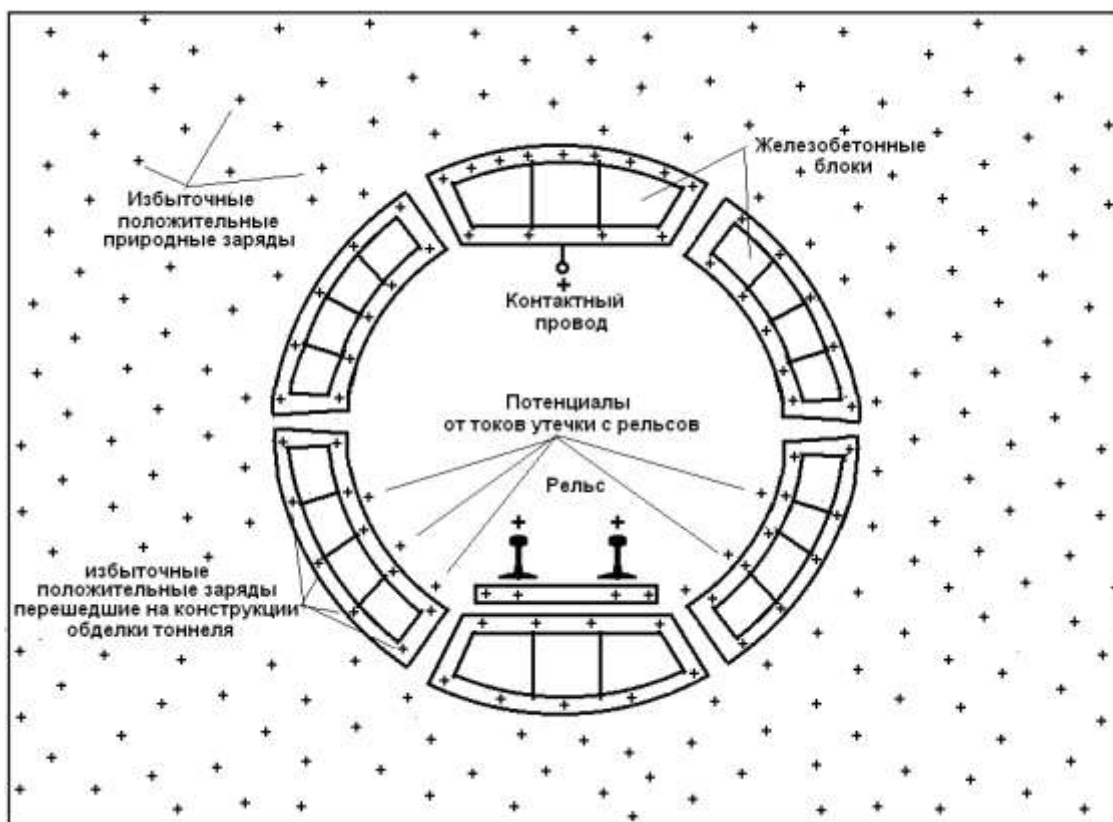


Рис. 5. Схема перетекания избыточного положительного природного заряда на конструкции обделки тоннеля

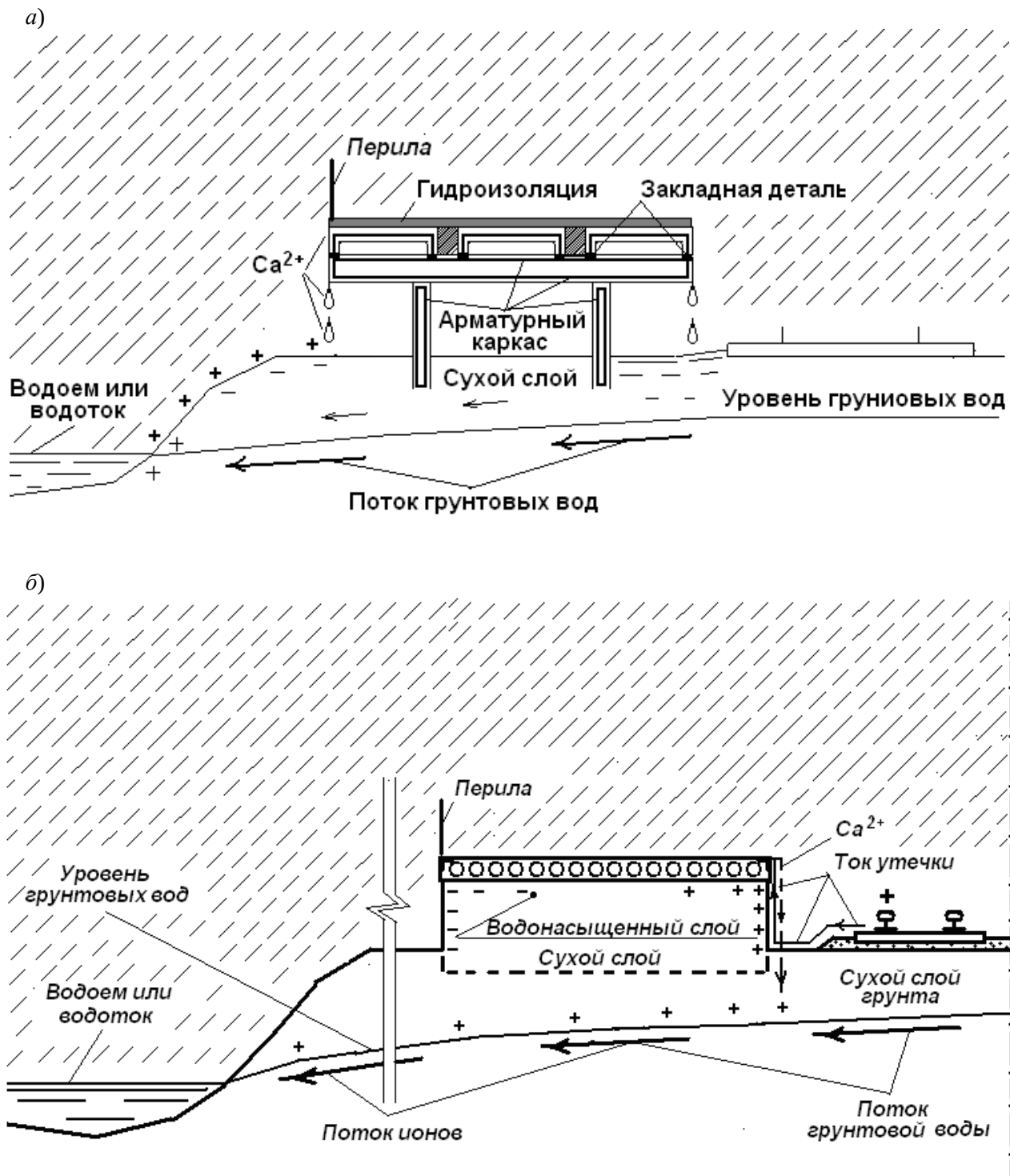


Рис. 6. Схема протекания тока утечки с рельсов в конструкции высокой пассажирской платформы с бетонными опорами (а) и с железобетонными стойками и ригелями (б)

Влияние водоемов и рек на электрокоррозию конструкций путепровода состоит в том, что под путепроводом грунт, как

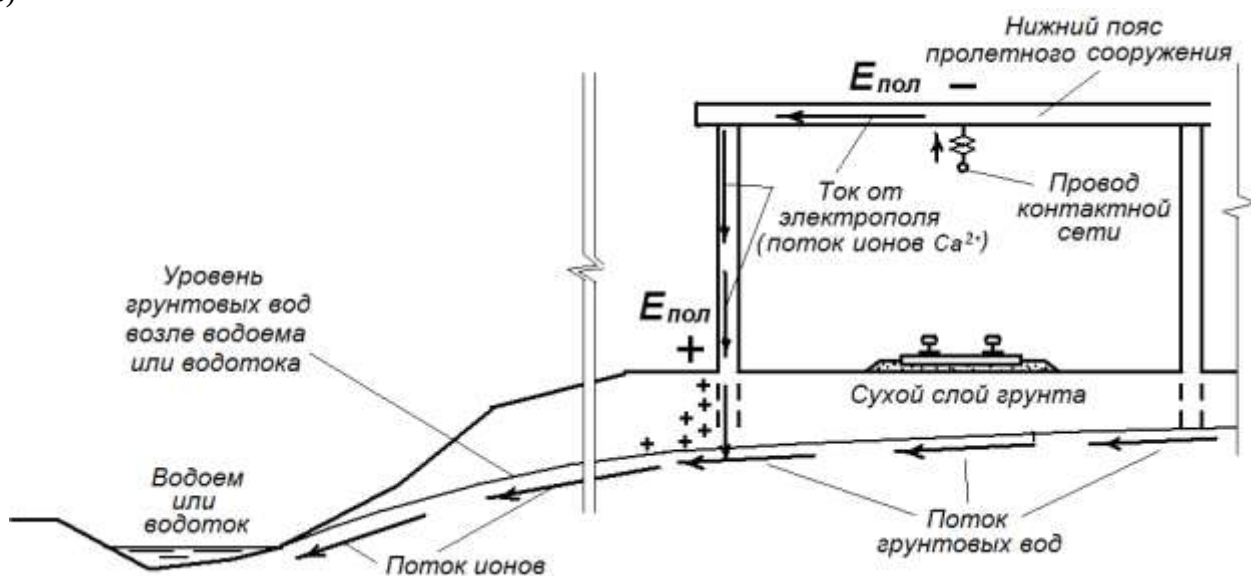
правило, является сухим, поэтому протекание тока утечки, возникающего от контактной сети, проходит по крайним конструкциям (опорам) в

грунт и грунтовую воду в водоем или реку (рис. 7, б). Такая зависимость подтверждается графиком на рис. 8, построенным нами по результатам исследований состояния конструкций высоких пассажирских платформ.

При креплении контактных проводов к опорам контактной сети схема протекания токов утечки по конструкциям мостов через речку на участках с положительным потенциалом существенно отличается (рис. 9). Токи утечки стекают с рельсов, проходят через элементы проезжей части, пролетные строения,

опоры и фундаменты и через них – в речку. На выходе из опоры или фундаментов в речку переходят электромиграционным путем ионы Ca^{2+} , а вслед за ними OH^- , возникает электрокоррозия бетона. При снижении pH и разуплотнении бетона возникает электрокоррозия арматуры. Кроме того, токи утечки могут протекать через плиту балластного корыта (при нарушенной гидроизоляции) и по боковым граням пролетного строения во время дождя.

а)



б)

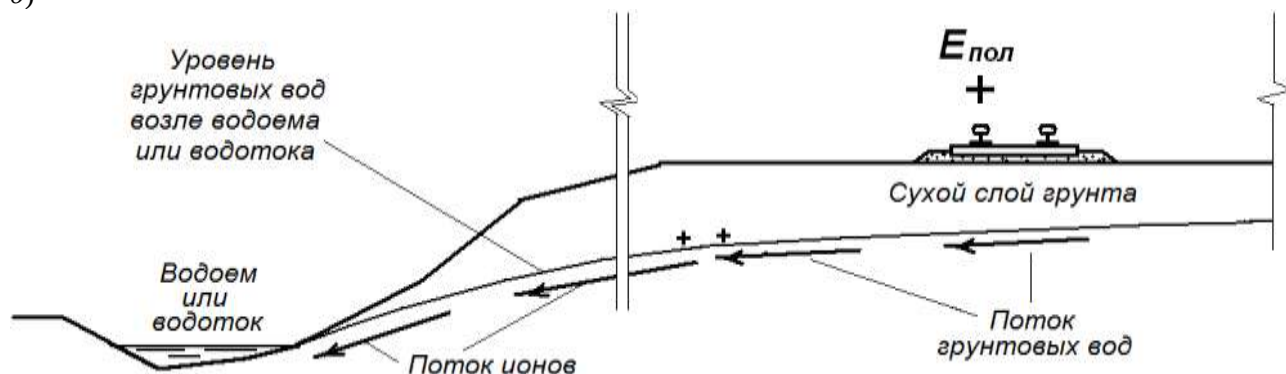


Рис. 7. Схема протекания тока (выноса ионов), возникающего от электрического поля:

а – созданного контактным проводом, через конструкции путепровода и грунтовые воды в водоем или водоток (грунтовые воды расположены близко к поверхности грунта); б – на участке рельсового пути недалеко от путепровода, через грунтовые воды в водоем или водоток (грунтовые воды расположены глубоко от поверхности грунта)

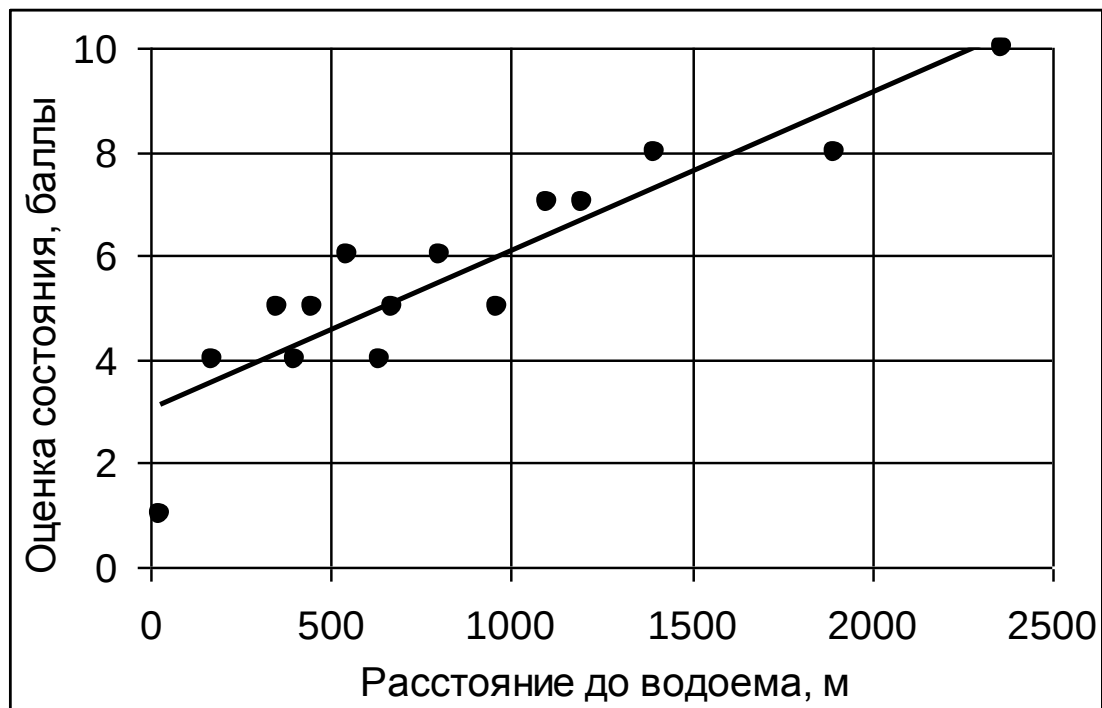


Рис. 8. Зависимость состояния конструкций платформы от ее расстояния до водоема

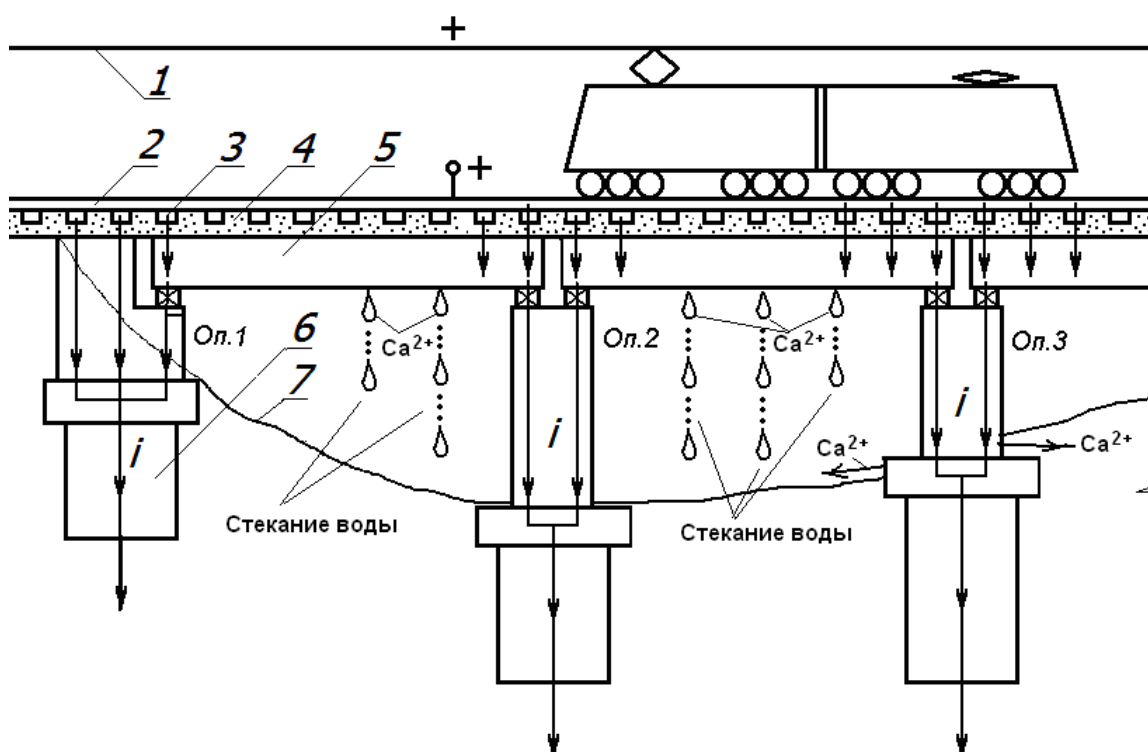


Рис. 9. Схема протекания токов утечки по конструкциям железобетонного моста:
1 – контактный провод; 2 – рельсы; 3 – шпалы; 4 – балласт; 5 – пролетные строения;
6 – опоры; 7 – грунт; Оп.1 ÷ Оп.3 – номера опор

В конструкциях вантовых мостов также могут возникать через некоторое время после строительства очень большие избыточные отрицательные заряды, накопленные тысячелетиями, и в связи с этим происходит разрушение конструкций мостов. Согласно схеме на рис. 10 избыточные отрицательные заряды перетекают (протекают токи) через фундаменты по опорам в конструкции пролетных строений и ванты. Накапливаясь в них, избыточные заряды в виде электронов в стали увеличивают отрицательный заряд

ферритовых зерен и вызывают отталкивание между ними. В результате ослабевают силы притяжения между зернами феррита и в определенный момент эти силы становятся близкими к притягивающим, сталь переходит в состояние эластичности или даже текучести. Соответственно, пролетное строение моста приобретает эластические огромные по величине деформации, и такой мост разрушается или подвергается очень большим колебаниям (например, Тако́мский мост в США [4], Волгоградский мост в России [5] и др.).

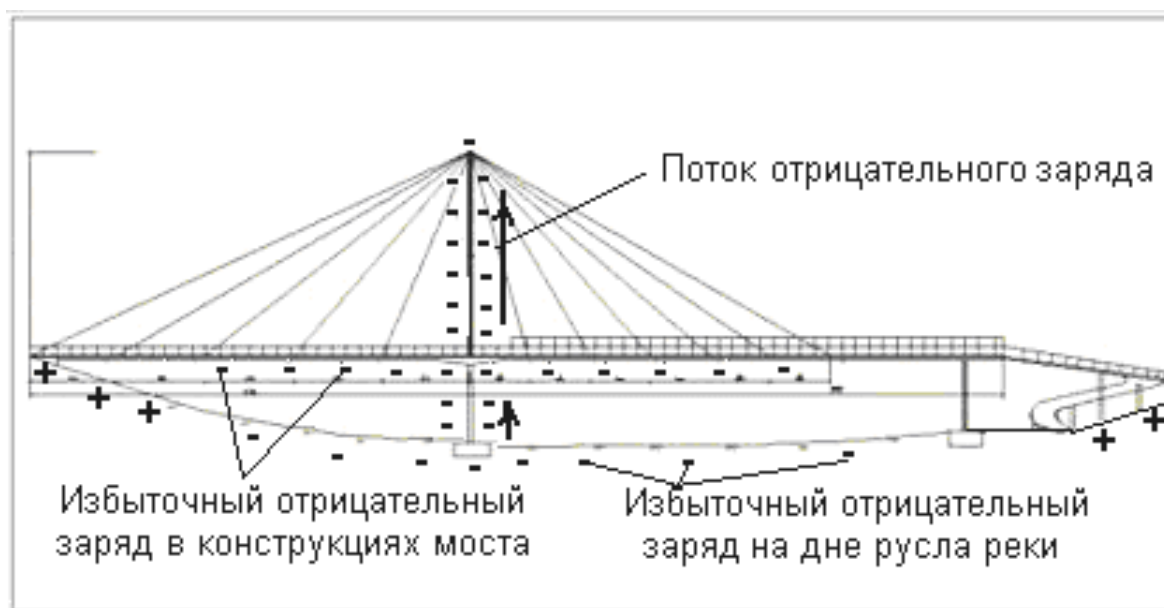


Рис. 10. Схема перетекания избыточного отрицательного заряда со дна русла реки в конструкции вантового моста

Выводы и перспективы дальнейшего развития. На основе рассмотренных схем разработаны и внедрены совместно с другими авторами кафедры СМКС УкрДАЗТ комплекс новых методик проведения эксплуатационных исследований электрокоррозионной опасности

бетонных, железобетонных, каменных и металлических конструкций сооружений, а также высокоэффективные материалы и технологии для их защиты от электрокоррозии и обеспечения несущей способности и высокой долговечности.

Список использованных источников

1. Котельников, А.В. Блуждающие токи электрифицированного транспорта [Текст] / А.В. Котельников. – М.: Транспорт, 1986. – 279 с.
2. Кудрявцев, А.А. Несущая способность опорных конструкций контактной сети [Текст] / А.А. Кудрявцев. – М.: Транспорт, 1988. – 160 с.
3. Экспериментальные исследования коротких замыканий на разземленных опорах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/DEPEN/ELSN_TR/REL_ZA/MET/DINKIN/UP5.htm. – Загл. с экрана. (Дата обращения: 20.02.2014).

4. Висячие мосты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gendocs.ru>. – Загл. с экрана. – (Дата обращения: 19.02.2014).

5. Качающийся (танцующий) мост в Волгограде [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.youtube.com/watch?v=4qHmA0DuHzc. – Загл. с экрана. (Дата обращения: 20.02.2014).

Плугін Аркадій Миколайович, доктор хім. наук, професор кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057)730-10-63. E-mail: plugin.star@mail.ru

Плугін Андрій Аркадійович, доктор техн. наук, професор кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057)730-10-63. E-mail: plugin-aa@rambler.ru

Плугін Дмитро Артурович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057)730-10-63. E-mail: plugin-da@mail.ru

Трикоз Людмила Вікторівна, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057)730-10-68. E-mail: lvtrikoz@ukr.net

Плугін Олексій Андрійович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057)730-10-63. E-mail: plugin07@rambler.ru

Plugin Arkadij, doct. of chem. sciences, professor Department Building Materials, Constructions and Structures Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel. (057)730-10-63. E-mail: plugin.star@mail.ru

Plugin Andrij, doct. of techn. sciences, professor Department Building Materials, Constructions and Structures Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel. (057)730-10-63. E-mail: plugin-aa@rambler.ru

Plugin Dmitrij, cand. of techn. sciences, associate professor Department Building Materials, Constructions and Structures Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel. (057)730-10-63. E-mail: plugin-da@mail.ru

Trykoz Liudmyla, cand. of techn. sciences, associate professor Department Building Materials, Constructions and Structures Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel. (057)730-10-68. E-mail: lvtrikoz@ukr.net

Plugin Oleksij, cand. of techn. sciences, associate professor Department Building Materials, Constructions and Structures Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel. (057)730-10-63. E-mail: plugin07@rambler.ru