

130

М П С С С С Р

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ  
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

---

Инженер А. Б. ДЕМИДЕНКО

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИИ  
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ШПАЛ В УСЛОВИЯХ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РЕЛЬСОВОГО  
ТРАНСПОРТА**

**А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

Днепропетровск  
1965

НТБ  
ДНУЖТ



МПС = СССР

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ  
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

---

Инженер А. Б. ДЕМИДЕНКО

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИИ  
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ШПАЛ В УСЛОВИЯХ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РЕЛЬСОВОГО  
ТРАНСПОРТА

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

08

версия  
имени академ.

Днепропетровск  
1965

24/2/72

НТБ  
ДНУЖТ

Диссертация выполнена в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта.

Экспериментальная часть диссертации выполнена на экспериментальном стенде ДИИТа и опытных участках Приднепровской и Южной железных дорог.

НТБ  
ДНУЖТ

## В в е д е н и е

В Программе Коммунистической партии Советского Союза, принятой на XXII съезде КПСС, предусмотрено осуществление одной из важнейших проблем в общем плане развития народного хозяйства СССР — дальнейшее техническое перевооружение железнодорожного транспорта. Основным направлением в решении этой задачи является массовая электрификация железнодорожного транспорта. Наряду с применением прогрессивной системы тяги на переменном токе промышленной частоты остается значительным удельный вес системы тяги на постоянном токе.

Грандиозные масштабы электрификации железных дорог в нашей стране и широкое внедрение в эксплуатацию железобетонных шпал и других железобетонных конструкций вызывают необходимость изучения вопроса надежности их работы в условиях электрической тяги.

Производство железобетонных шпал в Советском Союзе непрерывно увеличивается и в ближайшие годы достигнет 10—12 млн. шт в год. Непрерывно возрастают и темпы укладки таких шпал в путь. Так, в 1964 году в пути уже работало более 7 млн. железобетонных шпал.

Железобетонные шпалы отличаются от деревянных шпал высокой прочностью, стойкостью к воздействию окружающей среды и долговечностью. Однако они в ряде случаев подвергаются значительным повреждениям как из-за коррозии арматуры, так и из-за коррозии бетона.

Лабораторией защитных покрытий отделения полимеров и лабораторией контактной сети отделения электрификации Всесоюзного научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (ЦНИИ МПС) были проведены исследования на образцах, стендах, а также обследованы железобетонные мосты, опоры и фундаменты опор контактной сети с различными сроками их эксплуатации на ряде дорог. На основании этих обследований В. С. Артамонов, И. М. Ершов и В. И. Иванова приводят в своих работах многочисленные примеры коррозии железобетонных конструкций на железнодорожном

транспорте блуждающими токами. Было установлено, что коррозионные разрушения конструкций произошли в основном из-за коррозии их арматуры. Было замечено также, что скорость коррозии стальной арматуры до появления трещин в бетоне не пропорциональна величине тока утечки и значительно ниже, чем в электролитах и грунтах. Такое уменьшение коррозии арматуры объясняется наличием щелочной среды в бетоне, которая создается благодаря высокому содержанию в цементном камне свободного гидрата окиси кальция. Щелочной раствор, насыщающий воду в порах и капиллярах бетона, соприкасаясь с поверхностью стальной арматуры, придает стойкость оксидным пленкам, пассивирует поверхность стали и тем самым затрудняет процесс коррозии.

Согласно гипотезе, изложенной В. М. Москвиным, защитные свойства бетона в отношении арматуры зависят от степени щелочности и плотности бетона, толщины защитного слоя бетона над арматурой и влажности окружающей среды. Коррозия арматуры, по этой гипотезе, может протекать только при одновременном присутствии на ее поверхности влаги и кислорода.

В исследованиях Н. А. Булкина показано, что прохождение тока через сложную электрохимическую систему, в которой рельсы и другие металлические детали являются элементами с электронной проводимостью, а шпалы, балласт и земля — элементами с ионной проводимостью, возможно только лишь при протекании соответствующих реакций на границе раздела этих элементов. Показано также, что скорость протекания электрохимических реакций, определяющих собою сопротивление цепи току утечки из рельсов, зависит от величины напряжения и его частоты, влажности и температуры окружающей среды. Эти свойства особенно резко проявляются в рельсовых цепях с железобетонными шпалами, о чем свидетельствуют исследования, проведенные М. А. Фришманом, Г. Д. Рабиновичем, Ю. А. Кравцовым и другими.

В настоящее время более глубоко разработаны теория коррозии блуждающими токами и мероприятия, направленные на защиту от этой коррозии металлических магистральных и городских подземных сооружений (Марквардт К. Г., Лорткипанидзе Б. Г., Стрижевский И. В., Спирин А. А., Волотковский С. А., Ломазов Д. Б., Ершов И. М., Цикерман А. Я., Припула В. А., Зунде Е. Д. и др.). Однако, теория коррозии блуждающими токами и методы защиты от этой коррозии арматуры, особенно предварительно напряженной, железобетонных конструкций, в том числе и шпал, на железнодорожном

транспорте разработаны недостаточно. Отсутствуют методы расчета долговечности этих конструкций в условиях эксплуатации электрического рельсового транспорта.

В условиях массового применения железобетонных шпал на электрифицированных участках железных дорог решение этих вопросов приобретает большое народнохозяйственное значение.

В связи с указанным, целью настоящей работы являлось:

1. Исследование распределения потенциалов в рельсовой цепи и токов утечки из рельсов через отдельные железобетонные шпалы на электрифицированных участках железных дорог. Определение наиболее опасных зон рельсовых цепей с точки зрения коррозии арматуры и бетона шпал.

2. Исследование электрических параметров железобетонных шпал в цепи токов утечки из рельсов в землю.

3. Исследование влияния токов утечки из рельсов на коррозию арматуры и бетона железобетонных шпал.

4. Разработка метода определения срока до появления первых коррозионных трещин в бетоне железобетонных шпал, эксплуатируемых на электрифицированных участках железных дорог.

5. Определение допустимых величин токов утечки из рельсов и переходных сопротивлений между рельсами и землей по условиям коррозии арматуры железобетонных шпал.

Вопросы, рассмотренные в диссертации, вызваны требованиями практики и возникли в связи с необходимостью разработки мероприятий, обеспечивающих расчетный срок службы железобетонных шпал на электрифицированных участках железных дорог.

## **1. Распределение потенциала в рельсах и тока утечки из рельсов через железобетонные шпалы на электрифицированных участках железных дорог**

Расчеты распределения потенциалов в рельсах и тока утечки из рельсов через отдельные железобетонные шпалы электрифицированного участка железной дороги произведены по расчетной схеме однопутного участка, принятой в виде трехпроводной линии с распределенными параметрами. Такая схема позволяет учесть при вычислениях первичных и вторичных параметров линии тяговой сети влияние сопротивления земли, индуктивные и емкостные связи между отдельными элементами сети.

Получено, что распределение потенциала в рельсах однопутного участка описывается дифференциальным уравнением

$$\frac{d^4 \dot{U}_p}{dx^4} + A \frac{d^2 \dot{U}_p}{dx^2} + B \dot{U}_p = 0,$$

решение которого дает

$$\dot{U}_p = \dot{C}_1 e^{-\kappa_1 x} + \dot{C}_2 e^{\kappa_1 x} + \dot{C}_3 e^{-\kappa_2 x} + \dot{C}_4 e^{\kappa_2 x}$$

т. е. потенциал распределяется в виде двух волн: первой волны, проходящей в системе «воздушные провода — земля», с коэффициентом распространения  $\kappa_1$ , и второй волны — в системе «рельсы-земля», с коэффициентом распространения  $\kappa_2$ . В работе получены уравнения для определения первичных и вторичных параметров линии тяговой сети.

Показано, что для инженерных расчетов потенциалов рельсов можно пренебречь током и напряжением первой волны. Первичные и вторичные параметры линии в этом случае должны быть приняты равными соответствующим параметрам линии для второй волны.

Используя соответствующие граничные условия, были получены аналитические выражения распределения потенциалов в рельсах и токов утечки из рельсов через отдельные шпалы в землю в зависимости от параметров участков и схем питания. В расчетах принято, что все шпалы на рассматриваемых участках находятся в одинаковых условиях и отсутствует утечка тока из рельсов непосредственно в балласт.

В работе рассмотрено влияние изменений продольного сопротивления рельсового пути, переходного сопротивления между рельсами и землей, характеристики  $k_2 l$ , а также влияние положения электровоза на величины потенциала рельсов и тока утечки из рельсов.

Показано, что наиболее опасными с точки зрения коррозии арматуры и бетона железобетонных шпал являются:

а) участки в катодных зонах рельсовой цепи с наибольшими отрицательными потенциалами рельсов, примыкающие к местам подключения отсасывающих фидеров тяговых подстанций;

б) участки в анодных зонах рельсовой цепи с наибольшими положительными потенциалами рельсов, расположенные в конце участков с односторонним питанием и посередине между тяговыми подстанциями (в токоразделе) на участках с двухсторонним питанием.

## II. Сопротивление железобетонных шпал и токи утечки из рельсов на действующих электрифицированных участках железных дорог

В главе приводятся результаты измерений потенциалов рельсов и токов утечки из рельсов через отдельные железобетонные шпалы на участках с электрической тягой в случаях, когда изолирующие детали между рельсами и шпалами отсутствуют, а также в условиях нормальной эксплуатации шпал с изолирующими деталями.

Многочисленные измерения, проведенные в течение 4-х лет, при различных состояниях погоды и балласта, показали, что величина тока утечки из рельсов через шпалы существенно зависит от степени загрязнения и влажности балласта. Так, например, на электрифицированном постоянным током участке Илларноново-Хорошево с железобетонными шпалами типа С-56У максимальные величины токов утечки из рельсов через одну шпалу, уложенную без изоляции от рельсов, получены равными:

а) летом при сухой погоде и незагрязненном балласте— 3—6 ма;

б) летом при сырой погоде и незагрязненном балласте — 20—40 ма;

в) летом при сырой погоде и загрязненном балласте — до 120 ма.

По результатам измерений потенциалов рельсов и токов утечки из рельсов определено сопротивление токам утечки из рельсов через одну шпалу. Это сопротивление резко снижается при накатывании на шпалу колесных пар электровоза и вагонов благодаря созданию более хорошего контакта между подошвой шпалы и балластом. При влажном и загрязненном балласте оно снижается до 200 ом и ниже, т. е. переходное сопротивление «рельсы-земля» в этом случае падает до 0,1 ом. км.

В работе приведена разработанная методика измерений токов утечки из рельсов и переходных сопротивлений между рельсами и землей.

Составлены электрические схемы замещения железобетонной шпалы и рельсовой цепи с железобетонными шпалами и дан анализ параметров этих схем. В соответствии с предложенными схемами показано, что переходное сопротивление между рельсами и землей на участках с железобетонными шпалами значительно больше четвертой части сопротивления между нитями рельсов одного пути (сопротивления балласта),

так как значительная часть тока утечки автоблокировки замыкается по верхнему слою балласта и по бетону шпал.

Показано, что сопротивление токам утечки из рельсов в землю через шпалы в основном определяется величинами сопротивлений изолирующих деталей, а также поляризационных сопротивлений рельсов и скреплений. Существенное влияние на величину тока утечки из рельсов через шпалы оказывает металлическая арматура шпал.

Исследованы зависимости сопротивления железобетонных шпал токам утечки из рельсов от температуры, влажности, величины и рода напряжения. Получено, что при повышении температуры и внешнего напряжения электропроводимость шпал увеличивается, так как при этом облегчается протекание в бетоне электрохимических процессов.

Минимальное сопротивление току утечки из рельсов в землю через одну шпалу при плюсовых температурах может снижаться до 200 ом и ниже. С понижением температуры до  $(-2) - (-6)^{\circ}\text{C}$  это сопротивление увеличивается до 20 ком и выше. При дальнейшем снижении температуры сопротивление току утечки из рельсов через шпалы увеличивается в такой мере, что можно пренебречь токами утечки через них.

### **III. Стендовые исследования влияния токов утечки на коррозию арматуры струнобетонных шпал.**

Для стендовых исследований были выбраны струнобетонные цельнобрусковые шпалы С-56У с клеммно-болтовыми скреплениями по типу RN с закладной шайбой и с деревянными дюбелями под скрепления марки К-2. Балласт из щебня в смеси с ракушкой (для уменьшения электрического сопротивления слоя балласта) периодически увлажнялся водой, а на части стенда дополнительно подсоливался поваренной солью (агрессивный балласт). Подвод тока осуществлялся к металлическим подкладкам, уложенным непосредственно на поверхности подрельсовых частей шпал. При таком способе подключения создавалась на стенде реальная цепь для токов утечки из рельсов через шпалы в землю. Для ускорения процессов коррозии арматуры и бетона шпал в условиях испытательного стенда токи утечки через отдельные шпалы были установлены в пределах от 0,15 до 0,55 а и поддерживались неизменными в течение всего трехлетнего периода испытаний. Периодически отдельные группы шпал снимались со стенда для прочностных испытаний на прессе, осмотра их арматуры и отколов бетона.

Стеновые исследования показали, что коррозионные разрушения железобетонных шпал токами утечки происходят в основном из-за коррозии стальной арматуры. Продукты коррозии в виде хлоридов, гидратов окиси и закиси железа отлагаются на поверхности арматуры и, занимая объем значительно большего объема прокорродировавшего металла, оказывают распирающее действие на бетон. Увеличиваясь в объеме, водные растворы их вытесняются по порам и микротрещинам бетона, образуя ржавые пятна на поверхности шпал. При дальнейшем протекании процессов коррозии происходит частичная закупорка пор и под действием распирающих усилий возникают трещины в бетоне, которые, как правило, располагаются вдоль арматуры.

Наблюдения показали, что места появления первых коррозионных трещин в бетоне шпал различны и зависят от полярности внешнего напряжения. При положительном потенциале на подкладках (анодная зона рельсовой цепи) первые трещины возникают в средней части шпал вдоль крайних верхних струн и в торцах шпал вдоль крайних вертикальных рядов струн арматуры. При отрицательном потенциале на подкладках (катодная зона рельсовой цепи) первые трещины возникают на боковых поверхностях подрельсовых частей шпал вдоль крайних верхних струн, а также отколы бетона возле дюбелей на верхних поверхностях шпал с деревянными дюбелями.

В работе проводятся результаты прочностных испытаний эталонных шпал и шпал, снятых со стенда через различные промежутки времени. Установлено, что появление первых коррозионных трещин в бетоне не приводит к опасному снижению механической прочности и не является концом службы шпал. Однако, наличие трещин облегчает доступ к арматуре кислорода и влаги из внешней среды, благодаря чему интенсивность коррозии увеличивается. Получено, что снижение прочности шпал становится заметным при толщине прокорродированного металла верхних крайних струн арматуры больше 0,9 мм.

Было выявлено, что коррозия арматуры, вызываемая постоянным током, имеет явно неравномерный характер по длине и периметру струн с четко выраженными границами между анодными и катодными участками. В шпалах с положительным потенциалом на подкладках наибольшей коррозии подвергались крайние вертикальные ряды струн в средних частях и по концам шпал на общей длине около половины длины шпалы. Наиболее корродированными были верхние струны этих рядов арматуры. По мере приближения к основанию шпал степень коррозии струн уменьшалась.

В шпалах с отрицательным потенциалом на подкладках наибольшей коррозии подвергались струны крайних вертикальных рядов арматуры в подрельсовых частях шпал. Общая длина анодной зоны арматуры в этом случае составляла примерно 0,3 длины шпалы. Средние ряды струн арматуры корродировали на участках наиболее близко расположенных к закладным металлическим шайбам или к стальным усиливающим кольцам дюбелей.

Снижение механической прочности бетона и его сцепления с арматурой отмечено только на анодных участках арматуры. Бетон, прилегающий к катодным участкам арматуры, сохранял свою прочность и хорошее сцепление с арматурой.

Механические испытания арматурной проволоки, результаты которых приведены в работе в виде графиков, подтверждают и иллюстрируют указанное выше распределение анодных и катодных зон на арматуре.

Проведенные металлографические исследования показывают, что коррозия арматуры, вызываемая токами утечки, относится к группе общей коррозии с признаками незначительной интеркристаллитной коррозии.

Трехлетние стендовые исследования показали, что переменные токи промышленной частоты практически не вызывают опасной коррозии арматуры шпал.

#### **IV. Срок службы железобетонных шпал и вопросы безопасности**

На основании исследований, проведенных на действующих участках железных дорог, на стенде и в лаборатории, установлено, что токи утечки из рельсов на участках с электрической тягой постоянного тока, при отсутствии надлежащей изоляции рельсов, могут вызвать коррозию арматуры и связанное с нею сокращение сроков службы железобетонных шпал.

Исследованиями выявлено, что время до появления коррозионных трещин в бетоне шпал зависит от скорости протекания коррозионных процессов и количества образующихся продуктов коррозии металла на поверхности арматуры, создающих распирающие усилия на бетон.

В стендовых исследованиях было получено, что трещина в бетоне шпалы возникает после того, как толщина прокорродированного металла арматуры достигает в среднем значения:

$$b=0,16 + 0,02 \delta \text{ мм,}$$

где  $\delta$  — толщина защитного слоя бетона над арматурой в мм.

Скорость коррозии арматуры зависит от защитных свойств электролита в бетоне по отношению к арматуре и плотности тока утечки из поверхности анодных участков арматуры. Эти характеристики были определены из результатов стендовых исследований коррозии железобетона шпал.

В исследованиях были замечены высокие защитные свойства бетона шпал по отношению к стальной арматуре.

Коэффициент, учитывающий уменьшение коррозии наружных струн арматуры благодаря наличию защитной щелочной среды в бетоне, на основе анализа экспериментальных данных, был принят равным  $K_3=3$ .

Принимая, что все шпалы на участке находятся в одинаковых условиях и отсутствует утечка тока из рельсов непосредственно в балласт, получено, что время до появления в бетоне шпал первых коррозионных трещин определяется следующими зависимостями:

а) при положительной полярности рельсов —

$$T_{\text{п}} = 91 \cdot 10^{-3} k_3 m b \frac{R_{\text{пер}} \cdot N}{U_{\text{р. ср.}}} \text{ [лет]}$$

б) при отрицательной полярности рельсов --

$$T_{\text{о}} = 55 \cdot 10^{-3} k_3 \cdot m b \frac{R_{\text{пер}} \cdot N}{U_{\text{р. ср.}}} \text{ [лет]}$$

где:

$m$  — коэффициент, учитывающий число дней в году, в течение которых шпалы и балласт находятся в замерзшем состоянии зимой и в сухом — летом, когда «собственное» сопротивление одной шпалы больше 20 ком ( $R_{\text{пер}} > 10$  ом. км); принят равным 1,3;

$U_{\text{р. ср.}}, R_{\text{пер}}$  — средние величины соответственно потенциала рельсов и переходного сопротивления между рельсами и землей на участке в периоды года, не учтенные коэффициентом  $m$ ;

$N$  — число шпал на 1 км пути.

В работе дается графическое решение этих уравнений. Определено время до появления первых коррозионных трещин в шпалах при различных значениях потенциала рельсов и переходных сопротивлений. Рассчитаны допустимые величины тока утечки из рельсов через одну шпалу и минимальные величины переходных сопротивлений между рельсами и

землей из условия, что первые трещины в бетоне шпал будут возникать не менее чем через 40 лет их эксплуатации. Результаты расчетов приведены для различных толщин защитного слоя бетона над арматурой шпал и различных потенциалов рельсов.

Приводится анализ результатов многочисленных измерений потенциалов рельсов, проведенных на электрифицированных постоянным током напряжением 3000 в участках Приднепровской и Южной железных дорог с деревянными и железобетонными шпалами. На основании этого анализа и аналитических расчетов показано, что среднегодовое значение потенциала рельсов в анодных зонах таких участков с рельсами типа Р-65 (или Р-50) можно принять равными  $U_{p.ср} = +5$  в.

Исследования показали, что при среднем потенциале рельсов  $U_{p.ср} = 5$  в, толщине защитного слоя бетона над арматурой не менее 20 мм и времени до появления первых коррозионных трещин не меньше чем через 40 лет переходное сопротивление между рельсами и землей должно быть не менее 0,54 ом. км. Минимальную среднюю величину сопротивления изоляции рельсовой цепи (сопротивление балласта) в этом случае можно принять равной 2 ом. км. Результаты многолетних измерений, проведенных ДИИТом на участках с железобетонными шпалами и различными типами скреплений к ним, показывают, что обеспечение указанной, допустимой по условиям коррозии арматуры шпал, средней величины сопротивления балласта не вызывает в условиях эксплуатации больших практических затруднений.

Для случаев, когда средние потенциалы рельсов выше принятой величины  $U_{p.ср} = 5$  в и токи утечки из рельсов больше допустимых, рекомендуются уравнения, позволяющие определить переходное сопротивление между рельсами и землей, при котором токи утечки из рельсов не будут превышать допустимых величин.

Результаты теоретических исследований и измерений на действующих участках железных дорог показали, что при повышенных значениях переходных сопротивлений между рельсами и землей (в сухую летнюю погоду и при низких температурах зимой) на рельсах участков с электрической тягой как переменного, так и постоянного тока могут появляться потенциалы, недопустимые по условиям техники безопасности.

В работе даны рекомендации по проведению мероприятий, обеспечивающих безопасность путевых рабочих при выполнении ими работ по текущему содержанию пути без перерыва движения поездов.

## З а к л ю ч е н и е

1. В диссертации проведены необходимые теоретические и экспериментальные исследования распределения потенциалов рельсов и токов утечки из рельсов через отдельные железобетонные шпалы вдоль участков железных дорог с электрической тягой. Определены наиболее опасные, с точки зрения коррозии железобетонных шпал и появления высоких потенциалов, участки рельсовых цепей.

2. Исследованы электрические параметры железобетонных шпал в цепи токов утечки из рельсов в землю в условиях пути действующих участков железных дорог. Исследования показали, что при недостаточной изоляции рельсов от шпал токи утечки из рельсов могут вызвать усиленную коррозию арматуры и преждевременный выход из строя шпал.

3. Установлено, что арматура и бетон железобетонных шпал могут подвергаться коррозии токами утечки из рельсов как в анодных, так и в катодных зонах рельсовых цепей электрифицированных постоянным током участках железных дорог. Коррозионные разрушения железобетонных шпал происходят, как правило, по причине коррозии арматуры и имеют вид продольных трещин, образующихся в бетоне вдоль арматуры.

4. Показано, что токи утечки из рельсов вызывают коррозию арматуры и бетона шпал практически только на анодных участках арматуры, с которых происходит утечка тока в бетон.

В результате теоретических и экспериментальных исследований было установлено распределение анодных и катодных участков на арматуре шпал. Дана характеристика коррозионным разрушениям арматуры и бетона шпал, вызываемых токами утечки, при эксплуатации их на участках с преобладающими положительными и отрицательными потенциалами рельсов (в анодных и катодных зонах рельсовой цепи).

5. Разработаны формулы, позволяющие определять время до появления первых коррозионных трещин в бетоне шпал в зависимости от полярности и величины потенциала рельсов, параметров участка, защитных свойств бетона по отношению к арматуре и других характеристик.

6. Исследования показали, что современные конструкции железобетонных шпал и скреплений к ним с соответствующей электроизоляцией от рельсов по условиям электрокоррозии арматуры будут работать достаточно длительное время. Фактор коррозии арматуры не должен ограничивать намеченных сроков службы железобетонных шпал по условиям механиче-

ской прочности. Однако, при этом должны выполняться следующие условия:

а) толщина защитного слоя бетона над арматурой шпал не должна быть меньше 20 мм;

б) концы арматуры в торцах шпал должны качественно бетонироваться;

в) металлические закладные шайбы и коробочки в шпалах следует применять с электроизолирующими покрытиями или должны быть заменены соответствующими неметаллическими деталями;

г) необходимо улучшить изолирующие свойства деревянных дюбелей в шпалах под скрепления марки К;

д) следует производить своевременную очистку балласта при его загрязнении. При этом под шпалами по оси пути должна создаваться канавка, чтобы исключить опирание шпал своими средними частями на балласт и связанное с этим появление поперечных трещин в бетоне и изломов шпал.

7. Установлено, что токи утечки из рельсовой цепи участков железных дорог, электрифицированных переменным током промышленной частоты, практически не вызывают опасной коррозии арматуры железобетонных шпал. В связи с этим минимальная величина переходного сопротивления между рельсами и землей на таких участках должна определяться только условиями нормальной работы автоблокировки.

8. Массовое применение железобетонных шпал на участках с электрической тягой постоянного тока вызывает настоятельную необходимость в проведении исследований, направленных на решение проблемы использования пластмасс для изготовления арматуры.

**Основное содержание диссертационной работы опубликовано в следующих статьях:**

1. Влияние токов утечки из рельсовой цепи на коррозию струнобетонных шпал. Сборник трудов ДИИТ, выпуск 42, 1962 г.

2. К вопросу о влиянии токов утечки из рельсовой цепи на коррозию железобетонных шпал. Сборник трудов ДИИТ, выпуск 39, 1963 г.

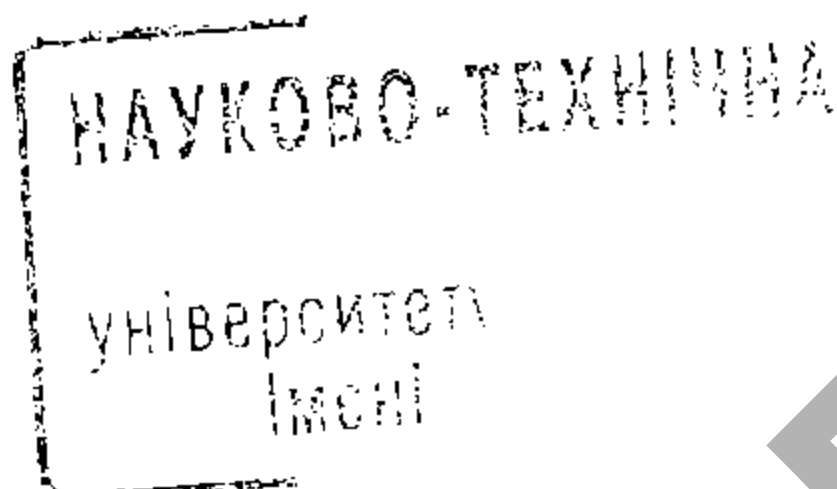
3. Ржавление арматуры и прочность шпал. «Путь и путевое хозяйство», № 3, 1964 г. (совместно с М. А. Фришманом).

**Материалы диссертации по вопросам исследования коррозии железобетонных шпал в условиях эксплуатации электрического рельсового транспорта докладывались автором на следующих конференциях:**

1. Конференция по обобщению научных исследований и опыта эксплуатации железобетонных шпал. (ДИИТ, секция пути и сигнализации и связи ЦТНО, Главное управление пути и сооружений, Главное управление сигнализации и связи МПС), Днепропетровск, 1962 г.

2. Конференция по опыту эксплуатации и результатам исследований работы железобетонных шпал на участках с автоблокировкой и электрической тягой поездов. (ДИИТ, Главное управление сигнализации и связи МПС, Главное управление пути и сооружений МПС, Управление Приднeпровской железной дороги), Днепропетровск, 1964 г.

24/27 a



НТБ  
ДНУЖТ

---

БТ 07168. Областная книжная типография  
Днепропетровского областного управления по печати,  
г. Днепропетровск, ул. Серова, 7.  
Заказ 604-м. Тираж 200. Объем 1 п. л. Подписано к печати 9. III, 65 г.