

**ОРГАНИЗАЦИЯ СОТРУДНИЧЕСТВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ
(ОСЖД)**

III издание

Согласовано экспертами Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 2-3 сентября 2021 г.,
Комитет ОСЖД, г. Варшава

Утверждено совещанием Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 8-10 ноября 2021 г.,
Комитет ОСЖД, г. Варшава

Дата вступления в силу: 10 ноября 2021 года.

Примечание: Теряет силу II издание Памятки от 10.11.2005 г.

P 633/4

**РЕКОМЕНДАЦИИ
О МЕРАХ ПО ПРОДЛЕНИЮ СРОКА
СЛУЖБЫ КОНТАКТНОГО ПРОВОДА**

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие положения	3
2. Основные технические показатели и методы их определения	4
3. Перечень и назначение основных мер по увеличению срока службы контактного провода	6
4. Основные формулы, относящиеся к износу и долговечности контактного провода, используемые в технических и экономических расчетах	10

1. Общие положения

1.1. Настоящие рекомендации предназначены для использования железными дорогами стран-членов ОСЖД в качестве основы при решении ими вопроса о целесообразности, условиях, этапах и размерах реализации конкретных мер (мероприятий) по увеличению срока службы контактного провода в рассматриваемых системах.

Системой в зависимости от решаемой задачи может быть: вся сеть электрифицированных линий дорог; часть сети (например, электрифицированные линии только данного напряжения и рода тока); отдельные участки.

1.2. Настоящие рекомендации составлены на основании анализа накопленного опыта и результатов исследований, проведенных дорогами-участницами ОСЖД, а также с учетом мирового опыта в рассматриваемой области.

1.3. Целью реализации конкретной меры (или сочетания мер) по уменьшению интенсивности изнашивания контактного провода, должно быть достижение проводом оптимального среднего срока службы.

Оптимальным средним сроком службы контактного провода считается такой, при котором осуществление в системе дополнительной меры по уменьшению изнашивания этого провода с целью дальнейшего увеличения срока службы сверх обеспечиваемого ранее принятыми мерами оказывается экономически невыгодным.

1.4. Определение целесообразности, условий, этапности и размеров реализации конкретных мер по увеличению срока службы контактного провода должно производиться на основании технических и экономических расчетов. Техническими расчетами определяются показатели эффективности рассматриваемой меры для системы. В первую очередь определяется ожидаемый размер уменьшения потребности системы в новом контактном проводе для замены им изношенного (измеряемый обычно в тоннах) в каждом календарном году для расчетного периода (обычно не более 20 лет).

1.5. Увеличение срока службы контактного провода является многовариантной технико-экономической задачей, при которой рассматриваются не только альтернативные, но и совместимые меры. При этом реализация одной из таких мер может сделать невыгодной реализацию другой, технически совместимой меры.

Поэтому рекомендуется каждой дороге перед проведением технических и экономических расчетов, относящихся к конкретным мерам, составить перечень этих мер, расположив их в последовательности, соответствующей снижению ожидаемой эффективности (иначе говоря, установить приоритет каждой меры для своей дороги).

В общем случае в начале перечня рекомендуется привести меры, реализуемые на токоприемниках, а затем – в контактной сети. Предпочтение следует отдавать мерам, не требующим крупных единовременных затрат и в то же время обеспечивающим достижение значительного технического и экономического эффекта в наиболее короткие сроки.

1.6. При наличии или возникновении среди дорог-участниц ОСЖД

различных мнений по некоторым конкретным вопросам эксплуатации контактной сети (например, о приоритете различных мероприятий по увеличению срока службы контактного провода, по определению оптимального среднего срока службы провода, по периодичности измерений и анализа износа и т.п.), целесообразным методом выработки лучших решений для каждой дороги в таких случаях является совместное обсуждение и исследование вопросов на многосторонней основе в рамках ОСЖД или на двухсторонней основе между дорогами-участницами ОСЖД.

2. Основные технические показатели и методы их определения

2.1. Основным техническим показателем, (характеризующим долговечность контактного провода, связанную с качеством токосъема), является средний удельный износ.

Рекомендуется в целях обеспечения сопоставимости показателей дорог-участниц ОСЖД и удобства их использования в технических расчетах измерять удельный износ i в $\text{мм}^2/10^4$ проходов единиц ЭПС. С этой целью на дорогах должны иметься таблицы для определения износа провода S_n в мм^2 по измеренной высоте оставшегося сечения h . При этом для двойного контактного провода берется суммарный износ правого и левого провода. Под единицей ЭПС следует понимать «один электровоз» и «одну электросекцию» независимо от числа поднятых на них токоприемников, т.е. такую единицу, которая является учетной на дороге при определении годового пробега ЭПС во всех видах движения.

2.1.1. В целях обеспечения достоверности значений удельного износа контактного провода, рекомендуется определять этот показатель по данным измерений в эксплуатационных условиях за такой период времени, для которого средняя погрешность измерения составляла бы не более 10% от разности значений, полученных в ходе последнего и предыдущего измерений. Целесообразно определять удельный износ за максимально длительный период, но не менее трех лет для участков с годовым числом проходов единиц ЭПС ($P_{\text{год}}$) свыше 40×10^3 раз и не менее пяти лет, если $P_{\text{год}}$ не превышает 40×10^3 раз, при не измененных условиях эксплуатации (типа материала контактных вставок ЭПС, внешней смазке на полозах, нажатий токоприемника на провод и т.п.)

2.1.2. Измерения износа рекомендуется выполнять не менее чем в четырех точках пролета между опорами, предпочтительно у каждой струны.

Персонал в процессе измерений должен также осуществлять визуальный контроль износа провода по всей его длине и дополнительно измерять износ в точках местного повышенного износа независимо от их расположения в пролетах.

2.1.3. Периодичность измерения износа контактного провода устанавливается дорогой в общем случае по условию обеспечения безотказности контактного провода (т.е. предупреждения возможности обрыва провода в месте максимального износа) при минимальных годовых затратах труда и средств на такие измерения. При выборе периодичности учитываются: удельный износ контактного провода и его неравномерность, размеры движения поездов, прочностные характеристики провода.

2.1.4. При отсутствии у дороги представительных и достоверных данных о среднем удельном износе контактного провода для своих условий эксплуатации, впредь до их определения могут использоваться справочные данные (табл.1), составленные на основе опыта дорог-участниц ОСЖД. Данные по постоянному току относятся к системам с двойным контактным проводом.

Таблица 1

Материал контактных вставок на токоприемниках	Род тока	Вид ЭПС	Удельный износ на количество проходов токоприемников ЭПС мм ² /10 ⁴
Угольные	переменный	электровозы	0,13
	постоянный	электропоезда	0,08
		электровозы	0,33
		электропоезда	0,11
Металлокерамические		постоянный	электровозы
Металлографитовые	постоянный	электровозы	0,33
Графитовые вставки с низким электрическим сопротивлением	постоянный	электровозы	0,13
		электропоезда	0,11
С композиционного материала	переменный	электровозы	-
	постоянный	электровозы	-

2.2. Техническим показателем, характеризующим ресурс контактного провода по сечению, является средний износ этого провода к моменту его замены $S_{см}$ в мм² (или в процентах от номинального сечения S).

2.2.1. Рекомендуется дорогам установить в своей нормативно-технической документации на техническое обслуживание и ремонт контактной сети нормы $S_{см}$ и использовать их в дальнейшем для расчетов, связанных со сроком службы эксплуатируемого контактного провода.

2.2.2. Значения $S_{см}$ определяется по результатам измерений износа, непосредственно предшествовавших замене провода.

2.3. Максимальный допустимый износ S_{max} в общем случае не является и не может служить показателем, характеризующим ресурс контактного провода по сечению, поскольку такой износ всегда является местным, его протяженность мала (обычно не более 1 м), и его можно либо предупредить, либо устранить (вырезав участок провода с местным износом). Норму максимального износа в мм² рекомендуется рассчитывать по условию, чтобы номинальное растягивающее напряжение в материале медного провода составляло не более 117,7 МПа. В обоснованных случаях такое напряжение может быть принято равным 122,6 МПа.

Примечание.

Номинальным растягивающим напряжением материала контактного провода здесь считается такое, которое подсчитано без учета изменения натяжения этого провода вдоль анкерного участка за счет реакции струн и фиксаторов и без учета к.п.д. передачи компенсатора.

2.4. Наиболее удобным для практического использования техническим показателем, характеризующим как износостойкость контактных вставок токоприемников, так и некоторые другие их свойства (связанные с условиями эксплуатации), является удельный расход этих вставок d_T в кг/10⁶ км пробега ЭПС.

2.4.1. Удельный расход вставок d_T рекомендуется определять для каждого депо в отдельности и для системы в целом по имеющимся: на дороге учетным данным о расходе вставок d_T в кг за выбранный период времени и по отчетным данным о пробеге ЭПС в 10⁶ км за тот же период. Указанный период должен быть равен или кратен одному году.

2.4.2. Если расход контактных вставок по дороге учитывается в единицах массы (кг), а в штуках, то рекомендуется полученный удельный расход в шт./10⁶ км пересчитывать на расход в кг/10⁶ км, используя известное значение массы одной вставки.

2.5. Удельный расход внешней смазки для полозов токоприемников (там, где она применяется) определяется аналогично сказанному в п.2.4.

2.6. Число проходов единиц ЭПС за истекший период времени (за год или более) P берется по исполненному графику движения поездов. Значение числа проходов единиц ЭПС за год $P_{\text{год}}$ на перспективу берутся на основании имеющихся у дороги планов и прогнозов.

3. Перечень и назначение основных мер по увеличению срока службы контактного провода

3.1. В настоящем разделе приведен (табл.2) перечень мер (мероприятий), направленных на увеличение срока службы контактного провода, включающий все основные мероприятия, когда-либо применявшиеся или предлагавшиеся на дорогах-участницах.

3.2. Перечень включает группы: 1 – мероприятия, направленные на повышение долговечности контактного провода по всей его длине; 2 – мероприятия, направленные, в основном, на снижение неравномерности износа провода в пролетах (за счет снижения удельного износа в специфических точках) и повышение на этой основе среднего износа провода к моменту его замены $S_{\text{см}}$

Внутри разделов перечень мероприятий дан в порядке снижения приоритета для большинства дорог-участниц (ориентировочно). В числе мер названы и такие, которые требуют обсуждения и (или) проведения предварительной исследовательской работы.

Таблица 2

Перечень мер, направленных на увеличение срока службы контактного провода

№	Наименование мероприятия	Качественная оценка эффективности мероприятия
1. Мероприятия, направленные на повышение долговечности контактного провода по всей его длине		
1.1.	Замена металлических контактных вставок токоприемников угольными вставками	<p>Дает наибольший эффект в снижении удельного износа провода в 2-4 раза в сжатые сроки.</p> <p>Уменьшает радиопомехи от токосяема.</p> <p>Не требует внешней смазки.</p> <p>Обеспечивает максимальную экономию цветных металлов.</p>
1.2.	Оптимизация нажатия токоприемника на контактный провод	<p>Не требует единовременных затрат.</p> <p>Ориентировочно средний удельный износ провода может быть уменьшен на 10-15 % благодаря уменьшению либо механического, либо электрического износа.</p>
1.3.	Работа электровозов и электропоездов при двух или более параллельно соединенных токоприемниках.	<p>Не требует единовременных затрат.</p> <p>Предупреждает тяжелый электрический износ провода при сьеме токов свыше 1200 А на полоз. Может увеличить срок службы повода на подъемах в 2-3 раза.</p>
1.4.	Увеличение нормы среднего износа провода к моменту его замены $S_{см}$	<p>Не требует единовременных затрат.</p> <p>Может увеличить средний срок службы провода на ДР на 15-25 %.</p>
1.5.	Уменьшение числа поднятых токоприемников; питание через один токоприемник двух или более секций электропоезда.	<p>Почти не требует затрат. Снижает механическую составляющую износа; создает резерв токоприемников на электропоезде. На электропоездах переменного тока РЖД применяется автоматический стыкователь, соединяющий токоприемники смежных секций. Недостатки: при отсутствии автоматического стыкователя затруднена постановка секций в короткие депо и их расцепка: требуется специальное дополнение к правилам безопасности и инструктаж персонала.</p>

1.6.	Применение контактных проводов повышенного сечения (более 100 мм ²)	Переход от сечения 100 к сечению 120 мм ² может увеличить срок службы примерно в 2-7.5 раза при одновременном уменьшении потерь электроэнергии. Однако требует повышенных единовременных затрат меди и денежных средств. Целесообразность определяется расчетом.
1.7.	Модернизация эксплуатируемых токоприемников.	
1.8.	Совершенствование смазки для полозов токоприемников.	Переход на сухую графитовую смазку взамен консистентной снизил удельный износ проводана 30 %, однако реализация мероприятия 1.1. делает применение внешней смазки на полозах токоприемников не целесообразным.
1.9.	Применение бронзовых контактных проводов (с присадкой легирующих металлов более 0,1%)	Контактные провода из легированной меди (бронзовые) имеют удельный износ примерно в 2-4 раза ниже, чем медные. Однако бронзовыепровода дороже медных, они увеличивают потери энергии, а эффект от удлинения срока службы провода отдален во времени (он начинает проявляться после истечения расчетного срока службы медного провода). Целесообразность определяется расчетом.
1.10.	Применение низколегированных контактных проводов (с присадкой легирующих металлов менее 0,1%).	Низколегированные контактные провода имеютудельный износ на 10-50 % меньше, чем медные. Применяются не только с целью повышения долговечности провода, но и для повышения термостойкости проводов.
1.11.	Нанесение смазки на контактный провод с подвижных единиц.	Способствует ускорению восстановления графитового слоя на поверхности трения контактного провода после его полного исчезновения в период длительных дождей и возникновения задира указанной поверхностипровода у медных пластин.

1.12.	Рациональное размещение рядов металлических пластин; Рациональное размещение и нанесение сухой графитовой смазки по длине полозов токоприемников и по высоте.	Предупреждает возникновение и развитие волнообразного электрического износа контактного провода с шагом волны примерно равным ширине полоза токоприемника.
1.13.	Увеличение нормы максимального допустимого износа $S_{\text{пак}}$ при одновременном уменьшении натяжения контактного провода.	Одновременно с увеличением S_{max} приводит к увеличению $S_{\text{ср}}$.
1.14.	Своевременное удаление гололеда с контактного провода или предупреждение его отложений на проводе.	В связи с относительно малой продолжительностью гололедообразования на контактном проводе (в течение года) влияние мероприятия на долговечность провода невелико. Однако оно сильно влияет на долговечность контактных вставок и безотказность провода.
1.15.	Замена существующих контактных вставок токоприемников на вставки с композиционного материала.	Позволит: уменьшить износ контактного провода, исключит (не требует) использование графитовой смазки, увеличит пробег электропоездов без замены вставок, уменьшит удельное электрическое сопротивление.
2. Мероприятия, направленные на снижение неравномерности износа провода в пролетах		
2.1.	Повышение точности регулировки контактных подвесок.	Снижает интенсивность изнашивания контактного провода в зоне фиксаторов, у воздушных стрелок, у искусственных сооружений.
2.2.	Установка шунтов (отрезков нового провода, прикрепляемых к изношенному) в зонах местных износов.	На участках с регулярным повышенным износом у фиксаторов (на подъемах) могут увеличить срок службы провода в 1,5-2 раза.
2.3.	Создание новых токоприемников с меньшей приведенной массой.	Благодаря стабилизации нажатия уменьшает неравномерность износа провода в пролете. Увеличение долговечности провода зависит от доли высокоскоростных поездов в общем их числе за год.

2.4.	Модернизация эксплуатируемых контактных подвесок с целью выравнивания эластичности по длине пролета.	Выравнивание эластичности способствует выравниванию износа проводов в пролете. Оптимальную степень неравномерности целесообразно определять расчетом.
2.5.	Совершенствование конструкции фиксаторов и арматуры контактной сети.	Уменьшение массы дополнительных стержней фиксаторов, стыковых зажимов способствует снижению удельного износа контактного провода непосредственно под фиксаторами и зажимами. Влияние на расход контактного провода в системе невелико.
2.6.	Одно- или многократное перемещение питающих зажимов вдоль провода на несколько метров.	Предупреждает развитие местного износа, однако мало влияет на изменение расхода нового провода для замены изношенного.
2.7.	Применение мерных токопроводящих струн	Выравнивание эластичности способствует выравниванию износа проводов в пролете.

4. Основные формулы, относящиеся к износу и долговечности контактного провода, используемые в технических и экономических расчетах

4.1. Средний срок службы (в годах) вновь подвешиваемого контактного провода:

$$t_K = \frac{S_{см-м} \cdot n \cdot 10^4}{1 \cdot P_{год}} \quad (1),$$

где n - число контактных проводов (1 или 2). Остальные обозначения приведены в разделе 2.

4.2. Оставшийся срок службы (в годах) эксплуатируемого контактного провода:

$$t_{Кост} = \frac{(S_{смн} - S_{ум}) \cdot n \cdot 10^4}{i \cdot P_{год}} \quad (2),$$

где $S_{ум}$ - средний износ контактного провода в году T , когда были выполнены последние измерения.

4.3. Удельная потеря меди контактным проводом в $t/10^6$ км пробега ЭПС:

$$m_k = d \cdot i \cdot 10^{-4}$$

где d - плотность материала контактного провода, равная для меди 8900 кг/м^3 .

4.4. Удельная потребность в новом контактном проводе для замены изношенного (в $t/10^6$ км пробега ЭПС):

$$g_k = \frac{m_k S K_{\text{сопр}} \cdot K_m \cdot K_\beta}{S_{\text{сми}}}$$

где:

S - номинальное сечение контактного провода в мм²;

$K_{\text{сопр}}$ – коэффициент, учитывающий, что длина заменяемого провода больше, чем длина пути, за счет перекрытия на спряжениях анкерных участков (ориентировочно составляет 1,07 - 1,15);

K_t , – коэффициент возраста электрифицированных линий в системе. Рассчитывается по данным о минимальном и среднем сроке службы и вводе электрифицированных линий по годам в данной системе. Увеличивается в зависимости от среднего возраста электрифицированных линий в системе от 0 до 1.

K_β – коэффициент, учитывающий влияние на фактический средний срок службы эксплуатируемого контактного провода условий, предшествовавших приведению мероприятия по увеличению этого срока службы и зависящий от среднего износа провода к моменту осуществления мероприятия. Изменяется во времени от β до 1, где

$$\beta = \frac{i_{\text{предш.}}}{i_{\text{нов.}}},$$

где индексами «предш.», «нов.» Обозначены соответственно предшествующие и новые условия.

Применяется, например, при замене металлических не самосмазывающихся контактных пластин на токоприемниках угольными или металлокерамическими вставками. Значение g_k целесообразно нормировать для дороги в целом или отдельных системах, составляющих сеть электрифицированных линий дороги.

Общая потребность системы в новом контактном проводе (в тоннах) для замены изношенного для конкретного года T определяется «расчетная» и «плановая».

Расчетная потребность в году T .

$$G_{kt} = g_k R_{\text{год}} \cdot t \quad (6),$$

где $R_{\text{год}}$ суммарный пробег ЭПС в системе в 10⁶км.

Если нормированы значения g_{kn} отдельно для электровозов (Э) и электросекций (С), то

$$G_{kt} = g_{kn\text{Э}} \cdot R_{\text{год}} \cdot \text{Э} + g_{kn\text{С}} R_{\text{год}} \cdot \text{С} \quad (6')$$

Плановая потребность

$$G_{kt} = \sum G_{kt(yч)} \quad (7),$$

Где $G_{kt(yч)}$ потребность в проводе отдельных участков системы, определения на основе использования формулы (2).

При правильно определенных значениях i (или m_k), K_m и K_β значения $G_{kt(yч)}$ рассчитанные по формулам (6) и (7), должны совпадать.

Удельные расходы на замену изношенного провода новым (на 10⁶ км пробега ЭПС):

$$C_{кв} = \frac{C_{кн} K_x - \frac{S - S_{см}}{S} \cdot (C_{ки} + C_{кр} + C_o) S m_k}{S_{см} \cdot 10^3} \quad (8)$$

где:

$C_{кн}$ – цена нового контактного провода в национальной валюте за тонну по преЙскуранту. Далее размерность дается на примере ОСЖД, т.е. в евро/т;

K_x – коэффициент, учитывающий затраты на транспортировку и хранение контактного провода (не учтенные в преЙскуранте),

$C_{ки}$ – цена изношенного контактного провода, возвращаемого дорогой для утилизации, евро/т;

$C_{кр}$ – заработная плата с установленными начислениями на замену изношенного контактного провода новым, отнесенная к 1 тонне этого провода, евро/т;

C_o – расчетная стоимость «окна» в графике движения поездов, необходимого для замены изношенного контактного провода новым, отнесенная к 1 тонне провода, евро/т.

Примечание.

Если «окно» используется не только для замены контактного провода на данном анкерном участке, но и для других работ как на контактной сети, так и на пути, расчетная стоимость «окна» должна быть соответственно уменьшена.

4.5. Приведенные затраты в руб./км в год, связанные с износом контактного провода (рекомендуется, если не противоречит национальной методике).

$$Z = E_n (K_k + \sum K_{св}) + \sum \mathcal{E} + a_{тк} K_k + \sum (a_{тсв} \cdot K_{св}) \quad (9),$$

где:

E_n – нормативный коэффициент эффективности, Д'/год,

K_k – стоимость нового контактного провода с учетом стоимости монтажа и "окна", руб./км;

$\sum K_{св}$ – суммарная стоимость связанных единовременных затрат, сопутствующих данному мероприятию, руб./км.

Например, для варианта применения двойной контактной подвески вместо одинарной к связанным затратам должны быть отнесены:

стоимость вспомогательного провода и его монтажа;

б) стоимость опор контактной сети, поскольку их число на 1 км пути увеличивается для обеспечения такой же ветроустойчивости, как при одинарной подвеске;

для варианта замены одного вида контактных вставок токоприемников другим видом к связанным затратам должны быть отнесены такие расходы на техническое обслуживание и ремонт полозов токоприемников.

$\sum \mathcal{E}$ – суммарные текущие (эксплуатационные) издержки, относящиеся к данному мероприятию, руб./км год.

Например, для варианта применения бронзового контактного провода вместо медного включают стоимость потерь электроэнергии; для варианта двойной подвески – стоимость потерь электроэнергии и стоимость обслуживания подвески;

a_t – коэффициент, зависящий от срока службы контактного провода ($a_{тк}$)

или другого связанного с реализацией мероприятия оборудования ($a_{tk\text{ св}}$).

Значения a_t определяются по национальным методикам.

Например, железные дороги стран-членов ОСЖД определяют значение a_t с учетом отдаления затрат по формуле

$$a_t = \frac{E_H}{(1+E_H)^t - 1} \quad (10)$$

где:

$E_{\text{нп}}$ – норматив приведения затрат к текущему году;

t – расчетный срок службы данного оборудования в годах.