

## АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАРАБОТКИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА В ЗАДАЧАХ ПРОДЛЕНИЯ СРОКОВ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ

В статті розглянуто методи оцінки напрацювань, які сприймаються несучими конструкціями рухомого складу в процесі експлуатації, наведено конкретні приклади їх застосування.

*Ключові слова:* рухомий склад, подовження термінів експлуатації, напрацювання несучих конструкцій

В статье рассмотрены методы оценки наработок, воспринимаемых несущими конструкциями подвижного состава в процессе эксплуатации, приведены конкретные примеры их использования.

*Ключевые слова:* подвижной состав, продление сроков эксплуатации, наработка несущих конструкций

In the paper the methods of estimation of the accrued operating times perceived by the rolling stock supporting structures during their operation are considered; the concrete examples of their use are presented.

*Keywords:* rolling stock, prolongation of operation period, accrued operating time of supporting structures

Целью проведения натурных ходовых прочностных испытаний тягового и мотор-вагонного подвижного состава (ПВ) [1 – 6] для продления назначенного срока службы является получение достоверных оценок фактической динамической нагруженности его основных несущих конструкций (НК).

Вопросы, которые приходится решать при организации, проведении и анализе результатов испытаний, включают в себя:

- обоснованный выбор объектов испытаний, которые при максимальных эксплуатационных пробегах должны иметь среднее или не вполне удовлетворительное состояние их динамических показателей и технического состояния экипажной части;
- подбор испытательных направлений и плеч движения, которые либо позволяют оценивать динамическую нагруженность несущих конструкций при всех возможных сочетаниях элементов плана-профиля пути, скоростей и режимов ведения поезда, либо давать достоверные оценки нагрузок в эксплуатационных режимах для данной серии ПВ;
- выбор типа измерительного комплекса (стационарный, автономный или мобильный варианты), позволяющего обеспечить проведение испытаний ПВ без исключения его единиц из эксплуатационной работы;
- обеспечение требуемых режимов проведения испытаний, связанных с необходимостью набора статистики нагруженности НК или обеспечения поддержания неискаженного (штатного) режима его

эксплуатации;

- выбор зачетных результатов испытаний, содержащих в должных соотношениях как типичные, так и вероятные форсированные режимы нагружения НК ПВ.

Перед проведением испытаний формируется программа и методика их проведения. Программа и методика испытаний устанавливает цель, задачи, виды, условия и методы проведения испытаний подвижного состава с целью оценки динамической нагруженности их несущих конструкций.

Ниже рассмотрены особенности, которые характерны для проведения динамических ходовых и динамических прочностных испытаний по оценке и продлению срока службы подвижного состава.

Для оценки нагрузок, действующих на НК ПВ, могут быть рассмотрены три основных метода получения достоверных оценок его динамической нагруженности:

- *статистический*, когда для каждой ситуации движения (тип элемента плана пути, скорость движения, режим ведения локомотива) проводится оценки требуемых показателей прочности и динамики ПВ, которые впоследствии суммируются с принятыми для них вероятностями появления [7]  $P_{ikl}$ , т.е. частотой попадания амплитуды напряжений в  $i$ -тый интервал в случае движения ПВ со скоростью  $V_k$  (в границах  $k$ -го интервала скоростей движения) при движении ПВ по пути, который характеризуется  $l$ -тым интервалом радиусов кривых. При этом допускается, что скорость движения и характеристики пути (в пределах установленных

для них скоростей движения) являются статистически независимыми величинами, а суммарная длина реализации в каждой ситуации движения может быть выбрана согласно требованиям на проведение испытаний (например, приемлемые для этой цели требования изложены в [8]).

- *эксплуатационный*, в данном случае испытания выполняются на участках обращения испытываемого ПС с установленными скоростями движения. Суммарная длительность реализаций динамических процессов может быть принята равной

$$T_{\text{сумм}} = n_v n_p n_r T_{\text{сум}},$$

где  $T_{\text{сумм}}$  – суммарная длительность динамических процессов, подлежащих последующему анализу;  $n_v = 4 \dots 6$  – количество интервалов скоростей движения;  $n_p = 5$  – количество элементов плана пути;  $n_r = 3$  – количество режимов ведения поезда;  $T_{\text{сум}} \geq 180$  с – интервал регистрации динамических процессов в каждой ситуации движения (например, в соответствии с [8]). Тогда значение  $T_{\text{сумм}}$  ориентировочно составит 10800...16200 секунд.

- *максимальной нагруженности*, при этом требования к объему и характеру проведения испытаний могут соответствовать одному из выше перечисленных методов, однако для оценки динамической нагруженности НК отбирается единственная из зафиксированных реализация динамических процессов, которой соответствует наибольшая наработка. Длительность реализации должна составлять не менее  $T_{\text{сум}}$  для любого выбранного с этой целью участка.

При выборе метода проведения испытаний с целью продления срока службы ПС следует руководствоваться следующими предпосылками: статистика скоростей движения и элементов плана пути [9] на сегодняшний момент является устаревшей, что искажает общую картину динамической нагруженности НК. Кроме того, статистический метод проведения испытаний обязывает проводить оценку динамической нагруженности для всех, в том числе уже давно нетипичных элементов профиля. Более того, отсутствие обоснованной статистики скоростей движения, тем более дифференцированное по типам ПС, вносит дополнительные погрешности оценки наработок НК и их ресурса.

Таким образом, *эксплуатационный* метод проведения испытаний ПС с целью оценки его ресурса является предпочтительным с точки зрения получения обоснованных оценок их динамической нагруженности. Это же относится к методу максимальной нагруженности в случае, когда его применение позволяет получить приемлемые значения ресурса конструкции.

При проведении испытаний вышеуказанным методом необходимо позаботиться об оценке их должного объема, а именно:

- испытания необходимо выполнять на типичных участках обращения ПС данной серии, при этом выбирать из них желательно те участки, которые характеризуются более сложным планом и профилем;
- в отличие от выполнения обычных динамических ходовых и динамических прочностных испытаний, не следует стремиться к их проведению на путях отличного и хорошего качества, выбирая в зачет из опытных данных реализации, дающие наибольший вклад в нагруженность конструкции;
- не следует стремиться к набору полного объема статистики по скоростям движения, элементам плана-профиля и режима ведения тягового или мотор-вагонного ПС, при этом, в соответствии с опытом проведения подобных работ, испытательный пробег испытательных ПС при средней скорости их движения 60...80 км/час должен составлять не менее 180...360 км., т.е., примерно 0,2...0,4 % их среднегодового пробега (120...140 тыс. км).

В данной работе рассматриваются результаты сравнения эксплуатационных наработок электропоездов серии ЭР2 и дизель-поездов серий Д1 и ДР1А при повторном продлении их сроков службы, соответственно до 50 и 45 лет от постройки. Общие виды объектов испытаний приведены на рис. 1 – 3.

Учитывая то, что включение вагона-лаборатории в опытные сцепы мотор-вагонного подвижного состава (МВПС) влечет за собой использование вспомогательных локомотивов для создания тяги, в целях обеспечения адекватного эксплуатационному режиму движения были использованы мобильные измерительные комплексы, размещенные непосредственно в их пассажирских салонах (рис. 4).

Для каждой из указанных серий МВПС ранее были проведены первичные работы по

оценке остаточного ресурса их основных несущих конструкций, которые в части оценки прочности рам тележек включали в себя:

- экспериментальную оценку динамической нагруженности по методу *максимальной нагруженности*;
- стендовые вибрационные испытания экземпляров рам тележек по оценке их предела выносливости.



Рис. 1. Опытный электропоезд ЭР2 зав. № 503 во время отстоя в промежутке между проведением опытных поездов



Рис. 2. Опытный дизель-поезд Д1 зав. № 704 на территории мотор-вагонного депо Христиновка



Рис. 3. Опытный дизель-поезд ДР1А зав. № 273 на территории мотор-вагонного депо Полтава



Рис. 4. Мобильный измерительный комплекс, размещенный в салоне дизель-поезда ДР1А

С целью уточнения полученных при проведении первичных работ результатов, при повторном продлении срока службы рассматриваемых серий МВПС были проведены:

- экспериментальная оценка динамической нагруженности несущих конструкций по *эксплуатационному методу*;
- контрольные стендовые испытания на выносливость образцов материала рам тележек с наибольшей наработкой с целью оценки влияния на выносливость материала НК эксплуатации за период между проведением первичных и повторных работ.

Испытания образцов материалов тележек подтвердили предположение о том, что характеристики выносливости материала рам тележек рассматриваемых видов МВПС практически не ухудшились за период времени с момента проведения первичных работ по оценке их остаточного ресурса. С учетом того, что и материал сварных швов вероятно не поменял свои свойства, можно с уверенностью предположить, что в части выносливости НК рам тележек, полученные ранее оценки остаются актуальными.

Тогда резерв увеличения остаточного ресурса НК ПС без повторного проведения комплекса работ по оценке их выносливости может быть построен на основе более полного учета их фактической динамической нагруженности.

В частности, при проведении первичных работ по оценке остаточного ресурса рам тележек МВПС всех рассмотренных видов был использован метод максимальной нагруженности, что, подобно [6], позволяет уточнить их остаточный ресурс следующим образом:

$$L_{R2} = L_{R1} \cdot \frac{d_{\max}}{d_{\exp}}; \quad (1)$$

в выражении (1)  $L_{R2}$  – остаточный ресурс, выраженный в километрах пробега (или периоде эксплуатации, при наличии данных о средних пробегах за определенный период времени) при использовании эксплуатационной оценки нагрузки НК;  $L_{R1}$  – то же, при использовании метода максимальной нагрузки НК МВПС;  $d_{max}$  – удельная (на 1 км пробега) наработка НК при использовании для ее оценки метода максимальной нагрузки;  $d_{exp}$  – то же, для эксплуатационного метода оценки нагрузки НК.

При проведении всех рассматриваемых работ проводилась непрерывная регистрация скоростей движения объектов испытаний, характерные реализации которой приведены на рис. 5 – 7.

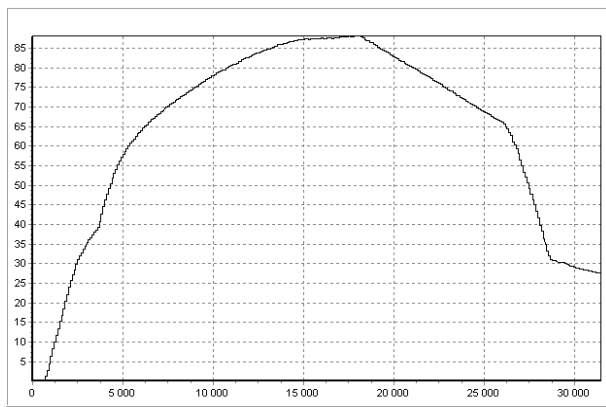


Рис. 5. Типичный вид графика скорости движения электропоезда ЭР2 как функции номера точки регистрации процесса

Приведенные выше графики иллюстрируют три способа оценки скорости движения объектов испытаний, не связанные с использованием штатного скоростемера вагона-лаборатории:

- использование датчика, связанного с приводом штатного скоростемера головного вагона электро- или дизель-поезда;
- использование программного формирования функции скорости движения на основании расшифровки данных журнала испытаний;
- использование данных о скорости движения на основании информации, принимаемой с GPS навигационного модуля.

Ниже, в табл. 1 – 3 приведены результаты уточненной оценки остаточного ресурса рам тележек электропоездов ЭР2 и дизель-поездов Д1, ДР1А.

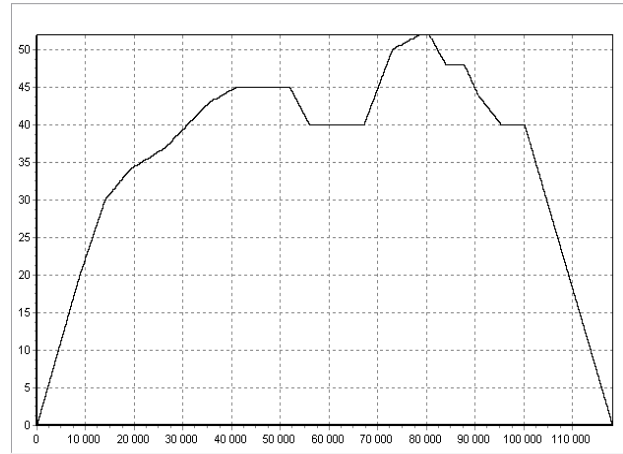


Рис. 6. Типичный вид графика скорости движения дизель-поезда Д1 как функции номера точки регистрации процесса

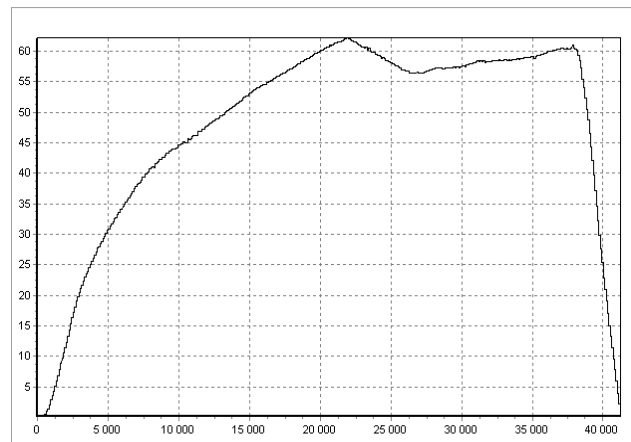


Рис. 7. Типичный вид графика скорости движения дизель-поезда ДР1А как функции номера точки регистрации процесса

Сравним далее средние удельные (на 1 км движения) наработки, полученные при проведении первичных [10, 11] и повторных испытаний рассмотренных в работе серий подвижного состава. Указанные данные приведены на диаграмме рис. 8.

Как видно из приведенных данных, несмотря на различные методы оценки динамической нагрузки НК рам тележек, полученные данные достаточно удовлетворительно сопоставляются, кроме нагрузки поддерживающей тележки дизель-поезда Д1, которая при проведении повторных испытаний оказалась менее нагруженной, чем при первичных испытаниях. Данный факт может иметь субъективные причины, не связанные с динамикой взаимодействия ПС и рельсового пути, например, более плавный режим ведения состава и отсутствие рывков при пуске в ход дизель-поезда и его торможении.

Таблица 1

**Сопоставление наработок рам тележек электропоезда ЭР2  
при проведении первичных и повторных испытаний**

Показатель	Наработка для рамы тележки, МПа <sup>4</sup>		
	головной	прицепной	моторной
Средняя наработка на 1 км пробега поезда по данным повторных испытаний	91985	49461	13762
Назначенный срок продления эксплуатации по данным работы [10], лет	27	27	9
Максимальная наработка на 1 км движения поезда по испытаниям	629691	549224	37427
Отношение максимальной зарегистрированной наработки к среднему эксплуатационному значению	8,21	13,32	3.26
Теоретически возможный максимальный срок службы рам тележек с учетом эксплуатационного распределения наработок по формуле (1), лет	221	359	29

Таблица 2

**Сопоставление наработок рам тележек дизель-поезда Д1  
при проведении первичных и повторных испытаний**

Показатель	Наработка для рамы тележки, МПа <sup>4</sup>	
	поддерживающей	прицепной
Средняя наработка на 1 км пробега поезда по данным повторных испытаний	28638	120270
Назначенный срок продления эксплуатации по данным работы [11], лет	25	25
Максимальная наработка на 1 км движения поезда по испытаниям	320557	1344389
Отношение максимальной зарегистрированной наработки к среднему эксплуатационному значению	11,2	11,2
Теоретически возможный максимальный срок службы рам тележек с учетом эксплуатационного распределения наработок по формуле (1), лет	280	280

Таблица 3

**Сопоставление наработок рам тележек дизель-поезда ДР1А  
при проведении первичных и повторных испытаний**

Показатель	Наработка для рамы тележки, МПа <sup>4</sup>		
	моторной	поддерживающей	прицепной
Средняя наработка на 1 км пробега поезда по данным повторных испытаний	33463	24004	11473
Назначенный срок продления эксплуатации по данным работы [11], лет	20	20	20
Максимальная наработка на 1 км движения поезда по испытаниям	$6,82 \cdot 10^4$	$4,29 \cdot 10^4$	$2,89 \cdot 10^4$
Отношение максимальной зарегистрированной наработки к среднему эксплуатационному значению	2,04	1,79	2,52
Теоретически возможный максимальный срок службы рам тележек с учетом эксплуатационного распределения наработок по формуле (1), лет	40,7	35,7	50,4

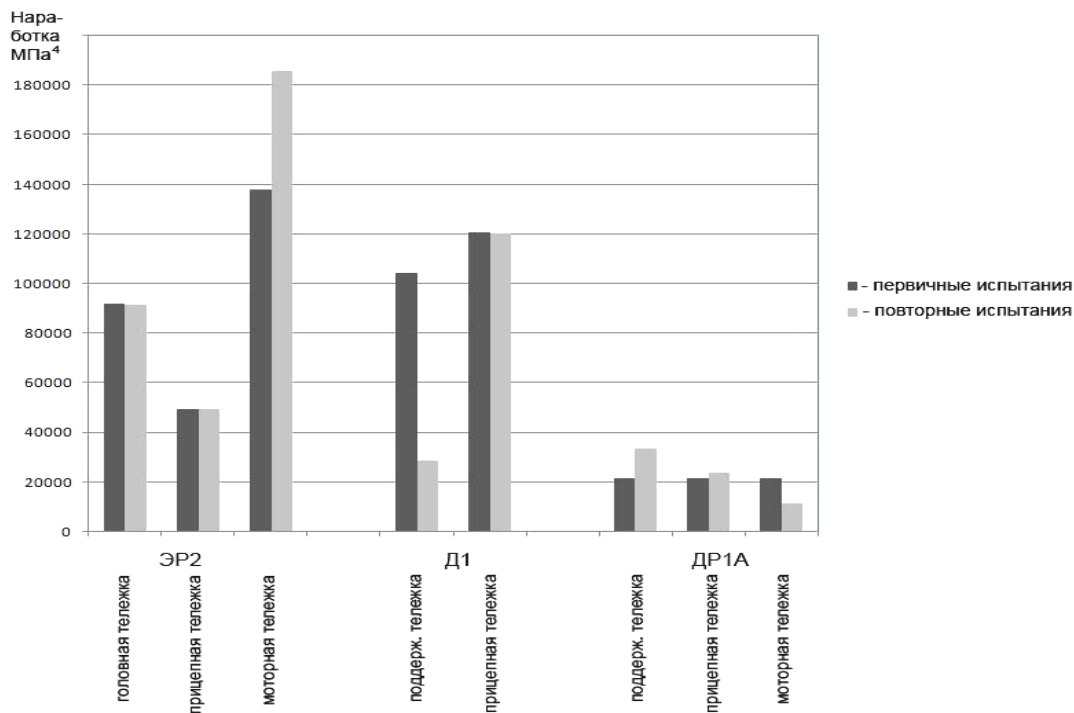


Рис. 8. Сравнение максимальных удельных наработок НК рам тележек, полученных при проведении первичных и повторных испытаний

Интересным представляется сравнение полученных при проведении повторных испытаний средних и максимальных удельных (на 1 км) наработок НК. Данная информация приведена на рис. 9.

Как свидетельствует приведенная информация, вариация значений данной безразмерной характеристики достаточно велика (2...12) и может служить достаточно показательным критерием оценки качества несущей конструкции с

точки зрения ее динамичности. Т.е., чем меньше значение отношения максимальной и средней удельных наработок НК, тем более динамична и, следовательно, худшего качества экипажная часть серии подвижного состава.

#### СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- ПС – подвижной состав
- МВПС – мотор-вагонный подвижной состав
- НК – несущая конструкция

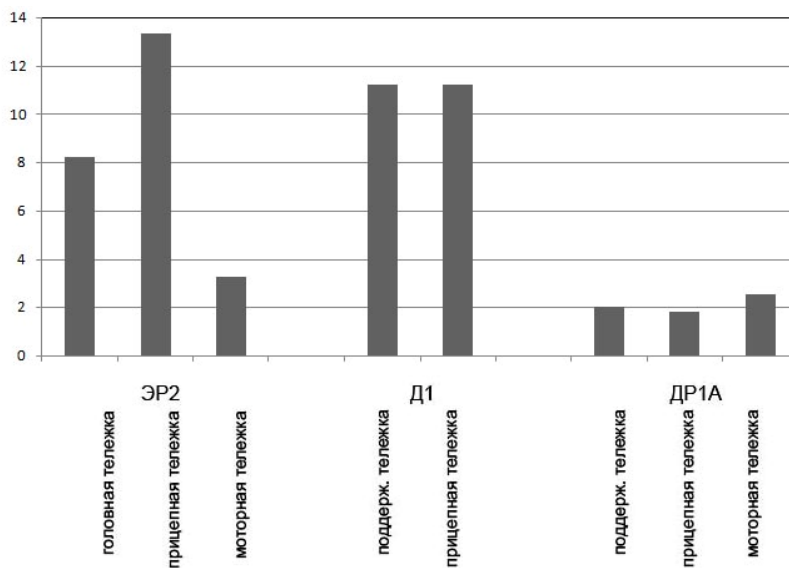


Рис. 9. Отношение максимальных и средних удельных наработок НК рам тележек, полученных при проведении повторных испытаний

## ВЫВОДЫ

Анализируя приведенные в работе данные, можно сделать следующие выводы:

1. Применение эксплуатационного метода оценки наработки НК ПС позволяет реализовать существенные (от 2 до 10-кратного) резервы продления их назначенных сроков службы для случаев, когда в качестве базовых используются результаты предыдущих работ, при которых эксплуатационная нагруженность оценивалась по принципу максимальной наработки.
2. Из рассмотренных в работе серий моторвагонного подвижного состава первые две (электропоезд ЭР9П и дизель-поезд Д1) имеют сходные соотношения максимальных и эксплуатационных наработок.
3. Относительно малое соотношение максимальных и эксплуатационных наработок для дизель-поезда ДР1А свидетельствует о его повышенной динамичности, что подтверждается данными испытаний и результатами проведенных испытаний.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Влияние эксплуатационных нагрузок на напряжения в элементах несущих конструкций электровоза ВЛ60 [Текст] / А. М. Бондарев [и др.] // *Залізн. трансп. України*. – 2002. – № 4. – С. 21-25.
2. Динамічні ходові та динамічні міцнісні випробування електровоза ВЛ40у [Текст] / В. Л. Горобець [та ін.] // *Залізн. трансп. України*. – 2006. – № 1. – С. 55-60.
3. Комплексная оценка срока службы пассажирских вагонов после проведения капитально-восстановительного ремонта: В 2 ч. [Текст]. – Ч. 1 / Е. П. Блохин [и др.] // *Залізн. трансп. України*. – 2002. – № 6. – С. 24-29.
4. Показники динаміки електровоза ЧС4 та міцності конструкцій рам візків виробництва ХК «Луганськтепловоз» [Текст] / О. М. Бондарев [та ін.] // *Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. – 2007. – Вип. 19. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2007. – С. 152-160.
5. Экспериментальная оценка динамических качеств тепловозов ТГМ 6А в условиях их эксплуатации на путях промтранспорта [Текст] / А. М. Бондарев [и др.] // *Зб. наук. пр. Київськ. ун-ту економіки і технологій трансп.: Сер. «Транспортні системи і технології»*. – Вип. 4. – К.: КУЕТТ, 2003. – С. 13-21.
6. Бондарев, О. М. Визначення строку служби несучих конструкцій моторвагонного рухомого складу із застосуванням методики порівняння їх динамічної навантаженості [Текст] / О. М. Бондарев, В. Л. Горобець, І. М. Грушак // *Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. – 2008. – Вип. 24. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 18-24.
7. Методика оценки остаточного ресурса несущих конструкций тягового подвижного состава [Текст]. – К.: Гос. администрация ж.д. трансп. Украины, ДИИТ, 1998. – 51 с.
8. СТО-00212127-07104-2005. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества [Текст]. – М.: ФГУП ГосНИИВ РФ, 1996. – 102 с.
9. Иоаннисян, А. И. Улучшение трассы существующих железных дорог [Текст] / А. И. Иоаннисян. – М.: Транспорт, 1972. – 171 с.
10. Визначення залишкового ресурсу несучих конструкцій електропоїздів ЕР9П [Текст] : звіт з НДР за темою 91.217.00.01 - 8/2000 - 842.00.01 - Цтех. – Д., 2001. – 113 с.
11. Розробка рекомендацій по підвищенню терміну експлуатації дизель-поїздів Д1, ДР1 на підставі проведення експериментально-аналітичних робіт [Текст] : звіт з НДР. – № ДР 0199U000049. – Д., 1999. – 157 с.

Поступила в редколлегию 02.06.2010.

Принята к печати 11.06.2010.