

А. М. БОНДАРЕН, к.т.н., доцент, ДИИТ (Украина);  
В. Л. ГОРОБЕЦ, к.т.н., вед.н.с., ДИИТ (Украина);  
В. В. КОЛБУН, к.т.н., доцент, ДИИТ (Украина);  
Д. А. ЯГОДА, с.н.с., ДИИТ (Украина);  
И. М. ГРУЩАК, Укрзалізниця (Украина);  
Л. А. МАНАШКИН, д.т.н., профессор (США)

## ОЦЕНКА РЕСУРСА НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПРОДЛЕНИЮ ЕГО СРОКА СЛУЖБЫ

У статті наведено загальний огляд циклів комплексних робіт з оцінки ресурсу основних несучих конструкцій рухомого складу.

В статье приведен общий обзор циклов комплексных работ по оценке ресурса основных несущих конструкций подвижного состава.

In the article the general review of cycles of complex works on estimation of the resource of basic carrying structures of the rolling stock is presented.

Оценке ресурса несущих конструкций подвижного состава положили начало работы по оценке динамики и прочности подвижного состава, которые проводились под научным руководством Всеволода Арутюновича Лазаряна в Отраслевой научно-исследовательской лаборатории динамики и прочности подвижного состава (ОНИЛ ДППС) начиная с конца 60-х годов прошлого столетия. В то время, в связи с переходом на новый тип межвагонных соединений и увеличением веса поездов появились стандарты на проведение испытаний грузовых и пассажирских вагонов на действие продольных ударных нагрузок, однако эти документы не распространялись на рефрижераторный подвижной состав. В тоже время и для других вагонов ударные испытания не относились к основным видам испытаний.

Целью испытаний вагонов на соударения является оценка напряженного состояния несущих конструкций, проверка прочности вагона и его оборудования при ударе в автосцепку с заданной силой или скоростью.

Эти испытания, хотя и предназначены для оценки прочности вагонных конструкций, но при этом не имеют ничего общего с оценкой ударной выносливости вагонов, поскольку не учитывался характер циклического нагружения вагона, имеющего место в эксплуатации, когда число нагружений может составлять  $10^5$  и более циклов.

С 1973 года в лаборатории по заданиям МПС СССР начинают разрабатываться методики и проводится ускоренные ресурсные испытания рефрижераторного и другого подвижного состава.

В 1980 году были рассчитаны и отработаны в экспериментах численные характеристики, позволившие разработать меру нагруженности оборудования и элементов кузова вагона, что в дальнейшем позволило: сопоставить различные конструкции по их надежности; прогнозировать сроки службы навесного оборудования и элементов несущих конструкций новых вагонов; прогнозировать остаточный ресурс при модернизации вагонов. Результатом этого этапа работы явилась разработанная методика проведения ударных испытаний вагонов. Результаты ресурсных испытаний рефрижераторных вагонов Брянского машиностроительного завода (Россия) и вагоностроительного завода Дессау (Германия), полученные с использованием разработанной методики в ДИИТе в последствии сопоставлялись с соответствующими результатами отказов в эксплуатации (временные характеристики появления трещин, поломок, выхода из строя комплектующих навесного оборудования) наблюдаемых в эксплуатации этих же вагонов и показали достаточно хорошее их совпадение.

На основании проведенных расчетов, ресурсных испытаний и предложенных модернизаций были устранены поломки холодильных

агрегатов типа ФАЛ-056/5 и несущих конструкций их крепления рефрижераторных вагонов. Разработанные методики проведения расчетов и ускоренных ресурсных испытаний позволили устранить недоработки в конструкции крепления дизель-генераторного оборудования рефрижераторных вагонов европейского габарита 0-Т, которые поставлялись на железные дороги СССР с 1984 года.

С 1988 года на железные дороги СССР среди достаточно большого объема поставляемых пассажирских вагонов и вагонов-рефрижераторов, Германия начала поставлять вагоны-термосы. Эти вагоны не имели холодильного оборудования, а опирались они на грузовые тележки модели 18-100. В перечне приемочных испытаний были проведены и ускоренные ресурсные испытания на продольный удар. Эти испытания выявили недостаточную прочность рамы вагона и крепления листов обшивки в грузовом помещении. При существующем типе конструкции оказалось, что срок службы вагонов этого типа составит 5-10 лет. На основании выполненных работ были разработаны и предложенные схемы модернизации, направленные на повышение прочности. При этом оказалось, что в 1998 году на Северной железной дороге произошло крушение грузового поезда по причине отрыва резервуара на вагоне-термосе постройки 1993 года, который к сожалению не был модернизированным и таким образом практически по истечению выше установленного срока службы произошла неприятность.

Накануне разделения СССР на ряд независимых государств, Украине в наследие передается большой парк электропоездов серии EP1, EP2, электровозов ВЛ8, ВЛ60. Среди указанных серий присутствует подвижной состав выпуска 1956 года, для которого назначенный срок эксплуатации составляет: 28 лет для вагонов электропоездов и 30 лет для электровозов. В связи со сложившимися обстоятельствами в локомотивном хозяйстве Украины острым оказался вопрос продления назначенного срока службы моторвагонного и тягового подвижного состава. К решению этой весьма важной задачи за заказами Укрзалізничці спеціалісти ОНІЛ ДППС приступають в 1996 році. Для решения вопросов продления назначенного срока службы единиц подвижного состава необходимо было разработать: методику выполнения цикла работ по продлению срока эксплуатации единиц подвижного состава; программы проведения динамических ходовых, динамических

прочностных испытаний по определению уровней нагрузок и напряжений, которые формируются в наиболее нагруженных сечениях основных несущих конструкций рам тележек и рам кузовов единиц подвижного состава; методику проведения вибрационных стендовых ресурсных испытаний конструкций рам тележек или же фрагментов несущих конструкций рам тележек и рам кузовов; пакеты прикладных программ по обработке результатов измерений зарегистрированных процессов при проведении натуральных испытаний

Первый комплекс работ по продлению срока службы подвижного состава (ПС) по заявке Укрзалізничці был проведен в 1997 – 1998 гг.

Электропоезда постоянного тока с напряжением питания в контактной сети 3000В ЭР1 и ЭР2, постройки Рижского вагоностроительного завода, выпускались серийно соответственно с 1957 и 1962 годов. Ко времени проведения указанных работ большинство секций электропоездов ЭР1 и ЭР2 исчерпало назначенный срок эксплуатации, равным 28 годам.

Работы проводились одновременно в трех направлениях, определивших в дальнейшем методологию проведения подобных исследований как в Украине, так и в России:

- оценка динамических качеств подвижного состава и эксплуатационной нагруженности основных несущих конструкций электропоезда (рам тележек и кузовов вагонов) путем проведения динамических ходовых и динамических прочностных испытаний;
- экспериментальная оценка предела выносливости рам тележек при проведении их стендовых вибрационных испытаний ( в связи с отсутствием возможности определения идентичных характеристик для кузова вагона, путем проведения их ресурсных испытаний с доведением до разрушения, принято решения такие испытания проводить только для рам тележек) ;
- оценка прочностных качеств несущих конструкций кузова и рам тележек с использованием метода конечных элементов.

Вид электропоезда ЭР1, с которым проводились испытания показано на рис. 1.

Кузов вагона электропоезда совместно с его рамой представляет собой единую несущую конструкцию, что и было учтено при разработке расчетных схем метода конечных элементов для оценки его прочности и разработке рекомендаций по его усилению.



Рис. 1. Электропоезд ЭР1 во время проведения динамических ходовых и динамических прочностных испытаний

Для теоретической оценки уровня напряженно-деформированного состояния несущих элементов кузова и рам тележек, возникающих в условиях эксплуатации, использовался метод конечных элементов (МКЭ). На рис. 2 показана конечно-элементная схема, используемая при проведении прочностных расчетов головного вагона электропоезда ЭР1 с модифицированной рамой, модель которого позволила также оценивать нагруженность прицепных вагонов обоих типов электропоездов. Расчетная схема кузова вагона состояла из 2028 стержневых и пластинчатых конечных элементов.

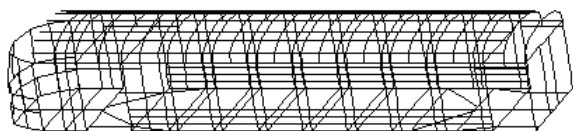


Рис. 2. Стержневая расчетная схема кузова вагона электропоезда

Выполненные расчеты позволили сделать следующие выводы:

- увеличение жесткости боковых балок приводит к перераспределению напряжений из центра боковой балки вагона в места присоединения к ней раскосов;
- усиление поперечной балки приводит к увеличению напряжений в дугах кузова в головной части, не снижая при этом напряжений в боковых балках кузова;
- усиление дуг крыши позволяет снизить напряжения в них в 2...3 раза, хотя величины напряжений не обеспечивают требуемые коэффициенты запаса;
- усиление шпангоутов боковой стенки позволяет снизить напряжения в них до безопасного уровня.

Для оценки характеристик выносливости рам тележек моторных и прицепных вагонов

электропоездов ЭР1 и ЭР2 были проведены их стендовые вибрационные испытания, при проведении которых была отработана методика их выполнения. В результате выполненного комплекса работ были разработаны Технические решения с рекомендуемыми видами работ по обеспечению эксплуатации указанных электропоездов с продлением срока их службы до 45 лет.

Одним из основных факторов, способствующих потере несущей способности несущих конструкций (НК) ПС является их коррозионный износ. В ряде случаев, части железнодорожных НК подвергаются более интенсивному коррозионному воздействию за счет локальной концентрации агрессивных сред. Поэтому далее при оценке ресурса единиц подвижного состава учитывался фактор изменения толщин элементов несущих конструкций за счет коррозии. На рис. 3 показано пример коррозионного износа элемента тележки электропоезда.



Рис. 3. Коррозионный износ консольной части надрессорной балки тележки электропоезда ЭР1 зав. № 033 (январь 2005 г.)

Поскольку прогноз срока службы НК ПС наиболее часто делается на основании оценки их сопротивления усталости при фактическом состоянии коррозии, задача прогноза дальнейшего возможного коррозионного воздействия окружающей среды является актуальной.

Для иллюстрации в качестве примера на рис. 4 приведена фактическая зависимость толщины боковой балки дизель-поезда Д1 (производство Венгрии, фирма MVAG) от пробега. Нелинейность и неоднозначность полученной зависимости может быть объяснен неоднородностью объектов обследования разного возраста. Подобная ситуация наблюдается, например, в парке пассажирских вагонов, построенных разными производителями в различные периоды времени.

Далее подобные работы, связанные с продлением срока эксплуатации выполнялись с дизель-поездами Д1 и ДР1А, электропоездами

ЕР9П, ЕР9М, ЕР9Е, тепловозами М62 и 2М62, 2ТЕ10, ТУ2, электровозами ЧС4, ВЛ60 и ВЛ8.

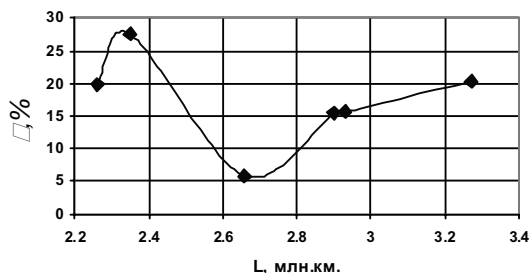


Рис. 4. Зависимость процентного уменьшения толщины полки боковой продольной балки рамы кузова  $\delta$  дизель-поезда Д1 от пробега L

Внешний вид указанных единиц моторвагонного и тягового подвижного состава представлен на рис. 4.

На рис. 5 показан головной вагон дизель-поезда ДР1А. В результате выполненного комплекса работ с дизель-поездами серии Д1 и ДР1А были разработаны Технические решения и далее Технические условия с рекомендуемыми видами работ по обеспечению эксплуатации указанных электропоездов с продлением срока их службы до 40 лет. При этом было предложено варианты ремонтных работ по усилению надрессорных балок и поддизельных рам головных моторных вагонов в местах, где появились трещины.

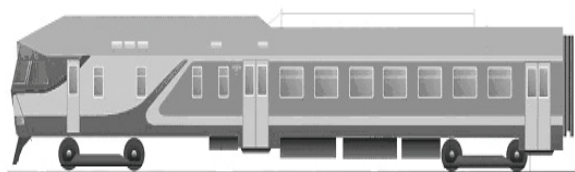


Рис. 5. Головной вагон дизель-поезда ДР1А

С электровозами серии ЧС4 выполнен большой комплекс работ, связанный с продлением срока службы, в том числе и работы по оценке влияния модернизации на показатели прочности, динамики, плавности и безопасности движения при скоростях движения до 160 км/час. Модернизация электровозов серии ЧС4, выполненная на Запорожском электровозоремонтном заводе (ЗЕРЗе) при соответствующем научном сопровождении работ специалистами ОНИЛ ДППС, позволила внедрить установку новых кузовов производства ЗЕРЗ, а также новых рам тележек производства ЧКД «Прага» и ХК «Лугансктепловоз».

На рис. 6 показан опытный сцеп, в составе которого находятся обычный и модернизированный электровозы ЧС4.

Во время проведения динамических ходовых и динамических прочностных испытаний электровоза ВЛ60 были установлены усилия, которые формируют наибольшие уровни напряжений в рамах тележек. Для наиболее напряженного узла рамы тележки (узлы соединения поперечных и продольных балок рам тележек) на основании расчета напряженно-деформированного состояния были предложены способы модернизации, которые позволили понизить уровень соответствующих максимальных напряжений. Общий вид электровоза ВЛ60 показан на рис. 7.



Рис. 6. Обычный и модернизированный электровозы ЧС4 во время проведения испытаний

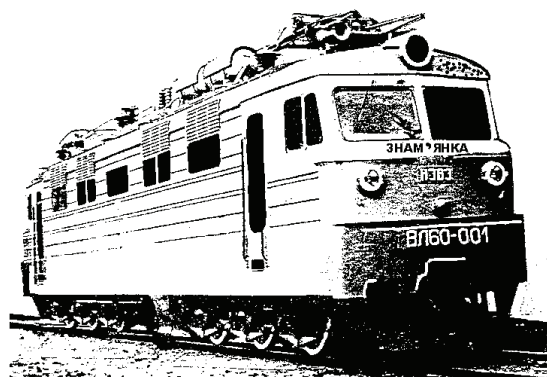


Рис. 7. Электровоз ВЛ60 локомотивного депо Знаменка

По мере приближения к соответствующим назначенным срокам эксплуатации работы по продлению срока службы были проведены для тепловозов М62, 2М62, 2ТЕ10 и естественно не обошли вниманием узкоколейный тепловоз серии ТУ2, которые сегодня эксплуатируются на детских железных дорогах и способствуют воспитанию молодого поколения железнодорожников.

ников. На рис. 8 показано тепловоз 2М62, с которым дополнительно к работам по продлению срока службы выполнялась работа по отработке условий его движения в составе грузовых поездов на участках с кривыми малых радиусов.

На рис. 9 показан вид участка Львовской железной дороги на направлении Тернополь – Чертково, где на главном ходу имеются кривые радиуса 175 м, в котором был сход тепловоза при движении его с составом вагонов грузового поезда. Рядом на временном пути расположен вагон путеиспытательной лаборатории.



Рис. 8. Тепловоз 2М62 с вагоном-лабораторией во время проведения испытаний. отстой на территории локомотивного депо Чертково



Рис. 9. Опытный участок пути, на котором произошел сход тепловоза

На рис. 10 показан вид моста, расположенного в кривой радиуса 185 м участка Львовской железной дороги на направлении Тернополь – Чертково.

На рис. 10 показан тепловоз 2ТЕ10 с вагоном-лабораторией во время проведения испытаний на Одесской железной дороге.

При решении вопросов продления срока эксплуатации несущих конструкций тепловозов этой серии были выполнены динамические ходовые и динамические прочностные испытания,

а также прочностной расчет напряженно-деформированного состояния этих конструкций. При определении ресурса основных несущих конструкций была применена методика сравнительной оценки уровней их нагруженности и наработок с аналогичными конструкциями тепловоза 2ТЕ116, для которого был выполнен полный комплекс работ, в том числе и ресурсные вибрационные испытания образцов, изготовленных из элементов соответствующих конструкций.



Рис. 10. Вид моста, расположенного в кривой радиуса 185 м. участка Львовской железной дороги на направлении Тернополь –Чертково



Рис. 11. Тепловоз 2ТЕ10 с вагоном-лабораторией во время проведения испытаний на Одесской железной дороге

На рис. 12 показан узкоколейный тепловоз ТУ2.

Для решения вопросов о продлении назначенного срока эксплуатации тепловозов этой серии специалисты ОНИЛ ДППС были привлечены в качестве консультантов и экспертов результатов выполненных работ. Основной мотивацией участие в этой работе прежде всего было то, что эти тепловозы эксплуатируются на детских железных дорогах, где ведется профориентационная работа по подготовке будущих студентов высших учебных заведений желез-

нодорожного профиля. На важность такой работы обращал внимание коллег и Всеволод Арутюнович Лазарян, который встречался с учащимися малой Приднепровской железной дороги. Интересным являлось то обстоятельство, что на таких встречах Всеволод Арутюнович так мастерски умел построить беседу, при которой юное поколение не ощущало себя незнакомцами.

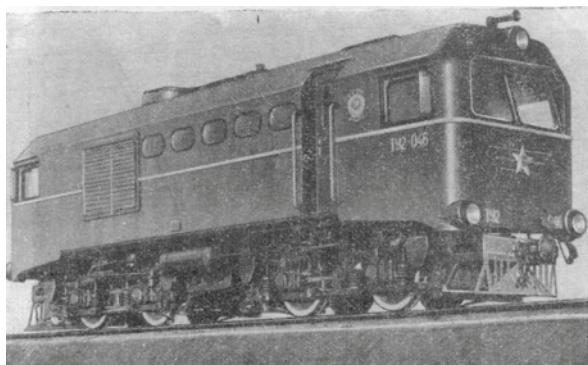


Рис.12. Узкоколейный тепловоз ТУ2

На рис. 13 представлен опытный сцеп, составленный из четырех вагонов электропоездов ЭР9М и ЭР9Е, вагона-лаборатории ДНУЖТа и электровоза ЧС4, с помощью которого были проведены динамические ходовые и динамические прочностные испытания вышеуказанных единиц на основных направлениях их эксплуатации на Юго-Западной железной дороге.



Рис. 13. Опытный сцеп с вагонами электропоездов ЭР9М, ЭР9Е

При определении ресурса основных несущих конструкций электропоездов ЭР9М, ЭР9Е как и рассмотрении аналогичных вопросов для тепловозов 2ТЭ10 была применена методика сравнительной оценки уровней их нагруженности и наработок с соответствующими характеристиками аналогичных конструкций электропоезда ЭР9П, для которого был выполнен полный комплекс работ, в том числе и ресурсные вибрационные испытания рам тележек.

Достаточно существенной помощью для решения нужд технологического цикла и подачи готовой продукции промышленного транспорта на пути магистрального транспорта была работа по продлению назначенного срока эксплуатации тепловозов серии ТГМ6А. Внешний вид данного тепловоза показан на рис. 13.



Рис.14. Общий вид тепловоза ТГМ6А

Комплексная работа по продлению срока службы парка тепловозов серии ТГМ6А выполнялась по договору с Никопольским заводом ферросплавов. При решении вопросов об оценке ресурса основных несущих конструкций рамы кузова тепловоза был использован метод «слабого элемента».

В сложной механической конструкции наверняка существует «слабый элемент» (СЭ), с которого начинается разрушение конструкции или его можно выделить на основании анализа истории эксплуатации и комплекса нагрузок, действующих на НК.

Большинство существующих расчетно-экспериментальных методов оценки ресурса несущих машиностроительных конструкций основано на сравнении результатов действия комплексов эксплуатационных и испытательных нагрузок на НК, получаемых при проведении стендовых вибрационных испытаний до разрушения образцов или натуральных деталей. Основой подхода к оценке остаточного ресурса НК заключается в использовании в качестве объекта «испытаний» саму металлоконструкцию, бывшую длительное время в эксплуатации, с использованием принципа «слабого элемента», который заключается в следующем.

В исследуемой конструкции выделяется один или несколько элементов-«индикаторов», которые с учетом их ответственности, топологии и технологии выполнения конструкции находится в наиболее неблагоприятных условиях нагружения.

Сегодня на электрифицированных участках постоянного тока (Приднепровская и Донецкая железные дороги) с напряжением питания в контактной сети 3000В основная тяжесть обеспечения грузовых перевозок приходится на электровозы ВЛ8. Опытный электровоз ВЛ8 с вагоном-лабораторией и составом вагонов грузового поезда приведено на рис. 15.



Рис. 15. Опытный электровоз ВЛ8 с вагоном-лабораторией и составом вагонов грузового поезда

Электровозы этой серии начали выпускаться в 1956 году и в 1967 году их выпуск был прекращен. Таким образом на сегодняшний день срок эксплуатации электровозов этой серии находится в диапазоне 41...52 года, а назначенный срок эксплуатации составляет 30 лет. Комплексные работы по продлению срока эксплуатации, которые выполнялись в два этапа, позволили продлить срок эксплуатации модернизированных электровозов ВЛ8 с выполнением соответствующего уровня капитального ремонта до 55 лет.

Для решения проблемной ситуации вождения пассажирских поездов с количеством вагонов до 11-13 единиц и при этом обеспечивать экономное расходование электроэнергии в Украине на базе Львовского локомотиворемонтного и Запорожского электровозоремонтного заводов было организовано производство электровозов ВЛ40. Руководством Укрзализниці было поручено специалистам ОНИЛ ДППС провести комплексные тягово-энергетические, динамико-прочностные испытания электровозов этой серии производства этих двух заводов. На рис.16 показано опытный сцеп при проведении соответствующих испытаний электровоза серии ВЛ40.

Выполненные комплексные тягово-энергетические и динамико-прочностные испытания электровозов ВЛ40 способствовали началу их производства на базе Львовского локомотиво-

ремонтного и Запорожского электровозоремонтного заводов и внедрению их на Львовской и Одесской железных дорогах. При этом были даны рекомендации заводам – изготовителям по улучшению конструкции этих электровозов, локомотивным бригадам по некоторым особенностям вождения поездов с использованием этих локомотивов, а соответствующим подразделениям Укрзализниці предоставить параметры, которые являются основой при составлении графика движения поездов.



Рис. 16. Опытный сцеп с электровозом ВЛ40

На сети дорог Украины для обеспечения необходимых условий и оперативности в организации работ и в принятии решений при выезде на линию комиссий из числа ведущих специалистов и руководящего состава используются специально оборудованные мотрисы на базе головных вагонов дизель-поездов Д1, ДР1А, а также мотриса производства польской фирмы «Песа». Особого внимания заслуживает мотриса (поезд для инспекционных поездок) Львовской железной дороги, которая была сделана на базе двух головных вагонов дизель-поезда ДР1А. Общий вид этой мотрисы показан на рис. 17.

При переоборудовании головных вагонов было сделано следующее: моторной стала одна тележка (вторая от кабины управления); кабины расширили и сделали салоны на 11-13 посадочных мест для размещения специалистов, принимающих участие в инспекционной поездке, с обеспечением хорошей обзорности; в немоторном вагоне размещен зал для проведения оперативных совещаний; на мотрисе установлены видеокамеры для обеспечения наблюдения за состоянием верхнего строения пути и взаимодействия колес колесных пар мотрисы с рельсами, а также спутниковая антенна и система «Новигатор». Динамико-прочностные испытания данной мотрисы проводились дважды. После первых испытания были выданы реко-

мендации для проведения необходимых модернизаций, обеспечивающих улучшение показателей динамики и безопасности движения при скоростях до 120 км/ч включительно. повторные испытания позволили проверить эффективность проведенной модернизации, а также неожиданно выявить дефектный подшипник (заводской брак) тягового редуктора, из-за которого произошло разрушение вала редуктора и карданного сочленения во время опытной поездки на сложном участке Львовской железной дороги.



Рис. 17. Мотриса Львовской железной дороги

Важную роль в обеспечении пассажирских перевозок в конце прошлого века сыграла модернизация пассажирских вагонов при проведении капитального ремонта, которая выполнялась на Днепропетровском вагоноремонтном заводе. Заказы на выполнение таких работ поступали не только с железных дорог Украины, а также с железных дорог России и Белоруссии. При решении вопроса назначения объема работ, который выражался в соответствующей оплате, необходимо было обеспечить необходимое увеличение срока эксплуатации таких вагонов после выполненного ремонта.

Для выполнения необходимых требований по обеспечению показателей динамики, прочности, плавности и безопасности движения со скоростями до 160 км/час вагонов после КВР в составе пассажирских поездов специалистами университета был выполнен соответствующий комплекс работ.

Ходовые динамические и прочностные испытания пассажирских вагонов выполнялись специалистами ДИИТа на перегонах Сухачевка – Пятихатки, Новомосковск-Днепровский – Баловка, Самаровка – Новомосковск-Днепровский и Обводная – Встречный Приднепровской железной дороги. Для их проведения был сформирован опытный сцеп (рис. 18), со-

стоявший из вагона лаборатории 1, пассажирского купейного 2 и плацкартного 3 вагонов, а также двух локомотивов 4.



Рис. 18. Опытный сцеп для проведения динамических ходовых и прочностных испытаний пассажирских вагонов после КВР

На основе анализа результатов испытаний, которые были выполнены в соответствии с действующей нормативной документацией были сделаны выводы о том, что коэффициенты вертикальной и горизонтальной динамики испытанных пассажирских вагонов не превышают допустимых значений (0,4 в буксовом подвешивании и 0,25 для центрального подвешивания и рамных сил) при движении с установленными скоростями.

Плавность хода модернизированных пассажирских вагонов, а также среднеквадратические значения вертикальных и горизонтальных поперечных ускорений на полу вагона в районе пятника не превышают допустимых значений во всех третьоктавных полосах диапазона 0,8-80Гц при скоростях движения 40-160 км/час для бесстыкового пути.

Основным нормативным соотношением для оценки срока службы несущих конструкций пассажирского вагона является выражение:

$$n = \frac{\sigma_{a,N}^u}{\sigma_3} \geq [n], \quad (1)$$

где  $n$  – коэффициент запаса выносливости (в случае обеспечения его нормативного значения срок службы пассажирского вагона устанавливается равным 28 годам);  $\sigma_{a,N}^u$  – расчетный предел выносливости при симметричном цикле напряжений, приведенный к базе испытаний  $N_0=10^7$ ;  $\sigma_3$  – расчетное эксплуатационное напряжение, приведенное к напряжению симметричного цикла и базе испытаний  $N_0=10^7$ ;  $[n]$  –



допускаемое значение коэффициента запаса выносливости.

В случае невыполнения нормативного соотношения (3) рассчитывается ограниченный ресурс несущих конструкций по формуле

$$T_k = \frac{\left( \frac{\sigma_{a,N}}{[n]} \right)^m N_0}{B f_3 d_3}, \quad (2)$$

где  $T_k$  – календарный (в годах) срок службы вагона;  $m$  – показатель степени кривой усталости;  $B$  – коэффициент перевода календарного расчетного срока службы детали во время непрерывного движения в секундах;  $f_3$  – центральная (эффективная) частота процесса изменения динамических напряжений, Гц.;  $N_0=10^7$  – база испытаний в циклах.

Удельная наработка  $d_3$  определяется по формуле

$$d_3 = \sum_{j=1}^n K_{yij} \sum_{Vi}^{Kvi} P_{Vi} \sum_{\sigma_i}^{Kbi} \sigma_i^m P_{\sigma_i}, \quad (3)$$

где  $K_{yij}$  – доля протяженности прямых ( $j=1$ ), кривых ( $j=2$ ) и стрелок ( $j=3$ );  $K_{bi}$  – принятое количество уровней (разрядов) амплитуд напряжений в  $i$ -м интервале скоростей движения;  $K_{vi}$  – количество интервалов скоростей движения;  $P_{vi}$  – вероятность появления напряжения с амплитудой  $\sigma_i$ .

Величина  $d_3$  получена в результате статистической обработки результатов динамических ходовых и прочностных испытаний пассажирских купейного и плацкартного вагонов после проведения КВР.

С целью выбора режимов проведения стендовых вибрационных испытаний были проведены расчеты напряженно-деформированного состояния (НДС) рамы тележки пассажирского вагона.

Исследования НДС рамы тележки позволили выбрать расчетные схемы и определить характер нагружения рам тележек при проведении их стендовых вибрационных испытаний.

Стендовые вибрационные испытания являются методом непосредственной экспериментальной оценки характеристик их выносливости.

Испытания элементов пассажирских вагонов после КВР проводились специалистами Государственного конструкторского бюро «Южное» на его экспериментальной базе.

Целью испытаний являлась экспериментальная оценка их расчетных пределов выносливости  $y_{a,N}^u$ . Для этого были разработаны и смонтированы стендовые вибрационные ком-

плексы (рис. 19, 20), в том числе, уникальный комплекс для испытаний кузова пассажирского вагона на действие вертикальных циклических нагрузок (рис. 21).

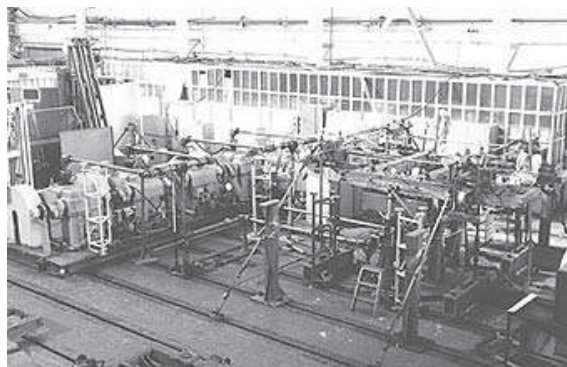


Рис. 19. Вибрационный стенд для испытаний рам тележек пассажирских вагонов

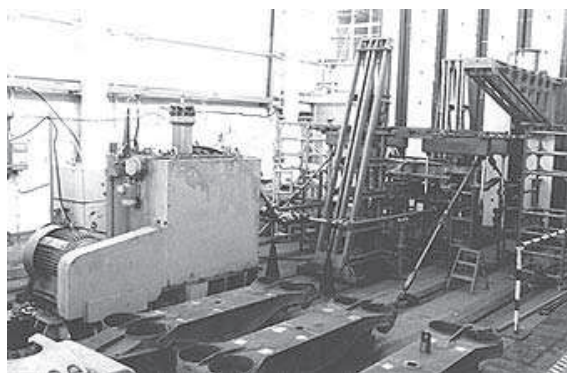


Рис. 20. Вибрационный стенд для испытаний над-рессорных балок пассажирских вагонов

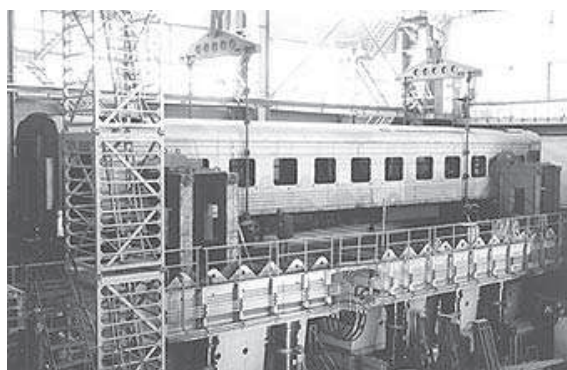


Рис. 21. Вибрационный комплекс для испытаний кузова пассажирского вагона

Представленные для стендовых испытаний несущие конструкции пассажирских вагонов были разрушены. На рис. 22 показан вид разрушения кузова пассажирского плацкартного вагона, полученного им в процессе проведения испытаний.

Несущие конструкции тележек, переданные для проведения испытаний, были разделены на

две группы: первую – производства завода «Аммендорф» и вторую – производство КВЗ.



Рис. 22. Разрушение рамы кузова пассажирского вагона, развившееся на его боковую стенку и крышу

В процессе эксплуатации единиц подвижного состава встречаются такие, с которыми не проводился капитальный ремонт с продлением срока службы (КРП). В этих ситуациях было принято решение о рассмотрении вопросов поэтапного продления срока службы. Целью поэтапного продления срока службы ТПС является назначение содержания, объема и последовательности работ, проведение которых обеспечивает эксплуатацию указанных электропоездов до проведения КРП.

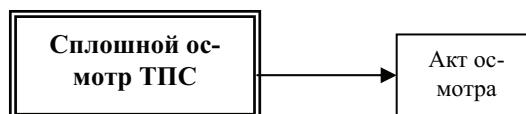
Единицы подвижного состава, которые исчерпали установленный срок службы, подлежат систематическому неразрушающему контролю. Мероприятия неразрушающего контроля выполняются согласно Техническим решениям относительно удлинения срока службы типов ТПС регламентами с момента превышения единицей подвижного состава назначенного для него срока службы.

Типичная блок-схема выполнения работ по поэтапному продлению срока службы ТПС приведена на рис. 23.

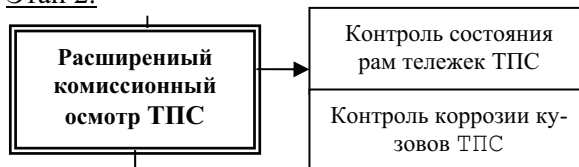
Сплошной осмотр единиц парка ТПС проводится, как правило, силами работников локомотивных депо. Его целью есть комиссия экспертная оценка фактического состояния основных несущих конструкций ТПС для удлинения их срока эксплуатации к выполнению работ следующего этапа удлинения их срока службы.

Расширенный комиссионный осмотр основных НК тележек и кузовов ТПС выполняется силами работников локомотивных депо при участии представителя локомотивной службы соответствующей железной дороги и группы специалистов по неразрушающему контролю. Его целью является комиссионный инструментальный контроль состояния основных несущих конструкций для удлинения срока эксплуатации ТПС до проведения КРП. Для проведения расширенного комиссионного осмотра формируется комиссия, как правило, под председательством главного инженера локомотивного депо.

Этап 1.



Этап 2.



Этап 3.

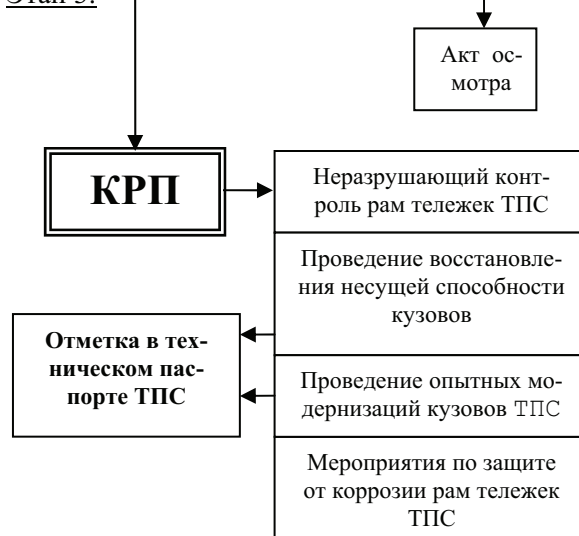


Рис. 23. Блок-схема работ по поэтапному продлению срока службы ТПС

Приведенные материалы выполненного комплекса работ данного научного направления свидетельствуют о том, что специалисты, которые выросли в научной школе, созданной академиком В. А. Лазаряном, способны решать вопросы любой сложности и тем самым содействовать обеспечению потребностей в обеспечении как пассажирских так и грузовых перевозок.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методика оценки остаточного ресурса несущих конструкций тягового подвижного состава [Текст]. – К.: Гос. администрация ж.д. транспорта Украины, ДИИТ, 1998. – 51 с.
2. Блохин, Е. П. Методичні та теоретичні аспекти поетапного подовження строку служби

тягового рухомого складу [Текст] /  
Е. П. Блохин, В. Л. Горобец, Н. И. Сергиенко //  
Сб. науч. тр. НГУ – 2002. – № 15. – Д.: РИК  
НГУ, 2002. – С. 105-112.

Поступила в редколлегию 16.07.2009