

УДК 629.4.018

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ ТЕПЛОВОЗОВ

Чигирик Н.Д., Зиньковский А.Н., Брагин Н.И.

## INVESTIGATING THE USE OF IMPROVED MODELS AT CARRYING OUT OPERATIONAL OF TESTS DIESEL LOCOMOTIVES

Chigirik N., Zinkivskyi A., Bragin N.

*В статье рассмотрены основные положения усовершенствования модели эксплуатационных испытаний модернизированных локомотивов. Предложен перечень контрольных параметров для проведения эксплуатационных испытаний модернизированных тепловозов на работоспособность, который основан на усовершенствованной классификации эксплуатационных испытаний подвижного состава, и был использован при испытаниях модернизированных тепловозов М62. Описана зависимость между стоимостью испытаний, количеством контролируемых параметров и достоверностью результатов испытаний.*

**Ключевые слова:** контрольные параметры, эксплуатационные испытания тепловозов, точность и достоверность результатов.

**Введение.** В данное время в сфере железнодорожного транспорта Украины сложилась критическая ситуация связанная с необходимостью скорейшего обновления парка магистральных и маневровых тепловозов [1, 2]. В то же время расширяется электрификация сети железных дорог, что позволит снизить расход энергоресурсов на перевозки грузов и пассажиров [3]. В то же время остается вопрос об обеспечении перевозочного процесса на не электрифицированных участках железных дорог.

Выходом из сложившейся ситуации была принята модернизация существующего парка тепловозов, которые отработали свой регламентированный срок службы, но после прохождения оценки технического состояния ответственных узлов (рамы кузова, рам тележек) получили разрешение на продление срока службы. Предложенные варианты модернизации тепловозов, для пополнения парка существующих, предусматривают замену силового и вспомогательного оборудования, а так же изменение компоновки локомотива и приборов его управления [4, 5].

Регламент выпуска новой продукции и модернизации существующей предусматривает ее обяза-

тельное испытание перед допуском в эксплуатацию. Объем проводимых испытаний влияет на стоимость их проведения и на стоимость модернизируемого локомотива в целом [6, 7].

**Постановка проблемы.** Обеспечение перевозок с использованием современной тепловозной тяги вызывает необходимость своевременно обеспечивать исправными и новыми локомотивами. В данный момент обеспечение новых поставок тепловозов обеспечивается за счет модернизации существующих, которые перед выходом на магистральные линии железных дорог в обязательном порядке проходят различные испытания. Основным требованием к таким испытаниям является их точность и достоверность результатов, что может быть достигнуто за счет точного контроля необходимого перечня параметров работы испытуемого локомотива, согласно цели испытаний сформулированной их заказчиком.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В работах Басова Г.Г., Боднаря Б.Е., Горобець В.Л., Грищенко С.Г., Демина Ю.В., Демина Р.Ю., Кельриха М.Б., Кудряша А.П., Мищенко К.П., Найша Н.М., Самсонкина В.Н., Тартаковского Э.Д., и др. неоднократно рассматривались разные виды испытаний локомотивов и их узлов как новых, так и модернизированных. При проведении испытаний выполнялось определение широкого спектра параметров работы образца тягового подвижного состава, по которым определялись его фактические технические характеристики. Однако, усовершенствование методов проведения испытаний, в частности эксплуатационных ними не рассматривалось, что позволило бы выполнить сокращение объема контролируемых параметров до необходимого количества, которое характеризует определенный тип испытаний, определенного заказчиком испытаний.

**Цель статьи.** На основе обзора и оценки результатов проведенных эксплуатационных испытаний модернизированных локомотивов по усовер-

шенствованным моделям дать рекомендации по их применению для новых типов подвижного состава.

**Результаты исследований.** Согласно разработанной усовершенствованной классификации эксплуатационных испытаний модернизированного тягового подвижного состава (рис. 1), которая предусматривает проведение испытаний локомотивов с конкретизацией их цели с заранее определенным перечнем контрольных параметров.



Рис. 1. Классификация усовершенствованных эксплуатационных испытаний подвижного состава

Испытания по данной классификации проводились для модернизированных тепловозов типа М62 и ЧМЭЗ с целью определения показателей работоспособности данных локомотивов.

Для определения показателей функционирования тягового подвижного состава при соответствующем типе эксплуатационных испытаний рекомендуется применение усовершенствованной методики их проведения. Ее особенностью является использование рациональной номенклатуры контрольных показателей, что позволит контролировать изменение параметров испытуемого объекта в зависимости от цели испытаний. При этом для оценки узлов, используемых на других типах подвижного состава возможно применение собранной статистической базы с учетом конструкции локомотива и региона его эксплуатации.

Для решения задачи совершенствования процесса проведения эксплуатационных испытаний модернизированных локомотивов применены экспертные методы достоверной оценки параметров эксплуатации, методы прогнозирования ресурса и диагностики.

При усовершенствовании процесса проведения эксплуатационных испытаний применены методы статистического моделирования на основе накопленной статистической информации.

При построении и проверке правильности составления математических моделей – их адекватности применены условные методы оптимизации и методы нелинейного программирования [8].

Испытания модернизированных тепловозов типа М62 проводились на территории Львовской железной дороги – основного места эксплуатации тепловозов данной серии. Заказчиком эксплуатационных испытаний выступала служба локомотивного хозяйства Львовской железной дороги, которое определило цель данных испытаний – определение работоспособности. При этом еще одним из требований к испытаниям была их низкая стоимость, что и было положено в основу целевой функции:

$$E_{\text{раб.}}^{\text{исп.}}(M_{\text{ис.}}^{\text{раб.}}) = E_{\text{раб.}}^{\text{орг.}} + E_{\text{раб.}}^{\text{обсл.}} \Rightarrow \min$$

где,  $E_{\text{раб.}}^{\text{орг.}}$  – расходы на организацию проведения эксплуатационных испытаний сотрудниками испытательной организации, грн.;

$E_{\text{раб.}}^{\text{обсл.}}$  – расходы на проведение технических обслуживаний и текущих ремонтов испытуемых модернизированных тепловозов.

Целевая функция является функцией минимизации расходов при проведении эксплуатационных испытаний в зависимости от типа используемой номенклатуры контрольных показателей и количества отказов и неисправностей за время их проведения.

Оценку работоспособности магистральных локомотивов следует проводить при отсутствии отказов и неисправностей за период времени или пробег локомотива, который равен пробегу определенному для проведения испытаний, поэтому за критерий оценки эксплуатационных испытаний принято критерий работоспособности, который соответствует требованиям цели испытаний и согласован с заказчиком испытаний. Отсутствие отказов в течение всего периода эксплуатационных испытаний на работоспособность ( $L \geq 5000$  км) является условием соблюдения критерия, т.е.:

$$K_{\text{исп.}}^{\text{раб.}} = N_{\text{отк.}} = 0 \text{ при } L \geq 5000 \text{ км}$$

Критерий работоспособности влияет на выбор составляющих массива контрольных показателей и показывает по каким показателям будет проводиться оценка работоспособности испытуемого объекта.

Для определения работоспособности модернизированного тепловоза типа М62 проводятся эксплуатационные испытания на работоспособность с пробегом  $L = 5000$  км, для которых выбирается план наблюдений  $[NU(r, T)]$ , по условиям которого, испытания начинаются для определенного числа объектов ( $N_i$ ), при возникновении неисправности, испытания прекращаются для восстановления работоспособного состояния, проведения ремонта и устранения повреждений, при этом объекты не заменяются. После приведения объектов в работоспособное состояние испытания начинаются сначала. Ис-

пытания заканчиваются после достижения наработки (Т). Данная процедура используется для установления безотказности и работоспособности испытуемых объектов в течение всего срока испытаний, который будет соответствовать пробегу локомотива в эксплуатации.

Для определения рациональной номенклатуры показателей применены экспертные методы ранжирования. Данная процедура заключается в определении приоритета контроля показателей для проведения соответствующего типа эксплуатационных испытаний рядом экспертов.

Так, из общего перечня рабочих параметров тепловозов выполняется выбор только тех параметров, которые будут удовлетворять требования к определению свойств работоспособности без учета общих рабочих показателей, сформированные в массив:

$$M_{yc}^{pab} = \{L, g_e, N_{TO,TP}^i, Q_n^i, N_{отк}\},$$

где,  $M_{yc}^{pab}$  – усовершенствованный массив контрольных показателей при эксплуатационных испытаниях на работоспособность;

$L$  – пробег испытуемого локомотива, км;

$g_e$  – удельный эффективный расход топлива, г/кВт час;

$N_{TO,TP}^i$  – количество выполненных технических обслуживаний и текущих ремонтов;

$Q_n^i$  – вес поезда, т;

$N_{отк}$  – количество возникших отказов за время проведения испытаний.

Для проведения эксплуатационных испытаний модернизированных тепловозов на работоспособность заранее определен перечень контрольных параметров, которые будет фиксировать сотрудник испытательной организации на протяжении определенного срока испытаний. При необходимости повышения достоверности результатов испытаний, количество контрольных параметров можно увеличивать, но при этом увеличивается и стоимость самих испытаний за счет увеличения объемов работ выполняемых специалистами, задействованными в сборе и обработке данных.

Сбор данных при проведении эксплуатационных испытаний модернизированных тепловозов выполняется с применением комбинации методов статистического входного контроля и методов по количественному признаку, соответствующее применение которых предусматривает выборочный контроль качества продукции, основанный на применении методов математической статистики для проверки соответствия качества продукции установленным требованиям и принятия решения, а также измерения и запись числовых значений признака для каждой единицы продукции рассматриваемой груп-

пы, предназначенные для сопоставления с некоторой непрерывной шкале.

Накопление статистических данных и выполнения выборочного контроля результатов испытаний выполняется по сложившейся номенклатуре показателей. Для создания номенклатуры применены экспертные методы оказания весомости показателям, с учетом, что их состав описывается теорией множеств, после чего определяем их количественные характеристики, как для неоднородных критериев и выполняем их приведения к одной порядковой шкалы оценивания, по которой определяется очередность и важность определения характеристик. Для установления состава рациональной номенклатуры согласно типам эксплуатационных испытаний необходимо определить коэффициент весомости показателей. Определенный коэффициент весомости будет указывать на необходимость включения показателя качества продукции (контрольного показателя) в состав соответствующей номенклатуры.

С учетом целей и условий эксплуатационных испытаний модернизированных тепловозов на работоспособность при построении модели испытаний, для соблюдения выполнения условий целевой функции, использовано формирования системы ограничений на основе критерия оценки, требований плана наблюдений и массива контрольных параметров модернизированного тепловоза М62, которые есть и аргументом целевой функции.

$$\lim^{pab} = \begin{cases} L \geq 5000 \text{ км}; \\ N_{HP} = 0; \\ P(I) \geq 0,96; \\ K_G \geq 0,95; \\ g_m, g_M \Rightarrow \min; \\ N_{TO,TP}^{pac} \Rightarrow \min. \end{cases}$$

где,  $L$  – пробег испытуемого локомотива, км;

$N_{HP}$  – количество неплановых ремонтов локомотива за время испытаний;

$P(I)$  – вероятность безотказной работы испытуемого локомотива;

$K_G$  – коэффициент готовности испытуемого локомотива;

$g_m, g_M$  – удельный расход испытуемым локомотивом соответственно топлива и масла при выполнении поездной работы во время испытаний, г/кВт;

$N_{TO,TP}^{pac}$  – минимально необходимое количество технических обслуживаний и текущих ремонтов проводимых испытуемому локомотиву.

Оценка результатов эксплуатационных испытаний на работоспособность и анализ свойств работоспособности модернизированного тепловоза типа М62 выполняется путем сравнения полученных ве-

личин с их допустимыми значениями, указанными в техническом задании и в действующей нормативно-технической документации УЗ.

В зависимости от необходимой степени достоверности результатов испытаний, заданной заказчиком испытаний, изменяется их цена, что будет одним из определяющих факторов образования цены. При этом достоверность результатов испытаний будет определяться по формуле:

$$m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}},$$

где  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение;

$n$  – количество параметров при проведении эксплуатационных испытаний, которые входят в контрольную группу.

$$\sigma = f(M_{yc}^{pab}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}},$$

где  $x_i$  – анализированный показатель работы локомотива;

$\bar{x}$  – среднее значение показателя.

**Выводы.** Использование рациональной номенклатуры контрольных показателей при проведении эксплуатационных испытаний модернизированных тепловозов на работоспособность дает возможность сократить расходы на их проведение, также влияет на цену приобретения локомотива.

Результаты исследований дают возможность установить возможность применения усовершенствованных моделей проведения эксплуатационных испытаний тепловозов с помощью выбора рационального количества контролируемых параметров и определяются при их проведении в соответствии с целью испытаний.

#### Л и т е р а т у р а

1. «Укрзалізниця» починає оновлення локомотивного парка [Електронний ресурс] / Режим доступу: [vchaspik.ua/ukraina/237473ukrzaliznytsya-nachinaet-obnovlenie-lokomotivnogo-parka](http://vchaspik.ua/ukraina/237473ukrzaliznytsya-nachinaet-obnovlenie-lokomotivnogo-parka) – Название с экрана.
2. Время обновления [Електронний ресурс] / Режим доступу: [www.magistral-uz.com.ua/articles/vremja-obnovlenija.html](http://www.magistral-uz.com.ua/articles/vremja-obnovlenija.html) – Название с экрана.
3. Реализация Программы электрификации железных дорог позволит снизить себестоимость перевозок на 55% [Електронний ресурс] / Режим доступу: [transportjournal.com/transportna-politika/otraslevoe-regulirovanie/realizatsiya-programmy-elektrifikatsii-zheleznyih-doroh-pozvolit-snyzyt-sebestoyimost-perevozok-na-55/](http://transportjournal.com/transportna-politika/otraslevoe-regulirovanie/realizatsiya-programmy-elektrifikatsii-zheleznyih-doroh-pozvolit-snyzyt-sebestoyimost-perevozok-na-55/) – Название с экрана.
4. Модернізація тепловозів м62 на залізницях України [Текст] / С.В. Хорунжий, А.Л. Сумцов, А.М. Зінківський, О.В. Камчатний // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 127 – С. 122 – 127.

5. «Укрзалізниця» до 2015 г. модернізує 1,5 тис. тепловозов [Електронний ресурс] / Режим доступу: [www.rzd-partner.ru/news/lokomotivy/ukrzaliznytsia--do-2015-g--moderniziruet-1-5-tys--teplovovov/](http://www.rzd-partner.ru/news/lokomotivy/ukrzaliznytsia--do-2015-g--moderniziruet-1-5-tys--teplovovov/) – Название с экрана.
6. Кучеренко, А. М. Модель проведення експлуатаційних випробувань [Текст] (матер. наук.–практ. конф.) / А. М. Кучеренко // Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології. – Київ. 2011. – С. 89.
7. ГСТУ 32.0.08.001-97. Порядок розроблення та поставлення продукції на виробництво для потреб залізничного транспорту в системі Міністерства транспорту України [Текст]. – Введ. 1999–05–10 – Київ: Галузевий стандарт України: Міністерство транспорту України, 2000. I, 96 с.
8. Половко, А. М., Основы теории надежности [Текст] / А. М. Половко, С.В. Гуров - 2-е изд., перераб. и доп. - СПб.: БХВ - Петербург, 2006. - 706 с.

#### R e f e r e n c e s

1. «Ukrzaliznytsya» nachinaet obnovlenie lokomotivnogo parka [Jelektronnyj resurs] / Rezhim dostupa: [vchaspik.ua/ukraina/237473ukrzaliznytsya-nachinaet-obnovlenie-lokomotivnogo-parka](http://vchaspik.ua/ukraina/237473ukrzaliznytsya-nachinaet-obnovlenie-lokomotivnogo-parka) – Nazvanie s jekrana.
2. Vremja obnovlenija [Jelektronnyj resurs] / Rezhim dostupa: [www.magistral-uz.com.ua/articles/vremja-obnovlenija.html](http://www.magistral-uz.com.ua/articles/vremja-obnovlenija.html) – Nazvanie s jekrana.
3. Realizacija Programmy jelektrifikatsii zheleznyh do-rog pozvolit snizit' sebestoimost' perevozok na 55% [Jelektronnyj resurs] / Rezhim dostupa: [transportjournal.com/transportna-politika/otraslevoe-regulirovanie/realizatsiya-programmy-elektrifikatsii-zheleznyih-doroh-pozvolit-snyzyt-sebestoyimost-perevozok-na-55/](http://transportjournal.com/transportna-politika/otraslevoe-regulirovanie/realizatsiya-programmy-elektrifikatsii-zheleznyih-doroh-pozvolit-snyzyt-sebestoyimost-perevozok-na-55/) – Nazvanie s jekrana.
4. Modernizacija teplovoviv m62 na zaliznicjah Ukraїni [Tekst] / S.V. Horunzhij, A.L. Sumcov, A.M. Zin'-kivs'kij, O.V. Kamchatnij // Zbirnik naukovih prac' UkrDAZT. – Harkiv: UkrDAZT, 2011. – Vip. 127 – S. 122 – 127.
5. «Ukrzaliznytsya» do 2015 g. moderniziruet 1,5 tys. teplovovov [Jelektronnyj resurs] / Rezhim dostupa: [www.rzd-partner.ru/news/lokomotivy/ukrzaliznytsia--do-2015-g--moderniziruet-1-5-tys--teplovovov/](http://www.rzd-partner.ru/news/lokomotivy/ukrzaliznytsia--do-2015-g--moderniziruet-1-5-tys--teplovovov/) – Nazvanie s jekrana.
6. Kucherenko, A. M. Model' provedennja ekspluatatsijnih viprobuvan' [Tekst] (mater. nauk.–prakt. konf.) / A. M. Kucherenko // Problemi ta perspektivi rozvutku transportnih sistem v umovah reformuvannja zaliz-nichnogo transportu: upravlinnja, ekonomika i tehnologii. – Kiїv. 2011. – S. 89.
7. GSTU 32.0.08.001-97. Porjadok rozroblennja ta postavlennja produktsiji na virobnictvo dlja potreb zaliznich-nogo transportu v sistemі Ministerstva transportu Ukraїni [Tekst]. – Vved. 1999–05–10 – Kiїv: Galuzevij standart Ukraїni: Ministerstvo transportu Ukraїni, 2000. I, 96 s.
8. Polovko, A. M., Osnovy teorii nadezhnosti [Tekst] / A. M. Polovko, S.V. Gurov - 2-e izd., pererab. i dop. - SPb.: BHV - Peterburg, 2006. - 706 s.

**Чигирик Н.Д., Зінківський А.М., Брагин М.І. Дослідження використання удосконалених моделей при проведенні експлуатаційних випробувань тепловозів.**

*У статті розглянуті основні положення удосконалення моделі експлуатаційних випробувань модернізованих локомотивів. Запропоновано перелік контрольних па-*

раметрів для проведення експлуатаційних випробувань модернізованих тепловозів на працездатність, який заснований на вдосконаленій класифікації експлуатаційних випробувань рухомого складу, і був використаний при випробуваннях модернізованих тепловозів М62. Описана залежність між вартістю випробувань, кількістю контрольованих параметрів і достовірністю результатів випробувань.

**Ключові слова:** контрольні параметри, експлуатаційні випробування тепловозів, точність і достовірність результатів.

**Chigirik N., Zinkivskiy A., Bragin N. Investigating the use of improved models at carrying out operational of tests diesel locomotives**

*Authors of this article discussed the basic methods of improvement model of operational testing modernized locomotives. Are given an improved classification of of operational tests modernized rolling stock, which takes into account the purpose of their implementation. Offered a list of of control parameters for the operational trials the modernized diesel locomotives on performance, which is based on an improved classification of operational tests rolling stock, and has been*

*used during the test modernized diesel locomotives M62. Proposed methods and principles for the collection of statistical information on the operation of the locomotive in accordance with the purpose of the operational trials modernized locomotives. Establishes the principle of determining the validity of the test results. The dependence of between the value of testing, quantity of controlled characteristics and fair presentation the test results. The conclusions about the appropriateness of applying improved models of the at carrying out of operational tests modernized locomotives.*

**Keywords:** control parameters, operational trials of locomotives accuracy and reliability of results.

**Чигирик Н.Д.** – к.т.н., доцент кафедри «Експлуатація та ремонт рухомого складу» УкрДАЗТ, Тел. (057) 730-1999м; **Зінківський А.М.** – к.т.н., асистент кафедри «Експлуатація та ремонт рухомого складу» УкрДАЗТ, e-mail: kuma-siktem@gmail.com.

**Брагін Микита Ігоревич** – аспірант УкрДАЗТ

Рецензент: д.т.н., проф. Чернецька-Білецька Н.Б.

Стаття подана 04.03.2014