

УДК 629.4.018; 629.018

МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ВЫБОРА ОБЪЕМА ИСПЫТАНИЙ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Іванченко Д.А.

METHODS AND MODELS FOR DETERMINING THE EXTENT OF TEST OF THE MODERNIZED TRACTION ROLLING STOCK

Ivanchenko D.

В статье рассмотрено задание определения объемов испытаний модернизированного тягового подвижного состава. Выполнен анализ методов и подходов по повышению эффективности проведения приемочных испытаний. Разработана модель выбора объема приемочных испытаний, которая базируется на использовании опыта эксплуатации, результатов испытаний принятого аналога. Дано описание оптимизационной модели, целевой функции и функций ограничения, определяющие модель. По результатам моделирования построены зависимости достоверности определения основных показателей ТПС в зависимости от стоимости испытаний.

Ключевые слова: тяговый подвижной состав, приемочные испытания, выбор объема.

Введение. Анализ существующего парка тягового подвижного состава железных дорог Украины показал значительную изношенность, моральное и физическое старение большинства эксплуатируемых

серий. Так, среди наиболее многочисленных тепловозов серии ЧМЭЗ уже в 2015 году почти 80 % (без учета списания) будут иметь срок эксплуатации свыше 30 лет (рис. 1).

Постановка проблемы. В рамках проблемы обновления тягового подвижного состава (ТПС) существуют задачи выбора типов и характеристик локомотивов, а также допуска их в эксплуатацию. Первая задача решается исходя из условий эксплуатации на железной дороге, финансовых возможностей заказчика и на основе расчетов стоимости жизненного цикла соответствующей серии ТПС. Согласно Правилам технической эксплуатации (ПТЭ) железных дорог Украины вновь построенный или модернизированный железнодорожный подвижной состав должен быть испытан и принят в эксплуатацию в установленном порядке.

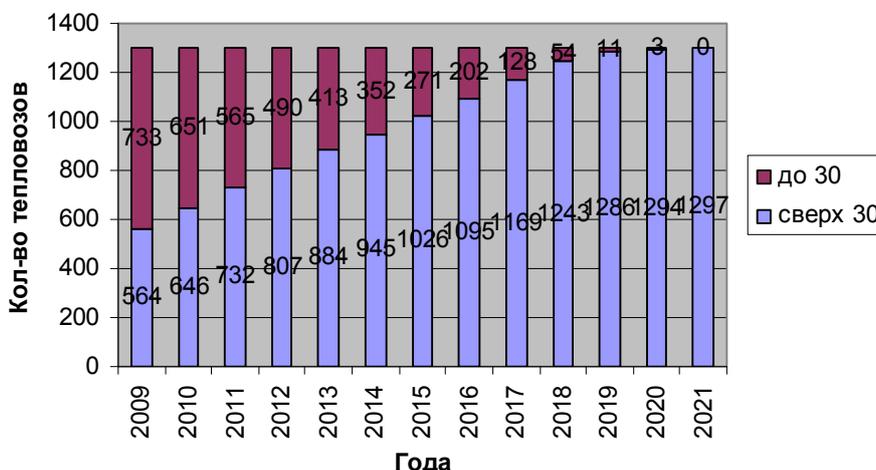


Рис.1. Динамика старения тепловозов серии ЧМЭЗ

При этом обязательно должны быть проведены испытания на соответствие всем обязательным требованиям. А объем и содержание испытаний, необходимых для недопущения постановки на производство неотработанной, несоответствующей техническому заданию (ТЗ), продукции, определяет разработчик с учетом новизны, сложности, особенностей производства и применения продукции, требований заказчика [1]. Речь идет о приемочных испытаниях локомотива в целом, в отличие от заводских испытаний отдельных узлов и устройств.

Анализ последних исследований и публикаций. Вопросами испытания ТПС занимаются ряд специализированных научно-технических и испытательных центров (ВНИИЖТ), транспортных вузов (ДНУЖТ, УкрГАЖТ) и другие организации. В их работах представлены результаты разных видов испытаний, характеризующие показатели тягового подвижного состава в разных аспектах. [7]

Испытания объединяют в группы по параметрам надежности, эргономичности, безопасности, экономичности и др. Основные группы приведены в таблице 1.

Учитывая тот факт, что в новых технических разработках применяется до 80% известных технических решений, что особенно характерно для локомотивов и другого железнодорожного подвижного состава в рамках унификации и стандартизации, в большинстве случаев нецелесообразно проведение всех известных видов испытаний. При оптимальной программе испытаний возможно сокращение материальных и временных затрат на их производство, что дает дополнительный эффект от сокращения сроков постановки новой техники на производство и ввод в эксплуатацию. [8]

Целью работы является разработка методов и моделей выбора объема приемочных испытаний ТПС.

Результаты исследования. Для выполнения поставленной задачи разработана модель выбора объемов приемочных испытаний ТПС (рис. 2). Ос-

новным принципом данной модели является широкое использование опыта эксплуатации, результатов испытаний, научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, относящихся к существующему ТПС, принятому за аналог. В основу модели положено взаимное использование результатов аналитических расчетов, моделирования, прогнозирования показателей ТПС и результатов испытаний. Причем последние используются в качестве обратной связи для уточнения параметров моделирования.

В разработке модели широко используются известные методы и теории. Теория планирования экспериментов дает ряд положений по оптимизации программы и объемов испытаний [4]. Теория информации рассматривает инструменты оценки полноты, релевантности, эргономичности информации, полученной во время испытаний [2,3]. Теория моделирования дает основу для развития и применения методов получения информации без затратных натурных испытаний [5]. Расчетно-экспериментальные методы позволяют оптимизировать объем испытаний, используя результаты моделирования [6].

Для выбора объема испытаний ТПС в качестве критериев оптимизации выступают стоимость и время проведения испытаний. Далее рассмотрена математическая модель выбора объема испытаний.

Задача состоит в определении вектора $u \in U$, который входит в массив возможных испытаний U ТПС, доставляющий экстремум целевой функции $F(u)$ и удовлетворяющий системе ограничений:

$$OK_{i1}u_1 + OK_{i2}u_2 + \dots + OK_{in}u_n \geq O_i, \quad (i = 1, 2, \dots, m); \quad (2)$$

$$DK_{i1}u_1 + DK_{i2}u_2 + \dots + DK_{in}u_n \leq D_i, \quad (i = m+1, m+2, \dots, m+n); \quad (3)$$

$$u_{j1} \geq 0, u_{j2} \geq 0, \dots, u_{jk} \geq 0 \quad k \leq n. \quad (4)$$

Таблица 1

Классификация основных видов испытаний и проверяемых показателей

| № | Группы испытаний | Основные проверяемые показатели |
|---|---|---|
| 1 | КОМПЛЕКСНЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ И ПО ВОЗДЕЙСТВИЮ НА ПУТЬ И СТРЕЛОЧНЫЕ ПЕРЕВОДЫ | Безопасность |
| 2 | СООТВЕТСТВИЕ ПРОЕКТНОМУ ОЧЕРТАНИЮ ГАБАРИТА | Безопасность |
| 3 | ДИНАМИКО-ПРОЧНОСТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЭКИПАЖА | Безопасность, долговечность |
| 4 | ТОРМОЗНЫЕ ИСПЫТАНИЯ | Безопасность |
| 5 | ТЯГОВО-ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЯГОВО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ТПС | Работоспособность, экономичность |
| 6 | ИСПЫТАНИЯ НА СООТВЕТСТВИЕ ТРЕБОВАНИЯМ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА И ОХРАНЫ ЗДОРОВЬЯ ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО ПЕРСОНАЛА | Безопасность, эргономичность |
| 7 | САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ | Эргономичность, влияние на окружающую среду |

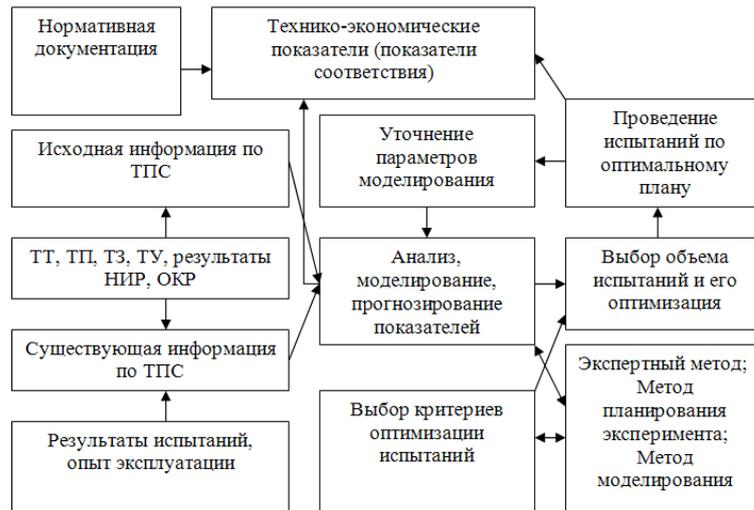


Рис. 2. Модель выбора объема приемочных испытаний ТПС

Для каждого вида испытаний u_i экспертным методом определяется вектор OK_i оценочных коэффициентов влияния проведения испытаний на обеспечение основных показателей качества ТПС. Вектор DK_i включает данные по стоимости и времени проведения отдельных видов испытаний. В качестве целевой функции выбирается либо общая стоимость проведения приемочных испытаний, либо общее время на их проведение. В таком случае требования по основным показателям качества ТПС будут включены в функции ограничения. С другой стороны, имея оценочные показатели по основным параметрам и конкретные данные по стоимости и времени, целесообразно в качестве целевой функции выбирать основной показатель. В качестве такого показателя рекомендуется выбирать безопасность, так как это уменьшает вероятность введения в эксплуатацию ТПС, не отвечающую основным требованиям – в первую очередь безопасности.

В таком случае целевая функция имеет такой вид:

$$\sum_{i=1}^N OK_i^S \cdot u_i \rightarrow \max, \tag{5}$$

а функции ограничения:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^N OK_i^R \cdot u_i \geq R_0 \\ \sum_{i=1}^N OK_i^E \cdot u_i \geq E_0 \\ \sum_{i=1}^N DK_i^C \cdot u_i \leq C_0 \\ \sum_{i=1}^N DK_i^T \cdot u_i \leq T_0 \\ u_i \in U \\ u_i \geq 0 \end{cases}, \tag{6}$$

где R_0, E_0 - минимальная оценка надежности и экономичности по требованиям для новой или модернизированной единицы ТПС;

C_0, T_0 - ограничение финансирования испытаний и ограничение времени на проведение приемочных испытаний.

Для определения вектора коэффициентов OK_i^S , учитывающих влияние проведения соответствующих испытаний на показатели безопасности, были исследованы причины транспортных происшествий, вызванных отказами оборудования и систем локомотива. Структурная схема результатов исследования показана на рис. 3.

Реализация данной модели представляет собой вектор u весовых коэффициентов испытаний, который дает возможность сформировать выбранный объем испытаний исходя из заявленных требований по проверке надежности, экономичности, безопасности в условиях ограниченных средств и времени на проведение испытаний.

Зависимость достоверности определения показателей безопасности, надежности и экономичности от затрат на испытания приведены на рис. 4, 5. По результатам моделирования также получены кривые затрат и времени на приемочные испытания, в зависимости от их количества, рис. 6.

Так, при заданном финансировании в 1,15 млн. грн. и сроке 875 ч на проведение испытаний, было выбрано 38 видов приемочных испытаний тепловоза. При этом достоверность показателей безопасности составила 0,96.

Вывод. Таким образом, разработана информационная модель систематизации наработок в области испытаний ТПС и оптимизации их объема, что позволит сократить расходы и повысить эффективность приемочных и исследовательских испытаний с использованием современных достижений теорий информации, подобия, моделирования и планирования эксперимента.

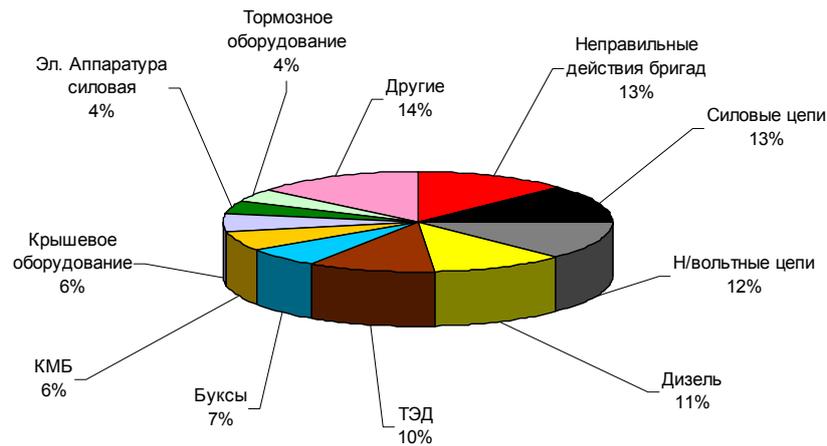


Рис. 3. Анализ влияния неисправностей оборудования ТПС на безопасность движения

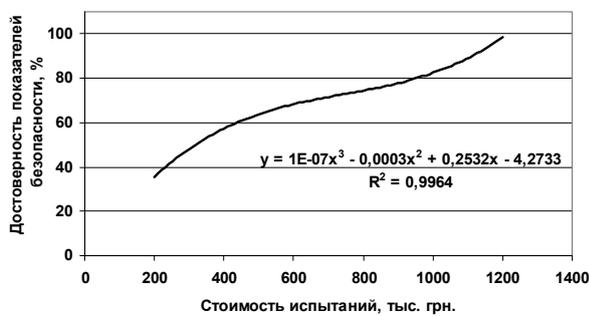


Рис. 4. Зависимость достоверности показателей безопасности от затрат на испытания

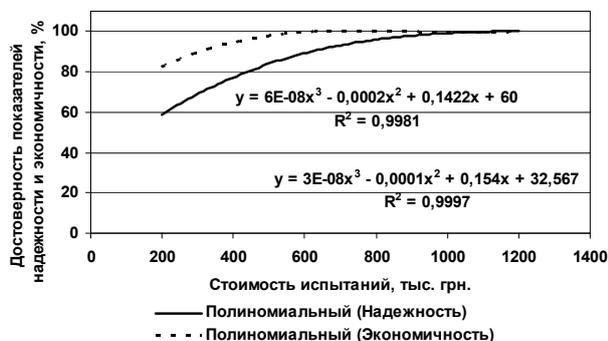


Рис. 5. Зависимость достоверности показателей надежности и экономичности от затрат на испытания

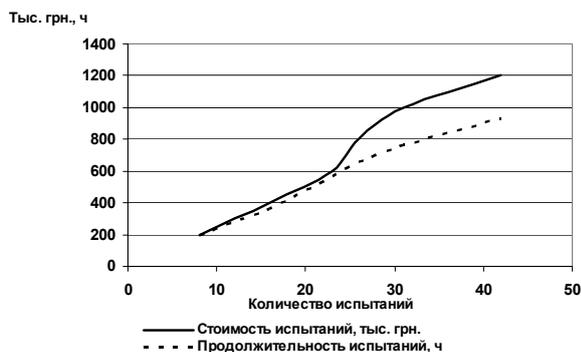


Рис. 6. Зависимости стоимости и времени от количества испытаний

Литература

- ГОСТ 15.309-98. Система разработки и постановки продукции на производство. Испытания и приемка выпускаемой продукции. Основные положения [Текст]. - К.: Госстандарт Украины, 2000. - 13 с.
- Бриллюэн, Л. Наука и теория информации [Текст]: пер. с англ. / Л. Бриллюэн. - М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1960. - 391 с.
- Мазур, М. Качественная теория информации [Текст]: пер. с польского / М. Мазур. - М.: Мир, 1974. - 240 с.
- Хартман, К. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов [Текст]: пер. с нем. / К. Хартман. - М.: Мир, 1977. - 552 с.
- Тарасик, В.П. Математическое моделирование технических систем [Текст] / В.П. Тарасик. - Мн.: Дизайн-ПРО, 2004. - 640 с.
- Дьомін, Ю.В. Удосконалення системи допуску рухомого складу до експлуатації / Ю.В. Дьомін // Залізничний транспорт України. - 2013. - №2. - С. 5 - 8.
- Іванченко Д. А. Випробування тягового рухомого складу залізниць / Д. А. Іванченко // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля - Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2010. - № 1 (143). Ч. 2. - С. 72-75.
- Іванченко, Д.А. Оптимизация объема приемочных испытаний тягового подвижного состава железных дорог [Текст] / Д.А. Иванченко, А.В. Камчатный // Локомотивы. XXI век: сборник материалов Международной научно-технической конференции, посвященной 110-летию со дня рождения д.т.н., профессора Е.Я. Гаккель, 2013 г., Санкт-Петербург (Россия). - СПб: ПГУПС, 2013.

References

- GOST 15.309-98. Sistema razrabotki i postanovki produkcii na proizvodstvo. Ispytanija i priemka vypuskaemoj produkcii. Osnovnye polozhenija [Tekst]. - K.: Gosstandart Ukrainy, 2000. - 13 s.
- Brilljujen, L. Nauka i teorija informacii [Tekst]: per. s angl. / L. Brilljujen. - M.: Gosudarstvennoe izdatel'stvo fiziko-matematicheskoi literatury, 1960. - 391 s.
- Mazur, M. Kachestvennaja teorija informacii [Tekst]: per. s pol'skogo / M. Mazur. - M.: Mir, 1974. - 240 s.
- Hartman, K. Planirovanie jeksperimenta v issledovanii tehnologicheskikh processov [Tekst]: per. s nem. / K. Hartman. - M.: Mir, 1977. - 552 s.

5. Tarasik, V.P. Matematicheskoe modelirovanie tehniceskikh sistem [Tekst] / V.P. Tarasik. – Mn.: DizajnPRO, 2004. – 640 s.
6. D'omin, Ju.V. Udoskonalennja sistemi dopusku ruhomogo skladu do ekspluatacii / Ju.V. D'omin // Zaliznicnij transport Ukraini. – 2013. – №2. – S. 5 – 8.
7. Ivanchenko D. A. Viprobuvannja tјagovogo ruhomogo skladu zaliznic' / D. A. Ivanchenko // Visnik Shidnoukraїns'kogo nacional'nogo universitetu im. V. Dalja – Lugans'k: SNU im. V. Dalja, 2010. – № 1 (143). Ch. 2. – S. 72-75.
8. Ivanchenko, D.A. Optimizacija ob#ema priemochnyh ispytanj tјagovogo podvizhnogo sostava zheleznyh dorog [Tekst] / D.A. Ivanchenko, A.V. Kamchatnyj // Lokomotivy. NHI vek: sbornik materialov Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoi konferencii, posvjashhennoj 110-letiju so dnja rozhdenija d.t.n., professora E.Ja. Gakkel', 2013 g., Sankt-Peterburg (Rossija). – SPb: PGUPS, 2013.

Іванченко Д.А. Методи і моделі вибору обсягу випробувань модернізованого тягового рухомого складу.

У статті розглянуто завдання визначення обсягів випробувань модернізованого тягового рухомого складу. Виконано аналіз методів і підходів щодо підвищення ефективності проведення приймальних випробувань. Розроблено модель вибору обсягу приймальних випробувань, яка базується на використанні досвіду експлуатації, результатів випробувань прийнятого аналога. Дано опис оптимізаційної моделі, цільової функції і функцій обмеження,

що визначають модель. За результатами моделювання побудовані залежності достовірності визначення основних показників ТПС залежно від вартості випробувань.

Ключові слова: тяговий рухомий склад, приймальні випробування, вибір обсягу.

Ivanchenko D. Methods and models for determining the extent of test of the modernized traction rolling stock.

The paper considers the problem of determining the extent of testing the upgraded traction rolling stock. The analysis of methods and approaches to improve the efficiency of acceptance tests. The model selection extent acceptance tests based on the use of operating experience, test results received analogue. The description optimization model, the objective function and constraints functions that define the model. As a result of simulation based reliability depending on the definition of key indicators traction rolling stock depending on the cost of testing. Based on the results obtained by simulation curves also cost and time acceptance test, depending on their number.

Keywords: traction rolling stock, acceptance tests, the choice of volume.

Іванченко Д.А. – асистент кафедри «Експлуатація та ремонт рухомого складу» УкрДАЗТ,
e-mail: ukrsart.erps@gmail.com.

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

Стаття подана 01.04.2015