

УДК 621.313.12

**В.В. Карпенко, канд. техн. наук, руководитель испытательного центра**

**А.Е. Ковалев, канд. техн. наук, заведующий отделом**

**А.А. Гутниченко, заведующий лабораторией**

*Государственное предприятие завод «Электротяжмаш»,*

*пр. Московский 299, г. Харьков, Украина, 61089*

*E-mail: icteo@spetm.com.ua*

## **ТЯГОВЫЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ МАГИСТРАЛЬНОГО ГРУЗОВОГО ТЕПЛОВОЗА ДЛЯ МОНГОЛИИ**

*Рассмотрена подготовка завода к внедрению стандарта IRIS при разработке процедуры «Валидация проекта и разработки (Процедура проведения испытаний)». Приведены методика и результаты эксплуатационных вибрационных испытаний тягового электродвигателя в условиях штатной эксплуатации магистрального грузового тепловоза в Монголии. Результаты будут использованы при моделировании эксплуатационных нагрузок.*

***Ключевые слова:** стандарт IRIS, валидация проекта, тяговый электродвигатель, эксплуатация в Монголии, виброн нагруженность, методика и результаты испытаний.*

### **Введение**

В настоящее время железнодорожные администрации стран СНГ внедряют стандарт системы менеджмента бизнеса IRIS [1] по ISO 9001, учитывающий специфику железнодорожной отрасли. Старший вице-президент ОАО «РЖД» Гапанович В.А. поставил задачу: предприятия-поставщики железнодорожного подвижного состава должны внедрить до 2015 г. стандарт IRIS; в противном случае ОАО «РЖД» прекращает закупку такой продукции.

Одной из обязательных процедур стандарта IRIS является разработка процедуры «Валидация проекта и разработки (Процедура проведения испытаний)». Если ранее под термином «валидация» подразумевалось проведение предварительных (квалификационных), приемочных и других испытаний, то в настоящее время под этим термином понимается подтверждение (на основе представления объективных свидетельств) того, что требования выполнены.

ГП завод «Электротяжмаш» – мировой лидер производства тяговых электродвигателей (ТЭД); им разработаны и серийно производятся ТЭД ЭД118А(Б), ЭД113А(Б), ЭД150А, АД917, устанавливаемые на тепловозы, ЭДП810, ЭД153, АД917 – на электровозы, АД906 – дизель-поезда и др. Среди указанных двигателей наиболее востребованным является ТЭД ЭД133, применяемый на магистральном грузовом тепловозе серии 2ТЭ116. Анализ отказов указанного двигателя говорит о том, что их количество существенно зависит от условий эксплуатации.

Одной из причин нарушения работоспособности ТЭД является подвижность катушки главного полюса (ГП) на сердечнике, что при длительной эксплуатации может привести к перетиранию корпусной изоляции и к пробоем ее на корпус двигателя. Данный вид отказа практически не встречается в Украине и России, но является основным для двигателей для Монголии. Это говорит о том, что валидация проекта и разработки ТЭД ЭД133, поставляемых в Монголию, проведена не в полном объеме. На первом этапе необходимо определить механические нагрузки (вибрации, удары) на двигатель в условиях эксплуатации на Улан-Баторской железной дороге Монголии, так как повышенный уровень виброускорений двигателя может служить причиной появления подвижности катушки ГП.

Вторым важным фактором, который может приводить к подвижности катушки ГП на сердечнике, является резкая смена температур катушки и корпуса (тепловой удар). В отличие от конструкции ранее применяемой в ТЭД ЭД118, в испытываемой конструкции нет упругого элемента (пружинной рамки) между катушкой и корпусом. Это пространство заполнено замазкой, которая после запечки на заводе становится «жесткой» и не позволяет компенсировать температурные деформации. Многократные быстрые нагревы (режим тяги) и охлаждения (режим выбега), особенно в зимний период, приводит к появлению трещины и зазора между катушкой и корпусом, который под воздействием вибрации увеличивается и катушка становится подвижной на сердечнике. Условия эксплуатации (горная местность, перевалы, резко континентальный климат) являются определяющими для Улан-Баторской железной дороги.

Валидация проекта и разработка ТЭД ЭД133 для железных дорог Монголии актуальны и требуют проведения эксплуатационных вибрационных испытаний в штатных условиях; от достоверности полученных результатов зависит обеспечение надежности, работоспособности и безопасности ТЭД.

### Анализ публикаций

Многие исследователи и испытатели ВНИКТИ [2], ВЭЛНИИ [3], ГП завод «Электротяжмаш» [4–6] вопросу записи реальных вибрационных нагрузок в эксплуатации уделяли особое внимание. На основании полученных при эксплуатации данных формулировались технические требования к ТЭД (п.2.2.1 ГОСТ 2582) [7], разрабатывались методы и методики стендовых вибропрочностных испытаний, разрабатывались предложения по снижению динамической нагруженности ТЭД (например, путем ограничения величины допустимого износа шестерен тягового редуктора).

Полученных ранее эксплуатационных данных [2–4] недостаточно для валидации проекта и разработки ТЭД ЭД133, т.к. испытания проводились только на железных дорогах Украины и России, условия эксплуатации на которых существенно отличаются от условий Улан-Баторской железной дороги. В связи с этим *в данной работе представлены методика и результаты эксплуатационных вибрационных испытаний* конкретного двигателя ЭД133 для конкретного применения в условиях Монголии. Кроме того, известно, что вибрации и удары, воспринимаемые ТЭД в эксплуатации, зависят от времени года. В зимний период, когда железнодорожный путь более жесткий, уровень виброускорений возрастает в 2-3 раза [8], поэтому испытания проведены в два этапа: летний период 2013 г.; зимний период 2014 г.

### Цель работы

Исследование вибронгруженности ТЭД ЭД133 в условиях штатной эксплуатации на Улан-Баторской железной дороге (Монголия) проводились для валидации проекта и разработки по требованию стандарта IRIS.

### Результаты работы

Объектом испытаний являлся тяговый электродвигатель постоянного тока ЭД133АУХЛ2. 1-й этап в летний период 2013 г. проводился на ТЭД: зав. № 1922, тепловоз 2ТЭ116УМ, зав. № 006, секция Б, колесная пара № 1 на участках Улан-Батор – Багануур, протяженность участка 209 км, и Улан-Батор – Дархан, протяженность участка 278 км. 2-й этап – в зимний период 2014 г. при движении тепловоза 2ТЭ116УМ № 011, по маршруту Дархан 1 – Хотол – Дархан 1, протяженность участка 64 км и тепловоза 2ТЭ116УМ № 006, по маршруту Улан-Батор – Сайншанд – Улан-Батор, протяженность участка 473,8 км. Общая протяженность УБЖД составляет 1577,2 км. Исследовано 34 % УБЖД.

Для определения уровней вибрационных нагрузок, действующих на ТЭД в условиях эксплуатации, установили вибропреобразователи над моторно-осевой частью двигателя. Ориентация вибропреобразователей соответствовала трем взаимно-перпендикулярным направлениям. Установка вибропреобразователей на ТЭД показана на рисунке 1.

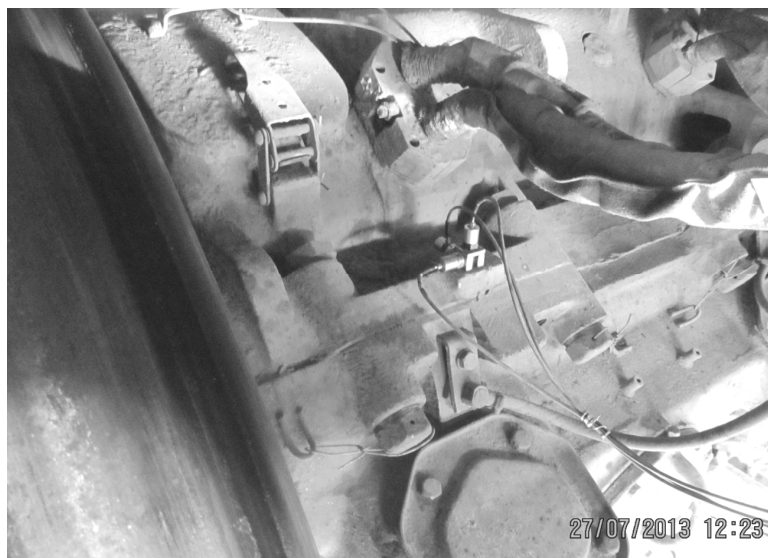


Рисунок 1 – Установка вибропреобразователей на ТЭД

В процессе проведения испытаний использовались анализатор спектра вибрации 795М с комплектом вибропреобразователей (1-й этап) и анализатор вибрации «Кварц КУ 060» (2-й этап), которые настраивались на два режима: режим спектрального анализа сигнала вибрации, при котором фиксировались спектры виброускорений и среднеквадратические значения (СКЗ) в заданном частотном

диапазоне; режим записи временной реализации сигнала виброускорений, при котором фиксировались максимальные амплитудные значения виброускорений в определенной временной области.

Необходимость использования на 2-м этапе анализатор вибрации «Кварц КУ 060» связана с тем, что он имеет возможность подключения расширительного блока на восемь параллельных каналов и широкий динамический диапазон измерений, что исключает возможность пропуска записей максимальных значений виброускорений.

Анализ полученных в процессе испытаний спектров и фрагментов временных сигналов виброускорений, действующих на ТЭД ЭД133УХЛ1 показывает, что амплитуда виброускорений может достигать:

в 1-й этап (летний период):

- в вертикальном направлении до  $190 \text{ м/с}^2$  (отдельные выбросы до  $320 \text{ м/с}^2$ );
- в поперечном направлении до  $13 \text{ м/с}^2$  ( $34 \text{ м/с}^2$ );
- в осевом направлении до  $15 \text{ м/с}^2$  ( $40 \text{ м/с}^2$ );

во 2-й этап (зимний период):

– основной (фоновый) уровень амплитуды виброускорения ТЭД находится в пределах  $50\text{-}70 \text{ м/с}^2$ , максимальные выбросы виброускорения достигают  $100\text{-}220 \text{ м/с}^2$ , происходят с периодичностью  $0,7\text{-}1$  сек, что соответствует прохождению колесно-моторных блоков стыков рельс и стрелочных переездов.

В режиме тяги частота основной вибрации ТЭД соответствует частоте зубчатого зацепления тягового редуктора.

Характерные спектры виброускорений ТЭД в режимах выбега и тяги показаны на рисунках 2 и 3.

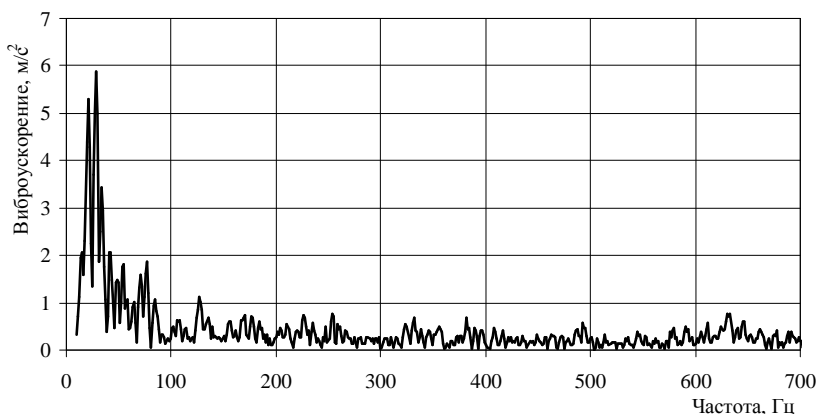


Рисунок 2 – Спектр виброускорения ТЭД в вертикальном направлении. Режим выбега

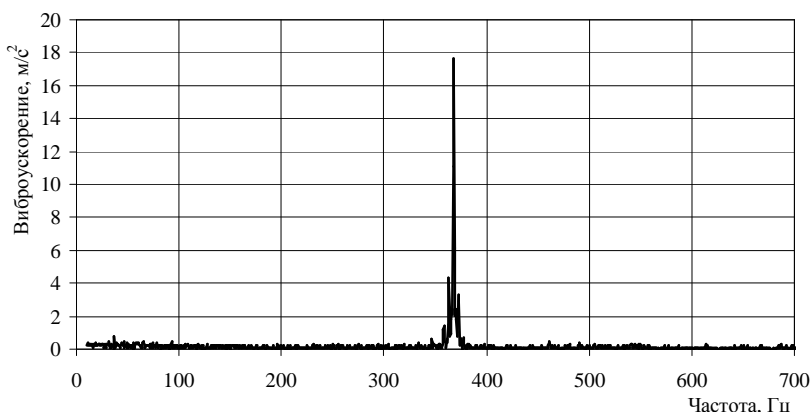


Рисунок 3 – Спектр виброускорения ТЭД в вертикальном направлении. Режим выбега

Полученные в режиме спектрального анализа характерные каскады спектров виброускорений в режиме тяги по трем направлениям показаны на рисунках с 4 по 6.

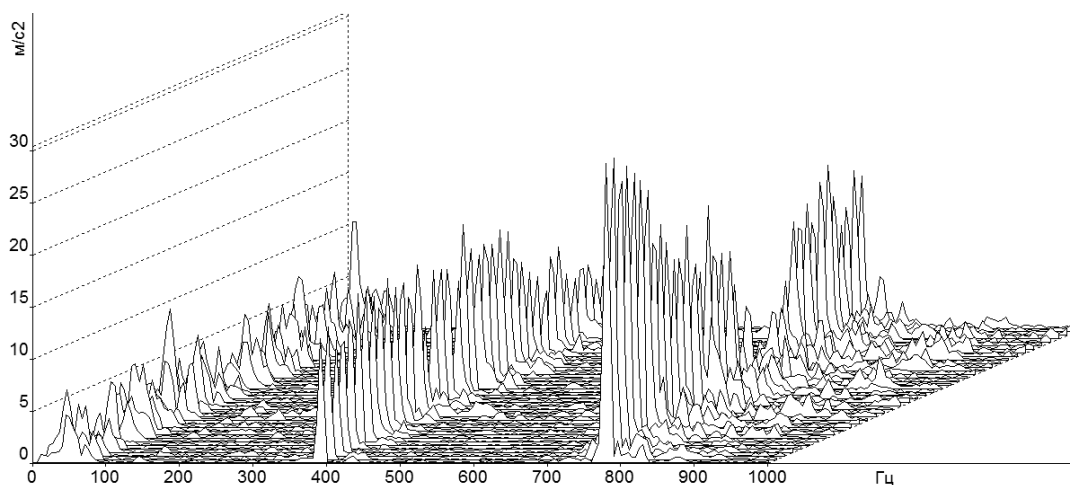


Рисунок 4 – Каскад спектров віброускорення ТЭД в вертикальному напрямленні. Режим тяги

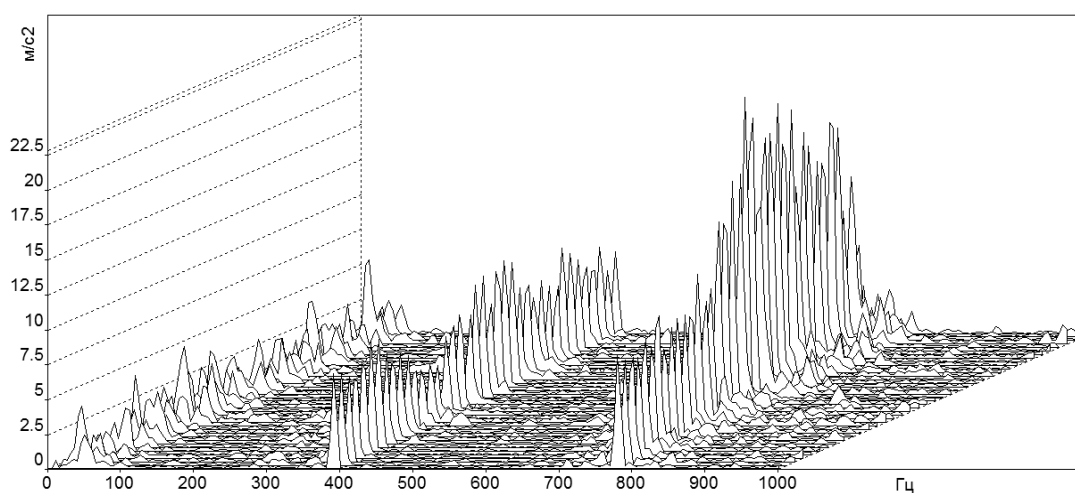


Рисунок 5 – Каскад спектров віброускорення ТЭД в поперечному напрямленні. Режим тяги

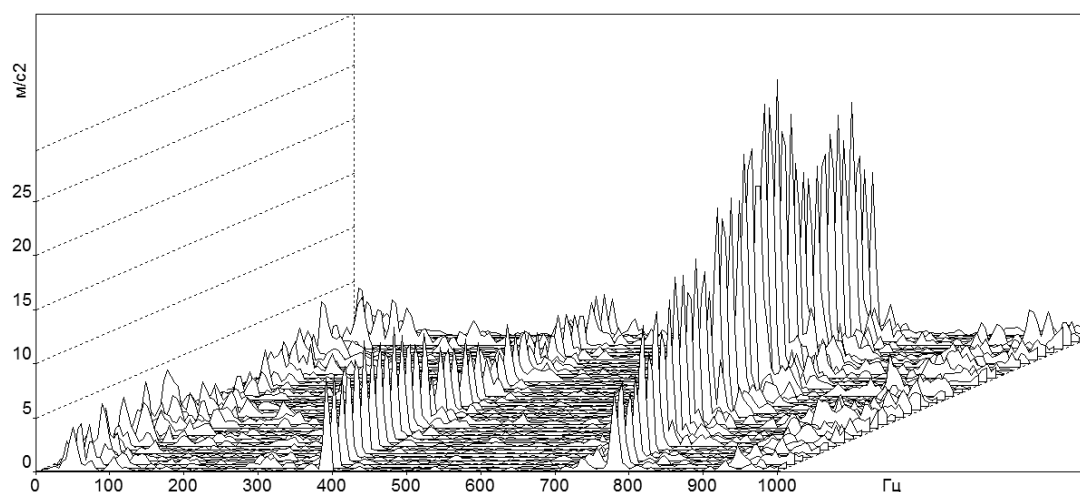


Рисунок 6 – Каскад спектров віброускорення ТЭД в осевому напрямленні. Режим тяги

Анализ результатов свидетельствует о том, что в спектре вибрации ТЭД по всем трем составляющим характерно наличие низкочастотной составляющей (0-100 Гц) и двух участков высокочастотной составляющей, связанной с наличием 1-й и 2-й зубцовой частоты тягового редуктора. Это говорит о том, что при стендовом моделировании вибрации испытания ТЭД следует проводить в составе колесно-моторного блока. Вибростенд должен реализовывать низкочастотную составляющую, а наличие тягового редуктора обеспечит высокочастотную составляющую спектра.

Фрагменты зафиксированных временных сигналов с максимальными значениями виброускорения по трем направлениям при движении тепловоза в режиме тяги показаны на рисунках с 7 по 9.

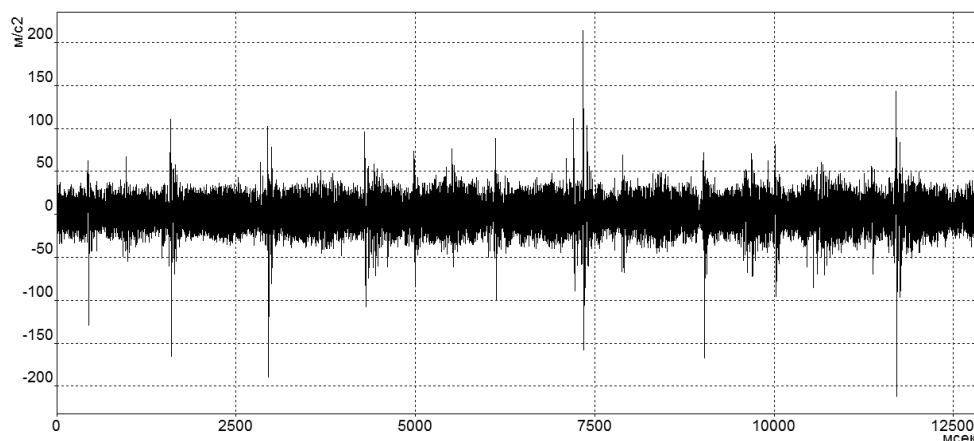


Рисунок 7 – Временной сигнал виброускорения ТЭД в вертикальном направлении

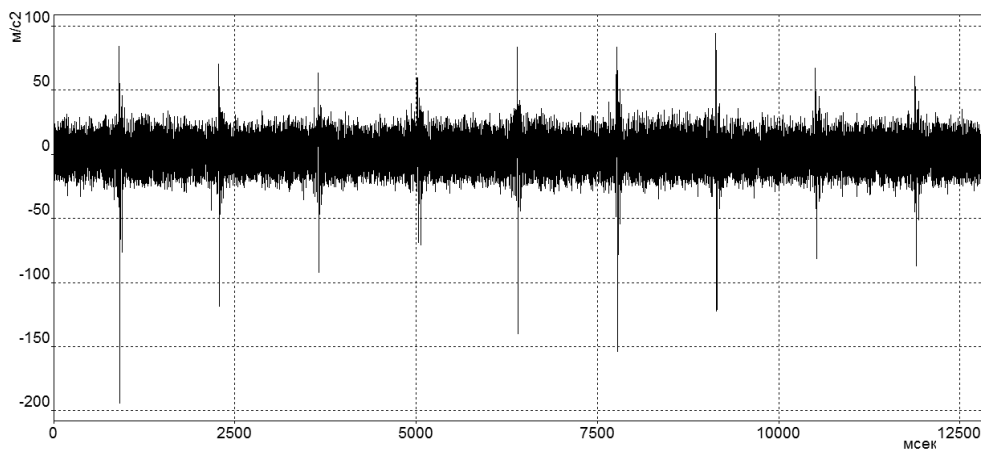


Рисунок 8 – Временной сигнал виброускорения ТЭД в поперечном направлении

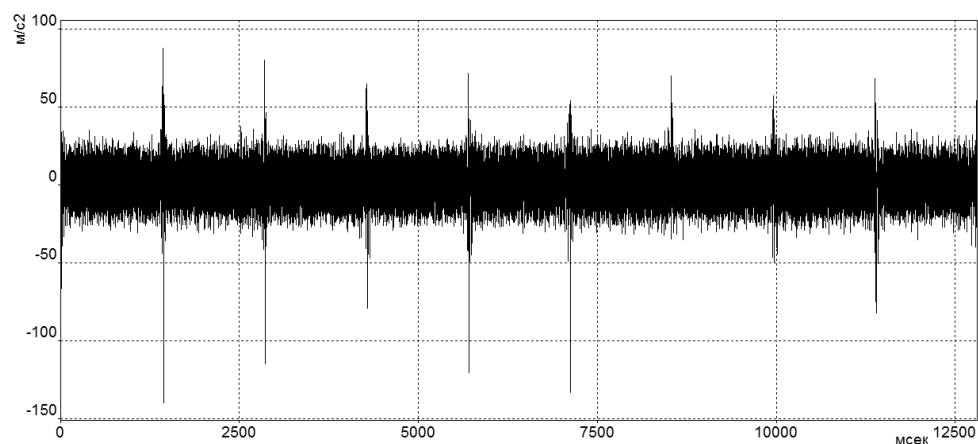


Рисунок 9 – Временной сигнал виброускорений ТЭД в осевом направлении

Характерной особенностью временных сигналов (рисунки 6-9) является то, что кроме зубцовой вибрации, связанной с пересопряжения шестерен тягового редуктора, в записи вибрации видны удары на стыках, которые следуют с частотой прохода по ним колесной пары локомотива. Необходимо отметить, что состояние пути в летний и зимний период практически не влияет на уровень вибронгруженности ТЭД. Это связано с тем, что характерной особенностью Улан-Баторской железной дороги является то, что она проложена в горной местности на скальном грунте и его промерзание в зимний период существенно не изменяет жесткости балласта железнодорожного пути.

**Выводы**

1. Получены исходные данные в виде записей процесса вибронегруженности тягового двигателя для валидации проекта и разработки ТЭД ЭД133, эксплуатируемого на Улан-Баторской железной дороге Монголии, в соответствии со стандартом IRIS.

2. Проведены экспериментальные исследования показали, что замеренные уровни вибраций и ударов, действующих на тяговый электродвигатель ЭД133УХЛ1 в условиях эксплуатации, являются гранично-допустимыми, согласно нормативных значений стандарта ГОСТ 2582.

3. Показано, что в связи укладкой пути по скальному грунту, уровень вибронегруженности ТЭД в летний и зимний период практически одинаков, максимальные значения виброускорения двигателя достигают  $220 \text{ м/с}^2$ , имеются отдельные выбросы до  $320 \text{ м/с}^2$ .

Дальнейшие исследования включают статистический анализ сигналов.

**Библиографический список использованной литературы**

1. IRIS Международный стандарт железнодорожной промышленности. Всеобщая система менеджмента бизнеса для железнодорожной промышленности

2. Евстратов А.С. Экипажные части тепловозов / А.С. Евстратов. — М.: Машиностроение, 1987. — 136 с.

3. Сергиенко П.Е. К вопросу вибрационных испытаний электрооборудования / П.Е. Сергиенко // Состояние и перспективы развития электроподвижного состава: тезисы докл. IV междунар. науч.-техн. конф., 17–19 июня 2003 г. — Новочеркасск, 2003. — С. 175–176.

4. Яцко С.И. Исследования вибронегруженности элементов тележек электропоезда ЭПЛ-9Т / С.И. Яцко, В.В. Карпенко, А.Е. Ковалев // Вестник национального технического университета "Харьковский политехнический институт". Тем. выпуск: Динамика и прочность машин: сб. науч. тр. — 2007. — № 22. — С. 188–195.

5. Карпенко В.В. Вибрационная надежность тягового электродвигателя и методы ее прогнозирования: автореф. дис.... канд. тех. наук: спец. 05.09.01 "Электрические машины" / В.В. Карпенко. — М., 1991. — 23 с.

6. Ковальов О.Ю. Удосконалення методів розрахунків та випробувань тягових електродвигунів для рухомого складу нового покоління: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.07 / О.Ю. Ковальов; Укр. держ. акад. заліз. трансп. — Х., 2009. — 20 с.

7. Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия: ГОСТ 2582–81. — [Введен 1983–01–01]. — М.: Изд-во стандартов, 1981. — 50 с.

8. Исаев И.П. Ускоренные испытания и прогнозирование надежности электрооборудования локомотивов / И.П. Исаев, А.П. Матвеевичев, Л.Г. Козлов. — М.: Изд-во «Транспорт», 1984. — 245 с.

*Поступила в редакцию 29.03.2014 г.*

**Карпенко В., Ковалев А., Гутніченко А. Валідація проекту й розробки тягового електродвигуна магістрального вантажного тепловоза для Монголії**

Розглянуто питання підготовки заводу до впровадження стандарту IRIS в частині розробки процедури «Валідація проекту та розробки (Процедура проведення випробувань)». Приведені методика та результати експлуатаційних вібраційних досліджень тягового електродвигуна в умовах штатної експлуатації магістрального вантажного тепловоза в Монголії. Отримані дані будуть використані при стеновому моделюванні експлуатаційних навантажень.

**Ключові слова:** стандарт IRIS, валідація проекту, тяговий електродвигун, експлуатація в Монголії, вібронавантаженість, методика та результати випробувань.

**Karpenko V., Kovalev A., Gutnichenko A. Design and development validation traction motors main cargo diesel locomotives for Mongolia**

The questions of preparation factory to implement the standard in terms of the development of IRIS procedure "Design and development validation (testing procedure)". The method and results of operational vibration testing traction motor under normal operation mainline freight locomotive in Mongolia. The data obtained will be used for bench simulation of operating loads.

**Keywords:** standard IRIS, validation project, traction motor, operation in Mongolia, vibration loading technique and test results.