

А. В. Лукьянов¹, Ю. В. Пономарева¹

¹ Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИИ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МАШИН ПАССАЖИРСКИХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ

Аннотация. Проведен анализ массива вибрации полученных при входном контроле вспомогательных машин (электровоза ЭП-1), исключение заведомо ложных значений из массива виброданных. определение вероятностной гипотезы наиболее точно описывающих плотность распределения виброскорости и виброускорения. Проведен анализ равномерности нагрузки парка вспомогательных машин электропоезда ЭП-1 в течение года.

Ключевые слова: Вспомогательные машины, вибродиагностика, статистическая обработка, виброизмерения, мониторинг степени увеличения вибрации.

A. V. Lukyanov¹, U.V. Ponomareva¹

¹ Irkutsk state University of railway transport, Irkutsk, Russian Federation.

RESEARCH OF VIBRATION OF AUXILIARY MACHINES OF PASSENGER ELECTRIC LOCOMOTIVES

Abstract. The analysis of the vibration array obtained during the input control of auxiliary machines (electric locomotive EP1), excluding deliberately false values from the array of vibration data, determination of the probability hypothesis that most accurately describes the density distribution of vibration velocity and vibration acceleration. The analysis of the load uniformity of the fleet of auxiliary vehicles of the EP-1 electric train during the year is carried out.

Keywords: auxiliary machines, vibration diagnostics, statistical processing, vibration measurements, monitoring the degree of vibration increase

Введение

Вспомогательные машины (мотор-компрессоры), охлаждают силовые электродвигатели, электрические сборки и схемы (мотор-вентиляторы) [1,2].

Вспомогательные машины (ВМ) обеспечивают работу всего оборудования электровозов: мотор-вентиляторы (МВ) охлаждают тяговые электродвигатели, электрические сборки, мотор-компрессоры (МК) являются источником сжатого воздуха для силовых, управляющих цепей и тормозной системы электровозов. Определение и прогнозирование технического состояния ВМ электровозов и выявление возможных дефектов без остановки и разборки является одной из важных задач на железнодорожном транспорте [2,3]. Безразборная диагностика машинного оборудования с использованием данных о вибрации, температуре, шуму и других параметрах, характеризующих потери мощности машин, позволяет повысить надежность работы машинного оборудования, обнаружить и предотвращать развивающиеся дефекты, перейти к обслуживанию и ремонту машин по фактическому состоянию [4,5].

Вспомогательные машины локомотивов: мотор-вентиляторы, мотор-компрессоры генерируют значительные вибрации при стоянке и движении электровозов которые передаются на кузов, кабины экипажа, на все электрическое и машинное оборудование. По сути, вспомогательные машины, вследствие неуравновешенности масс, расцентровки, дефектов подшипников, электрических дефектов являются мощными вибраторами, создающими значительный вибрационный фон в локомотиве. Причем вибрация, досрочно разрушая оборудование локомотива, в свою очередь способствует дальнейшему развитию порождающих вибрацию дефектов. Многолетними исследованиями выявлена прямая связь между уровнем вибрационного фона и снижением межремонтного пробега машин и локомотивов.

Вибродиагностика – метод неразрушающего контроля, основанный на анализе параметров вибрации создаваемой работающим оборудованием либо являющейся вторичной вибрацией, обусловленной структурой исследуемого объекта. При измерении виброперемещений контролируются деформация или относительное смещение объекта, виброскорость определяет импульс силы и кинетическую энергию, виброускорение является основным измеряемым параметром при оценке динамических нагрузок.

Вспомогательные машины электровозов. Цель и задачи исследования

Работающие в электровозе ЭП1 мотор-вентиляторы, мотор-компрессоры имеют общую мощность около 300 кВт (причем 220 кВт - МВ) и создают мощные вибрационные поля, снижающее работоспособность, ресурс и надежность работы всех систем электровоза, а также работоспособность экипажа (рис.1).

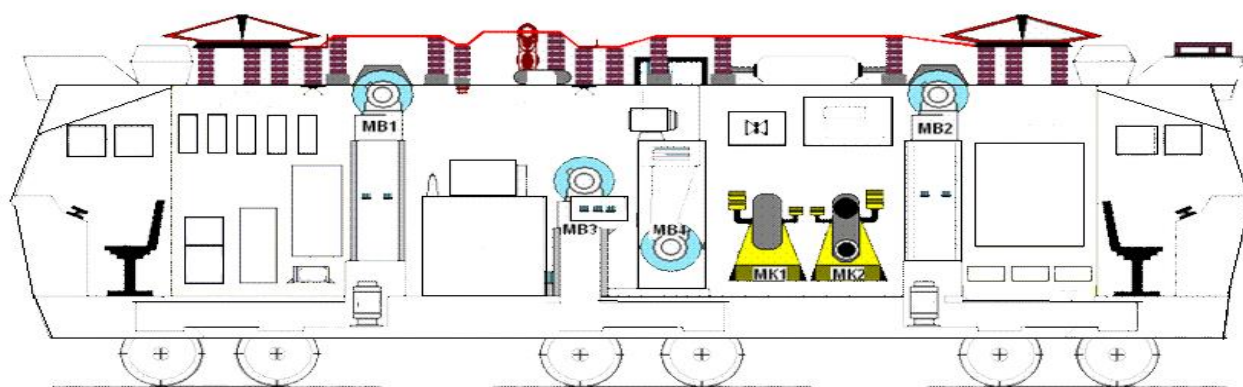


Рис. 1. Расположение вспомогательных машин на пассажирском электровозе ЭП-1

Целью настоящего исследования является – исследование вибрационных параметров и определение эффективности нормативных оценок уровней вибрации для своевременного вывода МВ электровоза ЭП-1, ЭП1П. в ремонт. Задачами исследования являются:

- формирование базы данных измерений вибрации МВ пассажирских электровозов и исключение ложных показаний;
- статистическая обработка данных;
- определение соответствия зон СКЗ виброскорости и СКЗ виброускорения;
- мониторинг достижения предельного вибрационного состояния МВ.

База данных измерений и статистическая обработка данных

С использованием разработанной лабораторией Технической диагностики ИрГУПС программы анализа вибрации и диагностики дефектов «VIBRODEFEKT»; проведена обработка результатов измерений данных вибрации ВМ 20 пассажирских электровозов ЭП1 и ЭП1П. Для анализа массива виброданных использовалась программа статистической обработки данных «Statistica 10.0».

На первом этапе обработки данных, проводилось построение таблицы измерений с занесением в неё значений среднеквадратичных значений (СКЗ) виброскорости и СКЗ виброускорения. Сформированный двумерный массив данных вибрации в координатах: СКЗ виброскорости и СКЗ виброускорения для каждого измерения представлен на рис.2

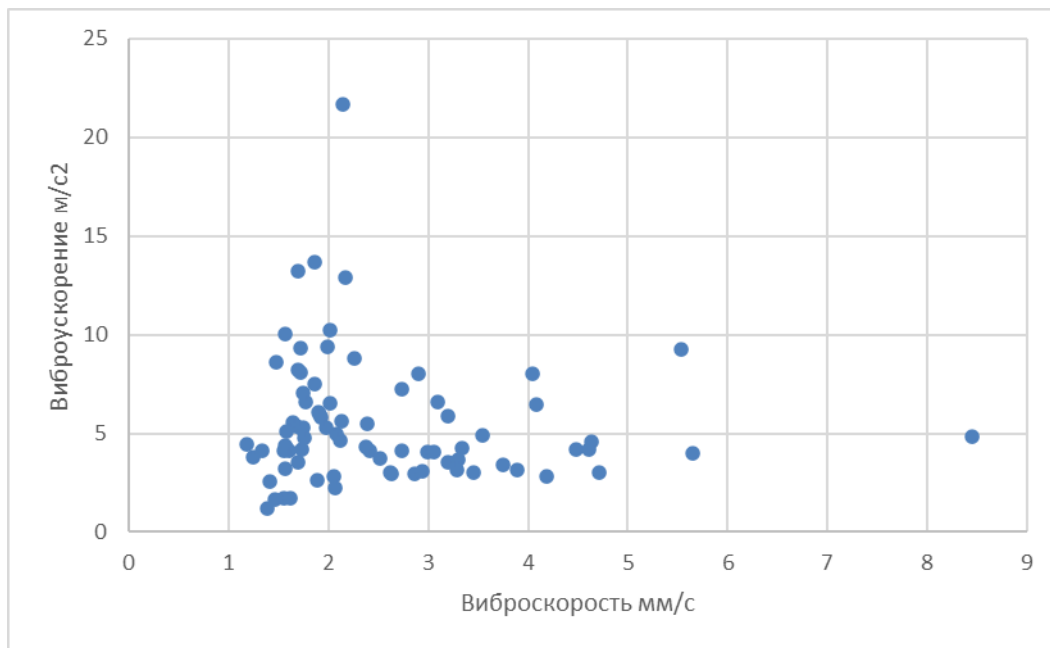


Рис.2. Массив данных зависимости СКЗ виброскорости от СКЗ виброускорения

На втором этапе обработки, проводилось исключение заведомо ложных значений и проверка достоверности данных, полученных построением диаграмм рассеяния. Ложные данные характеризуются значительными отклонениями от сформированного массива данных и объясняются сбоями в работе виброаппаратуры или отклонениями от методики измерений. Ложные данные составили две группы: выбросы с чрезмерно большими и очень малыми значениями вибрации. При этом анализировались осциллограммы скорости и ускорений. В итоге составлен итоговый массив данных из 80 измерений обследованных МВ в координатах «виброскорость - виброускорение» (рис.2), что составляет 87% от общей выборки. Анализ вибрации точек расположенных по периферии массива показал, что данные этих измерений являются реальными сигналами с высокой вибрацией.

Статистическая обработка данных

По всему массиву измерений с использованием программы «STATISTICA» был проведен анализ математического ожидания (МО), среднеквадратического отклонения (СКО), а также аппроксимация распределений виброскорости и виброускорения математическими зависимостями. Определено, что наиболее точно описывает данную выборку логнормальное распределение (1)

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \times x \times \sqrt{2\pi}} \times e^{\frac{-(\lg x - \mu)^2}{2 \times \mu^2}}, \quad (1)$$

где μ – параметр масштаба; σ – параметр формы.

На рис.3 представлен график распределения виброускорения по массиву измерений.

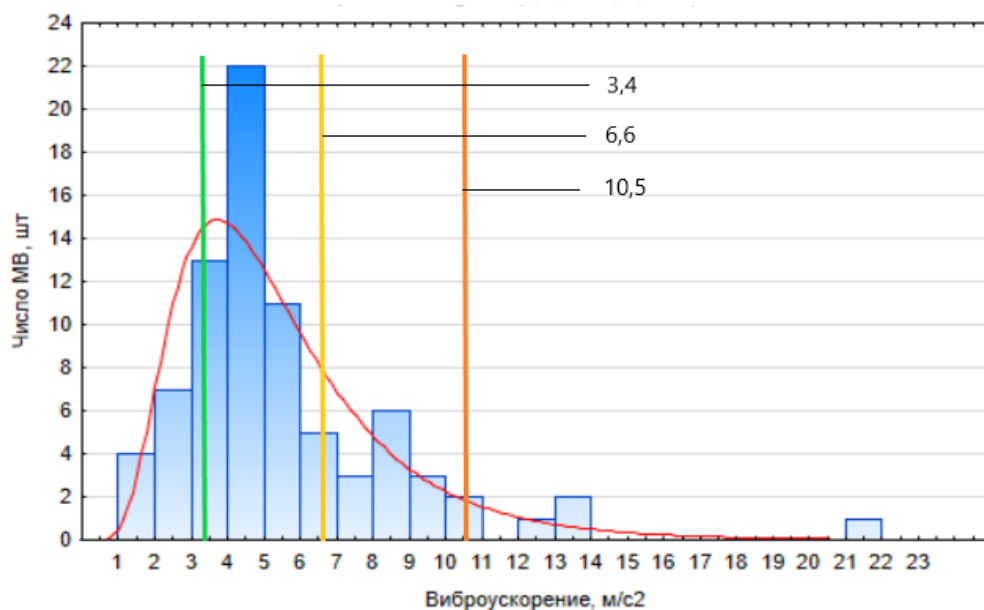


Рис.3. Распределение СКЗ виброускорения по массиву измерений (МО -5,48 м/с²)

По данным приведенным в ГОСТ ИСО 10816-3-99 [6] для электрических машин данной мощности границами зон вибрационного состояния являются: А/В - до 1,4 мм/с (допустимо для новых машин, или машин после капитального ремонта); В/С - до 2,8 мм/с (допустимо для длительной эксплуатации); С/Д - до 4,5 мм/с (кратковременная эксплуатация до начала ремонта); зона D - свыше 4,5 мм/с (недопустимо). Анализ распределения СКЗ виброскорости показал, что 8% всех МВ нужно выводить в ремонт и почти 14% МВ могут эксплуатироваться кратковременно (рис. 4).

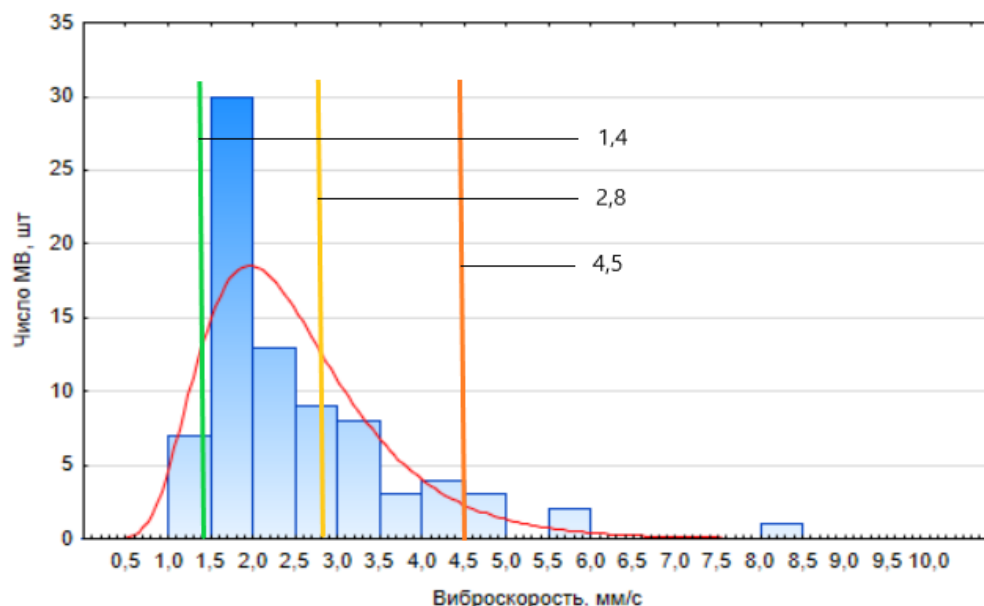


Рис. 4. Распределение виброскорости по всему массиву МВ (МО - 2,53 мм/с)

В соответствии с ГОСТ ИСО 10816-3-99 предельно допустимый уровень виброскорости составляет 4,5 мм/с. Это значит, что среднее значение виброскорости по всему массиву МВ не превышает предельно допустимое значение.

Определение соответствия зон СКЗ виброскорости м СКЗ виброускорения

В качестве основного вибрационного параметра для оценки вибрационного состояния машин применяют общее среднее квадратическое значение виброскорости (ГОСТ ИСО

10816-3-99). Оценки по границам зон состояния машинного оборудования («допустимо», «требуется принятия мер», «недопустимо») для СКЗ виброускорения в настоящее время не существует. Рекомендуется только не превышать СКЗ виброускорения значения 3 «g». Найдем соответствие между границами зон состояния путем сравнения СКЗ виброскорости и виброускорения МВ электропоездов ЭП-1 (таблица 1).

Таблица 1. Соответствие границы зон вибрационного состояния по СКЗ виброускорения и СКЗ виброскорости

Граница зон	СКЗ виброскорости, м/с	СКЗ виброускорения, м/с ²
A/B	1,4	3,4
B/C	2,8	6,6
C/D	4,5	10,5

Из данной таблицы следует, что для новых МВ предельное виброускорение составляет 3,4 м/с², для эксплуатации без ограничения сроков допускаются МВ с виброускорением до 6,6 м/с², МВ с виброускорением более 6,6 м/с² являются непригодными для длительной непрерывной эксплуатации, МВ с виброускорением 10,5 м/с² должны выводиться в ремонт

Мониторинг достижения предельного вибрационного состояния МВ

Доля МВ с недопустимой вибрацией составляет 8 % (рис.4). Если от 8 % до 8,3 % массива МВ выводить в ремонт ежемесячно, то за 1 год будет отремонтирован весь массив мотор-вентиляторов. Необходимо выставить требование снижения после ремонта СКЗ виброскорости до уровня не выше 1,4 мм/с. Рассмотрим динамику изменения ежемесячных выводов МВ в ремонт при условии ежемесячного увеличения СКЗ виброскорости МВ на величину от 0,1 до 0,3 мм/с распределенному по нормальному закону (рис. 5).

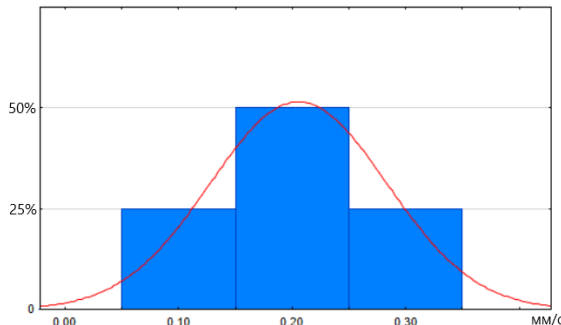


Рис. 5. Плотность распределения увеличения СКЗ виброскорости МВ при эксплуатации пассажирских электровозов

Значения тенденции увеличения СКЗ виброскорости получены из опыта эксплуатации МВ и исходя из допущения достижения критического уровня вибрации за трехлетний срок их эксплуатации с учетом негативных факторов: климатических условий эксплуатации, вибрации основания МВ, действия электромагнитных полей и др.

Уровень вибрации значительно влияет на скорость изнашивания. То есть, чем выше вибрация, тем меньше остаточный ресурс машинного оборудования. Эта зависимость нелинейна и близка к экспоненциальному закону. Однако, за отсутствием экспериментальных данных, предположим, что скорость увеличения вибрации постоянна, но имеет нормальное распределение по величине (рис. 5), т.к. связана с износowymi факторами.

Рассмотрим динамику износа (увеличения вибрации) МВ по месяцам исходя из принятых выше предположений. Распределение виброскорости по всему массиву МВ в начальный момент времени изображено на рис. 4. Результаты изменения плотности распределения СКЗ виброскорости по всему массиву, при выводе в ремонт МВ с уровнем вибрации, превышаю-

щим допустимый (4,5 мм/с), при обеспечении после ремонта уровня вибрации МВ не выше 1,4 мм/с приведены на рис. 6,7,8 после пятого, девятого и двенадцатого месяца эксплуатации.

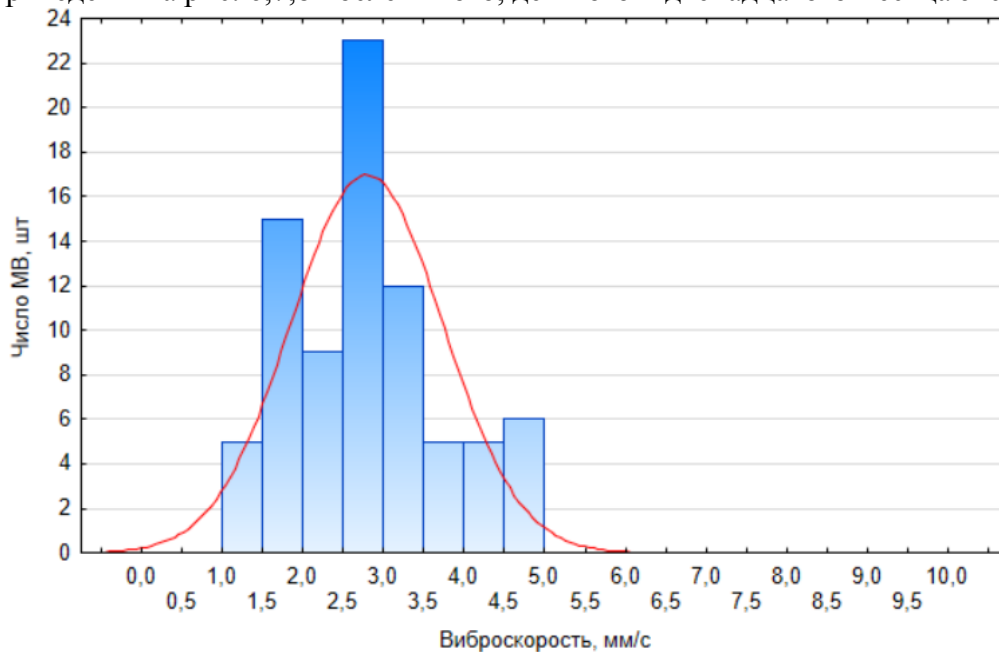


Рис. 6. Плотность распределения виброскорости по всему массиву МВ после пятого месяца эксплуатации, мм/с

После пятого месяца эксплуатации, наблюдается изменение распределения массива. В начале измерения имели логнормальное распределение, теперь же оно стало нормальным, что говорит о равномерной загруженности парка ВМ.

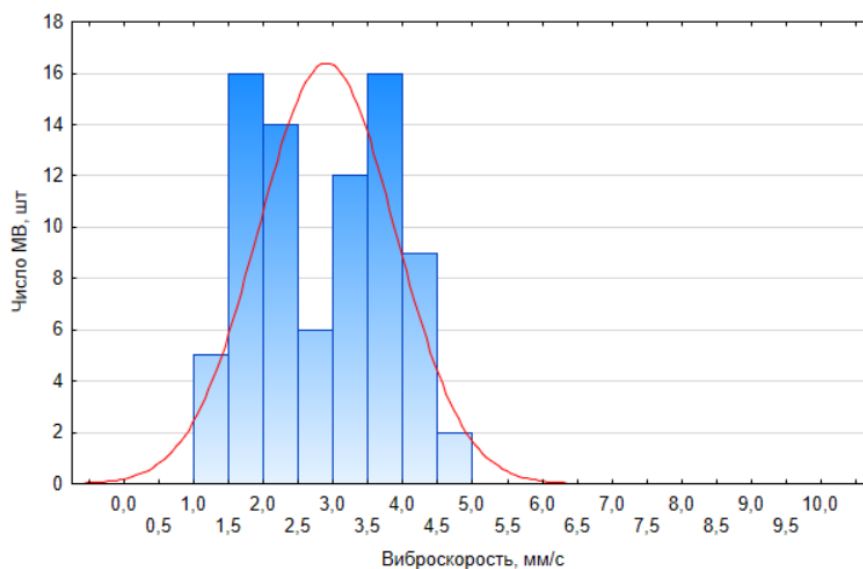


Рис. 7. Плотность распределения виброскорости по всему массиву МВ после девятого месяца эксплуатации, мм/с

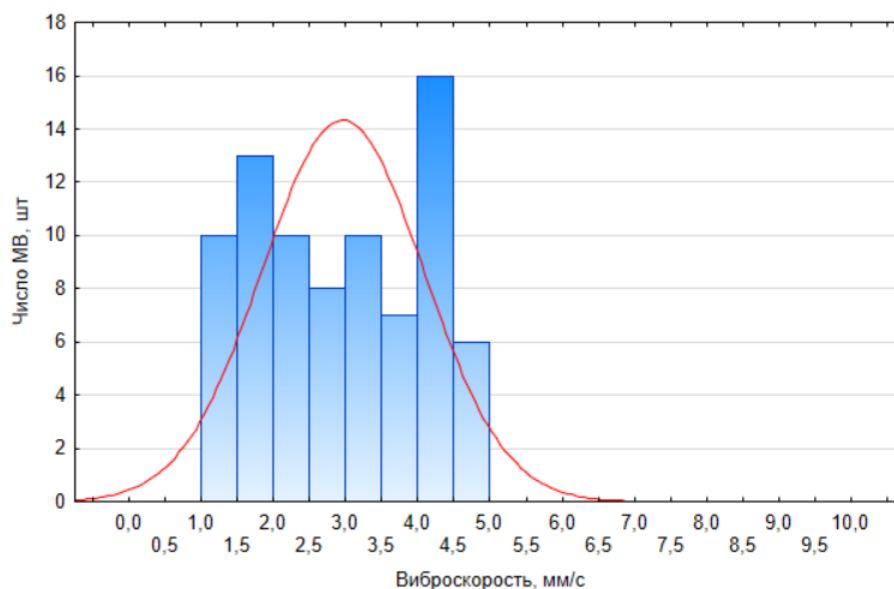


Рис. 8. Плотность распределения виброскорости МВ после двенадцатого месяца эксплуатации, мм/с



Рис. 9. Динамика вывода в ремонт МВ за год эксплуатации

Заключение

Таким образом, проведенные исследования, моделирование и прогнозирование изменения технического состояния МВ показали, что применение норм допустимой вибрации по ГОСТ ИСО 10816-3-99 целесообразно и обосновано. В течение всего года, доля МВ с недопустимой вибрацией не превышала 8,3%. Количество выводимых в ремонт МВ изменялось в пределах от 2-х до 6-ти. Плотность распределения СКЗ виброскорости изменялась от лог-нормального до нормального закона. При соблюдении условия уменьшения вибрации после ремонта до значения менее 1,4 мм/с (в соответствии с требованиями ГОСТ ИСО 10816-3-99) значительного накопления МВ с высокой вибрацией не происходит, а значит и отсутствует чрезмерная загруженность ремонтного подразделения.

Из проведенной работы можно сделать вывод, что вибродиагностика является одним из эффективных методов неразрушающего контроля, который имеет немало преимуществ. Данный метод позволяет без сборки-разборки оборудования обнаружить и устранять неисправности на ранней стадии. Своевременная диагностика позволяет избежать внеплановых

ремонт, увеличить межремонтный период и повысить эффективность ремонтов и эксплуатации вспомогательных машин электровозов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лукьянов А.В., Романовский А.И., Лукьянов Д.А. Динамика асинхронного привода при несимметрии тока в фазах // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. Иркутск, 2010. № 3 (27). С. 96–102
2. Лукьянов А.В., Романовский А.И. Виброактивность вспомогательных машин электровозов ВЛ-80, ВЛ-65 и рекомендации по ее снижению // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2006. № 4. С. 51–63.
3. Лукьянов А.В., Портной А.Ю., Гарифулин В.Ю., Романовский А.И. и др. Разработка комплекса входного контроля вспомогательных машин электровозов при текущем ремонте // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. Иркутск. – 2010. – №2 (26). – С. 45–51
4. Лукьянов А.В. Методы и средства управления по состоянию технических систем переменной структуры/диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Иркутск, ИрГУПС, 2002, 435 с.
5. Сафарбаков А.М., Лукьянов А.В., Пахомов С.В. Основы технической диагностики деталей и оборудования/ учебное пособие по дисциплинам "Основы технической диагностики" и "Прикладная механика" / Иркутск, ИрГУПС, 2007. Часть 1, 128 с.
6. ГОСТ Р ИСО 10816-3-99. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Ч. 3. Промышленные машины номинальной мощностью более 15 кВт и номинальной скоростью от 120 до 15000 мин⁻¹. М.: Госстандарт России; Изд-во стандартов. 2000. 16 с.

REFERENCES

1. Lukyanov A.V., Romanovsky A. I., Lukyanov D. A. Dynamics of asynchronous drive with current asymmetry in phases // Modern technology. System analysis. Modeling. ISU. Irkutsk, 2010, No. 3 (27), p. 96-102
2. Lukyanov A.V., Romanovsky A. I. Vibroactivity of auxiliary machines of electric locomotives VL80, VL65 and recommendations for its reduction // Modern technology. System analysis. Modeling. 2006. No. 4. S. 51-63.
3. Lukyanov A.V., Portnoy A. Yu., Garifullin V. Yu., Romanovsky A. I., etc. Development of a complex of input control of auxiliary machines of electric locomotives during current repairs // Modern technology. System analysis. Modeling. Irkutsk. – 2010. – №2 (26). – p. 45-51
4. Lukyanov A. In Methods and control tools for the state of technical systems of variable structure / dissertation for the degree of doctor of technical Sciences / Irkutsk, ISU, 2002, 435 p. 6. Fujiwara, H. Connections for probabilistically diagnosable systems / H. Fujiwara, K. Kinoshita // IEEE Trans. - 1978. - № 3. – P.280-283.
5. Safarbekov A. M., Lukyanov, A. V., Pakhomov, S. In fundamentals of technical diagnostics of parts and equipment/ textbook on the disciplines "Fundamentals of technical diagnostics" and "Applied mechanics" / Irkutsk, ISU, 2007. Part 1, 128 p.
6. GOST R ISO 10816-3-99. Vibration. Monitoring the condition of machines based on the results of vibration measurements on non-rotating parts. Part 3. Industrial machines with a nominal power of more than 15 kW and a nominal speed of 120 to 15,000 min⁻¹. M.: Gosstandart of Russia; publishing house of standards. 2000. 16 p.

Информация об авторах

Лукьянов Анатолий Валерьянович - д. т. н., профессор, профессор кафедры «Физика, механика и приборостроение», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: loukian@inbox.ru.

Понаморева Юлия Викторовна - студент группы ПСм.1-20 специальности «Приборостроение», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: JulietteMoreva@yandex.ru.

Authors

Lukyanov Anatoly Valeryanovich- doctor of technical Sciences, Professor, Professor of the Department "Physics, mechanics and instrumentation", Irkutsk state University of railway transport, Irkutsk, e-mail: loukian@inbox.ru.

Ponamoreva Uliya Viktorovna- student of group PSm 1-20 specialty "instrument Engineering", Irkutsk state University of railway transport, Irkutsk, e-mail: JulietteMoreva@yandex.ru.

Для цитирования

Лукьянов А.В., Понаморева Ю.В. Исследование вибрации вспомогательных машин пассажирских электровозов [Электронный ресурс] / А.В. Лукьянов, Ю.В. Понаморева // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. — 2020. — №4(10). — Режим доступа: <http://mnv.irkups.ru/toma/11-2020>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус., англ. (дата обращения: 22.11.2020).

For citation

Lukyanov A.V., Ponamoreva U.V. Research of vibration of auxiliary machines of passenger electric locomotives [A comparison of the time needed for Fourier expansion of a periodic function in the Mathcad and MATLAB packages]. *Molodaya nauka Sibiri: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal* [Young science of Siberia: electronic scientific journal], 2020, no. 4(10). [Accessed 22/11/20].