

---

## МЕТОДЫ ПРОВЕРКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ

**Антон А. Антонов**  
[ant-a-antonov@yandex.ru](mailto:ant-a-antonov@yandex.ru)

*Московский государственный университет путей сообщения (МГУПС (МИИТ)),  
Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9  
РОССИЯ*

**Ключевые слова:** Рельсовая цепь, электроподвижной состав, электромагнитная совместимость, автоматическая локомотивная сигнализация, устройства автоматики и телемеханики, безопасность движения, двигатель с асинхронным тяговым приводом.

**Резюме:** На протяжении последних лет на Российских железных дорогах (РЖД) наметилась тенденция активного внедрения перспективных видов электроподвижного состава (ЭПС) с современными тяговыми преобразователями таких известных производителей, как «Сименс», «Трансмашхолдинг», «Альстом», «Синара». Этот процесс, в свою очередь, показал, что устройства автоматики и телемеханики (АТМ) при этом не могут в полной мере обеспечить требуемый уровень безопасности движения (БД) ввиду того, что эксплуатация перспективного ЭПС вносит диссонанс в их работу.

В связи с этим, проблема электромагнитной совместимости (ЭМС) ЭПС и устройств АТМ в настоящее время имеет приоритетное значение. Решение этой проблемы заключается в предъявлении жёстких требований к уровню помех, допустимому при работе двигателя; рельсовые цепи (РЦ) при этом должны проектироваться с учётом влияния помех, создаваемых ЭПС. Необходим постоянный контроль уровня помех, создаваемых ЭПС с проверкой обеспечения условий нормальной работы РЦ.

Несмотря на то, что с 1998 года в РФ введены требования по нормированию ЭМС, методы проверки в документе не обозначены.

Проверка ЭМС электровозов и устройств АТМ осуществляется с использованием специализированного испытательного комплекса с определённым набором программных средств для регистрации переменной составляющей тягового тока. Это необходимо для определения среднеквадратического (СКЗ) значения гармоник тягового тока рабочей полосы путевого приёмника в частотной или временной области и сравнения его с нормативным.

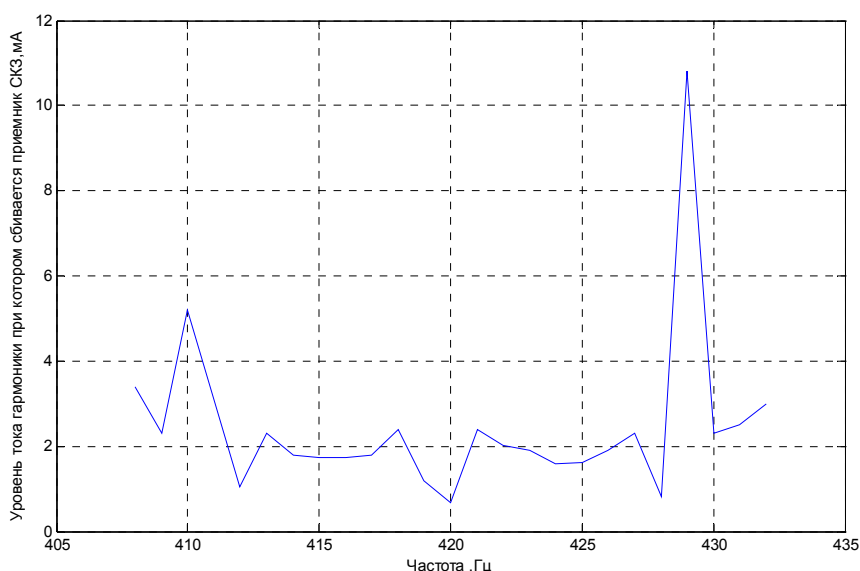
В последние годы на железных дорогах Российской Федерации происходит активное внедрение перспективных видов ЭПС с современными видами тяговых преобразователей, разрабатываемых такими производителями, как «Сименс», «Трансмашхолдинг», «Альстом», «Синара». Поскольку регулирование тяги таких ЭПС

осуществляется за счёт изменения частоты тока, потребляемого двигателем, гармоники сетевого тока электровоза возникают в очень широком диапазоне частот, включая рабочий диапазон тональных РЦ. В связи с этим остро встали вопросы обеспечения помехоустойчивости приёмников РЦ [1].

В 1998 году в России введены в действие Федеральные требования по сертификации электровозов и электропоездов [2]. Этот нормативный документ содержит требования к уровням мешающего и опасного влияния электрооборудования ЭПС на РЦ и путевые устройства сигнализации. Однако, методы проверки допустимых уровней переменных составляющих тягового тока не приводятся.

Стоит отметить, что проблема ЭМС перспективных ЭПС с РЦ и устройствами автоматической локомотивной сигнализации (АЛСН) существует на всех железных дорогах мира [2,3,4]. Для гармонизации ЭМС необходимым условием является ограничение уровней помех, создаваемых ЭПС, до уровней допустимых значений [2,4] и непрерывный контроль за обеспечением условий нормальной работы РЦ.

Нормы по ЭМС ЭПС и РЦ разработаны для помех, представляющих собой гармонические сигналы синусоидальной формы, эквивалентные сигналам помех в рабочей полосе частот приёмников. На фиг.1 в качестве примера приведены результаты исследования помехоустойчивости приёмника РЦ типа ПП1-8/8 в зависимости от частоты помехи в рабочей полосе.



**Фиг.1. Помехоустойчивость приёмника РЦ типа ПП1-8/8**

Минимум помехоустойчивости имеет место на несущей и боковых частотах. Минимальная длительность помехи в рабочей полосе приёмника, приводящей к отпаданию якоря исполнительного реле, составляет 0,6 с.

Фиксация сбоя в работе приёмника осуществляется по кратковременному или длительному размыканию фронтального контакта исполнительного реле, определяемому при плавном увеличении уровня синусоидальной помехи.

Проверка ЭМС электровозов в части мешающего и опасного влияния тягового тока на РЦ и устройства АЛСН осуществляется с использованием испытательного комплекса, включающего:

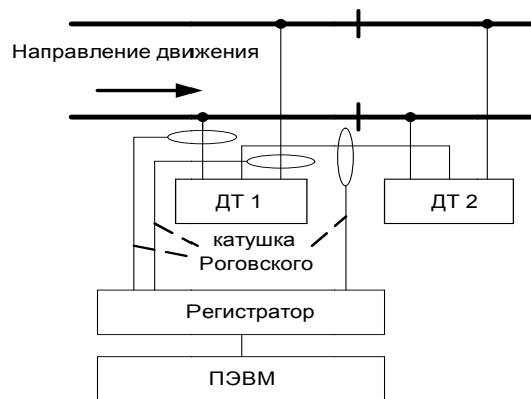
- датчик переменной составляющей тягового тока электровоза;
- устройство регистрации переменной составляющей тягового тока электровоза с преобразованием в цифровой формат данных;

– персональный компьютер для обработки записей цифровых данных переменной составляющей тягового тока электровоза с необходимым набором программных средств.

Набор программных средств испытательного комплекса для обработки зарегистрированных в ходе опытных поездок данных переменной составляющей тягового тока электровоза должен предусматривать возможность проведения гармонического анализа данных методом скользящего окна с перекрытием 50% – 75% и использованием «окна Ханна».

Как показывает практика испытаний электровозов и отдельных приёмных устройств РЦ могут иметь место как необоснованные ограничения уровней мешающих и опасных влияний, так и заниженные их значения [5].

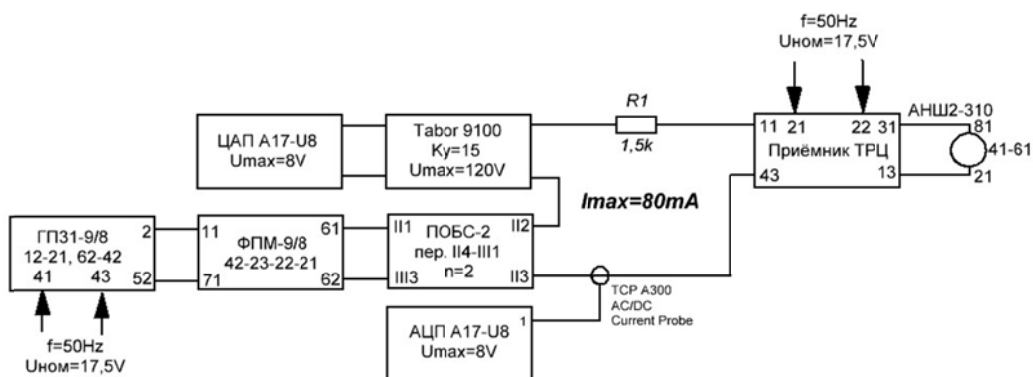
Измерение переменной составляющей тока в цепи средней точки и полуобмотках дроссель-трансформатора (ДТ) проводится в разных режимах движения ЭПС. Схема измерений показана на фиг.2.



Фиг.2 - Схема проведения измерений переменной составляющей сетевого тока ЭПС

В качестве датчиков тока используются катушки Роговского типа *FLUKE I3000s*, запись осуществляется на регистратор *A17-U8*.

Для экспериментальной оценки в лабораторных условиях воздействия помех, создававшихся на работу путевых приёмников тональных РЦ во время измерений, необходимо записи переменной составляющей тока в цепи средней точки ДТ уменьшить, преобразовать в аналоговую форму и подать на вход приёмника. Схема стенда для проведения эксперимента приведена на фиг. 3.



Фиг. 3 - Функциональная схема стенда по проверке помехоустойчивости путевого приёмника

На схеме фиг.3 на вход усилителя *TABOR 9100* с помощью цифроаналогового преобразователя (ЦАП) *A17-U8* подаётся запись переменной составляющей тягового тока. Напряжение АМ-сигнала устанавливаются с помощью регулировочного элемента

генератора ГПЗ1 и регулируемого резистора R1, сопротивление которого должно быть не менее 1,5 кОм, и контролируются мультиметром типа В7-63 на входах 11-43 приёмника. Для каждой записи тока определяется свой коэффициент нормирования.

Величина тока помехи на входе приёмника  $I_{пом}$  вычисляется по формуле:

$$(1) \quad I_{пом} = \frac{I_{Г*0,5*K_{АС}}}{40},$$

где  $I_{Г}$  – гармоника тока электровоза ЭП-20 в средней точке ДТ;

$K_{АС}$  – коэффициент асимметрии токов в полуобмотках ДТ;

40 – коэффициент трансформации ДТ-0,2.

При испытаниях приёмника генерируемый сигнал тональной РЦ (выводы П2 - П3 трансформатора ЛОБС-2) и помехи (выход усилителя ТАВОР 9100) линейно суммируются и через резистор R1 подаются на вход приемника. Работа путевого приёмника контролируется регистратором А17-У8. Ток во входной цепи измеряется с помощью датчика тока типа ТСП А300 (на схеме фиг. 3 показано кружочком) и фиксируется регистратором А17-У8.

Воздействие помехи зависит от момента ее появления. Чтобы попасть в наиболее неблагоприятный момент времени, файл помехи запускается многократно (10-30 раз).

На основании экспериментальных исследований определены по методике, утверждённой ОАО «РЖД», исходные данные по помехоустойчивости устройств тональных РЦ в рабочей полосе частот для определения норм ЭМС с ЭПС, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1

Тип приёмника	ПП1	ПМП
Помехоустойчивость в нормальном режиме работы	0,55 мА	≥50 мА
Помехоустойчивость в шунтовом и контрольном режиме работы при $K_{вн}=0,58$	0,40 мА	≥50 мА

Таким образом, оценка уровня помех, воздействующих на РЦ, должна осуществляться на основе сравнения максимальной величины СКЗ в спектрограмме для несущей частоты с значениями, приведёнными в таблице 1.

Для разработки методов проверки допустимых уровней переменных составляющих тягового тока в РЦ был произведён анализ зарубежного опыта в этой области. Так, в стандарте [4], используемом в странах Евросоюза указаны два способа проверки ЭМС ЭПС и РЦ:

- обработка в частотной области с помощью ДПФ в «окне Ханна» при определённой длительности окна, перекрытие окон (75% или 80%);
- обработка во временной области: вычисление СКЗ в окне определенной длительности на выходе полосового фильтра.

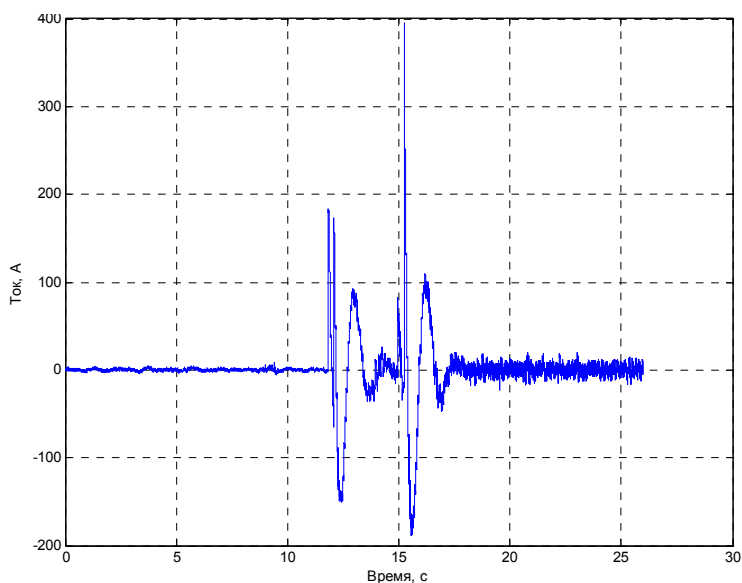
Рассмотренные в стандарте методы обработки записей переменной составляющей тягового тока были использованы при анализе экспериментальных результатов, полученных в эксплуатационных условиях на РЖД при движении электропоезда «Сапсан».

При этом подтверждено соответствие фактических значений в рабочей полосе тональных РЦ максимальных уровней синусоидальных сигналов, нарушающих работу РЦ тональной частоты, и результатов их определения при анализе записей тока электропоезда как составляющих ДПФ СКЗ одиночной гармоника в «окне Ханна» с перекрытием 75% и длительностью 0,6 с. Установлено, что соотношение между

экспериментальным СКЗ, определяемым на основе ДПФ, и нормативным значением эквивалентного синусоидального сигнала зависит от вида помехи. Предлагается характеризовать разброс значений СКЗ при оценке уровня помех в зависимости от их вида с помощью коэффициента  $K_{СЭН}$ , представляющего собой отношение максимального экспериментального значения  $СКЗ_{ЭКСП\ МАКС}$  к нормированному  $СКЗ_{НОРМ}$  [5]:

$$(2) \quad K_{СЭН} = СКЗ_{ЭКСП\ МАКС} / СКЗ_{НОРМ}$$

На фиг.4 в качестве примера приведена осциллограмма, характеризующие вид переменной составляющей тягового тока, протекающего через среднюю точку ДТ



**Фиг.4** Переменная составляющая тягового тока электропоезда «Сапсан», запись № 1

В результате спектрального анализа всех полученных записей фактическое значение  $K_{СЭНФ}$  составило:  $K_{СЭНФ}=1,29\pm37\%$ .

При обработке записей во временной области переменная составляющая тягового тока пропускается через фильтр Баттерворта, АФЧХ которого аналогична АФЧХ входного фильтра ПП1. Применяется математическая модель фильтра Баттерворта со следующими параметрами: ширина полосы пропускания на уровне -3 дБ – 25 Гц, на уровне -20 дБ – 41Гц, крутизна характеристики в переходной области с затуханием свыше 20 дБ составляет 42 дБ на октаву. При этом рассчитывается СКЗ уровня гармоники в рабочей полосе РЦ тональной частоты ТРЦЗ в скользящем прямоугольном окне фиксированной длительности 0,6 с, фактическое значение  $K_{СЭНФ}$  составило:  $K_{СЭНФ}=1,42\pm29\%$ . При обработке записей тягового тока во временной области имеет место несколько меньший разброс определяемых величин гармонических составляющих в рабочей полосе путевых приёмников, при этом средние значения различаются на 10%

Для оценки работоспособности РЦ необходимо максимальное значение СКЗ, полученное при анализе записи тока электровоза, следует разделить на  $K_{СЭНФ}$  и результат (эквивалентное значение СКЗ) сравнить с нормативным значением, уменьшенным на 30% и с нормативным значением, увеличенным на 30%.

Если эквивалентное значение СКЗ меньше или равно нормативному значению, уменьшенному на 30%, нормативные требования выполняются.

Если эквивалентное значение СКЗ больше нормативного значения, увеличенного на 30%, нормативные требования не выполняются.

Если максимальное значение СКЗ больше нормативного значения, уменьшенного на 30%, но меньше нормативного значения, увеличенного на 30%, нормативные требования могут либо выполняться, либо не выполняться. В этом случае для решения вопроса о работоспособности РЦ при воздействии анализируемой помехи, необходимо проверить реакцию путевого приёмника на воздействие анализируемой помехи с использованием математической или физической модели путевого приёмника [5].

#### **ЛИТЕРАТУРА:**

- [1] Работоспособность путевых приёмников рельсовых цепей тональной частоты при воздействии сетевого тока электропоезда «Сапсан» / Кравцов Ю.А., Архипов Е.В., Антонов А.А., Бакин М.Е. // Вестник транспорта Поволжья. 2013. №3. С.14-19.
- [2] Нормы безопасности на железнодорожном транспорте: НБ ЖТ ЦТ 04-98. Электровозы. Требования по сертификации. Введ. 07.08.98., – М., 2003. – 172 с.
- [3] Бестемьянов П.Ф. Методика оценки работоспособности рельсовых цепей тональной частоты при воздействии тока электроподвижного состава с асинхронным тяговым приводом./ П.Ф.Бестемьянов,Ю.А.Кравцов, Е.Г.Щербина, А.Б.Чегуров/ «Вестник РГУПС».-2012,№1, с.87-92
- [4] Европейский стандарт по нормам ЭМС ЭПС и РЦ. CENELEC DS/CLC/TS 50238-2, 2010.
- [5] Кравцов Ю.А., Архипов Е.В., Антонов А.А., Бакин М.Е. Нормативы по электромагнитной совместимости подвижного состава и рельсовых цепей и методы их проверки// Наука и техника транспорта. – 2014. – № 2.

## **METHOD OF CHECKING ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF TRACTION ROLLING STOCK AND TRACK CIRCUITS**

**Anton A. Antonov**

[ant-a-antonov@yandex.ru](mailto:ant-a-antonov@yandex.ru)

**Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Obraztsova str., 9 bld. 9  
RUSSIA**

**Key words :** *track circuit , part of electric , electromagnetic compatibility , automatic locomotive alarm system, device automation and remote control , traffic safety , motor with asynchronous traction drive .*

**Abstract:** *In recent years, on the Russian Railways (RZD), the tendency of the active introduction of perspective kinds of electric rolling stock (EPS) with modern traction inverters manufacturers such as "Siemens", "Transmashholding", "Alstom", "Sinara". This process, in turn, showed that the device automatics and robot (ATM) at the same time can not fully ensure the required level of safety (DB) in view of the fact that long-term operation of EPS brings dissonance in their work.*

*Therefore , the problem of electromagnetic compatibility ( EMC) and EPS ATM devices currently has priority. The solution to this problem lies in the presentation of the strict requirements to the level of noise permitted for operation of the engine ; track circuits (RC ) at the same time should be designed taking into account the effect of interference from EPS. Continuous monitoring the noise level generated by the CSE checked to ensure normal operating conditions RC.*

*Despite the fact that since 1998 the Russian Federation imposed requirements on EMC standardization , verification methods are not marked in the document .*

*Check EMC electric devices and ATM is performed using specialized test facility with a certain set of software tools for recording the variable component of traction current . This is necessary to determine the root mean square ( RMS ) values of harmonic traction current operating band of the receiver to track the frequency or time domain , and compare it to the standard.*