

МЕТОД ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ В МЕСТАХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ИНТЕРВАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

Решаемая проблема: обеспечение электромагнитной совместимости электрического подвижного состава и систем обеспечения безопасности движения поездов на метрополитене. Предложен метод контроля изменения условий электромагнитной совместимости на основе оценки статистических характеристик электромагнитной обстановки в местах эксплуатации путевых устройств рельсовых цепей.



П.Ф. Бестемьянов



Л.А. Баранов

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, электромагнитная обстановка, рельсовые цепи, электрический подвижной состав

Одновременное совместное использование рельсовых нитей в качестве проводников тока двумя системами, системой электроснабжения электропоездов и системой обеспечения безопасности их движения, обуславливает возможность взаимного электромагнитного влияния этих систем. Наличие в токе электропоезда спектральных составляющих из рабочих диапазонов частот рельсовых цепей (РЦ), автоматической локомотивной сигнализации (АЛС, на магистральном железнодорожном транспорте) и системы автоматической регулировки скорости (АЛС – АРС, на метрополитене) может нарушить нормальное функционирование последних по идентификации состояний рельсовых линий (свободность –

занятость, исправность – неисправность) и по передаче информации о поездной ситуации с пути на борт.

Максимально допустимые уровни гармонических составляющих тока поезда и их длительности в диапазонах частот РЦ и АЛС для магистрального транспорта Российских железных дорог установлены в Нормах безопасности [1–4]. Нормативные показатели для Московского метрополитена и общие методы проведения испытаний установлены в Типовой методике [5]. Для оценки влияния нового ЭПС на электромагнитную обстановку (ЭМО), в которой функционируют технические средства систем интервального регулирования движения поездов, проводятся испытания [6;7]. Суть испытаний состоит в экс-

Баранов Леонид Аврамович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Управление и информатика в технических системах» Московского государственного университета путей сообщения (МГУПС (МИИТ)). Область научных интересов: автоматизированное и автоматическое управление. Автор более 300 научных работ, в том числе восьми монографий, трех учебников, трех учебных пособий. Имеет 35 авторских свидетельств на изобретения.

Бестемьянов Петр Филимонович, доктор технических наук, профессор, директор Института транспортной техники и систем управления Московского государственного университета путей сообщения (МГУПС (МИИТ)). Область научных интересов: обеспечение безопасности движения поездов, автоматизированное и автоматическое управление поездами. Автор более 120 научных работ. Имеет 38 патентов на изобретения.

Сидоренко Валентина Геннадьевна, доктор технических наук, профессор кафедры «Управление и информатика в технических системах» Московского государственного университета путей сообщения (МГУПС (МИИТ)). Область научных интересов: автоматизированное и автоматическое управление движением поездов. Автор 137 научных работ.

Щербина Евгений Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте» Московского государственного университета путей сообщения (МГУПС (МИИТ)). Область научных интересов: электрические рельсовые цепи, электромагнитная совместимость. Автор 54 научных работ. Имеет шесть патентов на изобретения.

периментальном определении уровней спектральных составляющих тока поезда и сравнении их с нормативными значениями. В настоящей работе предлагается статистический метод оценки степени изменения ЭМО под воздействием нового ЭПС. Метод позволяет определить, изменилась ли сложившаяся ЭМО с началом эксплуатации поездов и электрооборудования. Например, с включением системы рекуперативного торможения на поездах или с началом использования новых выпрямительных установок на тяговых подстанциях.

Идея предлагаемого метода состоит в сравнении значений статистических характеристик спектральных составляющих исследуемого тока на частотах РЦ, АЛС (АЛС–АРС), полученных без использования новых для данного участка технических средств, со значениями, полученными с использованием новых технических средств.

В данной работе решена задача определения допустимости ввода в эксплуатацию на Кольцевой линии Московского метрополитена электропоездов с работающей системой следящего рекуперативно-реостатного торможения по условиям электромагнитной совместимости с РЦ и АРС. Решение задачи состоит из следующих этапов.

1. Измерение и регистрация токов поездов с включенной системой следящего рекуперативно-реостатного торможения, с выключенной системой следящего рекуперативно-реостатного торможения и поездов, не оборудованных данной системой (с другим типом тягового привода).

2. Расчет спектрограмм для каждого диапазона рабочих частот РЦ, АЛС или АЛС-АРС (спектрограмма — развёртка во времени уровня одиночной гармонической составляющей спектра, совпадающей с центральной частотой рабочего диапазона РЦ, АЛС или АЛС–АРС).

3. Определение статистических характеристик спектрограмм для каждой из групп поездов: а) с включенной системой следящего рекуперативно-реостатного торможения, б) без такой системы.

4. Сравнение полученных статистических характеристик спектрограмм.

Измерения и регистрация выполнялись комплексом аппаратуры, состоящим из цифрового регистратора данных *LMS SCADAS Mobile* [8], управляемого ноутбуком и бесконтактных датчиков тока. Электропитание каждого элемента системы было автономным, батарейным, не зависимым от других.

Параметры регистратора:

- разрядность аналого-цифрового преобразователя — 24 бит;

- частота дискретизации регистратора-измерителя — 10240 Гц.

Параметры постобработки:

- вид преобразования — ДПФ (дискретное преобразование Фурье);

- размер окна — 0,2 с;

- оконная функция — Хана (*Hanning*);

- перекрытие — 75%;

- вид представления спектрограмм — среднее квадратическое значение гармонических составляющих тока (с.к.з.).

Измерения тока поезда выполнялись на пути, в междроссельной перемычке дроссель-трансформаторов на выходе станции Октябрьская. Выбор места измерений обусловлен тем, что в этой точке токи дроссель-трансформатора достигают максимальных на Кольцевой линии значений, и, поэтому, именно здесь следует ожидать максимальных уровней помех. Запись велась в течение 4 часов. За это время по контролируемой РЦ проследовало 105 поездов, составленных из вагонов двух типов: 81-740.1/741.1 с асинхронными тяговыми двигателями, оборудованных системой следящего рекуперативно-реостатного торможения, и 81-717 с тяговыми двигателями постоянного тока. Из них с включенной системой следящего рекуперативно-реостатного торможения — 24.

Все записи были разделены на фрагменты, соответствующие проследованию одного поезда. На рис. 1 показаны спектрограммы одного из таких фрагментов для частот 50 Гц (рабочая частота РЦ в месте измерений, рис. 1а), 75 Гц (не используемая в месте измерений частота АЛС-АРС, рис. 1б) и 225 Гц (рабочая частота АЛС-АРС в месте измерений, рис. 1в). На рис. 1г приведён фрагмент 1 рис. 1а в увеличенном масштабе времени. Аналогично на рис. 1д приведён фрагмент 2 той же спектрограммы в увеличенном масштабе времени. На каждой спектрограмме красной горизонтальной линией показано максимально допустимое, нормативное значение тока помехи [5].

Отдельно рассмотрим проезд поездом изолирующих стыков. Особенность этой ситуации заключается в появлении значительной асимметрии, вызванной различной длиной дроссельных перемычек, оказывающей в этом случае существенное влияние на величины сигнальных токов в каждой полуобмотке основной обмотки дроссель-трансформатора. При наличии шунта на удалении от изолирующих стыков различие в сопротивлении дроссельных перемычек имеет меньшее влияние, так как сопротивление рельсовых нитей значительно больше сопротивлений дроссельных перемычек. Поэтому максимальная асимметрия рельсовой линии рассматривается именно в зоне изолирующих стыков. Продолжительность нахождения

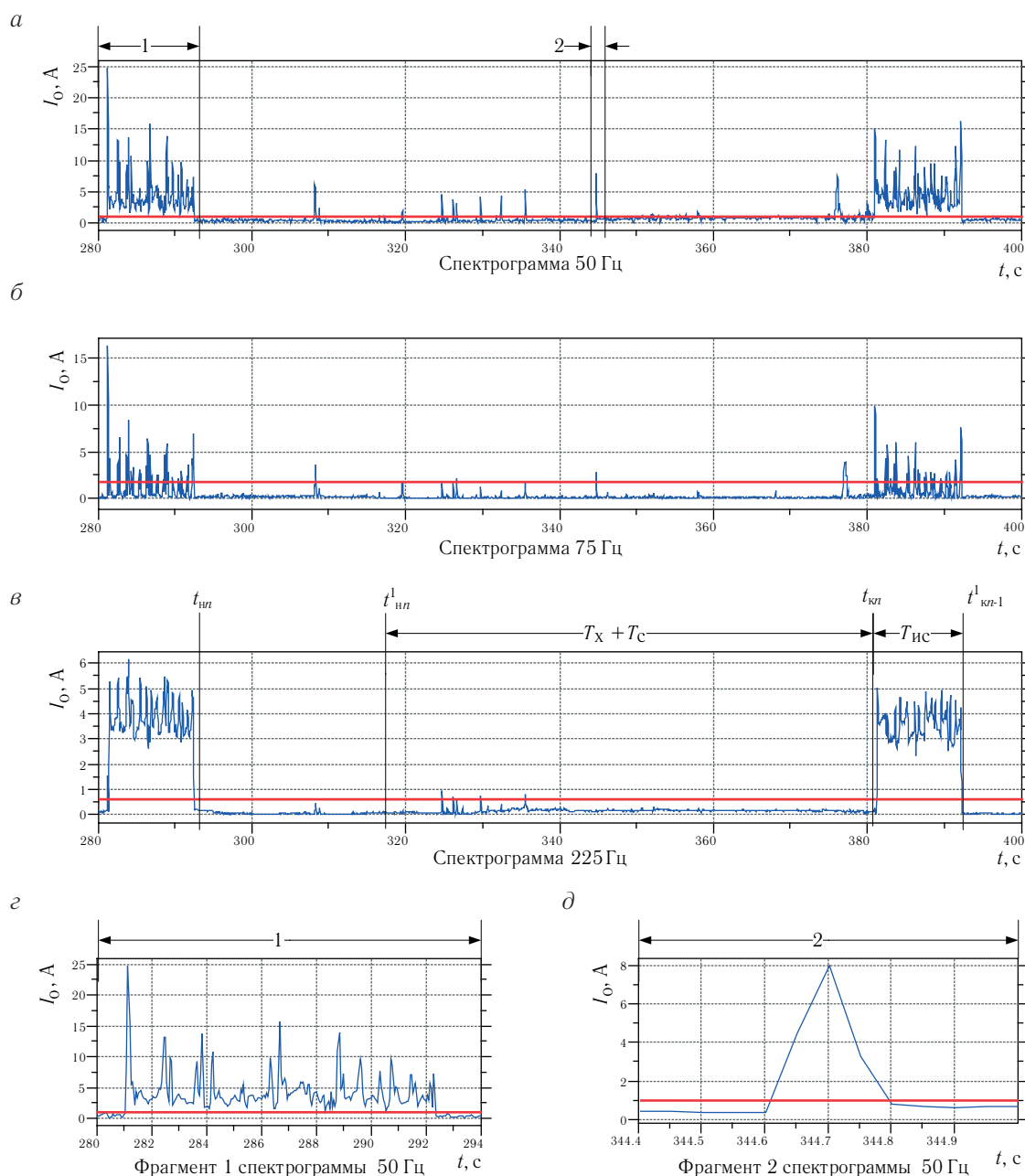


Рис. 1

поезда в этой зоне составляла не менее 7 с (например, фрагмент 1 на рис. 1а). В этих условиях в междроссельной перемычке появляются сигнальные токи, к тому же значительно превышающие нормативные значения, как при отсутствии, так и при наличии режима рекуперации. Это нашло свое отражение на спектрограммах, представленных на рис. 1.

При проследовании поездом контролируемого участка на исследуемых рабочих частотах наблюдались импульсные помехи, вызванные проследованием поездом токоразделов и изолирующих стыков (например, фрагмент 2 на рис. 1а).

Для каждого фрагмента были рассчитаны спектрограммы. Для частот 50 и 225 Гц для каждого поезда рассматривались фрагменты с исключен-

ными интервалами времени, соответствующими продолжению поездом зоны изолирующих стыков $T_{ис}$. Продолжительность полученного фрагмента для n -го поезда $T_{фн}$ определяется по формуле:

$$T_{фн} = [t_{нн}, t_{кн}],$$

где $t_{нн}$ — начало фрагмента (момент освобождения $n-1$ -м поездом зоны изолирующих стыков);

$t_{кн}$ — конец фрагмента (момент занятия n -м поездом зоны изолирующих стыков).

При малых размерах движения длительность фрагмента $T_{фн}$ превышает сумму графикового времени хода поезда по перегону T_x и времени стоянки поезда на станции прибытия T_c :

$$t_{нн} < t_{кн} - (T_x + T_c),$$

поэтому начало фрагмента должно быть пересчитано:

$$t_{нн}^1 = t_{кн} - (T_x + T_c).$$

В этом случае при определении статистических характеристик спектрограмм рассматривался фрагмент $T_{фн}^1 = [t_{нн}^1, t_{кн}]$, в противном случае рассматривался исходный фрагмент $T_{фн}$. Это позволяет исключить из рассмотрения результаты измерений, полученные в отсутствие поездов.

Для остальных исследуемых рабочих частот РЦ и АЛС-АРС (125, 175, 275, 325, 420, 480, 580, 720, 780 Гц) рассматривались фрагменты между моментами освобождения поездами зоны изолирующих стыков. Эти фрагменты соответствуют полному интервалу нахождения поезда на контролируемой РЦ.

Для каждого фрагмента найдены максимальные и средние (оценка математического ожидания) значения спектральных составляющих тока поезда, измеренного в междроссельной перемычке, в диапазонах рабочих частот РЦ и АЛС-АРС. Затем для различных рассматриваемых групп поездов определены максимальные значения спектральных составляющих тока поезда и средние значения оценок их математического ожидания (рис. 2, 3). На рис. 2 показаны максимальные значения импульсов помех на каждой из рабочих частот РЦ и АЛС-АРС. Убывающее при увеличении частоты максимальное значение характерно для импульсных помех коммутационного происхождения. Из рис. 2 следует, что максимальные значения спектральных составляющих тока поезда не зависят от наличия включенной системы следящего рекуперативно-реостатного торможения.

На рис. 3 видно, что средние значения спектральных составляющих тока поезда для поездов с включенной системой следящего рекуперативно-реостатного торможения всегда выше, чем для остальных поездов. Это связано с протеканием тягового тока не только в режиме тяги, но и в режиме торможения.

Доверительные интервалы, найденные для средних значений оценок математического ожидания спектральных составляющих тока поезда при разных значениях доверительных вероятностей (0,9; 0,95; 0,99), пересекаются (рис. 4). Более широкие доверительные интервалы, соответствующие группе поездов с включенной системой следящего рекуперативно-реостатного торможения, объясняются меньшим объемом выборки [9]. Пересечение доверительных интервалов для разных групп поездов показывает, что истинные

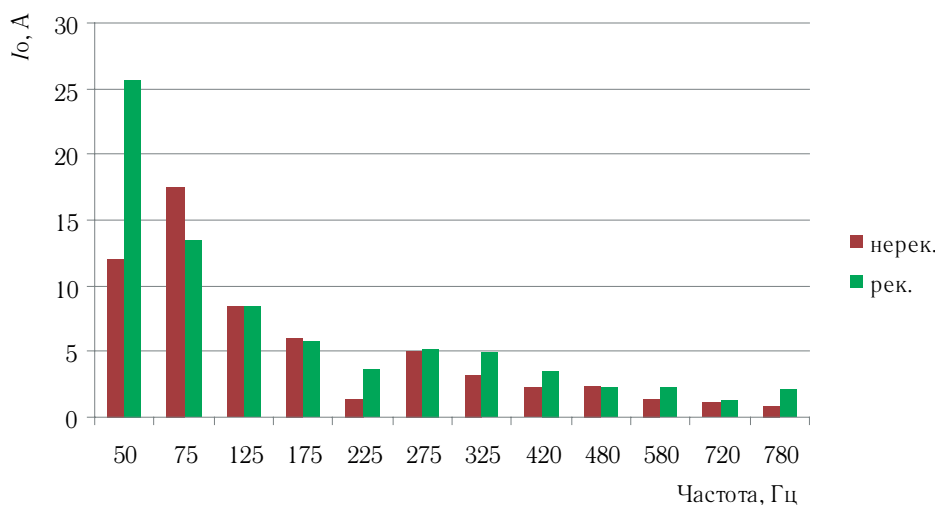


Рис. 2. Максимальные значения тока междроссельной перемычки

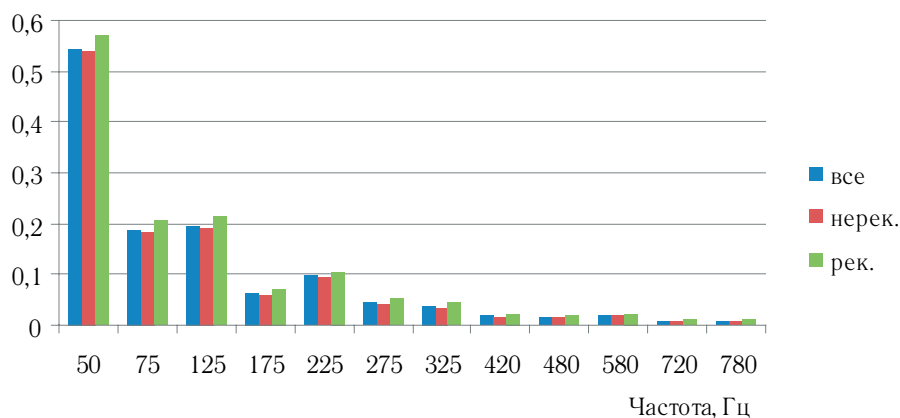



Рис. 3. Оценка среднего значения тока междроссельной перемычки

значения математического ожидания спектральных составляющих тока поезда, измеренного в междроссельной перемычке, совпадают с заданной доверительной вероятностью.

На основании изложенного можно сделать вывод, что изменение типа ЭПС и включение системы следящего рекуперативно-реостатного торможения практически не приводит к изменению ЭМО на рассматриваемом участке.

Предложенный метод оценки изменения электромагнитной обстановки рекомендуется использовать в местах эксплуатации путевых устройств систем обеспечения безопасности движения поездов при внедрении нового электрического подвижного состава. 

Литература

1. Нормы безопасности на железнодорожном транспорте: НБ ЖТ ЦТ 01-98. Дизель-поезда. Требования по сертификации. Введ. 07.08.98. – М., 1998. – 35 с.
2. Нормы безопасности на железнодорожном транспорте: НБ ЖТ ЦТ 02-98. Тепловозы. Требования по сертификации. Введ. 07.08.98. – М., 1998. – 35 с.
3. Нормы безопасности на железнодорожном транспорте: НБ ЖТ ЦТ 03-98. Электропоезда. Требования по сертификации. Введ. 07.08.98. – М., 1998. – 35 с.
4. Нормы безопасности на железнодорожном транспорте: НБ ЖТ ЦТ 04-98. Электровозы. Требования по сертификации. Введ. 07.08.98. – М., 1998. – 35 с.
5. ТМ 318370-07071-21ЖД06-2002. Типовая методика оценки электромагнитной совместимости путевых устройств рельсовых цепей систем интервального регулирования и контроля с электрооборудованием моделей вагонов метро и их модификаций на московском метрополитене. Утв. 05.12.02. – М., 2002. – 8 с.
6. Баранов Л. А., Бестемьянов П. Ф., Щербина Е. Г. Анализ помех в рельсовых цепях метрополитена при использовании нового подвижного состава с асинхронными тяговыми двигателями и рекуперативным торможением // Безопасность движения поездов // Труды XII Научно-практической конференции. – М.: МИИТ, 2012. – С. VIII-20 – VIII-21.
7. Щербина Е. Г. Методика проверки допустимого уровня помех мешающего влияния электровозов на рельсовые цепи СЦБ и АЛС // Безопасность движения поездов // Труды VI Научно-практической конференции, в двух томах, том 1. – М.: МИИТ, 2005. – С. I-55 – I-56.
8. www.lmsintl.com
9. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. – М.: КноРус, 2010. – 480 с.

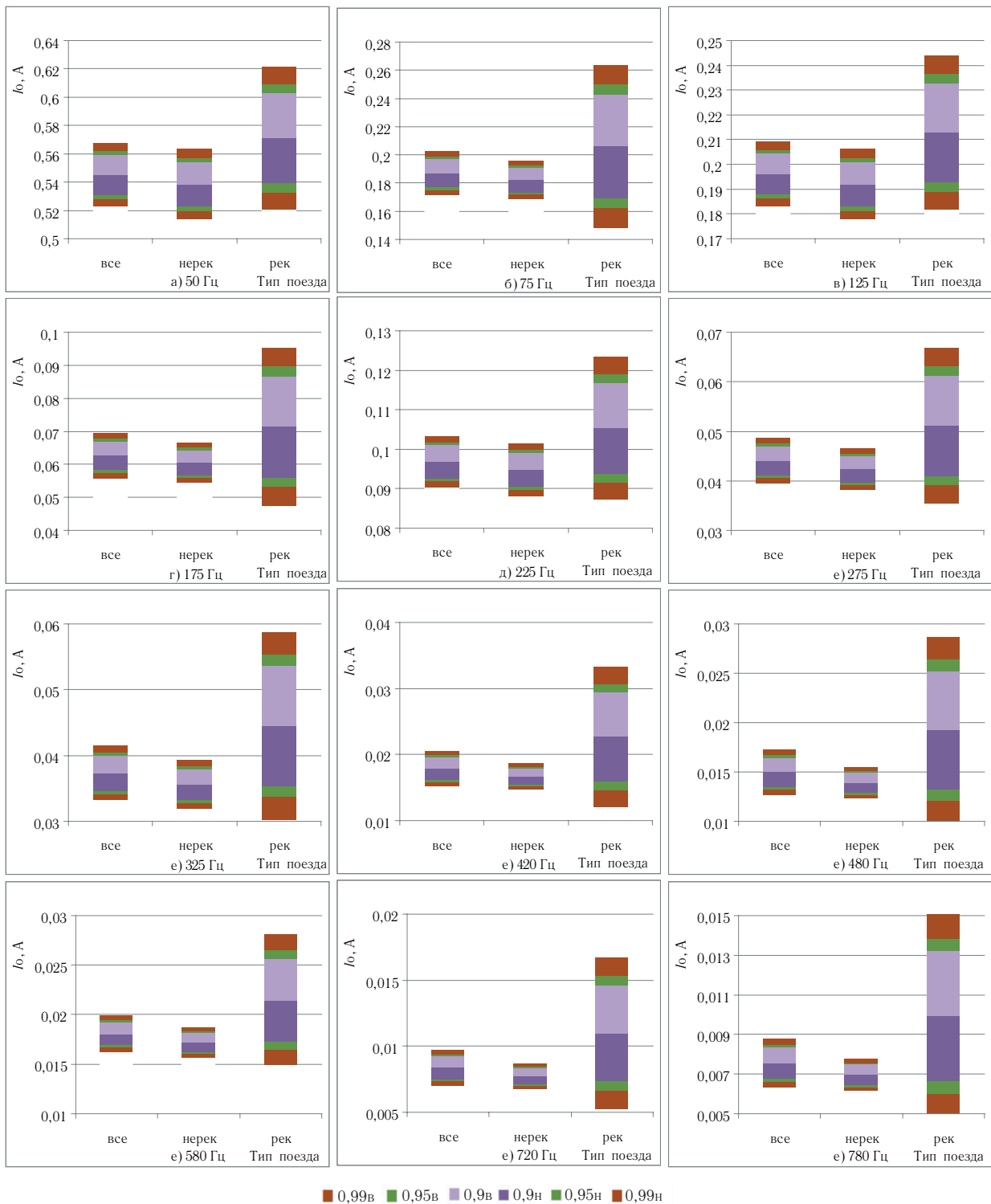


Рис. 4. Доверительные интервалы оценки среднего значения тока междроссельной перемычки в диапазонах рабочих частот РЦ и АЛС-АРС