

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОПОЕЗДАХ ЭР2Р, ЭР2Т

Выпуск электропоездов ЭР2Р постоянного тока с рекуперативно-реостатным торможением начат в 1984 г. (в 1988 г. электропоездам был присвоен индекс ЭР2Т). По состоянию на начало 1993 г. на Московской, Октябрьской и Кемеровской дорогах эксплуатировалось примерно 2100 вагонов поездов этих серий.

При эксплуатации электропоездов ЭР2Р, ЭР2Т, оборудованных традиционной схемой рекуперации с предварительным реостатным торможением и независимым возбуждением тяговых двигателей (ТД), были выявлены недостатки, связанные с низкой надежностью работы электрооборудования в режиме рекуперативного торможения (контакторов 1КП.003, электронных блоков, тяговых двигателей 1ДТ.003). Испытания переходных процессов в традиционной схеме рекуперации, выполненные специалистами ВНИИЖТа, выявили ряд режимов, сопровождавшихся значительными коммутационными перенапряжениями в силовой схеме. В связи с этим на электропоездах ЭР2Р, ЭР2Т с такой схемой

рекуперация в настоящее время практически не применяется, и они эксплуатируются с реостатным торможением.

Для повышения надежности работы электрооборудования поездов ЭР2Р, ЭР2Т в режиме рекуперации специалисты объединения «Рижский электромашиностроительный завод» предложили схему прямого входа в режим рекуперации (ПВР) без предварительного реостатного торможения с независимым возбуждением ТД. В условиях депо в 1989 г. были переоборудованы на эту схему четыре двенадцативагонных электропоезда (два в депо имени Ильича, один в депо Железнодорожная Московской дороги и один в депо Москва Октябрьской дороги).

Эксплуатация модернизированных поездов с устройствами ПВР показала устойчивую работу электрооборудования этих поездов в режиме рекуперации. За четыре года эксплуатации электропоездов с устройствами ПВР не произошло ни одной значительной неисправности, связанной с системой рекуперативного торможения. Надежность работы обору-

дования повысилась прежде всего благодаря снижению количества случаев возникновения коммутационных перенапряжений, в том числе при каждом включении режима рекуперации, и уменьшению числа переключений силовых контакторов. Преимуществом новой схемы является также возможность входа в режим рекуперации на 1-м и 2-м тормозных положениях контроллера машиниста.

По данным депо имени Ильича, общий удельный расход электроэнергии на двенадцативагонных поездах, оборудованных устройствами ПВР, составил 18,7 кВт·ч/поездо-км, возврат электроэнергии — 3,0 кВт·ч/поездо-км и процент возврата электроэнергии по отношению к ее расходу на тягу и собственные нужды 14,2%.

Положительные результаты работы переоборудованных электропоездов позволили рекомендовать указанную схему для внедрения на вновь выпускаемых вагонах ЭР2Т. Начиная с 1991 г. (с электропоезда ЭР2Т-7194) на всех электропоездах применены устройства ПВР (см. «ЭТТ» № 2, 1992 г.).

В настоящее время, хотя и обеспечена надежная работа электрооборудования поездов ЭР2Р, ЭР2Т в режиме рекуперативного торможения, доля электропоездов ЭР2Т, оборудованных схемой ПВР, составляет лишь 15 %, что существенно ограничивает возможность уменьшения расхода электроэнергии поездами. В связи с этим в рамках реализации Комплексной отраслевой научно-технической программы работы по экономии топлива и электроэнергии в условиях либерализации цен на энергоносители в 1993—1994 гг. намечено оборудовать устройствами ПВР все электропоезда ЭР2Р, ЭР2Т, изготовленные до 1991 г.

Многообразие факторов, влияющих на возможность возврата электроэнергии и эффективность рекуперативного торможения (техническое состояние парка электропоездов, условия движения, уровень напряжения в контактной сети, готовность системы электроснабжения к приему энергии), требует индивидуального подхода при внедрении рекуперативного торможения на отдельных участках дорог, его очередности. В этой статье в порядке подготовки к увеличению парка эксплуатируемых на Московской дороге электропоездов постоянного тока с рекуперативным торможением приведены результаты анализа условий работы электропоездов ЭР2Р, ЭР2Т приписки депо имени Ильича, опытных поездок на электропоезде ЭР2Т-7130 с устройством ПВР, оценки внешних условий обеспечения устойчивой рекуперации на участке

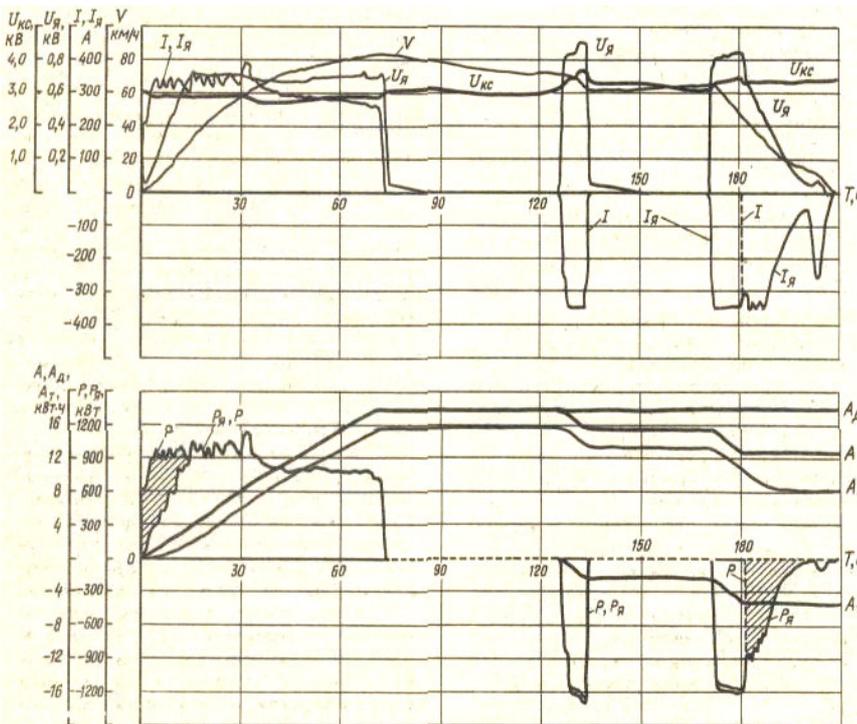


Рис. 1. характер изменения параметров движения и энергетических показателей моторного вагона ЭР2Т-713004 на перегоне Сушкинская — Петелино:
 $U_{кc}$ — напряжение в контактной сети; $U_{я}$ — напряжение на якоре ТД; V — скорость движения; I — ток моторного вагона, потребляемый из контактной сети в режиме тяги и генерируемый при рекуперации; $I_{я}$ — ток якорей ТД; A — результирующий расход электроэнергии с учетом рекуперации; $A_{д}$ — электроэнергия, потребляемая из контактной сети; $A_{т}$ — электроэнергия, генерируемая при рекуперации; $A_{я}$ — результирующий расход электроэнергии за вычетом потерь в пуско-тормозных резисторах; P — потребляемая и генерируемая мощность моторного вагона; $P_{я}$ — мощность на якорях ТД

Москва-Смоленская — Бородино Москва-Смоленского отделения.

По состоянию на начало 1993 г. приписной парк депо имени Ильича составлял 32 электропоезда ЭР2Р, ЭР2Т. Поезда депо, работающая на участках Белорусского, Савеловского и Курского направлений Московской дороги, имеют следующие средневзвешенные условия эксплуатации: длину участка обращения 66,1 км по рабочим дням (69,2 км — по выходным), длину перегона 3,72 (3,68) км, участковую скорость 46,8 (48,6) км/ч и техническую скорость 56,2 (56,9) км. Число пар поездов — 108 по рабочим дням и 111 — по выходным.

Экспериментальные поездки проводились на участках Москва-Смоленская — Кубинка, Москва-Смоленская — Бородино, Москва-Смоленская — Икша, Москва-Смоленская — Щербинка. Измерительное оборудование располагалось в вагоне-лаборатории ВНИИЖТа, который вцеплялся в состав электропоезда. Основные контрольные показатели снимались на моторном вагоне ЭР2Т-713004.

Наряду с традиционными способами измерений, использовалась методика, разработанная в лаборатории электропоездов ВНИИЖТа с применением измерительно-вычислительного комплекса (ИВК) на базе персональной ЭВМ (ПЭВМ). В состав ИВК был включен блок дискретных сигналов, который позволял фиксировать с помощью специального индикатора состояние контакторов и блокировок в цепях управления электропоезда, моменты включений и отключений режима рекуперативного торможения на всех моторных вагонах и передавать полученную информацию через устройство связи в ПЭВМ.

Зафиксированные в процессе экспериментальных поездок параметры движения электропоезда ЭР2Т-7130 отличались от параметров, обусловленных расписанием. Это было вызвано, во-первых, наличием в составе десятивагонного электропоезда вагона-лаборатории, во-вторых, протяженным ограничением скорости движения на участке Кубинка — Бородино.

Уровень напряжения в контактной сети на участке Москва-Смоленская — Бородино составил: при выбеге и стоянке электропоезда 3,2—3,4 кВ; в режиме тяги в часы пик 2,7—3,0 кВ; в непииковое время 3,0—3,2 кВ; в режиме рекуперативного торможения 3,5—3,7 и 3,6—3,8 кВ соответственно, т. е. не достигал уставки реле максимального напряжения (РМН), равной 3,95 кВ. Скорость окончания рекуперации в зависимости от уровня напряжения в контактной сети и уставки тока якоря в тормозном положении контроллера машиниста составляла 41,7—51,3 км/ч.

Процент возврата электроэнергии при рекуперации от общего расхода в тяговом режиме в опытных поездках составил соответственно для участков Москва-Смоленская — Бородино и

обратно 21,7 и 28, Москва-Смоленская — Кубинка — 23,2, Москва-Смоленская — Икша и обратно — 13,1 и 16, Москва-Смоленская — Щербинка — 9,6%. Средний возврат электроэнергии по всем участкам — 21,6%, а на участке Москва-Смоленская — Бородино — 26,0%. Средний удельный возврат электроэнергии по всем участкам — 4,6 кВт·ч/поездо-км, а на участке Москва-Смоленская — Бородино — 5,4 кВт·ч/поездо-км. Низкий показатель возврата электроэнергии на участке Москва-Смоленская — Щербинка объясняется в основном повышенным уровнем напряжения на Московско-Курском отделении.

Во время опытных поездок на участке Москва-Смоленская — Бородино при торможениях в часы пик рекуперация включалась на всех пяти моторных вагонах. Рис. 1 иллюстрирует характер изменения параметров движения и энергетических показателей моторного вагона электропоезда ЭР2Т при движении на перегоне длиной 3376 м с технической скоростью 58,2 км/ч. Ниже приведены зарегистрированные на этом перегоне составляющие расхода электроэнергии (кВт·ч):

- электроэнергия, потребленная из контактной сети на тягу — 17,5;
- расход электроэнергии на собственные нужды — 0,5;
- электроэнергия, возвращаемая в контактную сеть при рекуперации — 5,3;
- результатирующий расход электроэнергии с учетом рекуперации — 12,7;
- возможный результирующий расход электроэнергии без учета потерь в пуско-тормозных резисторах — 8,1.

Как видно из приведенных данных, возврат электроэнергии при движении электропоезда по указанному выше перегону составил 29,4%. Высокий процент возврата объясняется, в частности, торможением на спуске. Заштрихованные на рисунке площади между кривыми мощности, потребляемой из сети (Р), и мощности на якорях ТД (Р_я) соответствуют потерям в пуско-тормозных резисторах в фазах пуска и реостатного торможения с самовозбуждением. Столь значительная доля электроэнергии, рассеиваемой в пуско-тормозных резисторах, указывает на необходимость совершенствования силовой схемы электропоездов ЭР2Р, ЭР2Т в целях повышения их экономичности, например, применением плавного тиристорно-импульсного регулирования напряжения на ТД.

В часы неинтенсивного движения на отдельных перегонах из-за повышения уровня напряжения в контактной сети выше уставки РМН имело место отключение режима рекуперации на 1—2 вагонах и включение

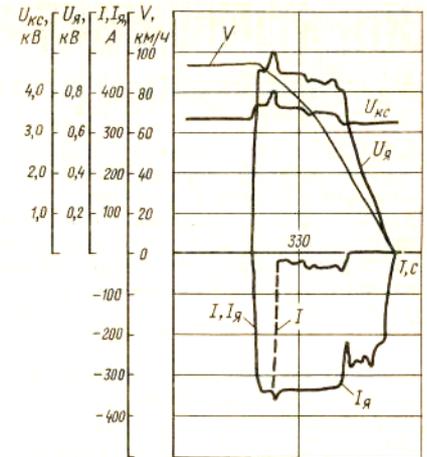


Рис. 2. Процессы при срыве рекуперативного торможения (обозначения те же, что на рис. 1)

замещающего реостатного торможения с независимым возбуждением ТД. Возможной причиной отключения рекуперативного торможения на вагонах могли являться также кратковременные перенапряжения в контактной сети (рис. 2).

В целом на перегонах участка Москва-Смоленская — Бородино число рекуперировавшихся вагонов в среднем составило 4,67, или 93,3% от общего числа моторных вагонов в поезде, что указывает на благоприятные условия по уровню напряжения в контактной сети и наличию приемников рекуперированной энергии.

Приведенные данные получены в условиях, когда рекуперировал лишь один электропоезд. В реальных же условиях эксплуатации не исключена возможность одновременной рекуперации двух и более поездов. Расчеты, проведенные специалистами лаборатории тягового электроснабжения ВНИИЖТа, показали, что на рассматриваемом участке такие случаи практически не влияют на эффективность рекуперативного торможения.

Таким образом, опыт работы модернизированных и серийных электропоездов ЭР2Р, ЭР2Т с ПВР показал, что увеличение числа поездов, оборудованных такой схемой, позволит существенно уменьшить расход электроэнергии на пригородные перевозки.

Следует особо отметить, что эффект от рекуперации при эксплуатации этих электропоездов непосредственно зависит от уровня напряжения контактной сети и от условий приема рекуперированной электроэнергии.

О. К. ФИЛИПОВ,
главный инженер службы
локомотивного хозяйства
Московской дороги

Канд. техн. наук **Б. И. ХОМЯКОВ,**
инженеры **А. Ю. БЕЛОКРЫЛИН,**
С. И. МЕРКУШЕВ, О. Н. НАЗАРОВ,
ВНИИЖТ