

Г. К. ГЕТЬМАН, В. Е. ВАСИЛЬЕВ (ДНУЖТ)

Кафедра Электроподвижной состав, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел.: (056) 373-15-31, эл. почта: [getman-gk@i.ua](mailto:getman-gk@i.ua), [wasilijw@ukr.net](mailto:wasilijw@ukr.net)

## ЕЩЕ РАЗ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ТЯГУ ЗА СЧЕТ ЧАСТИЧНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

История применения электрической тяги неразрывно связана с поиском резервов снижения энергоемкости перевозок, поскольку издержки на возмещение затрат электроэнергии на тягу поездов составляют ощутимую долю эксплуатационных расходов железных дорог.

В связи с ростом цен на энергоносители вопросы энергоснабжения особую актуальность приобрели в последние десятилетия. Появились новые работы, посвященные исследованию различных аспектов этой проблемы. В частности возобновился интерес к хорошо известной специалистам-электротяговикам проблеме экономии электроэнергии на тягу поездов за счёт частичного отключения тяговых двигателей, т. е. за счёт регулирования величины используемой части установленной мощности.

О возможности экономии электроэнергии за счет отключения части тяговых двигателей (или части тяговых единиц в случае кратной тяги) на легких элементах профиля или при вождении неполновесных поездов известно из классических трудов по электрической тяге.

Идея способа базируется на том, что работа электровоза с поездами малого веса осуществляется при малых значениях тока, которым соответствуют пониженные значения к. п. д. тяговых двигателей. При отключении части тяговых двигателей ток оставшихся в работе двигателей увеличивается, что и обеспечивает реализацию заданного режима ведения поезда при более высоком к. п. д. электровоза.

Следует подчеркнуть, что возможность экономии электроэнергии за счет отключения части тяговых двигателей была подтверждена опытом эксплуатации на линиях, электрифицированных как на постоянном, так и на переменном токе [1-4]. Аналогичные выводы получены также по результатам исследований, выполненных учеными ВНИИЖТа и его Уральского отделения, а также группой ученых ОМИИТа под руководством к. т. н. Р. Я. Медлина [5, 6].

Однако, в отношении целесообразности частичного отключения тяговых двигателей нет

единого мнения среди специалистов-электротяговиков. В подтверждение сказанному можно назвать статью «И всё же двигатели отключать не следует» [7], одним из авторов которой является видный специалист в области электрической тяги д. т. н. А. С. Курбасов. К этому следует добавить, что авторы некоторых публикаций отрицают саму возможность экономии электроэнергии указанным способом [8].

Противоречивость мнений по данному вопросу обусловлена, главным образом, несовершенством используемых при его решении методик.

Сказанное относится в равной мере как к ранее выполненным работам, так и к ряду работ, опубликованных в последнее время. Это обстоятельство в сочетании с важностью задач, относящихся к поиску резервов экономии электроэнергии на тягу поездов, пробудило авторов к рассмотрению в настоящей статье задач об определении экономии электроэнергии за счет частичного отключения тяговых двигателей, ранее обсуждавшихся в [9].

В выполненных исследованиях для подтверждения целесообразности отключения части тяговых двигателей используется два способа. Первый базируется на сравнении мощности потерь энергии в тяговых двигателях, а второй – на сравнении их к. п. д.

Более часто применение находит второй способ вследствие:

доступности данных о к. п. д. тяговых двигателей, определение которых согласно ГОСТ 2582-81 входит в программу их квалификационных испытаний;

простоты и наглядности сравнения вариантов, а также кажущейся убедительностью выводов.

Например, в [10] на данных о к. п. д. основано сравнение экономичности работы электровоза ВЛ8 при использовании 8-и и 6-и тяговых двигателей. С этой целью для сравниваемых вариантов построены зависимости к. п. д.  $\eta$  тягового двигателя НБ-406 от тока электро-

воза  $I_3$ , как показано на рис. 1 (заимствован из [10]). Режимы ослабления возбуждения для каждого варианта выбраны так, чтобы получить для них максимально приближенные тяговые характеристики электровоза.

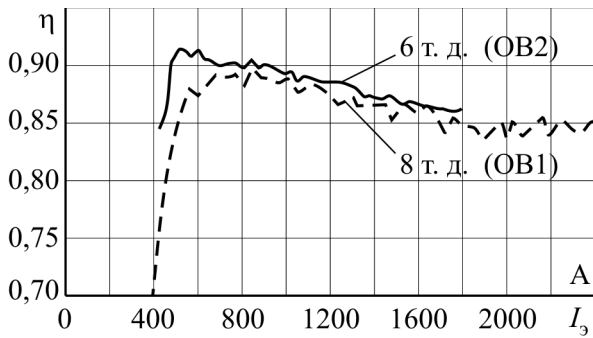


Рис. 1.

На основании анализа графиков рис. 1 в [10] сделан вывод, что «характеристика  $\eta(I_3)$  для случая работы электровоза ВЛ8 в режиме ОВ1 на восьми ТЭД (при напряжении на двигателе 1500 В) лежит несколько ниже той же характеристики электровоза при работе на шести двигателях в режиме ОВ2 при том же напряжении на ТЭД, а поэтому второй режим будет более экономичным – с более высоким к. п. д.».

Приведенный пример наглядно демонстрирует преимущества рассмотренного способа решения задачи – простоту и наглядность.

Однако заметим, что, если в цитированной работе под более экономичным понимается режим, обеспечивающий снижение расхода электроэнергии на тягу, то приведенное заключение, как будет показано ниже, не является бесспорным.

Первый из вышеперечисленных способов решения задачи, то есть путем сравнения мощности потерь энергии в тяговых двигателях, встречается реже, так как требует выполнения некоторого объема дополнительных вычислений.

Названные подходы к решению задачи приводят, как будет показано далее, к одинаковым результатам, однако не один из них не позволяет однозначно установить предпочтительный по энергозатратам вариант, что может приводить к некорректным выводам, к ошибкам и заблуждениям.

Пусть приведенные на рис. 2 кривые  $F_{к1}(v)$  и  $W_{к1}(v)$  представляют соответственно зависимости силы тяги и полного сопротивления движению поезда от скорости при числе включенных двигателей  $m=m_1$ , а кривые  $F_{к2}(v)$  и

$W_{к2}(v)$  – те же зависимости при  $m=m_2 \neq m_1$ . Причем, если  $m_1$  равно числу установленных на электровозе тяговых двигателей, то число отключенных двигателей равно  $m_1 - m_2$ . В этом случае при принятых в теории электрической тяги подходах к определению приведенных к ободу колес расчетных значений силы тяги и силы сопротивления движению имеет место неравенство  $W_{к2}(v) > W_{к1}(v)$ .

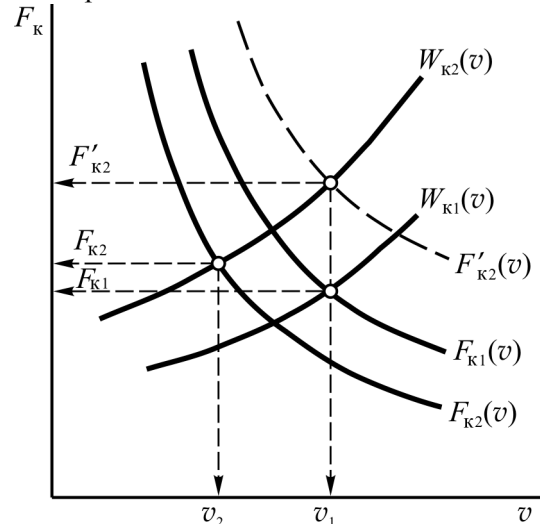


Рис. 2.

Точки пересечения зависимостей  $W_k(v)$  и  $F_k(v)$ , то есть кривых сопротивления движению и тяговых характеристик, определяют параметры (сила тяги и скорость) установившегося режима движения ( $F_{к1} = W_{к1}$ ,  $v_1$  и  $F_{к2} = W_{к2}$ ,  $v_2$ ).

Сила тяги электровоза, реализуемая при заданной скорости движения, определяется числом тяговых двигателей, уровнем напряжения на коллекторе и током возбуждения. Поэтому возможность реализации близких или совпадающих тяговых характеристик  $F_{к1}(v)$  и  $F_{к2}(v)$  при  $m=m_1$  и  $m=m_2$  зависит от используемого способа регулирования мощности тяги.

Из рис. 2 следует, что при отключении части тяговых двигателей скорость движения можно сохранить неизменной, если обеспечить реализацию тяговой характеристики

$$F'_{к2}(v) = F_{к1}(v) + \Delta W(v) \quad \text{или} \\ F'_{к2}(v) = F_{к1}(v) + [W_{к2}(v) - W_{к1}(v)].$$

Увеличение силы тяги на  $\Delta W$  при неизменной скорости движения осуществимо на электроподвижном составе с плавным регулированием мощности тяги. При ступенчатом регулировании напряжения и тока возбуждения мож-

но получить только близко расположенные характеристики  $F_{к1}(v)$  и  $F_{к2}(v)$ , но не совпадающие. Стало быть, применительно к эксплуатируемым в настоящее время электровозам серий ВЛ и ЧС следует исходить из того, что отключение части тяговых двигателей при прочих равных условиях обусловит изменение параметров режима движения – силы тяги и скорости. Так, если при частичном отключении тяговых двигателей тяговая характеристика соответствует показанной на рис. 2 кривой  $F_{к2}(v)$ , то установившемуся режиму движения будет соответствовать сила тяги  $F_{к2} \neq F_{к1}$  и скорость  $v_2 \neq v_1$ .

Опуская далее для краткости при обозначениях  $F_k$  и  $W_k$  индексы «к», представим потребляемую электровозом из контактной сети при  $m=m_1$  и  $m=m_2$  мощность как:

$$P_{\Sigma 1} = F_1 v_1 + P_1; \quad P_{\Sigma 2} = F_2 v_2 + P_2,$$

где  $F_1$  и  $F_2$  – соответствующие  $m=m_1$  и  $m=m_2$  значения силы тяги;

$P_1$  и  $P_2$  – мощность суммарных потерь при  $m=m_1$  и  $m=m_2$  соответственно.

В выполненных ранее работах в качестве показателя целесообразности отключения части тяговых двигателей используют удельную величину – изменение мощности потерь энергии, выраженное в абсолютных или относительных единицах:

$$\Delta p = P_1 - P_2, \text{ кВт или } \Delta p^* = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \cdot 100, \%. \quad (1)$$

Значения  $P_1$  и  $P_2$  и их разность определяются как :

$$P_1 = m_1 p_1(v_1);$$

$$P_2 = (m_1 - m_2) p_{\text{МХ}}(v_2) + m_2 p_2(v_2), \quad (2)$$

$$\Delta p = m_1 p_1(v_1) - [(m_1 - m_2) p_{\text{МХ}}(v_2) + m_2 p_2(v_2)], \quad (3)$$

где  $p_1(v_1)$  и  $p_2(v_2)$  – суммарные мощности потерь в тяговом приводе одной оси при  $m=m_1$  и  $m=m_2$  и скорости движения  $v_1$  и  $v_2$  соответственно;

$p_{\text{МХ}}(v_2)$  – механические потери в тяговом приводе оси при скорости движения  $v_2$ .

Отметим следующее, важное для дальнейшего изложения, обстоятельство.

В теории электрической тяги механические потери в отключенных тяговых двигателях принято учитывать путем увеличения основного сопротивления движению поезда на величину  $\Delta W$ , равную

$$\Delta W(v) = (m_1 - m_2) \cdot \frac{p_{\text{МХ}}(v)}{v}. \quad (4)$$

Если воспользоваться расчетными выражениями для определения удельного основного сопротивления движению электровоза под током  $w'_0(v)$  и на выбеге  $w_x(v)$ , выраженных в Н/кН, то численное значение  $\Delta W$  можно считать как

$$\Delta W(v) = \frac{9,81(m_1 - m_2)}{m_1} m_3 [w_x(v) - w'_0(v)], \text{ Н}, \quad (5)$$

где  $m_3$  – масса электровоза, т.

Разность мощности потерь энергии  $\Delta p$  можно определить также по заданным зависимостям к. п. д. двигателя от скорости движения поезда для сравниваемых вариантов.

В этом случае потребляемая из сети мощность определяется как:

$$P_{\Sigma 1} = \frac{W_1(v_1)v_1}{\eta_1(v_1)}; \quad P_{\Sigma 2} = \frac{W_2(v_2)v_2}{\eta_2(v_2)}, \quad (6)$$

а разность

$$P_{\Sigma 1} - P_{\Sigma 2} = v_1 W_1(v_1) + m p_1(v_1) - [v_2 W_2(v_2) + (m_1 - m_2) p_2(v_2)] \quad (7)$$

Представив в последнем выражении  $W_2(v)$  в виде суммы

$$W_2(v) = W_1(v) + \Delta W(v) \quad (8)$$

находим

$$P_{\Sigma 1} - P_{\Sigma 2} = v_1 W_1(v_1) + m p_1(v_1) - [v_2 W_1(v_2) + v_2 \Delta W(v_2) + m_2 p_2(v_2)] \quad (9)$$

На основании (9) и (2) разность мощности потерь энергии

$$\Delta p = P_{1\text{э}} - P_{2\text{э}} - [v_1 W_1(v_1) - v_2 W_1(v_2)] \quad (10)$$

Анализируя выражения (4) и (9), можно убедиться, что формулы (3) и (10) дают один и тот же результат. При использовании выражения (3) для определения величины  $\Delta p$  необходимо располагать данными о мощности потерь в дви-

гатель  $[p_1(v), p_2(v) \text{ и } p_{\text{МХ}}(v)]$ . Выражение (10) применимо, если известны зависимости к. п. д. от скорости движения  $[\eta_1(v) \text{ и } \eta_2(v)]$ .

При решении задачи рассматриваемыми способами выводы о целесообразности отключения части тяговых двигателей базируются, как уже отмечалось, на анализе зависимости разности мощности потерь от скорости движения  $\Delta p^*(v)$  [5]. Между тем, предпочтительнее анализ зависимости  $\Delta p^*$  от уклона, то есть  $\Delta p^*(i)$ , дополненной графиками  $v_1(i)$  и  $v_2(i)$ . Такое представление результатов решения задачи позволяет определить для заданного участка (уклона) не только разность мощности потерь, но и степень изменения скорости движения при отключении части тяговых двигателей.

Рассмотрим пример, когда требуется определить разность мощности потерь энергии при вождении поездов с массой состава 1400 т одной и двумя секциями электровоза ВЛ10.

Будем исходить из того, что при работе одной секцией применяется вторая ступень ослабления возбуждения (ОВ2), а при работе двумя секциями – режим полного возбуждения (ПВ). Этому случаю соответствуют расположенные близко тяговые характеристики  $F_{\text{к8}}(v)$  и  $F_{\text{к4}}(v)$ , показанные на рис. 3.

На тяговых характеристиках для сравниваемых вариантов кружками отмечены установившиеся скорости движения поезда, соответствующие ряду заданных значений уклонов пути  $i$  (значения уклонов  $i$  выбраны ради упрощения расчета так, чтобы им при работе двумя секциями соответствовали значения установившейся скорости движения 60, 65, 70 и 80 км/ч). Произведение координат каждой из указанных точек представляет механическую мощность электровоза.

Например, уклону  $i=1,93\text{‰}$  соответствуют:

$$v_1 = 70 \text{ км/ч}; \quad F_{\text{к8}} = 118,7 \text{ кН};$$

$$v_2 = 67,8 \text{ км/ч}; \quad F_{\text{к4}} = 117,72 \text{ кН}.$$

Зависимости мощности потерь и к. п. д. от скорости движения для  $m=8$  и  $m=4$  приведены на рис. 4 и рис. 5. При расчете указанных зависимостей потери определялись по результатам квалификационных испытаний тягового двигателя ТЛ-2К [12], а потери в тяговой передаче согласно рекомендациям ГОСТ 2582-72.

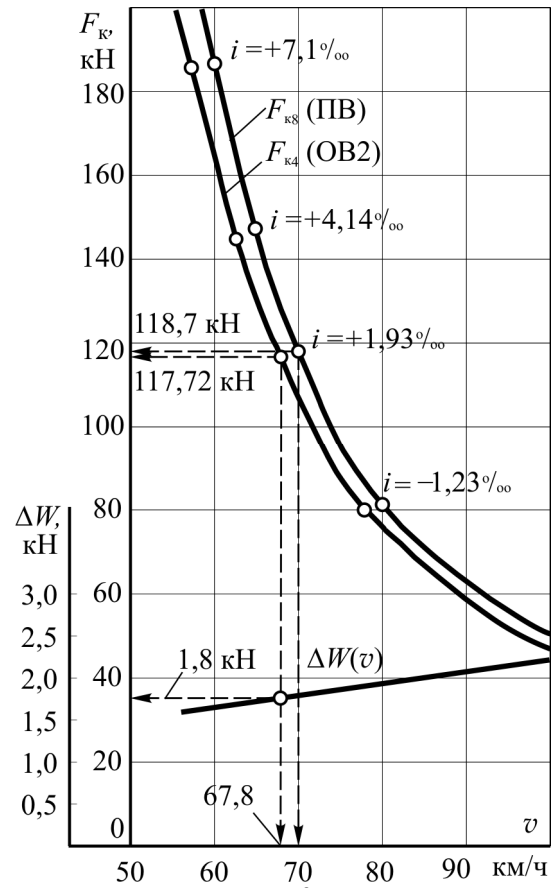


Рис. 3.

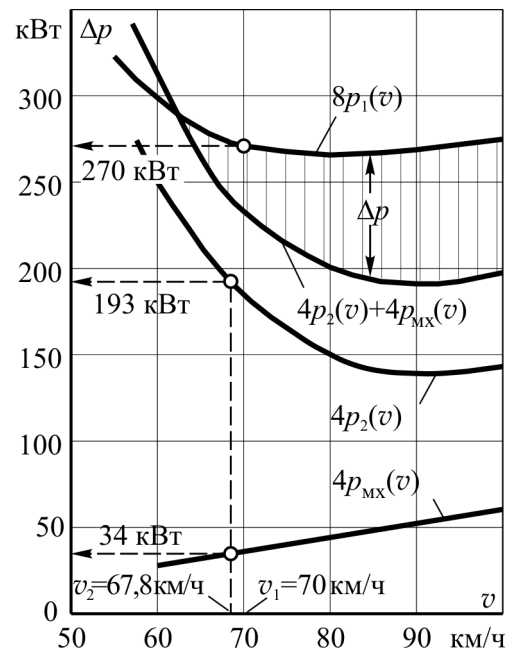


Рис. 4.

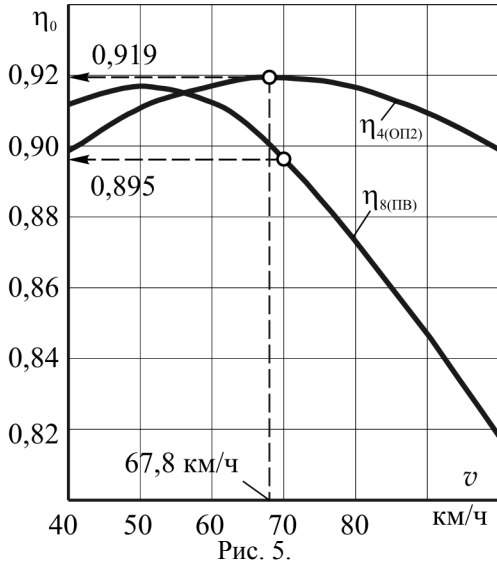


Рис. 5.

Из рис. 4 находим:

$$8p_1(v = 70) = 270 \text{ кВт};$$

$$4p_2(v = 67,8) = 193 \text{ кВт};$$

$$4p_{\text{мх}}(v = 67,8) = 34 \text{ кВт}.$$

Механическая мощность:

$$P_{\text{мх}8} = \frac{F_1 v_1}{3,6} = \frac{118,7 \cdot 70}{3,6} = 2308 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{мх}4} = \frac{F_2 v_2}{3,6} = \frac{117,72 \cdot 67,8}{3,6} = 2217 \text{ кВт}.$$

Мощность, потребляемая из сети:

$$P_{\text{э}8} = P_{\text{мх}8} + 8p_1(v_1) = 2308 + 270 = 2578 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{э}4} = P_{\text{мх}4} + 4p_2(v_2) = 2217 + 193 = 2410 \text{ кВт}.$$

Разность мощности потерь в абсолютных и относительных единицах:

$$\Delta p = 270 - 193 - 34 = 43 \text{ кВт};$$

$$\Delta p^* = \frac{43}{2578} \cdot 100 = 1,67\%.$$

Теперь определим разность  $\Delta p$ , используя данные о к. п. д. двигателя.

По данным рис. 5 находим:

$$\eta_8(v_1 = 70 \text{ км/ч}) = 0,895;$$

$$\eta_4(v_2 = 67,8 \text{ км/ч}) = 0,919.$$

Полная мощность:

$$P_{\text{э}8} = \frac{P_{\text{мх}8}}{\eta_8} = \frac{2308}{0,895} = 2579 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{э}4} = \frac{P_{\text{мх}4}}{\eta_4} = \frac{2217}{0,919} = 2412 \text{ кВт}.$$

Согласно графику  $\Delta W(v)$ , приведенному на рис. 2, имеем

$$\Delta W(v_2 = 67,8 \text{ км/ч}) = 1,80 \text{ кН}.$$

На основании (8)

$$\Delta W(v) = W_2(v) - W_1(v),$$

поэтому  $W_1(v_2) = W_2(v_2) - \Delta W(v_2)$ .

Так как  $W_2(v_2) = F_{\text{к}4}$ , то

$$W_1(v_2 = 67,8 \text{ км/ч}) = 117,72 - 1,80 = 115,92 \text{ кН}.$$

Снижение мощности потерь энергии согласно (10) составит

$$\Delta p = 2579 - 2412 - \left[ 2308 - \frac{115,92 \cdot 67,8}{3,6} \right] = 42 \text{ кВт},$$

что практически совпадает с ранее полученным результатом.

На рис. 6 показаны построенные по данным выполненных выше расчетов графики зависимостей  $\Delta p^*(i)$ ,  $v_{8(\text{пв})}(i)$  и  $v_{4(\text{об}2)}(i)$ . Они позволяют оценить степень изменения установившейся скорости движения и мощности потерь энергии при отключении части тяговых двигателей и заданной величине уклона  $i$ . Так в рассмотренном случае работа одной секцией обуславливает некоторое снижение установившейся скорости движения и снижение мощности потерь энергии при скоростях движения  $v > 65 \text{ км/ч}$ .

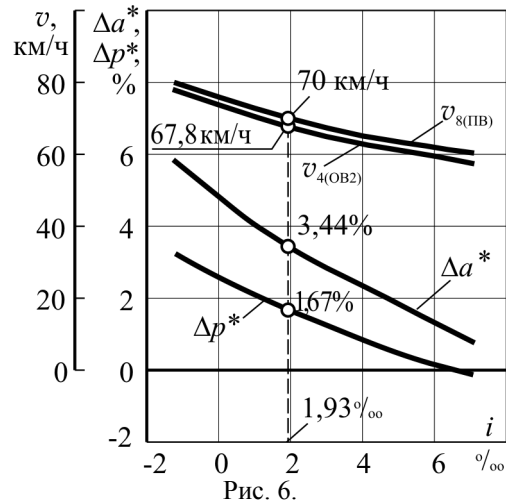


Рис. 6.

Не отрицая полезности расчетов, методика которых изложена выше, следует иметь в виду, что в общем случае мощность потерь энергии или к. п. д. не определяют однозначно расход электроэнергии на тягу, поэтому выводы в отношении расхода электроэнергии, основанные на сравнении мощности потерь энергии или к. п. д., могут оказаться неточными или даже ошибочными.

В самом деле, расход электроэнергии на тягу можно представить как [11]

$$A = \frac{1}{\eta(s)} \int_{s_{\text{н}}}^{s_{\text{к}}} F_{\text{к}}(s) ds,$$

где  $s_H$ ,  $s_H$  – координаты пути, соответствующие началу и концу участка;

$F_K$  – сила тяги электровоза на ободе колёс;

$\eta$  – к. п. д. электровоза без учета расхода электроэнергии на питание цепей собственных нужд.

Сила тяги, необходимая для реализации заданного режима движения  $v(s)$ , определяется как [11]

$$F_K = m_{\Pi} \left[ \frac{1+\gamma}{\xi} \cdot \frac{v dv}{ds} + w_K(s, v) \right],$$

где  $m_{\Pi}$  – масса поезда;

$1+\gamma$  – коэффициент инерции вращающихся частей поезда;

$\xi$  – размерный коэффициент, зависящий от используемых единиц измерения физических величин;

$w_K$  – удельное сопротивление движению поезда.

Приведенные выражения показывают, что данные о значении к. п. д. или потерь мощности не позволяют сделать однозначный вывод в отношении экономичности в пользу того или иного режима нагружения тягового средства. Исключение составляют только случаи, когда в сравниваемых вариантах реализуются идентичные режимы движения поезда  $v(s)$ , что в реальных условиях для электровозов с дискретным регулированием мощности тяги практически всегда недостижимо (как в рассмотренном выше примере с электровозом ВЛ10).

К сказанному следует добавить, что при таком подходе к решению задачи затруднен учет изменения затрат энергии на питание цепей собственных нужд.

Чтобы обойти указанные выше затруднения и получить корректное суждение о целесообразности частичного отключения тяговых двигателей, методика решения задачи должна базироваться не на сравнении к. п. д. или разности мощности потерь энергии  $\Delta p^*$ , а на оценке разности расхода электроэнергии для сравниваемых вариантов

$$\Delta a^* = 100 \frac{a_1 - a_2}{a_1} \quad (11)$$

где  $a_1$  и  $a_2$  – удельный (отнесенный к 1 т·км или 1 поезд·км перевозочной работы) расход электроэнергии на тягу на данном участке.

Можно показать, что:

$$a_1 = \frac{10^3 P_{Э1}}{(m_Э + m_С) v_1}; \quad a_2 = \frac{10^3 P_{Э2}}{(m_Э + m_С) v_2}, \quad \frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{т} \cdot \text{км}}, \quad (12)$$

где  $m_С$  – масса состава, т.

Относительная величина снижения расхода электроэнергии на тягу независимо от протяженности участка составляет

$$\Delta a^* = 100 \left( 1 - \frac{P_{Э1}}{v_1} \cdot \frac{v_2}{P_{Э2}} \right), \quad \% \quad (13)$$

Для рассмотренного выше численного примера получим:

$$a_1 = \frac{2579 \cdot 10^3}{(1400 + 184) \cdot 70} = 23,26 \frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{т} \cdot \text{км}};$$

$$a_2 = \frac{2412 \cdot 10^3}{(1400 + 184) \cdot 67,8} = 22,46 \frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{т} \cdot \text{км}}.$$

Снижение расхода электроэнергии по формуле (11)

$$\Delta a^* = 100 \frac{23,26 - 22,46}{23,26} = 3,44\%$$

или по формуле (13)

$$\Delta a^* = 100 \left( 1 - \frac{70}{2579} \cdot \frac{2412}{67,8} \right) = 3,44\%.$$

Отметим, что при использовании формул (12) и (13) легко учесть возможное изменение затрат энергии на собственные нужды. Для этого достаточно соответствующим образом увеличить значения мощности  $P_{Э1}$  и  $P_{Э2}$ .

Выполнив подобные расчеты для ряда значений уклона, можно получить зависимость  $\Delta a^*(i)$ . Для рассмотренного выше примера график такой зависимости приведен на рис. 6. Он позволяет определить экономию электроэнергии как в относительных, так и в абсолютных величинах и установить условия (скорость движения и уклон пути), при которых экономия имеет место. Так в рассмотренном случае, как следует из графиков рис. 6, отключение четырех двигателей электровоза ВЛ10 в диапазоне изменения скорости движения 60÷80 км/ч за счёт снижения потерь в тяговых двигателях обеспечивает экономию электроэнергии в пределах 1-5 %, причем более заметная экономия соответствует работе на более легких элементах профиля.

В заключение подчеркнем, что вопрос о целесообразности частичного отключения тяговых двигателей всегда следует разделять на две части – исследовательскую и организационную: сначала необходимо установить возмож-

ность экономии электроэнергии, а затем с учетом конкретных условий вождения поездов принять решение об использовании этого способа. Изложенная в настоящей статье методика позволяет решить первую часть обсуждаемого вопроса. Причем расчетная экономия электроэнергии нуждается в подтверждении опытными поездками, поскольку метод её расчета базируются на ряде допущений. Последние на ряду

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Закорюкин, В. Л. Авторегулирование мощности электровоза ВЛ22М при двойной тяге [Текст] / В. Л. Закорюкин, В. И. Гончаров // Электрическая и тепловозная тяга. – 1969. – № 7. – С. 21-23.
2. Некрасов, О.А. О расчетном определении эффективности средств экономии энергии при электрической тяге [Текст] / О. А. Некрасов, В. И. Рахманинов // Труды ВНИИЖТа. – М.: Транспорт, 1977. – Вып. 578. – С. 57-74.
3. Легостаев, В. А. Экономия электрической энергии на электроподвижном составе [Текст] / В. А. Легостаев. – М.: Транспорт, 1956. – С. 21-29.
4. Варламов А. А. Частичное отключение тяговых двигателей на электровозах переменного тока [Текст] / А. А. Варламов, Н.Г. Тарасов // Электрическая и тепловозная тяга. – 1969. – № 12. – С. 8-9.
5. Медлин, Р. Я. Экономия энергии при отключении части тяговых двигателей на электровозах постоянного тока и методика её определения [Текст] / Р. Я. Медлин, С. М. Рождественский, Ю. А. Усманов // Научн. тр. ОмИИТа. – Омск, 1974. – Вып. 163. – С. 33-44.
6. Классен, Г. Я. Анализ затрат электроэнергии на тягу электровозами со схемой дистанционного отключения части двигателей [Текст] / Г. Я. Классен, Р. Я. Медлин, С. М. Рождественский, Ю. А. Усманов // Научн. тр. ОмИИТа. – Омск, 1974. – Вып. 163. – С. 45-50.
7. Борцов, П. И. И всё же двигатели отключать не следует [Текст] / П. И. Борцов, З. Н. Дубровский, А. С. Курбасов, Х. Я. Быстрицкий // Электрическая и тепловозная тяга. – 1978. – № 10. – С. 35-37.
8. Кулиш, В. Ф. О частичном отключении тяговых двигателей [Текст] / В. Ф. Кулиш // Электрическая и тепловозная тяга. – 1977. – № 2. – С. 44.
9. Гетьман, Г. К. О расчетном определении экономии электроэнергии при частичном отключении тяговых двигателей электро-подвижного состава [Текст] / Г. К. Гетьман, В. Е. Васильев // Залізничний транспорт України. – 2011. – № 4. – С. 51-54.
10. Саблин, О. И. Рациональное регулирование установленной мощности тягового средства в процессе движения [Текст] / О. И. Саблин, О. И. Бондарь // Електрифікація транспорту. – 2011. – № 2. – С. 68-71.
11. Гетьман, Г. К. Теория электрической тяги: монография [Текст]: в 2 т. / Г. К. Гетьман – Дн-вск: Изд-во Маковецкий, 2011. Т. 2. – 364 с.
12. Технический отчет ВЭЛНИИ № ЭМ-3-74. Типовые испытания тягового двигателя ТЛ-2К.

с упрощением решения задачи могут приводить к некоторому искажению результатов (допущения о постоянстве питающего напряжения, неучёт разброса характеристик тяговых двигателей и диаметров движущих колёс, разброса значений удельного сопротивления движению и некоторые другие), влияние которых не изучено.

#### REFERENCES

1. Zakoryukin V. L., Goncharov V. I. *Avtoregulirovanie moshchnosti elektrovoza VL22M pri dvoynoy tyage* [Sensing power electric locomotive VL22M with double-header] / *Elektricheskaya i teplovoznaya tyaga* – Electric and diesel traction, 1969, № 7, pp. 21-23.
2. Nekrasov O. A., Rakhmaninov V. I. *O raschetnom opredelenii effektivnosti sredstv ekonomii energii pri elektricheskoy tyage* [On the determination of the effectiveness of the calculated energy savings for electric traction] / *Trudy VNIIZhTa* – Proceedings of USRIRT. Moscow, Transport, 1977, issue 578, pp. 57-74.
3. Legostaev V. A. *Ekonomiya elektricheskoy energii na elektropodvizhnom sostave* [Economy of electricity in the electric rolling stock]. Moscow, Transport, 1956, pp. 21-29.
4. Varlamov A. A., Tarasov N. G. *Chastichnoe otklyuchenie tyagovykh dvigateley na elektrovozhakh peremennogo toka* [A partial shutdown of traction motors in electric alternating current]. *Elektricheskaya i teplovoznaya tyaga* – Electric and diesel traction, 1969, № 12, pp. 8-9.
5. Medlin R. Ya., Rozhdestvenskiy S. M., Usmanov Yu. A. *Ekonomiya energii pri otklyuchenii chesti tyagovykh dvigateley na elektro-vozhakh postoyannogo toka i metodika ee opredeleniya* [Economy of electricity in the electric rolling stock]. Moscow, Transport, 1974, issue 163, pp. 33-44.
6. Klassen G. Ya., Medlin R. Ya., Rozhdestvenskiy S. M., Usmanov Yu. A. *Analiz zatrat elektroenergii na tyagu elektrovozhami so skhемой distatsionnogo otklyucheniya chasti dvigateley* [Analysis of costs of electricity for traction electric locomotives with the scheme of remote shutdown part of motor]. *Nauchnye trudy OmIITa* – Scientific works of OmIITa. Omsk, 1974, issue 163, pp. 45-50.
7. Bortsov P. I., Dubrovskiy Z. N., Kurbasov A. S., Bystritskiy Kh. Ya. *I vse zhe dvigateli otklyuchat ne sleduet* [And yet the engine cuts should not be]. *Elektricheskaya i teplovoznaya tyaga* – Electric and diesel traction, 1978, № 10, pp. 35-37.
8. Kulish V. F. *O chastichnom otklyuchenii tyagovykh dvigateley* [About the partial shutdown of traction motors]. *Elektricheskaya i teplovoznaya tyaga* – Electric and diesel traction, 1977, № 2, pp. 44.
9. Getman G. K., Vasilev V. Ye. *O raschetnom opredelenii ekonomii elektroenergii pri chastichnom otklyuchenii tyagovykh dvigateley elektropodvizhnogo sostava* [About the calculated determination of energy savings at partial disconnect the traction motors of electric rolling stock]. *Zalізничnyi transport Ukrainy* – Railway transport of Ukraine, 2011, № 4, pp. 51-54.

Поступила в печать 12.03.2013.

**Ключевые слова:** расход электроэнергии, тяга поездов, электрическая тяга, отключение части тяговых двигателей.

10. Getman G. K. *Teoriya elektricheskoy tyagi* [Theory of electric traction]. Dnepropetrovsk, Makovetskiy Publ., 2011. 364 p.

11. *Tekhnicheskii otchet VEINII № EM-3-74. Tipovye ispytaniya tyagovogo dvigatelya TL-2K* [Technical report of VEINII № EM-3-74. Type tests of traction motor].

Статья рекомендована к печати д.т.н., профессором *Н. В. Панасенком*

Анализируются результаты работ по исследованию возможности снижения расхода электроэнергии на тягу поездов за счет изменения используемой части установленной на электроподвижном составе мощности тяги.

Показано, что известные методы определения экономии электроэнергии за счет отключения части тяговых двигателей, основанные на сравнении их к. п. д. или мощности потерь энергии, в общем случае не позволяют получить объективную оценку полезности данного мероприятия, а в ряде случаев приводят к ошибочным результатам и заблуждениям.

Предложен метод расчетного определения экономии электроэнергии при частичном отключении тяговых двигателей, базирующийся на использовании в качестве показателя рациональности режима нагружения расхода электроэнергии на измеритель перевозочной работы.

**УДК 629.423.1.076.004.18**

Г. К. ГЕТЬМАН, В. Є. ВАСИЛЬЄВ (ДНУЗТ)

Кафедра Електрорухомий склад, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел.: (056) 373-15-31, ел. пошта: [getman-gk@i.ua](mailto:getman-gk@i.ua), [wasiljw@ukr.net](mailto:wasiljw@ukr.net)

## ЩЕ РАЗ ПРО ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ТЯГУ ЗА РАХУНОК ЧАСТКОВОГО ВІДКЛЮЧЕННЯ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ

Аналізується результати робіт по дослідженню можливості зниження витрати електроенергії на тягу поїздів за рахунок зміни використовуваної частини установленної на електрорухомому складі потужності тяги.

Показано, що відомі методи визначення економії електроенергії за рахунок відключення частини тягових двигунів, засновані на порівнянні їх к. к. д. або потужності втрат енергії, в загальному випадку не дозволяють отримати об'єктивну оцінку корисності даного заходу, а у ряді випадків призводить до помилкових результатів і помилок.

Запропонований метод розрахункового визначення економії електроенергії при частковому відключенні тягових двигунів, що базується на використуванні у якості показника раціональності режиму навантаження витрати електроенергії на вимірник перевізної роботи.

**Ключові слова:** витрата електроенергії, тяга поїздів, електрична тяга, відключення частини тягових двигунів.

Статтю рекомендовано до друку д.т.н., професором *М. В. Панасенком*

**UDC 629.423.1.076.004.18**

G. K. GETMAN, V. E. VASILIEV (DNURT)

Department of Electric rolling-stock, Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, 2 Lazaryan Street, Dnepropetrovsk, Ukraine, 49010, tel.: (056) 373-15-31, e-mail: [getman-gk@i.ua](mailto:getman-gk@i.ua), [wasiljw@ukr.net](mailto:wasiljw@ukr.net).

## ONCE AGAIN ABOUT DETERMINATION OF ECONOMY OF ELECTRIC POWER ON TRACTION DUE TO PARTIAL DISCONNECTION OF HAULING ENGINES OF ELECTRO-MOBILE COMPOSITION

The results of works on research of possibility of decline of expense of electric power on traction of trains due to the change of the used part of the power of traction set on electro-mobile composition are analyzed.

It is shown that the known methods of determination of economy of electric power due to disconnection of part of hauling engines, based on comparison of them

Coefficient of performance or powers of losses of energy, in general case does not allow to get objective estimation of utility of this measure, and in a number of cases result in erroneous results errors.

The method of calculation determination of economy of electric power at partial disconnection of hauling engines is offered, being based on the use as the index of rationality of the mode of loading of expense of electric power on the measuring device of vehicular work.

**Keywords:** expense of electric power, traction of trains, electric traction, disconnection of part of hauling engines.

Prof. *M. V. Panasenko*, D. Sc. (Tech.) recommended this article to be published.

© Гетьман Г. К., Васильєв В. Є., 2013