

**В. И. ОМЕЛЬЯНЕНКО**, д-р техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»;  
**Б. Г. ЛЮБАРСКИЙ**, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»;  
**С. Ю. ЧЕРВЯКОВ**, асп. НТУ «ХПИ»

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЯГОВОГО ПРИВОДА ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ

Приведен критерий оценки эффективности тягового электропривода электропоездов различной составности при заданном графике их движения на участке пути. Предложен относительный критерий оценки эффективности тягового электропривода

**Ключевые слова:** электропоезд, критерий эффективности, моделирование движения поезда, составность

Развитие транспортной инфраструктуры Украины в области пассажирских перевозок в настоящее время диктует создание скоростных транспортных коридоров обеспечивающих скоростное движение между крупнейшими промышленными и культурными центрами страны. Для обеспечения скоростного движения в Украине принята «Концепция Государственной целевой программы внедрения на железных дорогах скоростного движения пассажирских поездов на 2005-2015 годы».[1] В рамках этой программы создаются электрифицированные участки железных дорог, на которых возможно движение поездов на скорости до 160 км/ч.

Одними из основных технических требований к подвижному составу, обеспечивающему скоростное и ускоренное сообщение между городами, является его составность и допустимая скорость движения.

Нами разработан программно-алгоритмический комплекс, позволяющий моделировать движение поездов с тяговыми двигателями переменного тока различной составности при заданных графиках их движения

В работе поставлена цель: на примере моделирования движения электропоездов различной составности при разных графиках движения определить эффективность работы их тягового привода.

### Критерий оценки эффективности тягового привода

В качестве критерия эффективности предлагается ввести следующую величину[3]:

$$K_{эф} = \frac{W_e}{W_T} = \frac{\int_0^T U_{ks}(t) I_{el}(t) \cos \varphi_{el}(t) dt}{\sum_{i=1}^{N-1} F_{k_i} (V_{pr_i}) V_{pr_i} (t_{i+1} - t_i)}, \quad (1)$$

где  $W_e$  - электрическая энергия, которую реализует тяговый электропривод электроподвижного состава (ЭПС) за время движения поезда,  $W_T$  - механическая энергия которую способен реализовать ЭПС в контакте

колесо-рельс при заданной скорости движения,  $T$ – время движения поезда,  $N$ – число участков,  $i$ – номер участка,  $t_i, t_{i+1}$  - время начала и окончания движения на  $i$ -том участке,  $U_{ks}$  - напряжение контактной сети,  $I_{el}(t)$  - ток ЭПС,  $\cos \varphi_{el}(t)$  - коэффициент мощности ЭПС.,  $F_{k_i}(V_{pr_i})$  - предельная сила тяги для  $i$ -го участка пути,  $V_{pr_i}$  - заданная скорость движения этого участка.

Для контактной сети постоянного тока  $\cos \varphi_{el}(t) = 1$ , а для сети переменного тока в предварительных расчетах можно полагать его постоянным, так как в современных ЭПС переменного тока он определяется режимами работы и возможностями входного преобразователя и трансформатора

### **Режимы работы и параметры тягового привода электропоезда**

Цифровое моделирование проводилось для следующих режимов работы электроподвижного состава: тяги, с различными значениями ускорений, выбега, а также рекуперативного и механического торможения.

В качестве пути принят 81-ти километровый участок, электрифицированный переменным током 25кВ, 50 Гц, с типичным профилем и планом, где могут быть реализованы все указанные выше режимы работы.

В качестве подвижного состава рассмотрен электропоезд с параметрами, приведенными в табл. 1. Характеристики его тягового двигателя приведены на рис. 1. Число моторных вагонов варьировалось от 1 до 10, при общем числе вагонов 10.

Таблица 1 – Основные характеристики рассмотренного поезда

Параметр	Величина
Общее число вагонов поезда	10
Масса моторного вагона, кг	40000
Масса прицепного вагона, кг	60000
Мощность тягового двигателя	405
Номинальная частота вращения тягового двигателя, об/мин	960
Передаточное отношение тягового редуктора	2,61
Диаметр колес по кругу катания, м	0,95
Номинальное линейное напряжение тягового двигателя при номинальной частоте питания, В	510
Номинальный фазный ток, А	521

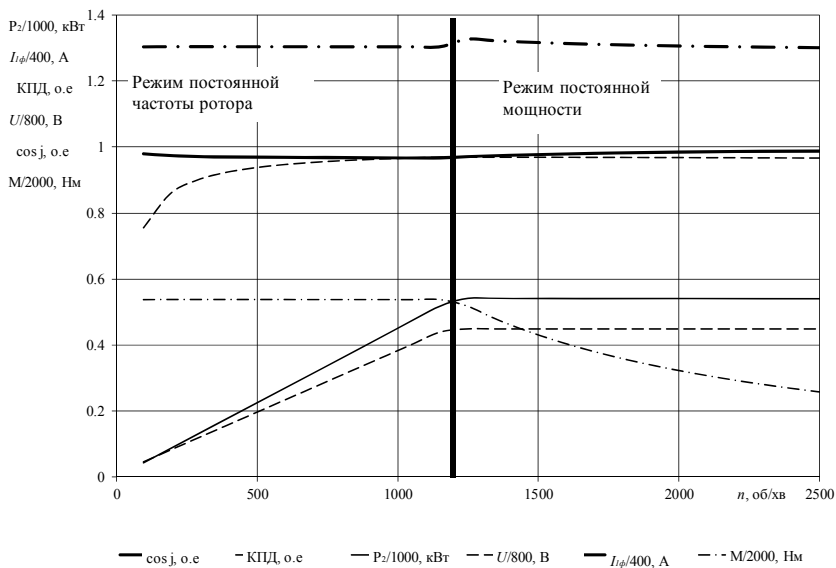


Рис. 1 – Характеристики тягового двигателя

**Результаты цифрового моделирования.** Результаты решения тяговой задачи для двух вариантов поездов составностью 3М+7П и 7М+3П, каждый из которых имеет два графика движения, отличающихся ограничениями по скорости, приведены на рис. 2...рис. 5.

Результаты расчетов показали, что при принятых графиках движения тяговый привод в основном работает в режимах разгона и электродинамического рекуперативного торможения, что обусловлено стремлением, исходя из имеющейся мощности тягового привода, выйти на предел по ограничению скорости движения. Участки движения с максимальной заданной скоростью и предельной мощностью тягового привода, относительно невелики (например, участок с 41139м до 42448м на рис. 2, или участок с 68733м до 73283м рис. 2). Их протяженность можно увеличить двумя способами: либо повысить допустимую скорость движения электропоезда (например, на участке с 40065м до 44238м на рис. 4, или на участке с 67812м до 74118м рис. 4), либо поднять суммарную мощность подвижного состава (например, на участке с 40549м до 44563м на рис. 3, или на участке с 68165м до 73979м рис. 3), увеличив количество моторных вагонов. Максимальный эффект получается при одновременном увеличении предельно допустимых скоростей движения подвижного состава по участкам пути и мощности тягового привода, как показано на рис. 5.

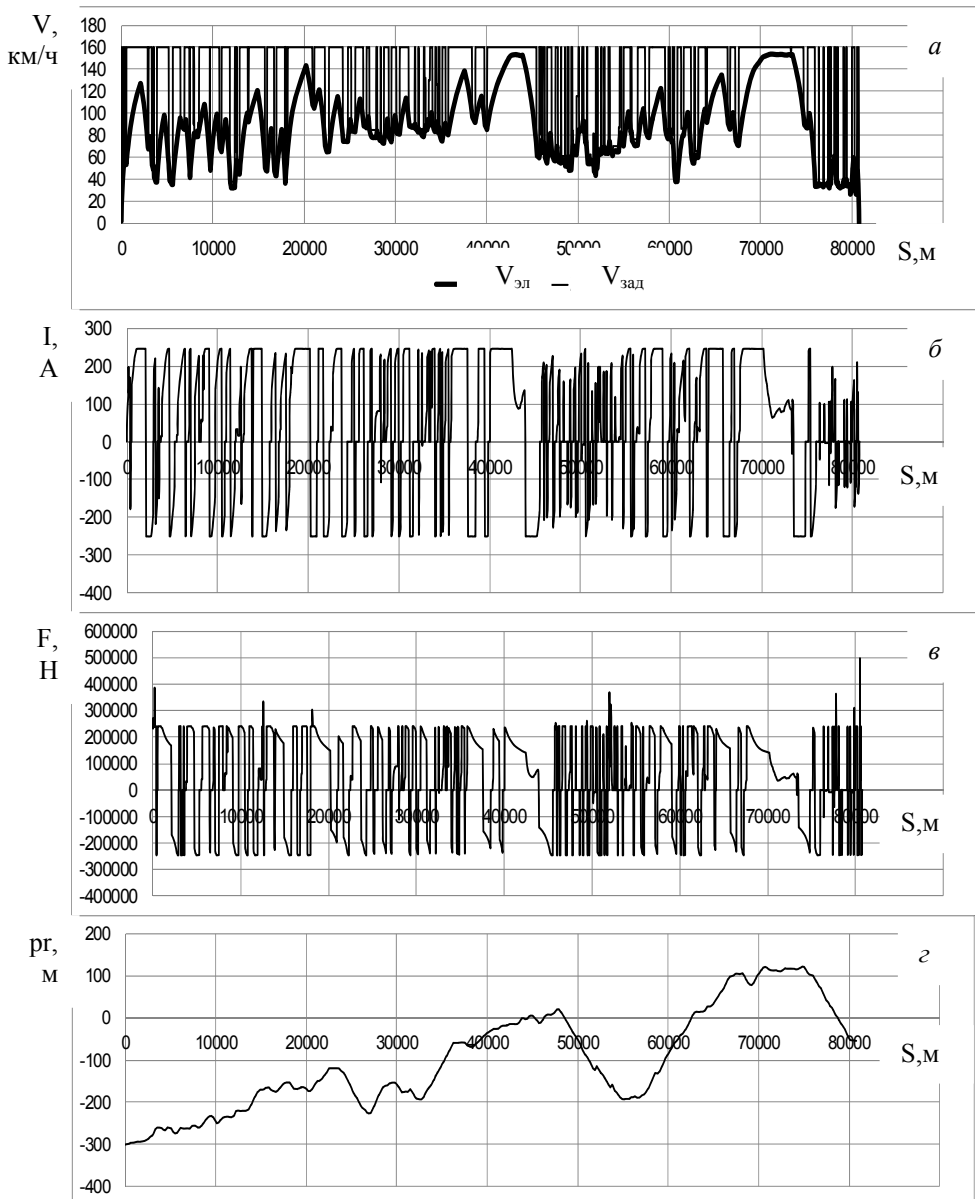


Рис. 2 – Результаты решения тяговой задачи для поезда с составностью 3М+7П при исходном графике движения: *a* – скорость и заданная скорость движения; *б* – ток электропоезда; *в* – сила тяги; *г* – профиль пути.

$V$ ,  
км/ч

*a*

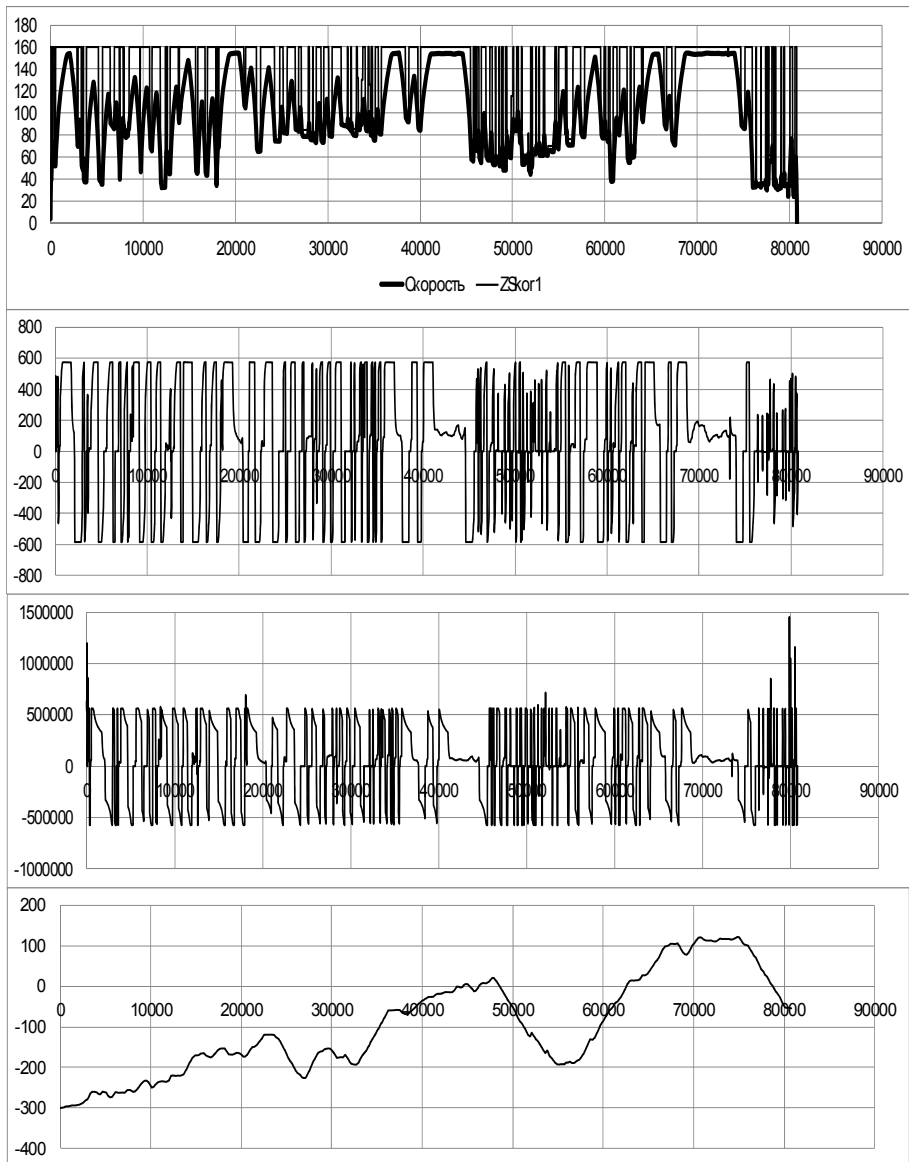


Рис. 3 – Результаты решения тяговой задачи для поезда с составностью 7М+3П при исходном графике движения: *a* – скорость и заданная скорость движения; *б* – ток электропоезда; *в* – сила тяги; *г* – профиль пути.

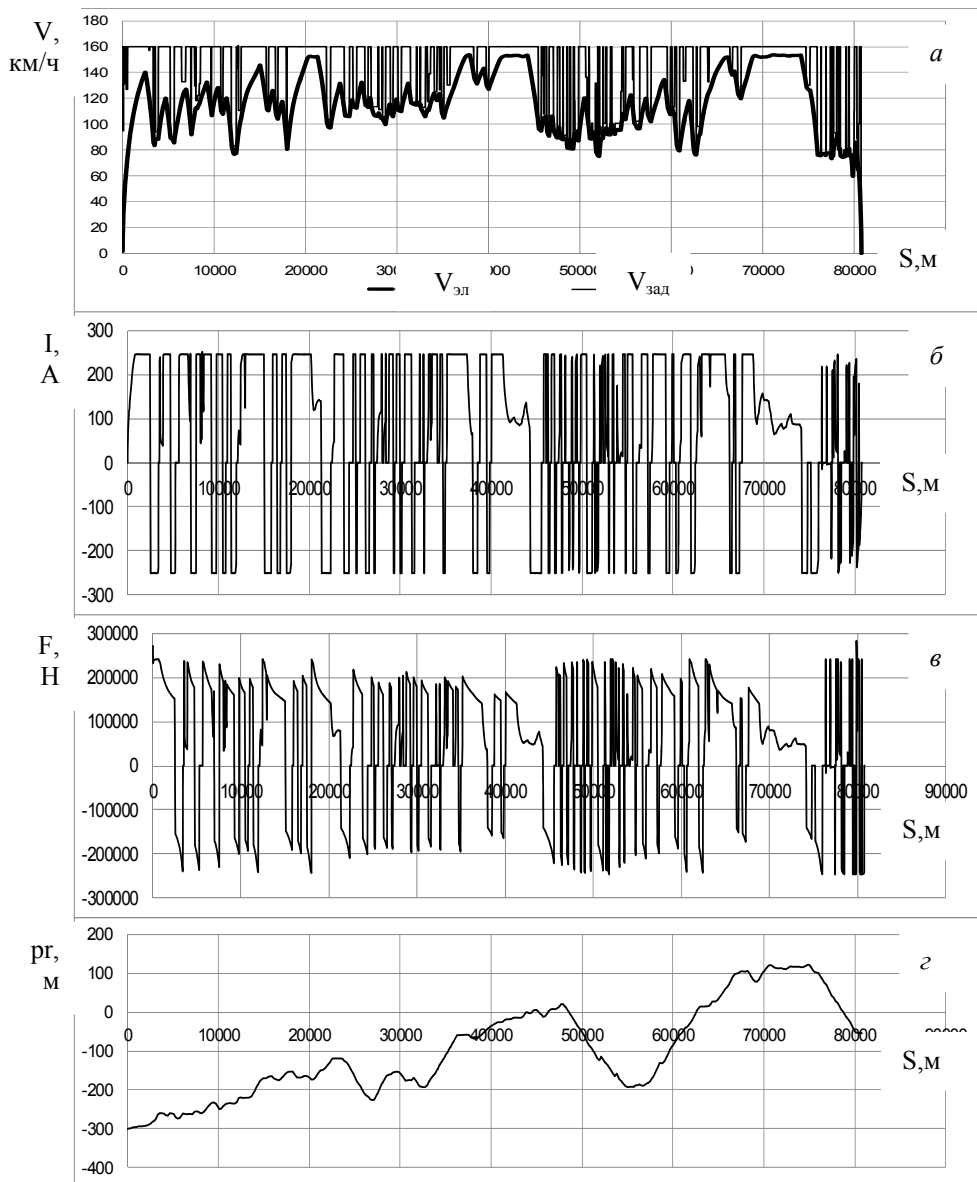


Рис. 4 – Результаты решения тяговой задачи для поезда с составностью 3М+7П при ускоренном графике движения: *a* – скорость и заданная скорость движения; *б* – ток электропоезда; *в* – сила тяги; *г* – профиль пути.

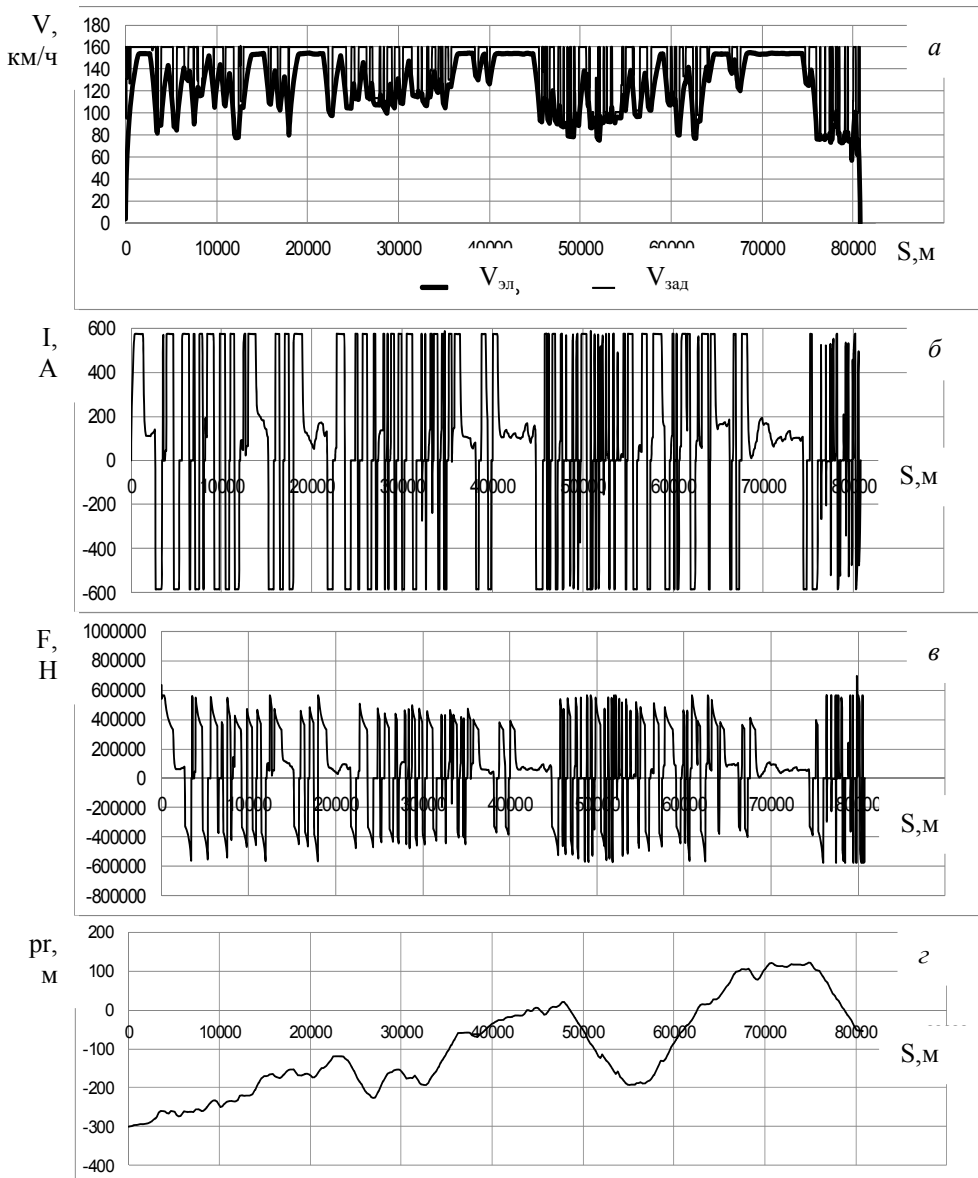


Рис. 5 – Результаты решения тяговой задачи для поезда с составностью 7М+3П при ускоренном графике движения: *a* – скорость и заданная скорость движения; *б* – ток электропоезда; *в* – сила тяги; *г* – профиль пути.

**Оценка эффективности тягового привода электропоезда.** Решение тяговых задач определило для электропоездов рассмотренной составности и различных графиков движения:

- время движения на участке пути;
- расход энергии на тягу электропоезда;
- эффективность тягового привода.

Значения этих показателей сведены в таблицы 2 и 3.

Таблица 2 – Основные результаты моделирования движения электропоезда по участку пути при исходном графике движения

Число моторных вагонов	Число прицепных вагонов	Время движения по участку пути, с	Расход энергии при движении на участке пути, кВт·ч	Критерий эффективности тягового привода
1	9	4535	904	0,088
2	8	4000	963	0,1095
3	7	3799	1009	0,1226
4	6	3677	1050	0,1326
5	5	3617	1090	0,1415
6	4	3553	1127	0,1498
7	3	3509	1161	0,1569
8	2	3478	1198	0,1639
9	1	3453	1234	0,1705
10	0	3419	1239	0,1739

Таблица 3 – Основные результаты моделирования движения электропоезда по участку пути при ускоренном графике движения

Число моторных вагонов	Число прицепных вагонов	Время движения по участку пути, с	Расход энергии при движении на участке пути, кВт·ч	Критерий эффективности тягового привода
1	9	3110	966	0,1372
2	8	2754	1033	0,1462
3	7	2640	1084	0,1606
4	6	2577	1129	0,1719
5	5	2543	1175	0,1816
6	4	2511	1215	0,1904
7	3	2489	1256	0,1988
8	2	2472	1300	0,2073
9	1	2456	1341	0,2154
10	0	2445	1352	0,2184

Очевидно, что рост мощности подвижного состава и увеличение допустимой скорости движения приводит к снижению времени прохождения поездом определенного участка пути и росту расхода энергии. Эти показатели абсолютны и по их значениям нельзя судить об эффективности тягового привода. Нам представляется, что именно введенный выше



критерий эффективности позволяет это сделать. Так, например, тяговый привод при составности 9М+1П при исходном графике имеет критерий эффективности 0,1705. Приблизительно такое же значение (0,1719) имеет электропоезд составности 4М+6П при ускоренном графике движения. Следовательно, добавление приблизительно 5-ти моторных вагонов эквивалентно для тягового привода повышению предельных значений скорости поезда составности 4М+6П. Аналогичные сравнения можно провести и для других вариантов. Изменение предельных значений скоростей движения можно производить, например, либо путем изменения профиля и плана пути, либо применением наклона кузовов в кривых.

**Выводы.** 1. Предложен критерий эффективности тягового электропривода электроподвижного состава в виде отношения электрической энергии, реализуемой тяговым электроприводом во время движения поезда к механической энергии, которую способен реализовать ЭПС в контакте колесо-рельс при заданной скорости движения.

2. Результаты цифрового моделирования для тестовой задачи показали, что рост мощности подвижного состава по критерию эффективности эквивалентен увеличению предельных значений скоростей его движения.

3. Изменение предельных значений скоростей движения можно производить, например, либо путем изменения профиля и плана пути, либо применением наклона кузовов в кривых.

**Список литературы** 1. Корниенко В. В., Омеляненко В. И. Высокоскоростной электрический транспорт. Мировой опыт. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. – 159 с. 2. <http://www.kvsz.com>. 3. Любарский Б. Г. Концепция выбора типа тягового электропривода современного скоростного подвижного состава // Вісник НТУ «ХПІ» - Харків: НТУ «ХПІ», 2010. № 39 - С.102- 107.

*Поступила в редколлегию 30.04.2013*

УДК 629.423.1:621.332.6

**Определение эффективности тягового привода электропоездов / В. И. Омеляненко, Б. Г. Любарский, С. Ю. Червяков** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Транспортне машинобудування. – Х. : НТУ «ХПІ», 2013. – № 32 (1005). – С. 67–75. – Бібліогр.: 3 назв.

Наведено алгоритм оцінки ефективності тягового електроприводу електропоїздів різних складових при заданому графіку їх руху на ділянці колій. Запропоновано відносний критерій оцінки ефективності тягового електроприводу.

**Ключові слова:** електропоїзд, критерій ефективності, моделювання руху поїзда, поставність

An algorithm for evaluating the effectiveness of traction electric drive trains of different composition at different chart their movements in the area tracks. A criterion for assessing the relative efficiency of electric traction.

**Keywords:** electric train, criterion of efficiency, design of motion of train, composition.