



УДК 621.311

**А. Т. Бурков, М. М. Мирсаитов**Петербургский государственный университет путей сообщения  
Императора Александра I**ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ  
ПРИ ВЫБОРЕ МАКСИМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ПАССАЖИРСКИХ СОСТАВОВ**

Приведены особенности методики определения электропотребления при выборе максимальной скорости пассажирских составов, за счет чего можно влиять на удельное потребление электроэнергии, на экономическую целесообразность, обусловленную сокращением времени нахождения пассажиров в пути, что в свою очередь увеличит занятость населения.

Рассмотрены факторы, влияющие на расход электроэнергии при повышении скорости движения. Затронуты проблемы усиления устройств электроснабжения высокоскоростных линий и увеличения аэродинамического сопротивления при скорости движения выше 200 км/ч.

удельный расход электроэнергии, электропотребление, удельное сопротивление движению, тяговое усилие, энергоемкость.

**Введение**

Для железных дорог со скоростью движения до 160 км/ч характер электротяговой нагрузки подчиняется закону нормального (Гауссова) распределения. Устройства электротяговой сети выбирают исходя из максимальных значений токовых нагрузок во время движения поездов по графику.

Для скоростей движения 160 и выше км/ч эмпирические зависимости основного сопротивления движению имеют более сложную форму. При этом существенное значение имеет аэродинамическое сопротивление движению. Непосредственно перед лобовой поверхностью головной единицы поезда создается зона повышенного давления. Воздух из этой зоны обтекает движущийся поезд вдоль боковых поверхностей. Завихрения воздуха образуются в промежутках между вагонами,

в подвагонном пространстве, за токоприемниками и другим крышевым оборудованием. За последним вагоном (локомотивом в случае его нахождения в хвосте поезда) создается зона пониженного давления, и туда устремляется воздух, образуя завихрения.

Однако для высокоскоростных железных дорог и железных дорог с интенсивным движением и повышенной пропускной способностью характер электротяговой нагрузки имеет иной вид. Для таких линий характерна импульсная нагрузка, при этом возрастают пиковые нагрузки на тяговые подстанции, увеличиваются потери напряжения и энергии в устройствах тягового электроснабжения, усложняются условия токосъема и повышается нагревание проводов контактной сети.

Расход энергии на перемещение поезда лучше всего определять по показателю удельного электропотребления – потреблению энергии в

ватт-часах на тонну массы поезда и километр пройденного пути.

Энергоемкость движущихся колесных пар электроподвижного состава определяется затратами энергии на ускорение поезда, преодоление уклона пути и сопротивление движению поезда [1].

В статье приведен пример расчета полной энергоемкости в кВт·ч на измеритель перевозочной работы на межподстанционной зоне «Акалтын – Янгиер» скоростного участка узбекских железных дорог «Ташкент – Самарканд».

## 1 Основные допущения. Постановка задачи

Для расчета были приняты следующие условия и допущения:

- на тяговой подстанции Янгиер работает один тяговый трансформатор;
- коэффициент вращающихся масс  $\gamma = 0,17$ ;
- участок имеет нулевой уклон ( $i = 0$ );
- равномерное ускорение и динамическое торможение между собой равны ( $\alpha = \beta$ ).

Тяговые подстанции Акалтын и Янгиер имеют питающее напряжение 110 кВ.

Для анализа методики определения электропотребления рассмотрим примеры движения электропоезда Afrasyob (Talگو-250) со скоростью 120, 200 и 250 км/ч, для которых рас-

читано сопротивление движению. Для каждой скорости заданы соответствующие значения ускорения (табл. 1).

Электропоезд массой 324 т следует по межподстанционной зоне «Акалтын – Янгиер» протяженностью 39,2 км.

На основе формы кривой зависимости скорости от времени движения поезда строим ее аппроксимацию (рис. 1) для упрощения вычислений, используя методику замены ее трапецевидной кривой с варьирующими значениями таких факторов, как равномерное ускорение и динамическое сопротивление (рис. 2) [1].

Интегрирование зависимости скорости от времени позволяет определить расстояние, пройденное за время  $t$ . Численно это расстояние равно проекции кривой скорости.  $S$  – расстояние от А до Д, км;  $T$  – время движения на заданном участке пути, с;  $V_m$  – установившаяся скорость аппроксимированной кривой движения, км/ч;  $\alpha, \beta$  – ускорение и замедление, соответственно, км/ч/с.

Площадь трапеции, ограниченной кривой, определяется формулой

$$S = \frac{V_m}{7200} \left[ 2T - \left( \frac{V_m}{\alpha} + \frac{V_m}{\beta} \right) \right], \text{ км.} \quad (1)$$

В уравнении (1) переменными являются  $S, V_m, T, \alpha, \beta$ . Задаваясь четырьмя из них, можно определить неизвестную пятую величину [2].

ТАБЛИЦА 1. Исходные данные

Показатель	Значение		
Масса поезда $m_n$ , т	324		
Скорость движения $V_m$ , км/ч	120	200	250
Сопротивление движению $W_0$ , Н/кН	3,8	7,51	10,66
Ускорение/торможение $\alpha = \beta$ , км/ч/с	1,5	1,5	1,5
	3	3	3
	5	5	5

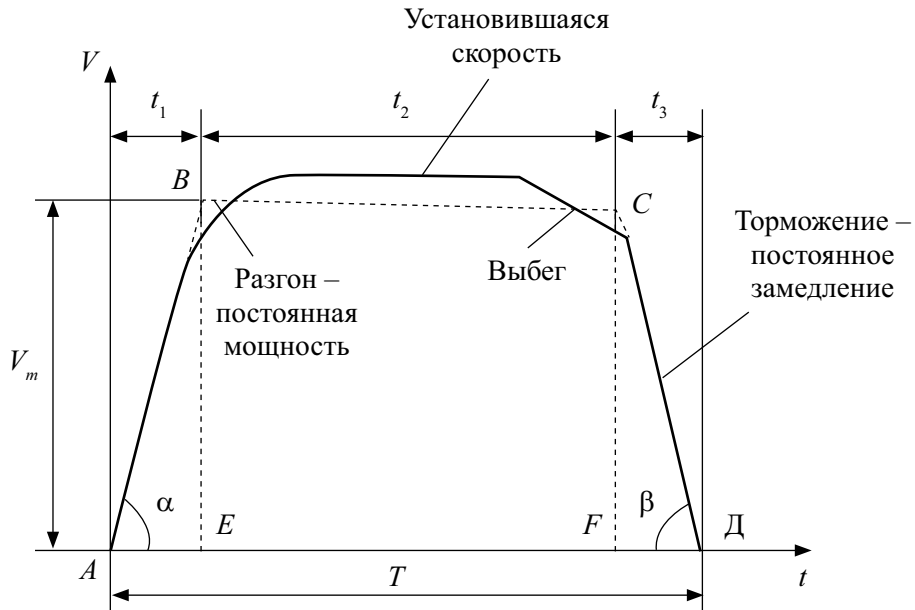


Рис. 1. Кривая зависимости скорости от времени (сплошная линия) и ее аппроксимация (пунктир)

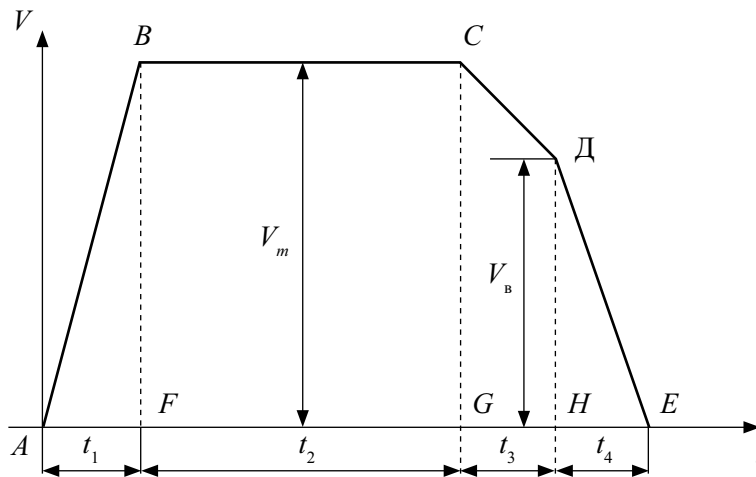


Рис. 2. Аппроксимированная кривая движения скоростного электропоезда

**2 Определение времени нахождения электропоезда в пути**

Из уравнения (1) определено время движения на этом участке пути:

$$T = \frac{7200 \frac{S}{V_m} + \left( \frac{V_m}{\alpha} + \frac{V_m}{\beta} \right)}{2}, \text{ с.} \quad (2)$$

Время прохода по заданному перегону для скоростей 120, 200 и 250 км/ч при различных

значениях ускорения приведены в табл. 2. Например, при  $V_m = 120$  км/ч,  $\alpha = \beta = 1,5$  км/ч/с

$$T = \frac{7200 \cdot \frac{39,2}{120} + \left( \frac{120}{1,5} + \frac{120}{1,5} \right)}{2} = 20,93 \text{ мин.}$$

По результатам расчетов построим трехмерный график (рис. 3).

Известно, что время в пути сокращается за счет увеличения скорости. При скорости

ТАБЛИЦА 2. Расчетные данные значения времени хода ЭПС в пути

Ускорение и замедление движения поезда, $\alpha = \beta$ , км/ч/с	Время хода на участке, $T$ , мин.		
	При $V_m = 120$ км/ч	При $V_m = 200$ км/ч	При $V_m = 250$ км/ч
1,5	20,93	13,98	12,18
3,0	20,27	12,87	10,8
5,0	20	12,43	10,24

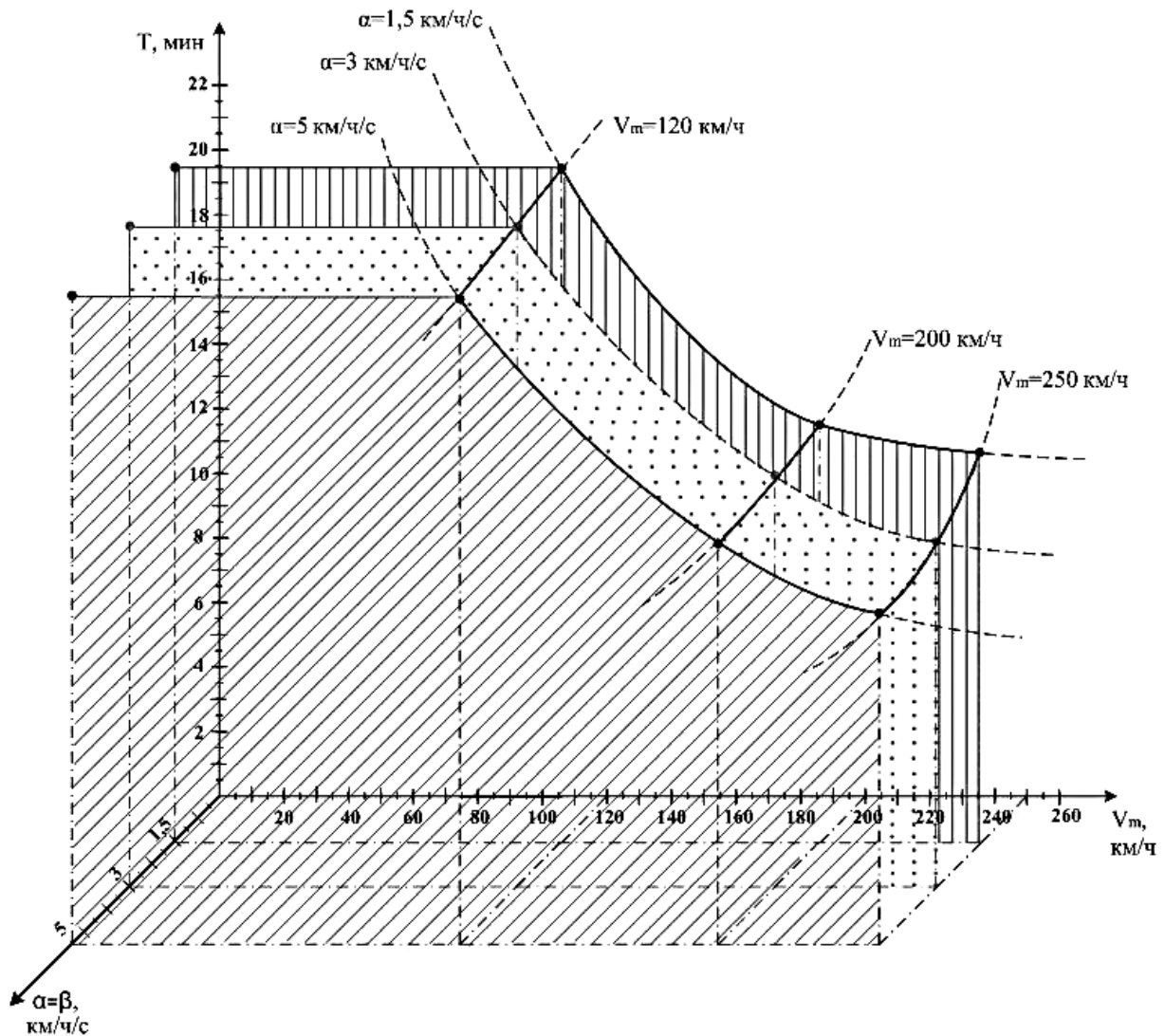


Рис. 3. Зависимость времени хода электропоезда Afrosiyob (Talgo-250) от скорости движения при заданных значениях ускорения и замедления

движения на заданном участке менее 200 км/ч отмечается слабая зависимость времени движения поезда от времени пуска, разгона и торможения. Для скоростей выше 200 км/ч при

движении поезда по заданному перегону в расчете времени движения поезда необходимо учитывать время пуска, разгона и торможения.

### 3 Полная энергоемкость движущих осей

По значению времени хода электропоезда определена полная энергоемкость движущих осей [2], расчетные данные для анализа показаны в табл. 3.

$$E_T = [10,72V_m^2 \cdot m_e + 2,73m_n \times \left( V_m T \cdot 1000 - \frac{V_m^2}{\beta} \right) (\omega_0 + i)] \cdot 10^{-6}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}, \quad (3)$$

где  $m_e$  – приведенная (эффективная) масса поезда, кг:

$$m_e = m_n(1 + \gamma); \quad (4)$$

$$m_e = 324 \cdot (1 + 0,17) = 379,08 \text{ кг.}$$

При  $V_m = 120$  км/ч,  $\alpha = \beta = 1,5$  км/ч/с полная энергоемкость составляет

$$E_T = [10,72 \cdot 120^2 \cdot 379,08 + 2,73 \cdot 324 \times \left( 200 \cdot 20,93 \cdot 1000 - \frac{120^2}{1,5} \right) \cdot 3,8] \cdot 10^{-6} = 2271,47;$$

по данным полной энергоемкости для заданного участка при различных скоростях (табл. 3) построен трехмерный график полной энергоемкости (рис. 4).

Из приведенных данных следует, что при увеличении скорости  $V_m$  полная энергоемкость движущих осей возрастает примерно пропорционально квадрату скорости движения.

### 4 Удельное электропотребление

По значению полной энергоемкости движущих осей определена

- удельная энергоемкость [2]:

$$e_T = \frac{E_T \cdot 10^{-4}}{m_n \cdot S} = \frac{10^4 [10,72V_m^2 \cdot m_e + 2,73m_n \cdot L_T (\omega_0 + i)] 10^{-6}}{m_n \cdot S} \text{ кВт}\cdot\text{ч}. \quad (5)$$

При  $V_m = 120$  км/ч,  $\alpha = \beta = 1,5$  км/ч/с

$$e_T = \frac{10^4 [10,72 \cdot 120^2 \cdot 379,08 + 2,73 \cdot 324 \times \left( 200 \cdot 20,93 \cdot 1000 - \frac{120^2}{1,5} \right) \cdot 3,8] \cdot 10^{-6}}{324 \cdot 39,2} = 143,01 \text{ кВт}\cdot\text{ч};$$

- удельное электропотребление

$$e = \frac{e_T}{\eta} \text{ кВт}\cdot\text{ч}/10^4 \text{ т}\cdot\text{км}, \quad (6)$$

где  $\eta$  – КПД тягового электропривода Э,  $\eta = 0,91$ .

При  $V_m = 120$  км/ч,  $\alpha = \beta = 1,5$  км/ч/с

$$e = \frac{143,01}{0,91} = 136,47 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/10^4 \text{ т}\cdot\text{км},$$

ТАБЛИЦА 3. Расчетные данные полной энергоемкости движущих осей

Ускорение и замедление движения поезда, $\alpha = \beta$ , км/ч/с	Полная энергоемкость движущих осей, $E_T$ , кВт·ч		
	При $V_m = 120$ км/ч	При $V_m = 200$ км/ч	При $V_m = 250$ км/ч
1,5	2271,47	2586,85	2839,49
3,0	2205,19	2414,9	2586,94
5,0	2178,68	2346,11	2485,91

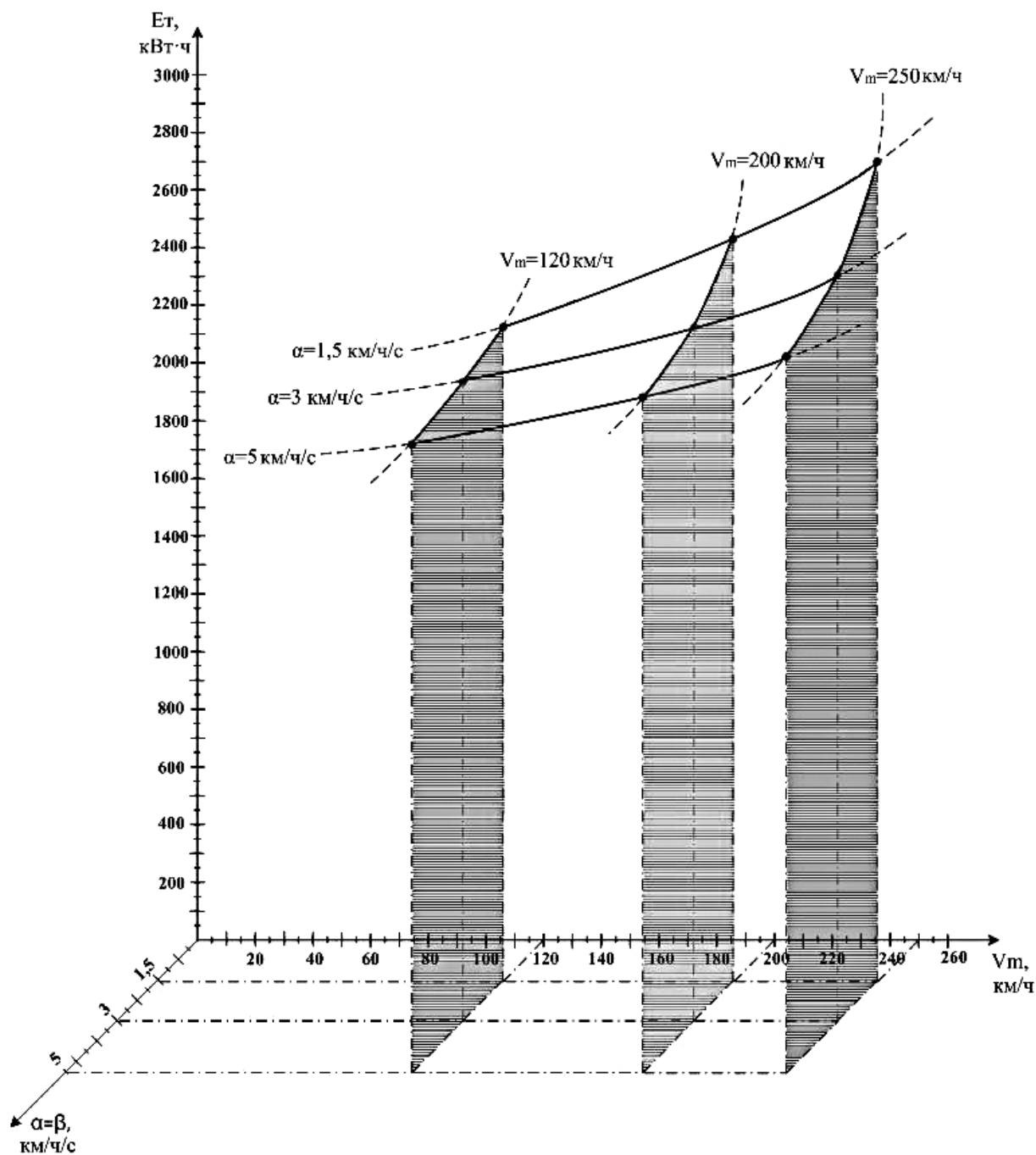


Рис. 4. Зависимость полной энергоемкости движущих осей электропоезда от значений ускорения, торможения и скорости движения  $V_m$

или

$$e = 15,72 \text{ Вт}\cdot\text{ч}/\text{т}\cdot\text{км}.$$

По данным удельного электропотребления для заданного участка при различных скоро-

стях (табл. 4) построен трехмерный график (рис. 5).

По графику видно, что при увеличении скорости движения от 120 до 250 км/ч значение удельного электропотребления увеличивается в 3 раза.

ТАБЛИЦА 4. Расчетные данные удельного электропотребления

Ускорение и замедление движения поезда, $\alpha = \beta$ , км/ч/с	Удельное электропотребление, $e$ , Вт·ч/т·км		
	При $V_m = 120$ км/ч	При $V_m = 200$ км/ч	При $V_m = 250$ км/ч
1,5	15	29,83	40,88
3,0	15,7	33,25	47,37
5,0	16,01	34,91	50,8

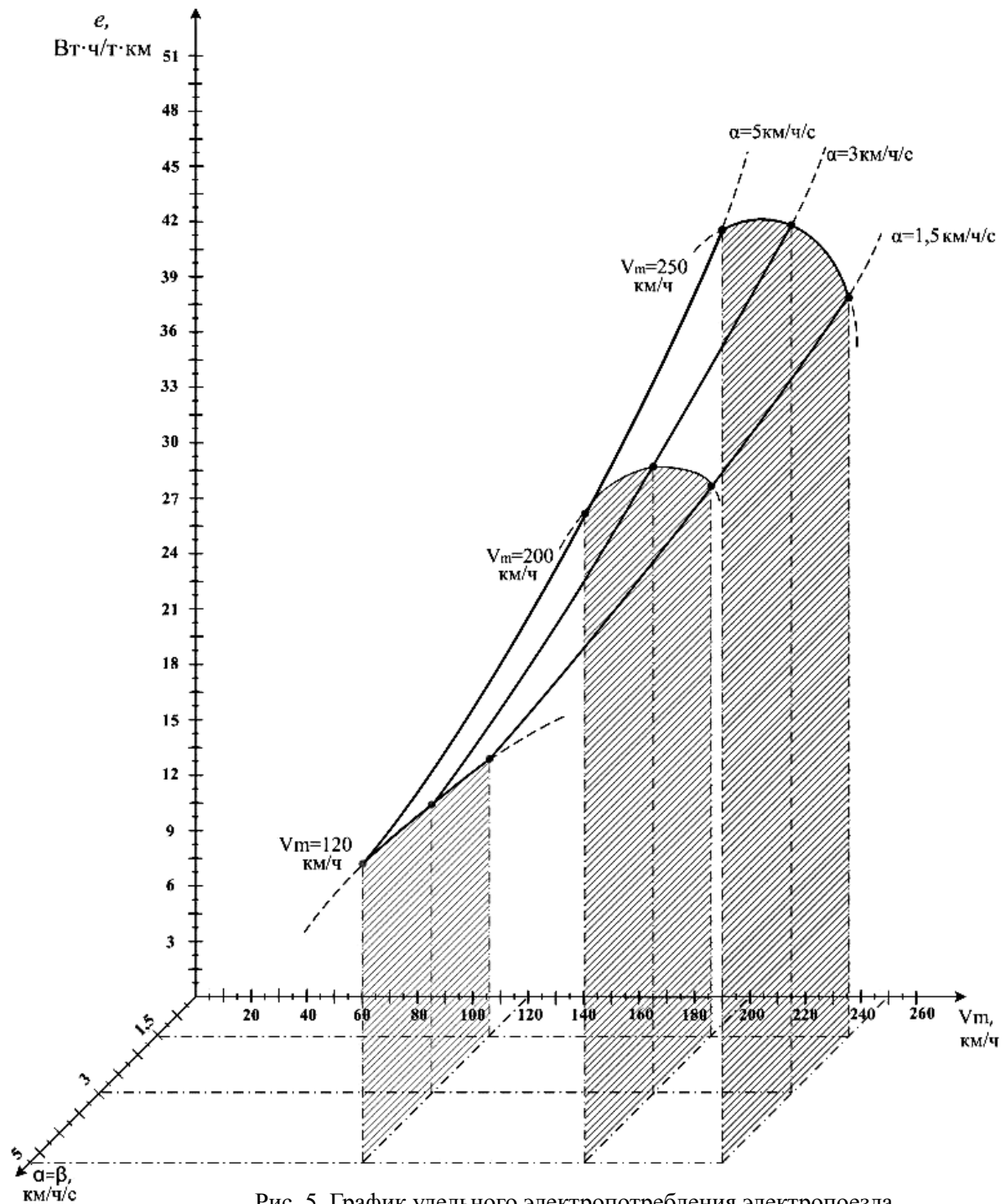


Рис. 5. График удельного электропотребления электропоезда

## Заключение

Увеличение максимальной скорости движения влечет за собой необходимость улучшения инфраструктуры путевого хозяйства и электроснабжения, а также сопровождается увеличением удельного расхода электроэнергии, что в свою очередь ведет к возрастанию энергетической составляющей себестоимости перевозок.

В результате многофакторного эксперимента на расчетной модели определено удельное электропотребление для поездов со скоростью до 250 км/ч в условиях различной максимальной скорости движения на заданном участке.

Установлено, что удельный расход электроэнергии увеличивается при возрастании скорости вследствие увеличения аэродинамического сопротивления движению. Для горизонтального участка при ускорении ЭПС  $\alpha = 5$  км/ч/с и скорости 250 км/ч удельное электропотребление более чем в 3 раза превышает этот показатель на скорости 120 км/ч, что

составляет 50,8 Вт·ч/т·км и 16,01 Вт·ч/т·км, соответственно.

Решение о применении скоростного и высокоскоростного движения на конкретной пассажирской линии следует принимать с учетом организации движения и тяговой мощности установленного электропривода на ЭПС по критерию минимума удельного электропотребления при заданном времени движения между пунктами остановки поезда.

## Библиографический список

1. **Режимы** движения и особенности тяговых расчетов при определении нагрузок на устройства электроснабжения высокоскоростных линий / А. Т. Бурков, С. А. Бурков, М. А. Шарпилова // Элтранс-2011. – СПб. : Петербург. гос. ун-т путей сообщения, 2013. – 584 с.
2. **Основные** принципы устройства электроприводов / Г. К. Дюбей. – 2-е изд. – М. : Техносфера, 2009. – 478 с.

УДК 656.043.1

## С. А. Вырков

Научно-исследовательский центр проблем управления на железнодорожном транспорте Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I

## КЛАССИФИКАЦИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ ПО КРИТЕРИЮ МАТЕРИАЛЬНОГО УЩЕРБА

Рассматривается вопрос о классификации нарушений безопасности движения на железнодорожном транспорте по критерию тяжести последствий, выраженной в денежном эквиваленте. Приводится обоснование целесообразности перехода на такой вид классификации, представлена методика определения финансовых границ между группами нарушений, основанная на кластерном анализе, проанализирована устойчивость финансовой границы при разбиении всех видов нарушений на два кластера.

классификация транспортных происшествий, кластерный анализ, критерий оптимального разбиения, межгрупповой среднеквадратический разброс, внутригрупповой среднеквадратический разброс, несмещенная оценка дисперсии.