



УДК 621.337.522

РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОВОЗА “O‘ZBEKISTON YO‘LOVCHI” ДЛЯ УЧАСТКА «ОРЗУ - КУЧЛИК»

К. Жураева, Е. Иксар, Л. Хамдамова

Ташкентский государственный транспортный университет,
г.Ташкент, Республика Узбекистан

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7188459>

ARTICLE INFO

Received: 01st October 2022

Accepted: 05th October 2022

Online: 12th October 2022

KEY WORDS

электровоз, рекуперативное торможение, переменный ток, асинхронный тяговый двигатель, энергетическая эффективность.

ABSTRACT

Повышение энергетической эффективности является одной из ключевых задач в железнодорожном транспорте. Одной из самых эффективных способов повышения энергетической эффективности пассажирского электровоза переменного тока является использование рекуперативного торможения. В данной статье рассмотрен пассажирский электровоз переменного тока “O‘zbekiston Yo‘lovchi”, оценена энергетическая эффективность рекуперативного торможения электровоза с десятью вагонами на участке “Орзу” - “Кучлик” при движении с неустановившейся и установившейся скоростью. Определены влияния скорости движения и охлаждения пассажирских вагонов на возврат электроэнергии при рекуперативном торможении электровоза и даны рекомендации по повышению энергетической эффективности электровоза “O‘zbekiston Yo‘lovchi”.

Энергоёмкость железнодорожных перевозок по сравнению с автомобильным транспортом намного меньше как в пассажирском так и в грузовом движении, этим и объясняется главная роль железных дорог в транспортной системе нашей страны. На сегодняшний день электрифицированные линии полностью охватили восточную часть республики. Ведутся работы по электрификации линии “Бухара-Мискин-Ургенч-Хива” с дальнейшим

продолжением до города “Нукус” которая должна полностью завершить электрификацию железных дорог между всеми областями. Энергопотребление с каждым годом возрастает и является побочным эффектом развития экономики страны. Дефицит энергоресурсов в Узбекистане при сохранении объемов потребления к 2030 году может составить 65%. Энергосбережение один из главных показателей повышения конкурентоспособности

железнодорожного транспорта. Основным показателем энергоэффективности в железнодорожном транспорте является снижение расходов на топливно-энергетического ресурса на единицу работы. Существует два основных целевых показателя энергосбережения: снижение энергоёмкости производственной деятельности и повышение энергоэффективности производственной деятельности. В электрифицированных железных дорогах использование рекуперативного торможения является одним из способов улучшения энергоэффективности подвижного состава.

Для отражения эффективности применения рекуперативного торможения на электровозе "O'zbekiston Yo'lovchi", в статье выполнен расчет количества электрической энергии, вырабатываемой тяговыми двигателями при их работе в режиме генератора, для участка «"Орзу" - "Кучлик"».

Количество сэкономленной энергии, при поддержании скорости на уклонах составляет сумму экономии на каждом уклоне, рассчитываемую по формуле 1.

$$R_{\text{сп}} = (P + Q_{\text{бр}}) \times (i_{\text{рек}} - \omega_0) \times 10^{-3} l_{\text{рек}}, \quad (1)$$

где $R_{\text{сп}}$ - механическая работа торможения на спуске, ткм;

$i_{\text{рек}}$ - крутизна спуска, на котором производится рекуперативное торможение, ‰;

ω_0 - основное удельное сопротивление поезда, кг/т;

$l_{\text{рек}}$ - расстояние, на котором производится торможение, км;

P -126 сцепной вес электровоза, т;

$Q_{\text{бр}}$ - 600- масса вагонов брутто, т;

При рекуперативном торможении для снижения скорости возможная энергия рекуперации равна погашаемой энергии поезда и может быть определена по формуле, МДж:

$$R_{\text{тор}} = 3,8 \times (P + Q_{\text{бр}}) \times (v_H^2 - v_K^2) \times 10^{-6}. \quad (2)$$

где $R_{\text{тор}}$ - механическая работа торможения, МДж;

v_H^2 , v_K^2 - соответственно скорости в начале и конце рекуперативного торможения, км/ч.

$$l_{\text{рек}} = \frac{4,17 \times (v_H^2 - v_K^2)}{b_{\text{рек}} + \omega_0 \pm i_{\text{рек}}} \quad (3)$$

где $b_{\text{рек}}$ - удельная тормозная сила рекуперации, кг/т

Удельная тормозная сила рекуперации, равная, кг/г:

$$b_{\text{рек}} = \frac{B_{\text{рек}}}{P + Q_{\text{бр}}}; \quad (4)$$

где $B_{\text{рек}}$ - механическая работа торможения, МДж;

Величина $B_{\text{рек}}$ принимается в том же интервале скоростей, в котором определяется и потеря кинетической энергии.

Расчетная формула возможной механической работы рекуперации, МДж:

$$R_{\text{ком}} = (P + Q_{\text{бр}}) \times (i_{\text{рек}} - \omega_0) \times 10^{-3} l_{\text{рек}} + 3,8(P + Q_{\text{бр}}) \times (v_H^2 - v_K^2) \times 10^{-6}, \quad (5)$$

где $R_{\text{ком}}$ - механическая работа торможения, при снижении скорости на спуске, МДж;

ω_0 - основное удельное сопротивление поезда, кг/т;

Используя правила тяговых расчетов в локомотивной тяге, находим, необходимые параметры для расчета.

Для оценки возврата электроэнергии при движении электровоза переменного тока в режиме рекуперативного торможения (РТ) с пассажирским поездом для случая остановочного торможения использовались следующие исходные данные:

- участок пути с отрицательным уклоном;
 - путь стыковой; диапазон изменения скорости 120..5 км/ч;
 - масса электровоза $m_{\text{л}}=126\text{т}$;
 - КПД тяговых электродвигателей в режиме РТ $\eta_{\text{д}}=0.95$;
 - мощность собственных нужд электровоза $P_{\text{с.н}}=135\text{ кВт}$;
 - тормозная сила электровоза $k_{\text{и}}=1.15$;
 - масса состава вагонов $m_{\text{с}}=600\text{т}$;
 - масса вагона; $m_{\text{в}}=60\text{т}$;
 - количество вагонов в составе $n_{\text{в}}=10$;
 - мощность электроотопления(охлаждения) вагона $P_{\text{о}}=30\text{ кВт}$;
- Возможность реализации постоянной тормозной силы электровоза $B_{\text{к}} = 150\text{ кН}$

во всем диапазоне скорости движения оценим путем сравнения ее с максимальной тормозной силой, ограниченной сцеплением колес с рельсами и характеризуемой выражением [6, 7].

Для подведения итогов анализа профиля пути, вычислим общую протяжённость уклонов, км;

$$L_{\text{ук}} = \sum l_i \quad (6)$$

где l_i -протяжённость одного уклона, м. Рассчитаем среднюю крутизну уклона, ‰;

$$i_{\text{ср}} = \frac{\sum (l_i \times i_i)}{L_{\text{ук}}} \quad (7)$$

где i_i -крутизна одного уклона, ‰;

$L_{\text{ук}}$ -общая протяжённость уклона, м;

Для нахождения количества возвращаемой энергии была произведена экспериментальная поездка "Ташкент-Андижан-Ташкент"

расстояние между которыми составляет 265 км в одну сторону (рисунок 2).



Рис.2. Электрифицированная линия "Ташкент-Андижан"

Экспериментальным способом определено количество энергии при

рекуперативном торможении на участке "Орзу-Кучлик", результаты которой приведены в таблице 1.

Таблица 1

Станция отбытия	Станция прибытия	Пройденный путь (км)	Время в пути (сек)	Количество возв.энергии (кВт/ч)
Орзу	Кўл	19	1320	146
Кул	Ангрен	18	960	202
Ангрен	Ангрен вокзал	5	300	38
Ангрен вокзал	Аблык	7	300	88
Аблык	Акча	14	720	152
Акча	Ахангаран	18	780	130
Ахангаран	Озодлик	13	420	108
Озодлик	Туйтепа	16	960	69
Туйтепа	Кучлик	11	420	89
Орзу	Кучлик	121	6180	1022 кВт/ч

Запись производилось между станциями “Орзу” и “Кучлик” расстояние между которыми составляет 121км, которая была пройдена за 2часа при средней скорости 50 км/ч. Количества энергии, которая была возвращена в сеть составило 1022 кВт·ч. В денежном эквиваленте кВт·ч энергии составляет 800 сўм. Тем самым была сэкономлена 817600 сўм.

Общее количество сэкономленной энергии рассчитывается:

$$\sum R_{\text{тор}} = 18 \times (3,8 \times 15 + 600) \times (60^2 - 20^2) \times 10^{-6} = 301,644 \text{ МДж.}$$

Общее количество сэкономленной энергии в процессе работы рекуперации является суммой подсчитанных выше составляющих, МДж;

$$\sum R_{\text{рек}} = \sum R_{\text{сп}} + \sum R_{\text{тор}}; (8)$$

Подставив численные значения в формулу (8), получим:

$$\sum R_{\text{рек}} = 2039,166 + 301,644 = 2340,85 \text{ МДж} \quad (9)$$

Таким образом, значение возврата электроэнергии зависит от количества вагонов в поезде (массы состава), начальной скорости рекуперативного торможения, количества остановок и ограничений скорости, крутизны и протяженности спусков. При использовании данной методики можно рассчитать эффективность применения рекуперативного торможения и количество сэкономленной энергии для каждого участка.

References:

1. Радин В.И. Электрические машины. Асинхронные машины/ В.И. Радин, А.Э. Брускин, А.Е. Зорохович. – М.: Высшая школа, 1988. – 324 с.
2. Бурханходжаев А.М., Иксар Е.В., Жураева К.К. Алгоритм снижения электрических потерь в тяговом асинхронном приводе. Международный научно и научно-техническая конференция «Проблемы и перспективы инновационной техники и технологий в аграрном-пищевом секторе» Ташкент 2020 г.
3. Elena Iksar, Mokhira Idriskhodjaeva An algorithm for controlling a tracsion asynchronous drive that minimizes electrical power losses E3S Web Conferences 216. 01107 (2020) RSES 2020



4. Бурханходжаев А.М, Иксар Е.В., Бердиев У.Т., Евразийский Союз Ученых (ЕСУ)
Улучшение тягово-энергетических показателей асинхронных двигателей №11(68)/
2019.68 р.