

19. Доценко С. І. Удосконалення моделі системи енергетичного менеджменту [Текст] / С. І. Доценко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. — 2012. — Вип. 130. — С. 16–18.
20. Доценко, С. І. Формування факторної моделі діяльності по забезпеченню раціонального використання енергоресурсів [Текст] / С. І. Доценко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. — 2014. — Вип. 154. — С. 15–16.
21. Доценко, С. І. Порівняльний аналіз ефективності методологій формування системи енергетичного менеджменту [Текст] / С. І. Доценко // Енергозбереження енергетика енергоаудит. — 2013. — № 9(115). — С. 3–9.
22. Liu, M. Continuous Commissioning Leading Energy Project Process — An Industry Approach [Text] / Mingsheng Liu, Jinrong Wang, Ken Hansen, Ann Selzer // Proceedings of the Fifth International Conference for Enhanced Building Operations, Pittsburgh, Pennsylvania, October 11–13, 2005. — P. 1–14.

#### ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДА ДІАЛОГОВОГО УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЮ ЕФЕКТИВНІСТЮ

У статті запропоновано метод діалогового управління діяльності щодо забезпечення раціонального використання енерго-

ресурсів. Метод засновано на методології стандартів ISO 9001 та ISO 14001. Показано, що у разі формування системи енергоменеджменту у формі автоматизованої системи управління, її слід класифікувати як діалогову систему управління, або ж, як систему підтримки прийняття рішень керовану моделлю.

**Ключові слова:** модель, енергоресурс, діяльність, енергоменеджмент, система.

*Доценко Сергій Ільич, кандидат технічних наук, доцент, кафедра електропостачання та енергетичного менеджменту, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка, Україна, e-mail: sirius\_2k2@mail.ru.*

*Доценко Сергій Ільич, кандидат технічних наук, доцент, кафедра електропостачання та енергетичного менеджменту, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка, Україна.*

*Dotsenko Sergiy, Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture, Ukraine, e-mail: sirius\_2k2@mail.ru*

УДК 629.423.1

DOI: 10.15587/2312-8372.2014.33726

Саблін О. И.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКУПЕРАЦИИ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА ПРИ ОГРАНИЧЕННОМ ТЯГОВОМ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИИ

*В работе выполнен анализ возможности регулирования напряжения на шинах тяговых подстанций для расширения зоны рекуперации электротранспорта в условиях ограниченного тягового электропотребления. С учетом существующих ограничений это позволит снизить количество срывов рекуперативного торможения и расход электроэнергии на тягу поездов.*

**Ключевые слова:** электротранспорт, тяговое электропотребление, электрическое торможение, рекуперация, электроэнергия, избыточная, регулирование напряжения.

### 1. Введение

Электрический транспорт является единственным видом транспорта, обладающим способностью частичного возобновления затраченной на тягу энергии путем ее рекуперации. При рациональных режимах движения транспортных средств рекуперация в разных системах электротранспорта позволяет на 30...50 % уменьшить энергоемкость перевозочного процесса, однако вследствие особенностей тягового электропотребления показатель рекуперации энергии в электросетях существующих систем электротранспорта сегодня не превышает 5...10 % [1]. В этой связи развитие методов и принципов, повышающих эффективность использования энергии рекуперации в системе неавтономного электротранспорта является актуальным направлением научных исследований.

### 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Максимальное количество электроэнергии, которое может быть сгенерировано транспортным средством (электропоездом) при рекуперативном торможении для остановки, снижения или стабилизации скорости движения определяется уменьшением его кинетической и потенциальной энергий и равно [2]:

$$\max W_{\text{рек}} = (0,01073(1+\gamma)Q(v_{\text{н}}^2 - v_{\text{к}}^2) - 2,725Q(\omega_0 \pm i_{\text{эКВ}})S)\eta_{\text{рек}}, \quad (1)$$

где  $Q$  — масса поезда;  $(1+\gamma)$  — коэффициент инерции вращающихся масс поезда;  $v_{\text{н}}$ ,  $v_{\text{к}}$  — скорость соответственно в начале и конце торможения;  $\omega_0$  — основное удельное сопротивление движению поезда при средней

скорости на участке торможения;  $i_{\text{экв}}$  — эквивалентный уклон на участке торможения;  $S$  — длина тормозного пути;  $\eta_{\text{рек}}$  — КПД поезда в режиме рекуперации.

Однако в условиях реальной эксплуатации при рекуперативном торможении, как правило, реализуется энергия  $W_{\text{рек}} \leq \max W_{\text{рек}}$ , которая может быть определена в виде:

$$W_{\text{рек}} = \max W_{\text{рек}} k_{\text{исп}},$$

где  $k_{\text{исп}}$  — коэффициент использования энергии рекуперации в системе электротранспорта.

Величина  $k_{\text{исп}}$  при отсутствии инверторов и накопителей энергии на тяговых подстанциях находится в диапазоне 0...1, зависит преимущественно от поездной ситуации на участке, напряжения на шинах тяговых подстанций и режимов электропотребления поездов в зоне рекуперации и в значительной степени представляет собой случайную величину. В конкретном случае рекуперации энергии, зависимость величины  $k_{\text{исп}}$  от указанных факторов может быть косвенно представлена в виде функции напряжения на токоприемнике  $U_{\text{T}}(t)$  поезда в режиме рекуперации:

$$k_{\text{исп}}(U_{\text{T}}(t)) = \begin{cases} 1, & \text{при } U_{\text{T}}(t) < U_{\text{T}}^{\text{max}}, I_{\text{тяг}}(t) \geq I_{\text{рек}}(t), \\ 0, & \text{при } U_{\text{T}}(t) \geq U_{\text{T}}^{\text{max}}, I_{\text{тяг}}(t) = 0. \end{cases} \quad (2)$$

где  $U_{\text{T}}^{\text{max}}$  — предельно допустимое напряжение на токоприемнике и в контактной сети системы электротранспорта;  $I_{\text{рек}}(t)$ ,  $I_{\text{тяг}}(t)$  — соответственно ток рекуперации и тяги на участке.

Промежуточные значения величины  $k_{\text{исп}}$  в указанном диапазоне соответствуют случаю с ограниченным тяговым электропотреблением в зоне рекуперации, когда:

$$I_{\text{тяг}}(t) < I_{\text{рек}}(t), \quad (3)$$

при этом имеет место избыточный ток рекуперации:

$$I_{\text{рек}}^{\text{изб}}(t) = I_{\text{рек}}(t) - I_{\text{тяг}}(t). \quad (4)$$

На электротранспорте с рекуперативно-реостатным торможением при ограниченном тяговом электропотреблении в зоне рекуперации имеет место частичная рекуперация энергии в сеть. При этом избыточная (не-реализованная) энергия рекуперации (или ток  $I_{\text{рек}}^{\text{изб}}(t)$ ) электротранспорта:

$$\Delta W_{\text{рек}} = \max W_{\text{рек}} - W_{\text{рек}} = \max W_{\text{рек}} (1 - k_{\text{исп}}), \quad (5)$$

утилизируется в тормозных реостатах. При малых размерах движения и неблагоприятных графиках движения поездов (по условиям рекуперации) энергия  $\Delta W_{\text{рек}}$  может достигать 30...100 % от величины  $\max W_{\text{рек}}$  [1, 3, 4].

Существующие подходы к повышению эффективности использования энергии рекуперации в настоящее время базируются на локальной буферизации энергии  $\Delta W_{\text{рек}}$  накопителями либо ее передачи в первичную энерго-

систему инверторами. Однако данные подходы не могут обеспечить гарантированные режимы потребления энергии торможения поездов с  $k_{\text{исп}} > 1$ , т. е. устойчивую рекуперацию на участке при отсутствии тяговой нагрузки, поскольку эффективность передачи энергии  $\Delta W_{\text{рек}}$  в систему внешнего электроснабжения зависит от ее мгновенной загрузки нетяговыми потребителями в общей точке подключения, а буферизация в накопителях — от режимов заряда. Поскольку энергия  $\Delta W_{\text{рек}}$  носит импульсный характер, то ее передача в питающую сеть может отрицательно сказываться на работе нетяговых потребителей [5], кроме этого потребуются комплектация тяговых подстанций инверторами (накопителями).

Менее затратным мероприятием в этом направлении является расширение зоны рекуперации путем плавного регулирования напряжения на шинах тяговых подстанций, идея которого высказана в работах [6–9]. Это позволит решить задачу локализации энергии  $\Delta W_{\text{рек}}$  в системе электрической тяги за счет перетекания избыточного тока рекуперации  $I_{\text{рек}}^{\text{изб}}(t)$  и соответственно энергии  $\Delta W_{\text{рек}}$  к удаленным поездам в режиме тяги на тех же или смежных (через шины тяговых подстанций) межподстанционных зонах (МПЗ). При этом возрастает вероятность подпитывания режимов тяги удаленных поездов, что, однако сопровождается увеличением потерь энергии рекуперации в тяговой сети. Наибольшие потери энергии рекуперации, как собственно и наименьшая эффективность ее использования будут иметь место на однопутных участках.

### 3. Цель и задачи исследования

Целью работы является теоретическая оценка эффективности расширения зоны рекуперации электротранспорта путем возможного регулирования напряжения на шинах тяговых подстанций в условиях ограниченного тягового электропотребления на участке.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить анализ влияния ограничений напряжения на токоприемнике, потерь мощности в тяговой сети на рациональный диапазон регулирования напряжения.

### 4. Анализ ограничений напряжения на токоприемниках при рекуперации энергии

Как известно, для передачи энергии рекуперации в контактную сеть напряжение на токоприемнике электротранспорта при электрическом торможении должно удовлетворять условию:

$$U_{\text{кк}}(t) < U_{\text{T}}(t) < U_{\text{кк}}^{\text{max}}, \quad (6)$$

где  $U_{\text{кк}}(t)$ ,  $U_{\text{T}}(t)$ ,  $U_{\text{кк}}^{\text{max}}$  — соответственно напряжения в контактной сети, на токоприемнике рекуперирующего электротранспорта и предельно допустимое напряжение на токоприемнике (в контактной сети).

При этом условии обеспечивается протекание генераторного тока в сеть:

$$I_{\text{рек}} = \frac{U_{\text{T}}(t) - U_{\text{кк}}(t)}{\sum R}, \quad (7)$$

где  $\sum R$  — эквивалентное сопротивление контура тока рекуперации.

Режим рекуперации в системе электрической тяги сопровождается увеличением напряжения на токоприемнике рекуперирующего поезда и в контактной сети (рис. 1), что особенно проявляется в условиях ограниченного тягового электропотребления в зоне рекуперации. Поэтому на грузонапряженных участках с завышенными на 10...15 % напряжениями холостого хода на шинах тяговых подстанций имеет место ухудшение условий, а в некоторых случаях невозможность рекуперации электроэнергии по условию (6).

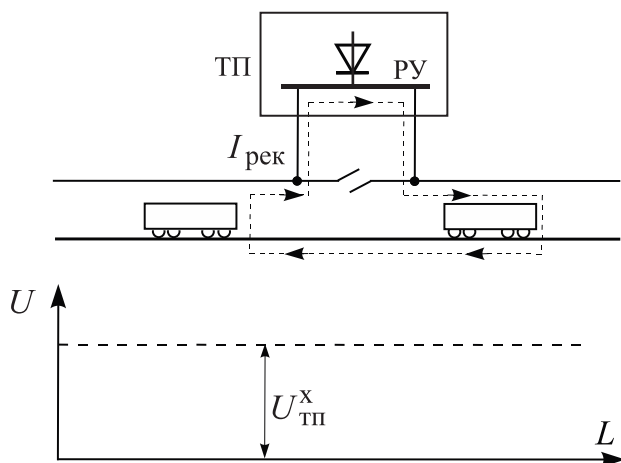


Рис. 1. Распределение напряжения в контактной сети системы тяги постоянного тока при наличии на участке рекуперации

При отсутствии или снижении в зоне рекуперации тяговой нагрузки происходит возрастание напряжения на токоприемнике рекуперирующего поезда, и по достижении им правого предела (6) рекуперация в сеть прекращается, а поезд переходит в режим реостатного или механического торможения, при котором вырабатываемая им энергия рассеивается в тормозных устройствах.

### 5. Методы расчета эффективной зоны рекуперации и диапазона регулирования напряжения

Для исследования степени влияния различных факторов на эффективность реализации рекуперации энергии в системе электрической тяги в условиях ограниченного электропотребления был проведен анализ распределения токов и напряжений в пределах одной и смежных МПЗ. На рис. 2 представлены схемы двухпутного участка электрической тяги постоянного тока (3,3 кВ) с отдельным питанием, а также соответствующие им мгновенные схемы замещения, на которых находятся два поезда, один из которых в режиме тяги (ЭПС 2), а другой в режиме рекуперации (ЭПС 1). Для анализа установившегося токораспределения в системе электротранспорта (рис. 2 и 3) поездные нагрузки в режиме потребления и рекуперации представлены в виде источников тока с заданными величинами токов [10]. Односторонняя проводимость тяговых подстанций на схеме рис. 2, б учитывает отсутствие приемников избыточной энергии рекуперации в системе электроснабжения, что характерно как для большинства участков магистрального электри-

фицированного железнодорожного транспорта Украины, так городского электротранспорта и метрополитенов. Для расчета установившегося токораспределения в системе электротяги удобно использовать численные методы на базе уравнений Кирхгофа, методов контурных токов или узловых потенциалов.

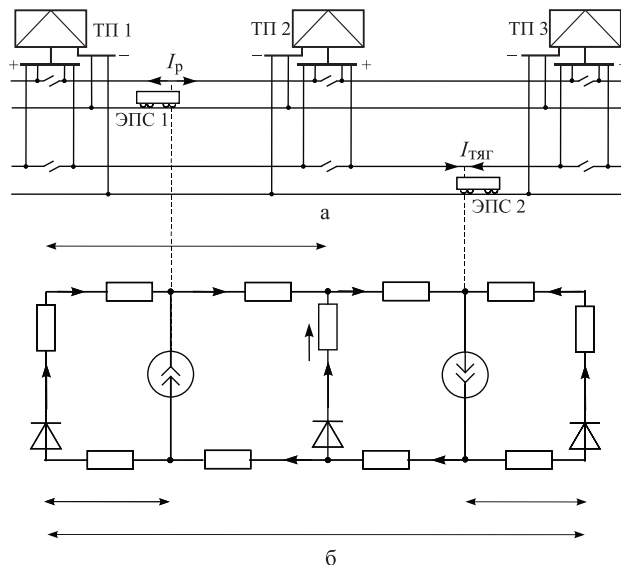


Рис. 2. Схема питания контактной сети смежных МПЗ (а) и ее мгновенная схема замещения (б)

Под зоной рекуперации на схеме рис. 2 понимается максимальное значение расстояния соответственно:

$$L_{\text{рек}} = 2L - x_1 - x_2, \quad (8)$$

при котором обеспечивается соблюдение правого предела (6), где согласно схеме рис. 2 напряжение на токоприемнике поезда в режиме рекуперации  $U_T(t)$  представляет собой напряжение на источнике тока  $I_{\text{рек}}$ . Данное расстояние является функцией нескольких переменных:

$$L_{\text{рек}} = L_{\text{рек}}(I_{\text{рек}}, I_{\text{тяг}}, U_{\text{ТП}}^{\text{XX}}, x_1, x_2), \quad (9)$$

где  $U_{\text{ТП}}^{\text{XX}} = E_{\text{ТП}}$  — напряжение холостого хода на шинах тяговых подстанций, участвующих в электроснабжении тяговой нагрузки.

Координаты положения поездов ( $x_1, x_2$ ) определяют степень влияния сопротивления тяговой сети системы тягового электроснабжения на эффективность передачи рекуперативной энергии к удаленным поездам в тяговых режимах. При значительном удалении поездов в режимах тяги и рекуперации на токоприемнике последнего может быть нарушено условие (6) по верхней границе, поэтому часть энергии торможения (1) будет утилизирована.

### 6. Обсуждение результатов расчета зоны рекуперации электротранспорта при регулировании питающего напряжения

На рис. 3 в качестве примера приведены полученные расчетным путем зависимости напряжения на

токоприемнике поездов в тяговом и рекуперативном режимах (при токах  $I_{рек} = 1000$  А и  $I_{тяги} = 1500$  А), токов тяговых подстанций ТП 2 и ТП 3 и относительных потерь мощности в тяговой сети от удаления поездов для двухпутного участка, полученные путем многовариантных расчетов схемы рис. 2, б при разных значениях ( $x_1, x_2$ ). Для упрощения принято, что поезда ЭПС 1 и ЭПС 2 двигаются на смежных фидерных зонах с одинаковой скоростью в направлении ТП 1 и ТП 3 соответственно, поэтому в любой момент времени  $x_1 = x_2$ . Участок принят с двухсторонним разделным питанием, тяговые подстанции имеют одинаковые внешние характеристики с напряжением холостого хода  $E_{ТП} = 3300$  В, что исключает протекание уравнильных токов в тяговой сети.

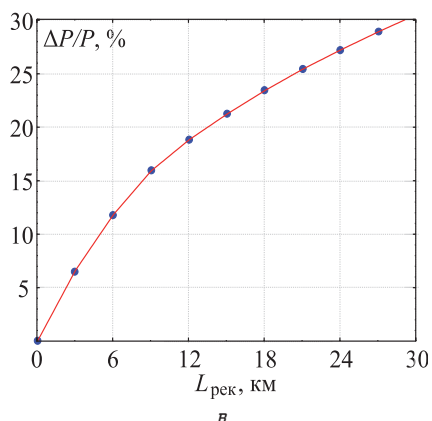
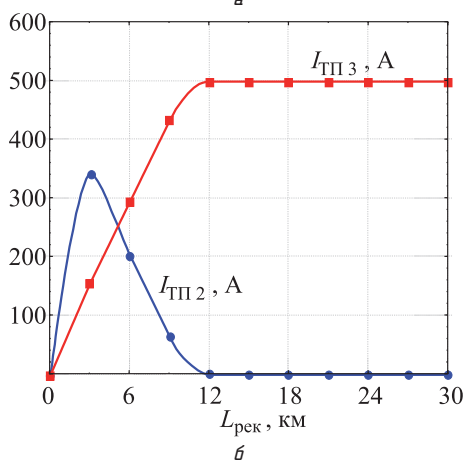
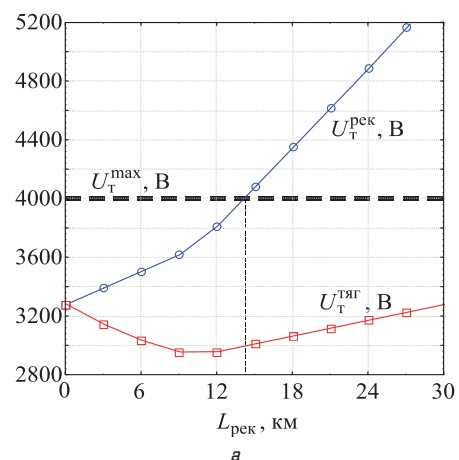


Рис. 3. Зависимость напряжения на токоприемниках поездов (а), тока тяговых подстанций (б) и относительных потерь мощности в тяговой сети (в) от удаления поездов в тяговом и рекуперативном режимах

Из рис. 3, а видно, что при таком соотношении токов тяги и рекуперации на смежных фидерных зонах возможность осуществления рекуперации по условиям напряжения на токоприемнике (6) определяется расстоянием между поездами  $L_{рек} \leq 14$  км. Кроме этого, из рис. 3, б видно, что даже при условии равенства внешних характеристик тяговых подстанций режим рекуперации приводит к образованию в системе тягового электроснабжения уравнильных токов, что проявляется в непропорциональной удалению поезда загрузке смежных тяговых подстанций. Расчетами установлено, что плавное регулирование напряжения на шинах тяговых подстанций с целью выравнивания их нагрузок при наличии на участке рекуперации приведет лишь к увеличению потерь мощности в тяговой сети. Необходимо также отметить, что при данном расположении поездов и соотношении их токов тяговая подстанция ТП 1 работает в режиме холостого хода (при отсутствии тяговой нагрузки слева), поэтому не влияет на токораспределение в системе электроснабжения.

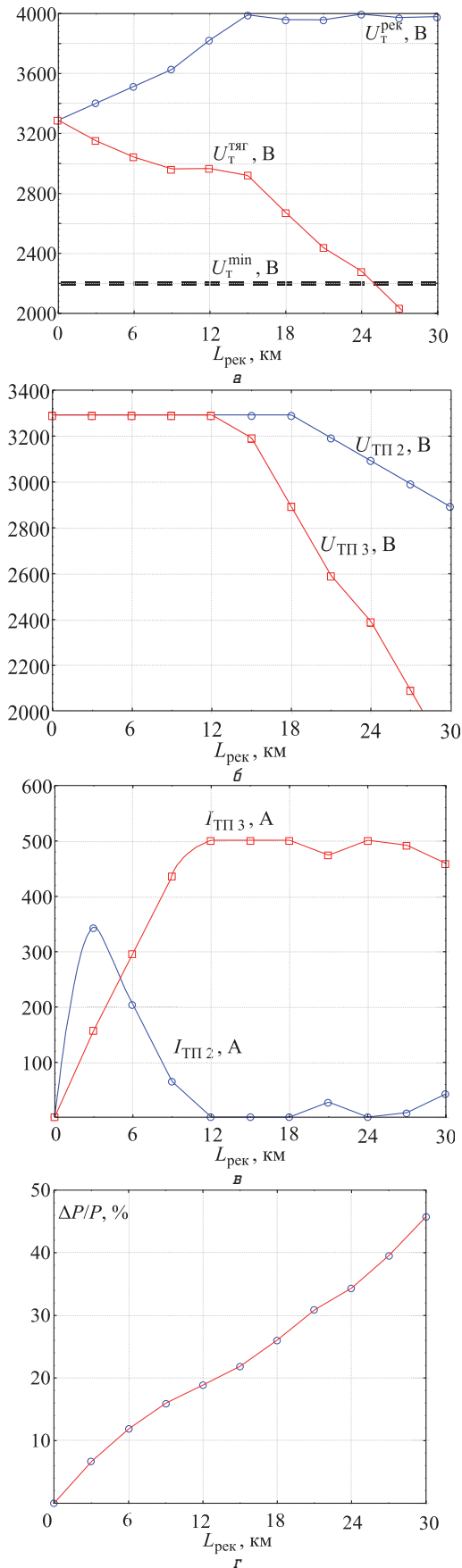
В таком случае, для повышения эффективности использования энергии рекуперации в условиях ограниченного тягового электропотребления на участке при фиксированных значениях ( $I_{рек}, I_{тяги}$ ), соответствующих условию (2), может быть использована зависимость  $L_{рек} = L_{рек}(U_{ТП1,2}^{XX})$ , согласно которой для расширения зоны рекуперации и обеспечения перетока избыточной энергии  $\Delta W_{рек}$  к удаленным поездам в тяговом режиме необходимо плавно снижать напряжение на шинах тяговых подстанций. Для обеспечения режима рекуперации по условиям допустимого напряжения на токоприемнике поезда необходимо снизить напряжения холостого хода на шинах той из тяговых подстанций (либо обеих), которая больше питает поезд в режиме тяги, т. е. как бы переложить большую нагрузку на рекуперирующий поезд. Пределом регулирования при этом должно выступать ограничение по минимально допустимому напряжению на токоприемниках поездов в тяговых режимах, обеспечивающее условие:

$$U_T(t) \geq U_T^{min}. \tag{10}$$

На рис. 4 приведен законы изменения напряжения на шинах тяговых подстанций ТП 2 и ТП 3, обеспечивающий соблюдение условия (6) и (10).

Как видно из рис. 4, а регулирование напряжения на шинах тяговых подстанций теоретически позволяет расширить зону рекуперации до 24 км, а далее ограничено условием (10), что, однако сопровождается увеличением потерь энергии в тяговой сети (рис. 4, з).

В реальности получение напряжения на токоприемнике поезда ЭПС 2 близкого к минимальному уровню на участках со сложным профилем приведет к увеличению потребляемого тока и как следствие еще большему снижению напряжения на токоприемнике, что особенно характерно для современного электроподвижного состава с плавным регулированием мощности в режиме движения с постоянной скоростью (силой тяги). При этом может ухудшиться пропускная способность участка и еще больше возрастут потери в тяговой сети (рис. 4, з), что существенно скажется на эффективности электрической тяги в целом.



**Рис. 4.** Зависимость напряжения на токоприемниках поездов (а) и на шинах тяговых подстанций (б), тока тяговых подстанций (в) и относительных потерь мощности в тяговой сети (г) от удаления поездов при регулировании напряжения подстанций

В таком случае для каждого конкретного участка должен быть определен свой предел рационального регулирования напряжения, обеспечивающий приемлемый баланс между потерями энергии в тяговой сети и потерей потенциально возможной энергии рекуперации поезда.

## 7. Выводы

1. В результате моделирования установившихся режимов токораспределения в системе тягового электроснабжения, при наличии рекуперации, установлена зависимость эффективной зоны рекуперации от удаления поездов в тяговом и рекуперативном режимах, величины и соотношения их токов, а также напряжения на шинах тяговых подстанций.
2. Установлено наличие уравнивающих токов в системе тягового электроснабжения при рекуперации электроэнергии на участке.
3. При регулировании напряжения тяговых подстанций для расширения зоны рекуперации существенно увеличиваются потери энергии в тяговой сети, что требует комплексной оценки энергосбережения от применения рекуперации в условиях повышенных потерь.

## Література

1. Сопов, В. И. Способы повышения эффективности использования энергии электрического торможения подвижного состава [Электронный ресурс] / В. И. Сопов // Онлайн Электрик: Электроэнергетика. Новые технологии. — 2012. — Режим доступа: \www/URL: <http://www.online-electric.ru/articles.php?id=43>
2. Гетьман, Г. К. Теория электрической тяги [Текст] / Г. К. Гетьман. — Д.: Изд-во Маковецкий, 2011. — 456 с.
3. Szaląg, A. Aspekty efektywności i energooszczędności w procesie modernizacji układów zasilania trakcji tramwajowej [Текст] / A. Szaląg, T. Maciołek, Z. Drążek, M. Patoka // Pojazdy szynowe. Kwartalnik naukowo-techniczny poświęcony zagadnieniom konstrukcji, budowy i badań taboru szynowego. — 2011. — № 3. — Р. 34–42.
4. Саблін, О. І. Моделювання взаємодії електрорухомого складу в режимі рекуперативного електроенергії з розосередженою системою тягового електропостачання [Текст] / О. І. Саблін, В. Г. Кузнецов, О. І. Бондар, В. В. Артемчук // Електрифікація транспорту. — 2014. — № 7. — С. 34–41.
5. Бурков, А. Т. Сберегающие технологии тягового электроснабжения с рекуперацией энергии торможения поездов [Текст]: тез. док. / А. Т. Бурков, В. М. Варенцов, А. Н. Марикин и др. // II Евразийская конференция по транспорту. — С-Пб.: ЦНИИТ СЭТ, 2000. — С. 93.
6. Аржанников, Б. А. Система управляемого электроснабжения электрифицированных железных дорог постоянного тока [Текст]: монография / Б. А. Аржанников. — Екб.: Изд-во УрГУПС, 2010. — 176 с.
7. Аржанников, Б. А. Тяговое электроснабжение постоянного тока скоростного и тяжеловесного движения поездов [Текст]: монография / Б. А. Аржанников. — Екб.: Изд-во УрГУПС, 2012. — 207 с.
8. Черемисин, В. Т. Влияние рекуперативного торможения на систему тягового электроснабжения [Текст] / В. Т. Черемисин, В. Л. Незевак, А. С. Вильгельм, В. А. Кващук // Локомотив. — 2013. — № 8. — С. 5–9.
9. Тарута, П. В. Повышение эффективности использования энергии рекуперации в системе тягового электроснабжения постоянного тока [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / П. В. Тарута. — Омск, 2004. — 164 с.
10. Марквардт, К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог [Текст] / К. Г. Марквардт. — М.: Транспорт, 1982. — 528 с.

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕКУПЕРАЦІЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ ПРИ ОБМЕЖЕНОМУ ТЯГОВОМУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННІ**

В роботі виконано аналіз можливості регулювання напруги на шинах тягових підстанцій для розширення зони рекуперації електротранспорту в умовах обмеженого тягового електроживання. З урахуванням існуючих обмежень це дозволить знизити кількість зривів рекуперативного гальмування і витрату електроенергії на тягу поїздів.

**Ключові слова:** електротранспорт, тягове електроживання, електричне гальмування, рекуперація, електроенергія, надлишкова, регулювання напруги.

*Саблін Олег Ігорович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра електроживлення залізниць, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна, Україна, e-mail: olegsss@i.ua.*

*Саблін Олег Ігорович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра електропостачання залізниць, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна, Україна.*

*Sablin Oleg, Dnipropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan, Ukraine, e-mail: olegsss@i.ua*

УДК 620.9: 504.064

DOI: 10.15587/2312-8372.2014.34782

**Мацевитый Ю. М.,  
Соловей В. В.,  
Васильев А. И.**

**ПЕРСПЕКТИВЫ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИОННОЙ МОДЕЛИ РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ**

*Рассмотрена методика определения резервов энерго- и ресурсосбережения на основе интеграционной модели функционирования территориально-промышленных комплексов. Для обеспечения устойчивого функционирования промышленных регионов целесообразно создание энергоэкологических комплексов, использующих сбросную теплоту и другие виды отходов. Повышение коэффициента технологической интеграции позволит реализовать малоотходное энергоэффективное производство, отвечающее требованиям экологической совместимости промышленных объектов с окружающей средой.*

**Ключевые слова:** энергетические и материальные вторичные ресурсы, инновации, индустриальный симбиоз, интеграционные процессы.

**1. Введение**

Важным показателем, который характеризует уровень социально-экономического развития общества, является эффективность использования материальных и энергетических ресурсов на единицу произведенного валового национального продукта. Анализ деятельности предприятий Украины показал, что для того чтобы удовлетворять европейским экологическим стандартам, удельное энергопотребление в промышленности должно быть снижено, по крайней мере, в 2–3 раза. Это обусловлено тем, что технологические основы промышленного производства базируются на технических решениях середины прошлого века с низким коэффициентом использования энергетических и материальных ресурсов. Поэтому, радикальное решение проблемы заключается в переходе от экстенсивных к интенсивным методам производства с использованием принципиально новых организационно-технических решений и внедрение новейших экологически чистых, ресурсосберегающих технологий. Такой подход обеспечит кардинальное снижение энергоёмкости и материалоемкости отечественной продукции и технологической нагрузки на окружающую среду.

Существующие методики определения приоритетных с точки зрения эффективности инвестирования регионов не учитывают в полной мере дополнительные, положительные факторы, обусловленные возможностью технологического взаимодействия ряда промышленных объектов, расположенных в том или ином регионе. Поэтому предлагаемый подход к определению резервов энерго- и ресурсосбережения и повышению инвестиционной привлекательности территорий на основе интеграционной модели функционирования территориально-промышленных комплексов (ТПК), является актуальным, так как открывает дополнительные возможности в выборе стратегических планов их развития.

**2. Анализ публикаций и постановка проблемы**

Экономика государства базируется на совокупности территориально-промышленных комплексов, включающих предприятия различных отраслей промышленности, расположенных на определенной территории с устойчивыми технологическими и производственными связями, обеспечивающими достижения поставленных социально-