



3. Косенков Д.И. Формирование механизма снижения транзакционных издержек в условиях трансформации национальной экономики : дис. ... канд. экон. наук. М., 2003.
4. Шаститко А.Е. Внешние эффекты и транзакционные издержки. М. : Изд-во МГУ; ТЕИС, 1997. 213 с.
5. Тупиха Н.А. Бюрократические транзакционные издержки как фактор торможения экономики России : дис. ... канд. экон. наук. Краснодар, 2008.
6. Буровцев В.В., Мицук И.В., Сольская И.Ю. Государственное регулирование железнодорожного транспорта в период реформирования М. : УМЦ по образованию на ж.-д. трансп., 2012. 288 с.

УДК 621.331

Сыченко Виктор Григорьевич,

д. т. н., с. н. с., заведующий кафедрой «Электроснабжение железных дорог»,
Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна,
тел. (+380) 562-47-16-74, 96-444-98-54, e-mail: elsnz@mail.ru

Босый Дмитрий Алексеевич,

к. т. н., доцент, докторант кафедры «Электроснабжение железных дорог»,
Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна,
тел. (+380) 56-373-19-11, 50-698-23-95, e-mail: dake@i.ua

КАЧЕСТВО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ

V. G. Sichenko, D. A. Bosiy

THE QUALITY OF USING THE ELECTRIC POWER IN THE ELECTRIC TRACTION SYSTEMS

Аннотация. Одной из насущных проблем электрифицированного транспорта является необходимость обеспечения скоростных и мощностных характеристик систем электрической тяги в условиях обострившейся конкуренции с другими видами транспорта. Сложившиеся системы тягового электроснабжения не в полной мере отвечают возросшим требованиям, в первую очередь, по показателям эффективности использования электрической энергии. Превалирующее применение в настоящее время системы переменного тока не в полной мере соответствует заявленным критериям энергоэффективности, при этом недостатки этой системы не устранены, несмотря на все модернизации и улучшения.

Повышение качества функционирования тягового электроснабжения может быть осуществлено применением системы постоянного тока повышенного напряжения. Поскольку комплексный сравнительный анализ разных систем электрической тяги представляет сложную задачу, в статье выполнен анализ энергетических показателей использования электрической энергии в существующих системах, что позволит более точно и взвешенно подходить к выбору системы электрической тяги.

Ключевые слова: электрическая тяга, система электроснабжения, электроэнергия, качество, искажения, несинусоидальность, несимметрия, отклонение напряжения, реактивная мощность, учет.

Abstract. One of the present problems of electric transport is the need of providing the speed and power characteristics of electric traction systems in the conditions of increased competition with other modes of transport. The existing system of traction power supply does not fully meet the increasing demands in terms of efficient use of electrical energy. The prevailing use of the current system of alternating current does not fully meet the declared criteria of energy efficiency, and the disadvantages of this system are not eliminated despite all the modernization and improvement. As a comprehensive comparative analysis of the different systems of electric traction is a complex task, in the article the analysis of the energy indicators of electricity use in existing systems is performed which enables more accurate and balanced approach to the selection of the electric traction system.

Improving the quality of functioning of the traction power supply can be carried out using a system of the DC of high voltage.

Keywords: electric traction, power supply system, electric energy, quality, disturbances, nonsinusoidality, unbalance, voltage deviation, reactive power, metering.

Введение

Современное состояние электрифицированных железных дорог обуславливается необходимостью обеспечения конкурентоспособности с другими видами транспорта, как при перевозке пассажиров, так и при доставке грузов. Наряду с известными преимуществами электрифицированных железных дорог необходимо обеспечивать высокий уровень комфортности и скорости доставки. Решение этих задач предопределяет внедрение скоростного и высокоскоростного пассажирского транспорта, а также тяжеловесного движения поездов.

Опыт эксплуатации существующих систем электрической тяги показывает, что скоростное

движение до 250 км/ч обеспечивают разнообразные системы тягового электроснабжения, как постоянного, так и переменного тока без любых ограничений [1]. Развитие и становление каждой из этих систем обуславливались уровнем научно-технического прогресса на определенный период времени. При этом необходимо отметить, что система постоянного тока с момента своего появления фактически не изменялась структурно, а изменялись, в основном, элементная база и применяемое оборудование. Система переменного тока, напротив, с самого начала своего применения постоянно подвергается разного рода усовершенствованиям и улуч-

шениям. Можно констатировать, что, если не принимать во внимание задекларированные преимущества и преобладающее в настоящее время применение системы переменного тока, опыт ее эксплуатации доказывает, что в целом она уже не отвечает современным требованиям. За все годы эксплуатации и постоянной модернизации так и не были устранены основные недостатки этой системы: опасное электромагнитное влияние, несимметричная нагрузка фаз, значительные объемы транзита реактивной энергии и другие [2]. Конечно, научные дискуссии относительно того, какая система электрификации лучше, ведутся давно, но детального и комплексного сравнительного анализа донныне не выполнено.

Однако до проведения такого анализа надо обратить внимание на то, что предполагаемые преимущества внедрения системы переменного тока, а именно снижение расхода электроэнергии за счет уменьшения потерь в контактной сети, сокращение капитальных расходов за счет уменьшения числа тяговых подстанций, снижение затрат меди за счет уменьшения сечения контактной подвески не оправдались в условиях России [3]. Поэтому перевод электрифицированных участков постоянного тока при внедрении скоростного движения на переменный с учетом ожидаемого соотношения расходов и полезного эффекта не дает достаточных оснований для такого решения [4]. Следовательно, переход от системы постоянного тока на переменный должен быть технологическим и целесообразно обоснованным, что и показал опыт внедрения скоростного движения на участке Москва – Санкт-Петербург [5].

Современность научно-технического прогресса характеризуется бурным развитием силовой электроники и компьютерных технологий. Совершенствование системы электрической тяги и перспективы ее развития предопределены необратимым процессом обновления всей системы преобразования энергии, используемой в перевозочном процессе. Применение преобразователей постоянного тока в трехфазный переменный ток, тиристорных преобразователей уровня напряжения постоянного тока, создание высокоэкономичных алгоритмов компьютерного управления преобразованием электроэнергии, замена коллекторных двигателей постоянного тока на бесколлекторные асинхронные трехфазного тока составляют основные направления технического перевооружения систем электрической тяги и в настоящее время широко используются в ряде промышленно развитых стран [6].

Резко повысить пропускную способность и эффективность электрической тяги постоянного тока позволяет уровень напряжения в контактной сети постоянного тока 24 кВ. Применение данной системы позволит значительно увеличить расстояние между подстанциями, уменьшить сечение проводов тяговой сети, уменьшить потери электроэнергии в устройствах электроснабжения, полностью устранить несимметрию питающего напряжения. Отсутствие индуктивных потерь на постоянном токе может превзойти по эффективности все системы переменного тока. Именно поэтому происходит постепенная эволюция подходов к электрификации скоростных магистралей на переменном токе к переходу на более совершенную систему постоянного тока 24 кВ [2, 7], что позволит реализовать задачу создания высокоскоростной транспортной системы со скоростью движения 400 км/ч [8].

Любая система тягового электроснабжения, как известно, должна обеспечивать надежный токосъем и заданное качество электроэнергии. Устройства тягового электроснабжения не должны также ограничивать установленную скорость движения, то есть должны обеспечивать передачу электрической энергии не только необходимого качества, но и необходимой мощности. При этом нужно принимать во внимание тот факт, что передача энергии с несоответствующими качественными характеристиками обуславливает перерасход при потреблении и увеличивает ее потери [9, 10].

Целью этой работы является комплексное исследование качества электрической энергии и анализ эффективности ее использования для питания электроподвижного состава при проведении сравнительного анализа систем электрической тяги, а также при выборе системы электроснабжения для скоростного движения.

Сравнение показателей качества потребления электрической энергии

Качество электроснабжения – это совокупность свойств, которые характеризуют изменение состояний электромагнитной среды технологического процесса производства, передачи, распределения и потребления электрической энергии. Показатели качества электрической энергии (ПКЭ) являются уровнями электромагнитной совместимости для кондуктивных помех, возникающих в результате осуществления этого технологического процесса. Действующий в Украине ГОСТ 13109-97 (в РФ ГОСТ 32144-2013) регламентирует ПКЭ в сетях общего назначения и может применяться на электрифицированных железных дорогах как переменного, так и постоянного тока при проведении



лицензионной деятельности в точках раздела балансовой принадлежности (точках общего присоединения). По результатам проведенных исследований [11] можно утверждать, что положения ГОСТ могут быть применены для оценки качества электроснабжения на всех уровнях преобразования, распределения и потребления электрической энергии (ЭЭ) переменного тока на тяговых подстанциях (ТП) как переменного, так и постоянного тока. При этом следует отметить, что на сегодня фактически отсутствует системный подход к оценке качества электроснабжения, то есть не регламентируются показатели энергообменных процессов в системах электрической тяги.

Каждая из применяемых на сегодня систем электрической тяги имеет свои особенности преобразования и передачи ЭЭ электроподвижному составу (ЭПС). Так, система постоянного тока, являясь более симметричным потребителем ЭЭ для питающей сети, характеризуется большей кратностью преобразования ЭЭ и большим количеством точек отбора мощности с внешней системы электроснабжения. Система переменного тока имеет свои специфические особенности, которые заключаются в комплексно-случайных токах тяговых нагрузок, в возникновении вследствие однофазных нагрузок несимметричных режимов электроэнергетической системы и в появлении наряду с токами основной частоты токов высших гармонических составляющих.

Причиной возникновения гармоник в системе переменного тока являются эксплуатируемые электровазы переменного тока, как с полупроводниковыми неуправляемыми преобразователями, так и с управляемыми. Неуправляемые преобразователи вызывают появление составляющих нечетного порядка, начиная с третьей. В управляемых преобразователях дополнительно возникают также и некрatные, которые принято называть интергармониками [12]. Поскольку количество ЭПС с управляемыми выпрямителями пока незначительно, а суммарное значение всех некрatных основной частоте составляющих напряжения колеблется в интервале 1,5–3,0 % [11], то можно считать, что интергармонические составляющие на энергообменные процессы (ЭОП) в системе тягового электроснабжения определяющего влияния не имеют.

Любое преобразование электрической энергии в системах тягового электроснабжения предопределено процессами выпрямления или трансформации электроэнергии на тяговых подстанциях или непосредственно на ЭПС. Для большинства подстанций системы постоянного тока характерна двухступенчатая трансформация. Сейчас, однако,

начато внедрение трехфазных выпрямителей с питанием по принципу глубокого ввода. Именно для системы постоянного тока выполняется более эффективное преобразование электроэнергии, чем для системы переменного тока. Для сравнения приведем известные данные: в системе переменного тока коэффициент мощности однофазного выпрямителя по данным эксплуатации изменяется в пределах $\lambda = 0,8..0,7$ и даже ниже, в системе же постоянного тока коэффициент мощности выпрямителей значительно выше ($\lambda = 0,9..0,94$), а у современных выпрямителей достигает значения 0,97. На переменном токе тяговые подстанции выполняют одинарную трансформацию полученной из первичной сети электроэнергии, а дальнейшее ее преобразование для питания электропривода выполняется преобразователями ЭПС.

Качество ЭОП, происходящих в системах электрической тяги, можно оценить степенью их влияния на систему внешнего электроснабжения. Такую оценку можно осуществить сравнительным анализом ПКЭ на вводах тяговых подстанций и количества потребляемой реактивной мощности. Необходимо отметить, что упомянутые выше ГОСТы характеризуют качество ЭЭ только по напряжению. Для оценки такого влияния применяются следующие показатели: колебания напряжения, его несинусоидальность (содержание гармонических составляющих) и несимметрия. В большинстве же зарубежных стран учитывается также и гармонический состав потребляемого тока. Степень искажения тока определяется по аналогии с определением искажения напряжения:

$$K_I = THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^N I_h^2}}{I_1} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где I_1 – значение основной гармоники тока, А;

I_h – значение гармонической составляющей с порядком h , А;

N – верхний предел суммирования гармонических составляющих, как правило, не меньше 40.

Важно отметить, что показатель THD_I является характеристикой несинусоидальности и прямо не определяет влияние искажений, поскольку использует отнесенное к базисному значение суммарных гармонических искажений. Поэтому могут быть случаи, когда низкое значение коэффициента при большей основной нагрузке будет иметь большее влияние, нежели большее значение коэффициента при малой нагрузке на основной гармонике.

Для подсчета реактивной мощности, как известно, целесообразнее использовать коэффициент

реактивной мощности $\operatorname{tg} \varphi$. Это объясняется тем, что при изменении значения $\cos \varphi$, например, от 0,95 до 0,96 (на 1 %) значения $\operatorname{tg} \varphi$ изменяются с 0,36 до 0,30 (на 20 %). Поэтому обычный метод расчета Q при больших значениях $\cos \varphi$ приводит к значительным ошибкам. Кроме того, значение $\cos \varphi$ порядка 0,95 считают уже достаточно близким к единице. При этом предполагается, что реактивная мощность практически не потребляется, а в действительности ее величина составляет около 40 % от активной.

В результате выполненных на кафедре в течение нескольких лет экспериментальных исследований накоплены массивы статистической информации, что позволяет выполнить системный анализ рассмотренных выше показателей применительно к двум основным системам тягового электроснабжения постоянного тока 3,3 кВ и переменного 27,5 кВ.

Для показателей качества электроэнергии в табл. 1 приведены значения, которые соответствуют 95 % интегральной вероятности, и результат их сравнения с нормируемыми значениями. Для анализа из всего набора исследуемых объектов отобраны тяговые подстанции с сопоставимыми параметрами системы внешнего электроснабжения. Результаты сравнения показывают, что количественные показатели качества электрической энергии, поставляемой потребителям, в системе тяги постоянного тока, за исключением уровня напряжения, вписываются в требования стандарта. В системе переменного тока ПКЭ не соответствуют установленным требованиям. При этом уровень напряжения на вводах тяговых подстанций и постоянного, и переменного тока, как правило, является завышенным.

Точность учета потребленной электроэнергии

На сегодняшний день ведется широкая научная дискуссия о влиянии высших гармоник на потери ЭЭ [10–13], что в полной мере относится и к системам тягового электроснабжения. Поэтому при

проведении сравнительного анализа систем электрической тяги необходимо принимать во внимание и обеспечение точности учета потребленной ЭЭ. Для повышения точности учета разработаны и эксплуатируются электронные счетчики с классами точности 2,0 и 1,0 или выше – 0,2S; 0,5S. Однако следует учитывать, что их погрешности нормируются только для номинальных условий эксплуатации и не учитывают изменения напряжения, нагрузки, частоты, несинусоидальность кривых тока и напряжения, колебания температур при эксплуатации и т. д. В результате действия различных факторов, не учтенных нормативами, в реальных условиях эксплуатации погрешности приборов многократно выходят за стандартные величины.

Необходимо также принимать во внимание, что большая часть точек коммерческого учета находится на первом и втором классе напряжения, где имеют место большие коэффициенты трансформации трансформаторов тока и напряжения, поэтому даже одно деление счетчика эквивалентно большему потреблению электроэнергии, стоимость которой постоянно растет. Железная дорога заинтересована в применении в точках раздела балансовой принадлежности электронных multifunctionальных счетчиков с высокой точностью и правильным алгоритмом расчета электроэнергии, что в условиях наличия нелинейности и несинусоидальности, которые имеют место в тяговом электроснабжении, не выполняется в реальных условиях. Особенно остро эта проблема стоит в системе электроснабжения переменного тока.

Некоторые результаты выполненных исследований на электрифицированном участке переменного тока приведены в табл. 2.

В результате выполненных экспериментов можно сделать вывод, что применение счетчиков 1 типа в условиях несимметричной нагрузки и несинусоидальности является более предпочтительным для применения на вводах 27 кВ, даже невзирая на завышенные показания расхода реактивной мощности. Применение конкретных типов счетчиков в

Таблица 1

Показатели качества потребления энергии в системах электрической тяги

Показатель	Присоединение	Нормируемое значение	Постоянный ток	Переменный ток
K_U	35 кВ	4 %	2,35 % (+)	5,84 % (–)
K_{2U}		2 %	0,82 % (+)	2,95 % (–)
ΔU		$\pm 5 \%, \pm 10 \%$	6,5 % (–)	5,4 % (–)
ΔU	3,3 кВ (=) 27,5 кВ (~)	-	11 %	6,93 %
K_I		-	19,8 %	30,5 %



Т а б л и ц а 2

Учет электроэнергии счетчиками разных производителей

Тип счетчика	Тяговая подстанция работает с включенными на ПСК КУ			Тяговая подстанция работает с выключенными на ПСК КУ		
	Актив, кВт·ч	Реактив, кВар·ч	tg φ	Актив, кВт·ч	Реактив, кВар·ч	tg φ
1	61996,000	79244,000	1,28	76516,000	200112,000	2,62
2	88800,800	51216,000	0,58	95141,200	162280,800	1,71
3	81823,148	40656,660	0,50	93936,788	161601,968	1,72
4	82051,200	48012,800	0,59	94261,200	169352,480	1,80
5	82717,800	49409,800	0,60	93911,400	169067,800	1,80

конкретных точках учета с известной характеристикой нагрузки дает возможность экономии средств на оплату потребленной электроэнергии, позволяет снизить расчетные потери в тяговых трансформаторах и на сборных шинах тяговой подстанции и минимизировать небаланс по тяговой подстанции. В реальных условиях это приводит к конфликтным ситуациям, когда поставщики ЭЭ используют «правильные» многофункциональные электронные счетчики в точках коммерческого учета электроэнергии в точках раздела балансовой принадлежности с учетом характера загрузки, что приводит к экономическим потерям железных дорог при расчетах за потребленную электроэнергию.

Таким образом, однотипные приборы учета ЭЭ при одних и тех же режимах работы могут рассчитывать разное количество потребленной энергии. При этом погрешность приборов учета с классом точности 0,5, в зависимости от коэффициента искажения синусоидальности кривой тока, при наличии нечетных гармоничных составляющих, кратных трем, может превышать 8 %. Достаточно интересным оказывается факт, что при несимметричном напряжении и при наличии четных гармоничных составляющих, в зависимости от коэффициента мощности, погрешность принимает как отрицательные, так и положительные значения от –10 % до +5 %.

Приведенные результаты исследований показывают, что при выборе типа коммерческих приборов учета для нелинейных нагрузок, в частности для тяговых подстанций постоянного и переменного тока, необходимо обращать внимание на результаты испытаний счетчиков при несоответствии качества электрической энергии действующим требованиям.

По результатам исследований установлено, что при измерении активной мощности основная относительная погрешность отвечает допустимым классом точности значениям, а при измерении реактивной мощности основная относительная погрешность отвечает допустимым классом точности значениям лишь для реактивной мощности первой

гармоники и при коэффициенте искажения формы тока не больше 25 %.

Цифровые системы учета можно построить для любого класса точности при соответствующем выборе элементной базы и алгоритмов обработки информации. Электронные приборы учета электрической энергии могут иметь несколько алгоритмов определения реактивной мощности, которые базируются на известных теоретических подходах к определению неактивных составляющих полной мощности.

В электрических цепях с синусоидальными электрическими величинами существуют четкие определения и единственная формула нахождения реактивной мощности. В цепях с несинусоидальными величинами, к которым относятся и системы тягового электроснабжения, вопросы определения реактивной мощности являются дискуссионными и неоднозначными [11].

Расчет реактивной мощности в системах электрической тяги

Во многих работах [12, 14] отмечается, что баланс мощностей в цепях с несинусоидальными величинами по классическому определению реактивной мощности отсутствует, что в полной мере относится и к системам электроснабжения электрического транспорта. Поэтому необходимо рассматривать баланс мощностей в системе тягового электроснабжения на основе новых концепций «реактивной» мощности Q с анализом количественных соотношений между составляющими полной мощности. На сегодняшний день количество подходов к определению Q достаточно велико и их применение имеет ограниченную область в зависимости от решаемой задачи. Наиболее часто используются две концепции: частотная и интегральная.

Одной из первых концепций «реактивной» мощности, которая решает вопрос небаланса, является концепция К. Будеану. Им предложено определять реактивную мощность в несинусоидальных цепях как суммарную реактивную мощность от-

дельных гармонических составляющих, определенных путем разложения кривых тока и напряжения в ряд Фурье, то есть

$$Q_B = \sum_i Q_i^{(k)} = \sum_{k=1}^N U^{(k)} I^{(k)} \sin(\psi_u - \psi_i). \quad (2)$$

Определение реактивной мощности в виде (2) не обеспечивает баланса мощностей $P^2 + Q_B^2 \neq S^2$, поэтому дополнительно вводится мощность искажения, которая определяется как небаланс между квадратом полной S и суммой квадратов активной P и реактивной Q_B мощностей

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q_B^2}. \quad (3)$$

Придерживаясь описанной концепции, для получения баланса энергий необходимо каждую из записанных за сутки осциллограмм тока и напряжения плеча питания тяговой подстанции разложить в ряд Фурье, определить мощности в эти моменты времени и проинтегрировать полученные значения мощностей во времени.

С. Фризе, выступая в качестве апологета концепции К. Будеану, настаивал на физической сущности понятия реактивной мощности, для чего необходимо применять две составляющие полной мощности: активную (эффективную) и пассивную (фиктивную). Определение этих мощностей основывается на разложении мгновенного тока на две составляющие, первая должна иметь форму прикладываемого мгновенного напряжения, а вторая – ортогональная ей

$$Q_F = U \cdot I_\delta = U \sqrt{I^2 - I_\delta^2}. \quad (4)$$

Таким образом, реактивная мощность Фризе показывает степень отклонения действующего значения тока от его минимальной возможной величины для данной передаваемой к нагрузке активной мощности и данного напряжения.

Результаты расчетов, выполненных по формулам (2–4) для тяговых подстанций постоянного и переменного тока, сведены в табл. 3.

Анализ полученных результатов показывает, что тяговые подстанции постоянного тока имеют

лучшие качественные показатели использования электрической энергии.

Выводы

1. Обеспечение скоростных и мощностных характеристик систем электрической тяги в условиях конкуренции с другими видами транспорта является одной из главных проблем, которые обусловлены низкими показателями эффективности преобразования электрической энергии.

2. Система электрификации переменного тока не в полной мере соответствует заявленным критериям энергоэффективности, поскольку допускает значительные искажения качества поставляемой электроэнергии сторонним потребителям и характеризуется значительным содержанием неактивных составляющих полной мощности.

3. Тяговые подстанции постоянного тока в меньшей степени оказывают влияние на ухудшение показателей качества поставляемой потребителям электрической энергии, но вместе с тем для повышения эффективности системы постоянного тока необходимо применение повышенного напряжения с использованием современных достижений силовой электроники и новых технологий.

4. При выборе типа коммерческих приборов учета для тяговых подстанций постоянного и переменного тока, как для нелинейных нагрузок, необходимо обращать внимание на результаты метрологических испытаний счетчиков при несоответствии качества электрической энергии действующим требованиям.

5. Поскольку система постоянного тока в целом имеет лучшие характеристики использования электрической энергии, нежели система переменного тока, необходимо учитывать факторы эффективности преобразования электроэнергии при сравнении и выборе системы электроснабжения для скоростного движения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сыченко В.Г. Электроснабжение скоростных и высокоскоростных магистралей // Українські залізниці, 2015. № 5-6. С. 32–39.

Т а б л и ц а 3

Составляющие мощности для тяговых подстанций

Составляющие полной мощности, %		Переменный ток		Постоянный ток	
		п/ст. III	п/ст. II	п/ст. В (6-п.)	п/ст. С (12-п.)
концепция Фризе	P^2	48,6	64,1	90,4	96,7
	Q_F^2	51,4	35,9	9,6	3,3
концепция Будеану	P^2	48,6	64,1	90,4	96,4
	Q_B^2	43,1	28,9	5,2	1,4
	D^2	8,3	7,0	4,4	2,3



2. Перспектива разработки системы электрической тяги постоянного тока повышенного напряжения 24 кВ для скоростной магистрали Москва-Екатеринбург / Б. А. Аржанников др. // Тренды. События. Рынки. 2012. №7. С. 48–50.
3. Курбасов А.С. Система электрической тяги XXI века // Железные дороги мира. 1999. № 4. С. 19–22.
4. О переходе с постоянного тока на переменный // Железные дороги мира. 2013. № 6. С. 68–71.
5. Котельников А.В. К вопросу о выборе системы тягового электроснабжения при организации регулярного скоростного сообщения на линии Санкт-Петербург – Москва // Токосъем и тяговое электроснабжение при высокоскоростном движении на постоянном токе : сб. научн. тр. ОАО ВНИИЖТ. М. : Интекст, 2010. С. 5–12.
6. Бадер М. П., Сыченко В.Г. Концепция обновления и перспективы технического развития систем тягового электроснабжения // Технічна електродинаміка. Темат. вип. Силова електроніка та енергоефективність, Ч. 2. 2009. С. 88–93.
7. Хананов В.В., Бурков А.Т., Барч Д.В. Нововведения и инновационные процессы в тяговом электроснабжении // Транспорт Российской Федерации. 2012. № 6. С. 34–39.
8. Назаров О.Н., Кирюшин Д.Е. Научное обеспечение разработки нормативной базы и технологических решений для высокоскоростного движения в России // Электрификация транспорту. 2014. № 7. С. 39–45.
9. Булатенко М. А. Экономический ущерб у участников рынка электроэнергии от наличия в электрических сетях высших гармоник напряжения и тока [Электронный ресурс] // Вестник ЮРГТУ (НПИ). 2015. № 1. с. 84–92. URL: http://vestnik-npi.info/upload/information_system_15/1/7/1/item_1711/information_items_property_4843.pdf (Дата обращения 27.11.2015).
10. Степанов В.М., Базыль И.М. Влияние высших гармоник в системах электроснабжения предприятия на потери электрической энергии [Электронный ресурс] // Изв. Тул. гос. ун-та. 2013. Вып. 12-2. С. 27–31. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-vysshih-garmonik-v-sistemah-elektrosnabzheniya-predpriyatiya-na-poteri-elektricheskoy-energii>. (Дата обращения 27.11.2015).
11. Сыченко В.Г., Саенко Ю. Л., Босый Д. А. Качество электрической энергии в тяговых сетях электрифицированных железных дорог. Д. : ПФ Стандарт-Сервис, 2015. 344 с.
12. Избранные вопросы несинусоидальных режимов в электрических сетях предприятий: монография / И.В. Жежеленко и др. М. : Энергоатомиздат, 2007. 294 с.
13. Боровиков В.С. Харлов Н. Н., Акимжанов Т.Б. О необходимости включения добавочных потерь от высших гармоник тока в технологические потери при передаче электрической энергии [Электронный ресурс] // Изв. Том. политехн. ун-та. 2013. Вып. 4. Т. 322. С. 91–93. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/o-neobkhodimosti-vklyucheniya-dobavochnyh-poter-ot-vysshih-garmonik-toka-v-tehnologicheskie-poteri-pri-pere-dache-elektricheskoy-energii> (Дата обращения 27.11.2015).
14. Баланс энергий в электрических цепях / В. Е.Тонкаль и др. Киев : Наук. думка, 1992. 312 с.

УДК 658.588.1

д. э. н., профессор, проректор по международным связям и дополнительному профессиональному образованию, Иркутский государственный университет путей сообщения, тел. 89025105461, e-mail: solskaya_i@irgups.ru

Разумилов Роман Михайлович,
аспирант, Иркутский государственный университет путей сообщения,
тел. 89642888606, e-mail: Razumilov.roman@mail.ru

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ КОНСОЛИДИРОВАННЫХ ДЕЙСТВИЙ КАК НАПРАВЛЕНИЕ ПРЕОДОЛЕНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ КРИЗИСНЫХ ЯВЛЕНИЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

I. Yu. Sol'skaya, R. M. Razumilov

SYSTEMATIC APPROACH TO THE ORGANIZATION OF THE CONSOLIDATED ACTIONS AS THE WAY TO OVERCOME THE CRISIS IMPACTS ON THE RAILWAY TRANSPORT

Аннотация. Существенное влияние на экономическое положение железнодорожного транспорта оказывает состояние его инфраструктуры. В условиях кризисных явлений при сокращении объема производства происходит существенное снижение доходной базы ОАО «Российские железные дороги». Для сохранения уровня рентабельности деятельности необходимы меры по снижению затрат ресурсов как основное направление стабилизации финансовой устойчивости и доходности деятельности. В статье представлен анализ факторов снижения затрат на объекты путевого комплекса ОАО «РЖД». Доли факторов в группе определены в результате статистической обработки данных интервьюирования руководителей и специалистов Восточно-Сибирской железной дороги в период внедрения ресурсосберегающего проекта. В статье обоснована необходимость реформирования системы планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания. Основным принципом преобразований ремонтно-эксплуатационного комплекса инфраструктуры должна стать консолидация усилий по ресурсосбережению во всех подразделениях и на линейных предприятиях, вовлеченных в процесс эксплуатации и ремонта техники.

Ключевые слова: ремонт по техническому состоянию, путевой комплекс, оценка технического состояния, система планово-предупредительного ремонта, реформирование.