

УДК 621.331: 621.311.4

А. А. МАТУСЕВИЧ

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА И ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ОБОРУДОВАНИЯ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

В условиях критичности технологических процессов и режимов работы, железных дорог в современных условиях эксплуатации необходимо повышение эксплуатационной надежности тяговых подстанций за счет совершенствования системы технического обслуживания и ремонта силового электрооборудования. Современные подходы совершенствования системы обслуживания касаются в основном методов контроля параметров, в процессе диагностирования технического состояния, и методов определения назначенного ресурса оборудования, а это возможно лишь при разработке современных моделей, которые позволят определить функцию наработки на отказ силового электрооборудования тяговых подстанций электрифицированных железных дорог с учетом его индивидуальных особенностей.

Ключевые слова: тяговая подстанция, ремонт, обслуживание, модель, матрица

Введение. Решения первоочередных задач, которые стоят перед электрифицированными железными дорогами, невозможно без обеспечения надежной работы тягового электроснабжения электрического транспорта, которое в свою очередь зависит от надежности функционирования силового электрооборудования тяговых подстанций (ТП). Поэтому в условиях критичности технологических процессов и режимов работы железных дорог в современных условиях эксплуатации необходимо повышение эксплуатационной надежности ТП за счет усовершенствования системы технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) оборудования ТП.

Совершенствование системы системы ТО и Р силового электрооборудования ТП, согласно требований нормативной технической документации, касается в основном методов контроля параметров в процессе диагностирования технического состояния и методов определения назначенного ресурса оборудования ТП, а это возможно лишь при разработке современных моделей, которые позволят определить функцию наработки на отказ силового электрооборудования ТП с учетом их индивидуальных особенностей. Однако, согласно существующих стандартов показатели системы технического обслуживания и ремонта позволяют оценивать только расходы (или общие расходы) времени, труда и средств на техническое обслуживание и ремонты а также коэффициент готовности (K_r) и коэффициент технического использования ($K_{ти}$) [1].

Анализ исследований. Анализ существующего многообразия подходов разработки современных методов совершенствования системы ТО и Р, позволяет сделать вывод, решение проблемы повышения качества системы достигается решением индивидуальных заданий повышения эксплуатационной надежности силового электрооборудования ТП в трех основных взаимосвязанных направлениях: техническом, экономическом и организационном [2,3]. Содержание этих направлений включает следующие направления: совершенствование организации управления ТО и Р; рациональная централизация обслуживания и ремонта и обоснования целесообразности мощности ремонтных подразделений; всестороннее совершенствование технологии обслуживания и ремонта; выбор оптимальной стратегии обслуживания и ремонта силового электрооборудования ТП. Однако для определения эффективности данного подхода необходимо разработать методику определения интегральной оценки ка-

чества системы ТО и Р. В настоящее время подобные показатели оценки качества системы ТО и Р отсутствуют [1].

Практически формирование методики для исследования разных систем дискретных параллельных асинхронных процессов может осуществляется на основе разных подходов. Наиболее распространенными являются системы и сети массового обслуживания а также такие модели и методы как стохастические автоматы, сети Мерлина, стохастические сети Петри и так далее. Однако в последнее время появились новые публикации решения данных проблем на основе матриц знаний [3, 4].

Изложение материала исследования. Для повышения качества системы ТО и Р ТП с помощью данного метода необходимо охватить все основные аспекты функционирования системы, а это возможно только при рассмотрении проблемы с разных сторон (объемное построение системы). Практическое задание совершенствования системы заключается в разработке модели которая на основе научно - методического аппарата позволит решать задание создания, использования и оценки эффективности системы ТО и Р ТП. Основную задачу модели является научное обеспечение процесса усовершенствования системы технического обслуживания оборудования ТП за счет правильной оценки эффективности решений и выбора рационального варианта технической реализации системы.

Согласно современных подходов [2, 3] система ТО и Р ТП должна быть ориентирована на решение:

- регулярного процесса повышения эксплуатационной надежности силового электрооборудования ТП на всех этапах жизненного цикла;
- осуществление оптимизации требований к ТО и Р и выбора эффективной стратегии обслуживания;
- повышение эксплуатационной надежности оборудования и выявлению потенциальных критических рисков эксплуатации и их оценка;
- внедрению процесно-ориентированного подхода диагностирования оборудования и определения ресурса с учетом эксплуатационных факторов;
- применение современных методов моделирования системы ТО и Р с целью непрерывного совершенствования системы (FMEA методология);
- повышение эффективности управления системы ТО и Р, уровня интеллектуализации и автоматизации системы;

© А. А. Матусевич. 2015

- обеспечение необходимого финансирования, материально - технического обеспечения ТО и Р;
- обеспечение качества выполнения работ ремонтными бригадами;
- контроля эффективности и качества ТО и Р ТП, и тому подобное.

При построении такой системы необходимо объединить все средства, методы и мероприятия, которые используются для повышения эксплуатационной

надежности оборудования ТП в единственный, целостный механизм повышения качества системы технического обслуживания и ремонта.

С целью решения выше рассмотренных задач можно предложить модель совершенствования и повышения качества системы ТО и Р силового электрооборудования ТП, которая отображена на рис. 1.

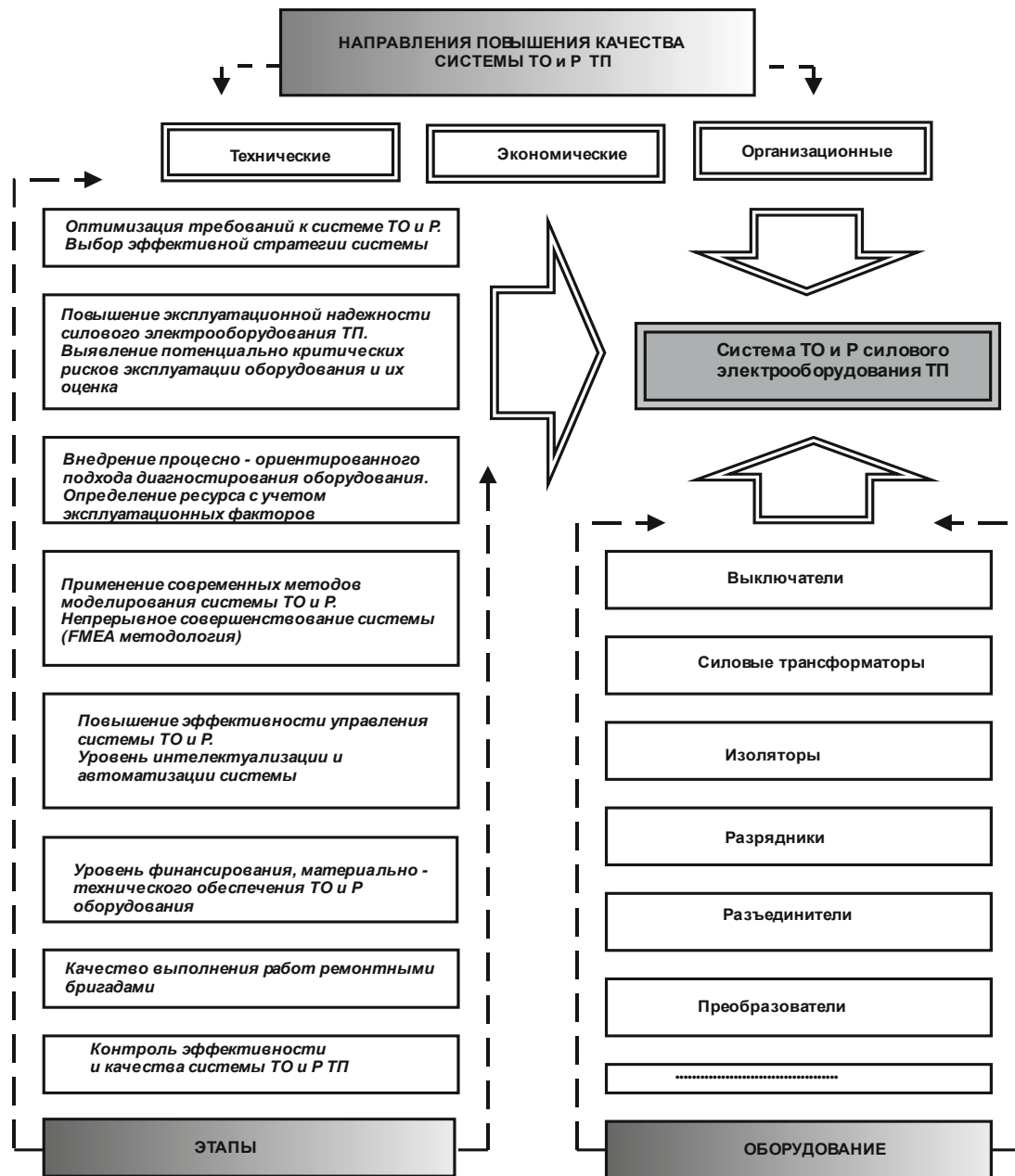


Рис. 1 – Модель совершенствования и повышения качества и эффективности системы ТО и Р силового электрооборудования ТП

Для решения основных задач предложенной модели система ТО и Р силового электрооборудования ТП должна владеть следующими свойствами:

- функционировать в условиях высокой неопределенности начальной информации;
- простота внедрения, универсальность, комплексность, практическая направленность, возможность наращивания.

Возможности предложенной модели должны позволять:

- оперативно реагировать на изменения условий функционирования ТП;
- контролировать состояние эксплуатации силового электрооборудования ТП в условиях неопределенности;

- установить взаимосвязь между качеством системы обслуживания и эксплуатационной надежностью силового электрооборудования;
- выбор оптимальной стратегии обслуживания оборудования ТП;
- применять методику оценки уровня качества системы обслуживания силового электрооборудования ТП, и тому подобное.

Решение отмеченных проблем дает возможность иметь самое полное представление о состоянии совершенствования и повышения качества системы технического обслуживания и ремонта и повышения эксплуатационной надежности силового электрооборудования ТП.

Выше указанное, позволяет выделить основные группы составляющих модели повышения качества системы ТО и Р ТП, это: *первая группа* - технические, экономические и организационные; *вторая группа* - силовое электрооборудование ТП которое нуждается в повышении эксплуатационной надежности; *третья группа* - этапы (последовательность) повышения эксплуатационной надежности силового электрооборудования ТП.

Рассмотрим взаимосвязь между группами составляющих модели повышения качества системы ТО и Р ТП.

Например, повышение эксплуатационной надежности "Силовых трансформаторов" необходимо рассматривать по всем направлениям усовершенствования системы ТО и Р ТП с целью повышения эксплуатационной надежности, а именно: *технические, экономические и организационные*.

Аналогично можно рассматривать остальные составляющие модели второй группы.

Следовательно, для формирования общего представления о конкретной системе ТО и Р необходимо ответить на минимальное количество $K = M_i \cdot N_j$ самых простых вопросов. Здесь M_i - количество составляющих первой группы, N_j - количество составляющих второй группы. В нашем случае $M_i = 3$, $N_j = n$, следовательно $K = 3 \cdot n$.

Однако, составляющие 1 и 2 группы необходимо реализовать в равной степени для каждого отдельно этапа совершенствования системы ТО и Р (с учетом третьей группы составляющих модели).

Таким образом, количество заданий для решения проблемы совершенствования системы ТО и Р ТП может быть определена из соотношения: $K = M_i \cdot N_j \cdot P_k$, где P_k - количество составляющих третьей группы. Следовательно при $M_i = P$, $N_j = n$, $P_k = m$: $K = 3 \cdot n \cdot m$.

Качественное выполнение общего количества заданий совершенствования системы ТО и Р ТП (рис. 1) можно оценить с помощью обобщенного показателя качества системы [3, 4, 5]. Для решения этой проблемы можно предложить метод определения действительного интегрального показателя качества системы ТО и Р ТП в виде матрицы оценки качества и

эффективности (рис. 2), с учетом всех составляющих системы (рис. 1).

В нашем случае общее количество элементов матрицы равно $K = 3 \cdot n \cdot m$.

Элементы матрицы имеют соответствующую нумерацию.

Нумерация(00X) - отвечает номерам составляющих первой группы. Нумерация (0X0) - отвечает номерам составляющих второй группы. Нумерация (X00) - отвечает номерам составляющих третьей группы.

Информация каждого элемента матрицы, например - (111), описывает взаимосвязь всех трех составляющих модели (рис. 1).

Вокруг вопросов совершенствования и повышения качества системы ТО и Р рассматривается путем анализа разных групп элементов матрицы в зависимости от поставленных целей и решаемых задач. Например, рассматривая элементы матрицы $113 \div P13$, $123 \div P23$, $133 \div P33$, $143 \div P43$, $1n3 \div Pn3$, можно отдельно оценить качество совершенствования системы по организационному направлению.

Рассматривая элементы $411 \div 4n3$ можно оценить качество мероприятий по применению современных методов моделирования системы ТО и Р и непрерывного совершенствования системы с применением ФМЕА методологии.

Рассматривая элементы $131 \div P33$ можно оценить уровень совершенствования системы обслуживания изоляторов по всем направлениям повышения качества ТО и Р. Аналогично можно дать оценку качества совершенствования системы обслуживания для другого силового электрооборудования ТП.

Для оценки совершенствования системы ТО и Р ТП в целом (повышение эксплуатационной надежности всех видов силового электрооборудования ТП по всем направлениям и этапам качества ТО и Р), необходимо рассматривать элементы $111 \div Pn3$.

Для сложных элементов могут создаются свои матрицы с соответствующими перечнями вопросов.

Для проведения экспертизы качества системы ТО и Р можно применять методы экспертных оценок - это методы организации работы со специалистами-экспертами и обработок выводов экспертов [6]. Результаты экспертных оценок выражаются в количественной и / или качественной форме с целью подготовки информации для принятия решений. Для проведения экспертизы создают экспертную группу, которая организует по поручению руководства дистанции электроснабжения деятельность экспертов с оценки качества совершенствования системы ТО и Р. Для упрощения процедуры сбора и обработки результатов экспертных оценок целесообразно автоматизировать этот процесс с помощью средств взаимодействия "ЭКСПЕРТ-ЭВМ".

С целью обработки результатов экспертных оценок и определения результирующих показателей повышения качества системы ТО и Р можно применить аддитивный, мультипликативный или максиминный результирующие показатели [7-10].

| <<< <i>Этапы</i> | <i>Оборудование ТП >>></i> | 010 | | | 020 | | | 030 | | | 040 | | | 0n0 | | |
|------------------|---|----------------------------|---------------|---------------|------------------------|---------------|---------------|-------------|---------------|---------------|-------------|---------------|---------------|-------------|---------------|---------------|
| | | Высоковольтные выключатели | | | Силовые трансформаторы | | | Изоляторы | | | Разрядники | | | | | |
| | <i>Направления повышения качества ТО и Р >>></i> | Технические | Экономические | Организацион- | Технические | Экономические | Организацион- | Технические | Экономические | Организацион- | Технические | Экономические | Организацион- | Технические | Экономические | Организацион- |
| | | 011 | 012 | 013 | 021 | 022 | 023 | 031 | 032 | 033 | 041 | 042 | 043 | 0n1 | 0n2 | 0n3 |
| 100 | Оптимизация требований к системе ТО и Р. Выбор эффективной стратегии системы | 111 | 112 | 113 | 121 | 122 | 123 | 131 | 132 | 133 | 141 | 142 | 143 | 1n1 | 1n2 | 1n3 |
| 200 | Повышение эксплуатационной надежности силового электрооборудования ТП | 211 | 212 | 213 | 221 | 222 | 223 | 231 | 232 | 233 | 241 | 242 | 243 | 2n1 | 2n2 | 2n3 |
| 300 | Внедрение процесно – ориентированного подхода диагностирования оборудования. Определение ресурса с учетом эксплуатационных факторов | 311 | 312 | 313 | 321 | 322 | 323 | 331 | 332 | 333 | 341 | 342 | 343 | 3n1 | 3n2 | 3n3 |
| 400 | Применение современных методов моделирования системы ТО и Р. Непрерывное совершенствование системы (FMEA методология) | 411 | 412 | 413 | 421 | 422 | 423 | 431 | 432 | 433 | 441 | 442 | 443 | 4n1 | 4n2 | 4n3 |
| 500 | Повышение эффективности управления системы ТО и Р. Уровень интеллектуализации и автоматизации системы | 511 | 512 | 513 | 521 | 522 | 523 | 531 | 532 | 533 | 541 | 542 | 543 | 5n1 | 5n2 | 5n3 |
| 600 | Уровень финансирования, материально - технического обеспечения ТО и Р силового электрооборудования ТП | 611 | 612 | 613 | 621 | 622 | 623 | 631 | 632 | 633 | 641 | 642 | 643 | 6n1 | 6n2 | 6n3 |
| 700 | Качество выполнения работ ремонтными бригадами | 711 | 712 | 713 | 721 | 722 | 723 | 731 | 732 | 733 | 741 | 742 | 743 | 7n1 | 7n2 | 7n3 |
| 800 | Контроль эффективности и качества системы ТО и Р ТП | 811 | 812 | 813 | 821 | 822 | 823 | 831 | 832 | 833 | 841 | 842 | 843 | 8n1 | 8n2 | 8n3 |
| PN0 | | P11 | P12 | P13 | P21 | P22 | P23 | P31 | P32 | P33 | P41 | P42 | P43 | Pn1 | Pn2 | Pn3 |

Рис. 2 – Матрица оценки качества и эффективности системы ТО и Р ТП

Аддитивный показатель является суммой взвешенных нормируемых частных показателей повышения качества системы ТО и Р (Q_{α}) и имеет вид

$$Q_{\alpha} = \sum_{i=1}^m \alpha_i q_i, \tag{1}$$

где Q_{α} - обобщенный показатель повышения качества системы ТО и Р ($0 \leq Q_{\alpha} \leq 1$); q_i - значение i -го показателя; α_i - взвешивающий коэффициент i -го показателя. Чем больше его величина, тем больше он влияет на повышение надежности функционирования системы; $\sum_{i=1}^m \alpha_i = 1$; $\alpha_i > 0$; $i = 1, m$.

Мультипликативный показатель образуется путем перемножения частных показателей из учетом их взвешивающих коэффициентов и имеет вид

$$Q_{\alpha} = \prod_i q_i^{\alpha_i}, \tag{2}$$

где q_i и α_i имеет тот же смысл, что и в аддитивном показателе.

Максиминный показатель. В ряде случаев вид результирующей целевой функции достаточно трудно обосновать или применить. В подобных случаях возможным простым путем решения задачи является применение максиминного показателя. В этом случае

правило выбора оптимальной системы повышения качества ТО и Р ТП (S_o) имеет следующий вид

$$\max(S \in M) \min(1 \leq i \leq m) \{q_1^{a_i}(S), \dots, q_i^{a_i}(S), \dots, q_m^{a_m}(S)\}. \quad (3)$$

Максиминный показатель повышения качества системы ТО и Р обеспечивает наилучшее (больше всего) значение наихудшего (наименьшего) из частных показателей качества.

Выводы. Разработанная модель и метод оценки качества системы ТО и Р ТП позволяет: оперативно реагировать на изменения условий функционирования силового электрооборудования ТП; определять наиболее эффективные стратегии ТО и Р электрооборудования ТП в условиях неопределенности функционирования дистанции электроснабжения; задавать (имитировать) разные условия эксплуатации оборудования ТП для выбора оптимального варианта обслуживания и достижения необходимого уровня качества системы ТО и Р; контролировать состояние совершенствования системы; определять уровень действительного интегрального показателя качества системы ТО и Р в целом или отдельно по каждому виду оборудования, направлению и этапу совершенствования системы.

Список литературы: 1. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения [Текст]: ГОСТ 18322-78 – 1978. 2. Андришин, А. В. Основы концепции комплексного подхода к системе технического обслуживания и ремонта на электростанции [Текст] / А. В. Андришин, Д. А. Баршак, Ю. Л. Гуськов, Н. И. Тимошенко. – Моск. Энерг. ин-т. – 2000. Деп. в ВИНТИ, 06.04.00, No 913-V00. 3. Матусевич, А. А. Совершенствование методологии системы технического обслуживания и ремонта тяговых подстанций [Текст]: монография / А. А. Матусевич // Днепропетровск: Днепропетр. нац. ун-т железнодорожного трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2015. – 295 с. 4. Домарев, В. В. Безопасность информационных технологий [Текст]: учебник / В. В. Домарев – М.: DiaSoft, 2004. – 975 с. 5. Street, I. M. Utilizing the Nanticoke generating system life management unit investment planning system [Text] / I. M. Street, D. J. Keüler // Proc. Amer. Power Conf.-Chicago (Ill.), 1994. – P. 270–276. 6. Матусевич, А. А. Методика проведения экспертизы оценки надежности функционирования системы автоматизированного управления тягового электроснабжения электрического транспорта [Текст] / А. А. Матусевич // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. – 2009. – No28. – С. 37–39. 7. Матусевич, А. А. Методы повышения надежно-

сти функционирования системы управления тягового электроснабжения электрического транспорта на основе экспертной информации [Текст] / А. А. Матусевич // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. – 2009. – No26. – С. 63–66. 8. Матусевич, А. А. Современные подходы технического обслуживания и ремонта оборудования тяговых подстанций электрифицированных железных дорог на основе SMART – технологий [Текст] / А. А. Матусевич // Наука и прогресс. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. – 2014. – No 4 (52). – С. 75–82. 9. Матусевич, А. А. Построение модели системы защиты информационно - управляющих телемеханических комплексов электроснабжения железных дорог [Текст] / А. А. Матусевич // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. – 2007. – No 14. – С. 59–63. 10. Попков, В. И. Проблемы диагностики и прогнозирования надежности энергетического оборудования [Текст] / В. И. Попков, К. С. Демирчян // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1979. – No 6.

Bibliography (transliterated): 1. Sistema texnicheskogo obsluzhivaniya i remonta texniki. (1978). Terminy i opredeleniya: GOST 18322-78. 2. Andryushin, A. B., Barshak, D. A., Guskov, Yu. L., Timoshenko, N. I. (2000). Osnovy koncepcii kompleksnogo podxoda k si-steme texnicheskogo obsluzhivaniya i remonta na elektrostancii. Moskva. Energ.in-t. Dep v VINITI, 06.04.00, No 913-V00. 3. Matusevich, A. A. (2015). Sovershenstvovanie metodologii sistemy texnicheskogo obsluzhivaniya i remonta tyagovykh podstancij: monografiya. Dnepropetrovsk: Dnepropetr. nac. un-t zheleznodorozhnog transp. im. akad. V. Lazaryana, 295. 4. Domarev, V. V. (2004). Bezopasnost informacionnyx texnologij [Tekst]: uchebnik. Moskva: DiaSoft, 975. 5. Street, I. M., Keüler, D. J. (1994). Utilizing the Nanticoke generating system life management unit investment planning system. Proc. Amer. Power Conf.-Chicago (Ill.), 270–276. 6. Matusevich, A. A. (2009). Metodika provedeniya ekspertizy ocenki nadezhnosti funkcionirovaniya sistemy avtomatizirovannogo upravleniya tyagovogo elektricheskogo transporta. Vestnik Dnepropetrovskogo nacionalnogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta, No28, 37–39. 7. Matusevich, A. A. (2009). Metody povysheniya nadezhnosti funkcionirovaniya sistemy upravleniya tyagovogo elektricheskogo transporta na osnove ekspertnoj informacii. Vestnik Dnepropetrovskogo nacionalnogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta, No 26, 63–66. 8. Matusevich, A. A. (2014). Sovremennye podxody texnicheskogo obsluzhivaniya i remonta oborudovaniya tyagovykh podstancij elektrificirovannyx zheleznyx dorog na osnove SMART –texnologij. Nauka i progress. Vestnik Dnepropetrovskogo nacionalnogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta, No 4 (52), 75–82. 9. Matusevich, A. A. (2007). Postroenie modeli sistemy zashhity informacii-onno - upravlyayushhix telemexanicheskix kompleksov elektrosnabzheniya zheleznyx dorog. Vestnik Dnepropetrovskogo nacionalnogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta, No 14, 59–63. 10. Popkov, V. I., Demirchyan, K. S. (1979). Problemy diagnostiki i prognozirovaniya nadezhnosti energeticheskogo oborudovaniya. Izv. AN SSSR. Energetika i transport, No 6.

Поступила (received) 22.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Матусевич Александр Александрович – кандидат технических наук, доцент, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. акад. В. Лазаряна; кафедра «Электроснабжение железных дорог», ул. акад. Щорса, 2, г. Днепропетровск, Украина, 49010; e-mail: alm0452@meta.ua.

Матусевич Олександр Олександрович – кандидат технічних наук, доцент, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна; кафедра «Електропостачання залізниць», вул. акад. Лазаряна, 2, м. Дніпропетровськ, Україна, 49010; e-mail: alm0452@meta.ua.

Matusevich Alexander – PhD, Associate Professor, National University of Dnipropetrovsk railway transport them. Acad. V. Lazaryan; Department of "Electricity railways", st. Acad. Lazaryan 2, m. Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010; e-mail: alm0452@meta.ua.