

12. M a r c h e v s k y, I. K. (2009) *Matematicheskoe Modelirovanie Obtekaniiia Profilia i Issledovanie Ego Ustoichivosti v Potoke po Liapunovu. Dis. Kand. Fiz.-Mat. Nauk* [Mathematical Modeling of Profile Flow And Investigation of its Stability in Flow According to Lyapunov Method. Dissertation of Ph.D. of Physical and Mathematical Sciences]. Moscow. 119 p. (in Russian).
13. V a n k o, V. I., Marchevsky, I. K., & Shcheglov, G. A. (2011) Numerical-Analytical Method of Investigation for Stability of Profile's Equilibrium in Flow. *Vestnik Moskovskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. N. E. Baumana. Ser. Estestvennye Nauki* [Vestnik of Bauman Moscow State Technical University. Natural Sciences], Special edition "Applied Mathematics", 3–10 (in Russian).
14. B u c h i n s k y, V. E. (1966) *Atlas of Ice-Coved Wires*. Leningrad, Gidrometeoizdat. 114 p. (in Russian).
15. V i n o g r a d o v, A. A. (1985) *Vibration of Overhead Wires Under Wind Influence Air*. Moscow, Electrocetstroyproekt. 195 p. (in Russian).
16. I v a n o v a, O. A. (2013) *Matematicheskoe Modelirovanie Aerouprugikh Kolebanii Provoda Linii Elektroperedachi. Dis. Kand. Fiz.-Mat. Nauk* [Mathematical Simulation of Aeroelastic Vibrations of Transmission Wire-Lines. Dissertation of Ph.D. of Physical and Mathematical Sciences]. Moscow. 142 p. (in Russian).
17. S t r e l u k, M. I., Sergey, I. I., & Votyakov, A. G. (1991) Numerical Calculation Method of Air-Lines Dancing Under Over-High Voltage. *Izvestiia Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii – Energetika* [Proceedings of the Higher Education Institutions and Power Engineering Associations – Power Engineering], 6, 8–12 (in Russian).
18. S e r g e y, I. I., & Vinogradov, A. A. (1998) Numerical Modeling of Operational Statistic and Dynamic Aerial-Wires and Cables Regimes. *Elektricheskie Stantsii* [Electric Power Stations], 1, 41–49 (in Russian).
19. P u s t i l n i k o v, L. D., & Shkaptsov, V. A. (1991) Aerodynamic Transient Vibrations of Transmission Overhead Wire-Lines with Ice Coverings. *Izvestiia Akademii Nauk SSSR. Energetika i Transport* [Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR. Energy and Transport], 2, 103–109 (in Russian).

Представлена кафедрой
прикладной математики

Поступила 03.03.2014

УДК 621.019

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ ПАРКА ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

**Докт. техн. наук, проф. ФАРХАДЗАДЕ Э. М.,
канд. техн. наук, доц. МУРАДАЛИЕВ А. З., канд. техн. наук РАФИЕВА Т. К.,
асп. АБДУЛЛАЕВА С. А.**

*Азербайджанский научно-исследовательский
и проектно-изыскательский институт энергетики*

E-mail: fem1939@rambler.ru

Выключатели относятся к перечню оборудования энергосистем, надежность которых оказывает существенное влияние на надежность электроустановок. В частности, выключатели определяют структурную надежность схем распределительных устройств электростанций и сетевых подстанций. Отказ в отключении выключателем тока короткого замыкания с последующим отказом устройства резервирования отказов выключателей или защиты дальнего резервирования нередко приводит к системной аварии.

В условиях систематического увеличения эксплуатационных затрат на техническое обслуживание и ремонт масляных и воздушных выключателей проблема повышения их

надежности и сокращения расходов на эксплуатацию приобретает большую актуальность. Одним из основных направлений решения этой проблемы является совершенствование методов диагностического контроля и организации ремонтов по техническому состоянию. Однако это требует привлечения большого количества статистической информации о паспортных данных и условиях эксплуатации выключателей, об их отказах, испытаниях и ремонтах, разработки компьютерных технологий и специализированных автоматизированных информационных систем (АИС).

В отделе «Надежность энергетического оборудования» АЗНИПИИ энергетики разработана новая АИС с логотипом АИСВ. Отличительными особенностями АИСВ являются:

- обеспечение безопасности и безошибочности базы данных;
- проведение периодического контроля соответствия выключателей условиям эксплуатации;
- проведение оценки показателей индивидуальной надежности и характеристик их изменения для заданного сочетания разновидностей признаков;
- обеспечение не только информационной, но и методической поддержки персонала, ответственного за контроль технического состояния выключателей, как путем рекомендации результата решения эксплуатационной задачи, так и представлением возможности уточнения соответствия принимаемого решения современным правилам и методическим указаниям.

Ключевые слова: паспорт выключателя, условия эксплуатации, разновидности признаков, компьютерные технологии.

Ил. 9. Библиогр.: 10 назв.

AUTOMATED ANALYSIS OF BREAKERS

**FARHADZADE E. M., MURADALIEV A. Z.,
RAFIEVA T. K., ABDULLAEVA S. A.**

Azerbaijan Research, Design and Survey Institute of Energy

Breakers relate to Electric Power Systems' equipment, the reliability of which influence, to a great extent, on reliability of Power Plants. In particular, the breakers determine structural reliability of switchgear circuit of Power Stations and network substations. Failure in short-circuit switching off by breaker with further failure of reservation unit or system of long-distance protection lead quite often to system emergency.

The problem of breakers' reliability improvement and the reduction of maintenance expenses is becoming ever more urgent in conditions of systematic increasing of maintenance cost and repair expenses of oil circuit and air-break circuit breakers. The main direction of this problem solution is the improvement of diagnostic control methods and organization of on-condition maintenance. But this demands to use a great amount of statistic information about nameplate data of breakers and their operating conditions, about their failures, testing and repairing, advanced developments (software) of computer technologies and specific automated information system (AIS).

The new AIS with AISV logo was developed at the department: "Reliability of power equipment" of AzRDSI of Energy. The main features of AISV are:

- to provide the security and data base accuracy;
- to carry out systematic control of breakers conformity with operating conditions;
- to make the estimation of individual reliability's value and characteristics of its changing for given combination of characteristics variety;
- to provide personnel, who is responsible for technical maintenance of breakers, not only with information but also with methodological support, including recommendations for the given problem solving and advanced methods for its realization.

Keywords: nameplate data of breakers, operating conditions, variety of characteristics, computer technologies.

Fig. 9. Ref.: 10 titles.

Введение. Непременными условиями обеспечения надежности высоковольтных выключателей энергосистемы являются [1]:

- наличие на предприятиях сведений о паспортных данных и об условиях эксплуатации;
- систематизация этих сведений и возможность оперативного анализа.

Систематизация осуществляется в виде таблицы, строки которой характеризуют перечень выключателей, а в столбцах указаны паспортные и эксплуатационные данные. Эти данные в большинстве своем постоянны и изменяются при замене выключателей в целом или отдельных его узлов. Основным в таком условии является возможность оперативного анализа парка выключателей. Поскольку на предприятиях число выключателей измеряется обычно в сотнях, в управлениях по выработке и передаче электроэнергии – в тысячах, а в энергосистеме – в десятках тысяч единиц, то ручная обработка информации даже на отдельных предприятиях громоздка, трудоемка, приводит к субъективным ошибкам, требует значительного времени для исполнения [2–5]. Одним словом – ручной анализ неоперативен и существенно ограничивает эффективность контроля технического состояния выключателей.

Компьютерная технология. Следует различать две возможности компьютерного анализа парка выключателей. Первая из них предполагает в качестве исходных данных ввод разновидностей признаков (РП) группирования данных. По этим РП можно получить число и перечень выключателей для всех возможных сочетаний РП. Составить необходимые сочетания теоретически несложно. В реальных условиях это вызывает определенные трудности. Более удобной оказалась возможность решения типовых задач с группированием информации по заданным РП. Фрагменты меню разработанной авторами автоматизированной информационной системы оценки технического состояния выключателей приведены на рис. 1–4 [6].



Рис. 1

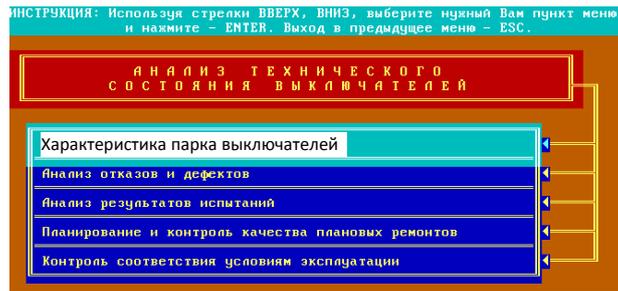


Рис. 2

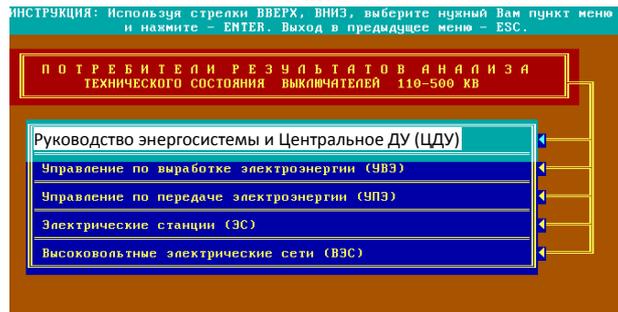


Рис. 3

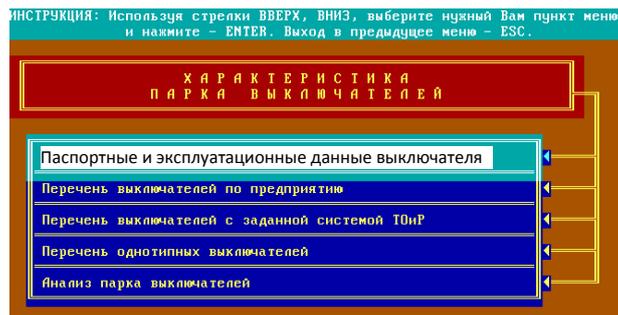


Рис. 4

Укрупненная структурная схема АИС-В приведена на рис. 1. Выделены база данных, блок оценки технического состояния и блок нормативно-технической документации. Перечень основных направлений анализа технического состояния выключателей показан на рис. 2. Объем проводимого анализа определяется потребителем этих сведений. Пять групп потребителей выделены на рис. 3: отдельные предприятия энергосистемы (электростанции и электрические сети); два управления, утверждающих систему технического обслуживания и ремонта (ТОиР); руководство энергосистемы, включая Центральное диспетчерское управление. Основные разновидности анализа парка выключателей энергосистемы приводятся на рис. 4.

Чтобы получить информацию по основным паспортным и эксплуатационным данным любого из выключателей энергосистемы, достаточно ввести с помощью встроенного в систему классификатора наименование подстанции (классификатор исключает ошибку при занесении наименования) и диспетчерский номер выключателя. Если диспетчерский номер неизвестен и подается команда на выполнение задания, то на экран монитора выводится информация о паспортных данных и об условиях эксплуатации всех выключателей подстанции. Путем перелистывания находится иско-

мый выключатель. Сведения о конкретном выключателе необходимы при восстановлении повреждения, определении предельно допустимых значений измеренных показателей при испытаниях, при планировании ремонтов, оценке величины остаточного ресурса и в целом ряде других случаев [7, 8]. Основные паспортные и эксплуатационные данные выключателей приведены на рис. 5.

Данные, представленные на рис. 5, выбраны не случайно. Это признаки, определяющие индивидуальность конструктивного исполнения и условий эксплуатации, предназначенные для классификации статистических данных по заданному РП.

ПАСПОРТНЫЕ ДАННЫЕ	
Тип выключателя: У-220	Номинальное напряжение: 220 кВ
Год изготовления: 1970	Номинальный ток: 2000 А
Нормативный срок службы:	Дугогасительная среда: масло
Завод-изготовитель:	Исполнение: Масл. баковые
Система ТОНР: Принята в СНГ	Тип привода: ГМВУ/0-15-110/1000 У1

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ	
Наименование предприятия: Сумгантская ВВЭС	Место установки: Электросеть
Наименование подстанции: Яшма 330/220/110кВ.	Год демонтажа:
Диспетчерское обозначение: 1	Район грозозащиты:
Год ввода в эксплуатацию: 1970	Район загрязнения:
Схема присоединения:	Кратность АПВ:
- начало: СШ1	
- конец: АТС-1	
Назначение: Секционный	
Тип РУ:	
Последствия отказа:	

Рис. 5

Для предприятий (электрических станций и сетей) в соответствии с рис. 6 данные могут быть представлены в табличной форме:

- сведения о всех установленных выключателях;
- перечень выключателей с заданной дугогасительной средой (масляных, воздушных, элегазовых) и, при желании, с классификацией выключателей по конструктивному исполнению (баковые, колонковые, маломасляные, с воздушнонаполненным отделителем и др.) и назначению (линейные, блочные, междушинные);

ИНСТРУКЦИЯ: Используя стрелки ВВЕРХ, ВНИЗ, выберите нужный Вам пункт меню и нажмите - ENTER. Выход в предыдущее меню - ESC.

ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ПРЕДПРИЯТИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

- Перечень установленных выключателей
- Перечень выключателей по виду дугогасительной среды
- Перечень выключателей по величине номин. напряжения
- Перечень линейных выключателей по исполнению АПВ
- Перечень выключателей сроком службы выше заданного
- Перечень выключателей по типу РУ

Рис. 6

- перечень всех выключателей с заданным классом напряжения и с возможностью дополнительной классификации по конструктивному исполнению и назначению;

- перечень линейных выключателей. Повышение надежности работы этих выключателей на практике достигается переходом от двухкратного АПВ к однократному, эффективным контролем коммутационного ресурса, снижением термических и динамических воздействий токов короткого замыкания [9];

- перечень выключателей, срок службы которых превышает нормативное значение. Повышение надежности их работы требует совершенствования системы ТОиР, учета их старения. В частности, эти выключатели требуют проведения полного объема испытаний не только после среднего, но и до планового ремонта. Первое испытание определяет объем планового ремонта, а второе – его качество. Фрагмент такой таблицы показан на рис. 7;

ИНСТРУКЦИЯ: Выход в предыдущее меню – ESC.

ПЕРЕЧЕНЬ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ 110кв. И ВЫШЕ УСТАНОВЛЕННЫХ НА ПОДСТАНЦИЯХ
 ***** ВВЭС АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ
 СРОК СЛУЖБЫ КОТОРЫХ ПРЕВЫШАЕТ 25 ЛЕТ Дата расчета 22.05.2013 г. АЗНИПИИЗ

Наименование подстанции	Ном.напр Ном. ток	Тип выключат. Завод-изготов.	Дисп.об Год вв.	Присоединения	Срок службы
Яшма 330/220/110к	330 кв 2000 А	ВВ-330Б	1 1970	1.СШ1 2.АТ2	43

Рис. 7

- перечень выключателей, установленных в закрытых распределительных устройствах.

Поскольку ряд мероприятий по обеспечению надежности выключателей проводится централизованно соответствующим отделом Управления по выработке и передаче электроэнергии, оказываются необходимыми:

- перечень выключателей с заданной системой ТОиР (рис. 4). В основном здесь имеется в виду возможное различие объема и норм испытания выключателей в зависимости от заводов-изготовителей. Увеличение числа высоковольтных выключателей, изготовленных за рубежом, обуславливает целесообразность совершенствования системы контроля соответствия результатов испытания установленным в принятой системе ТОиР нормативным значениям;

- перечень однотипных выключателей. Сведения о техническом состоянии этих выключателей, в частности результаты их испытания, позволяют повысить эффективность решений о соответствии предъявляемым требованиям, например согласно [10]. Требуется во всех случаях сопоставить результаты измерений диагностических показателей для каждой фазы выключателя с результатами измерений на других фазах и на однотипных выключателях. А оценка показателей индивидуальной надежности прежде всего основывается на сведениях об отказах однотипных выключателей;

- число однотипных выключателей, срок службы которых превышает нормативное значение, позволяет определить число резервных узлов и деталей, которые рекомендуются для замены и предотвращения отказа.

Наряду с перечнем выключателей, важную роль играют данные по их числу, которые могут быть получены, если подать команду на соответствующий блок (рис. 4). Фрагмент такого анализа приведен на рис. 8.

ИНСТРУКЦИЯ: Для просмотра графической иллюстрации – ENTER.
 Выход в предыдущее меню – ESC.
АНАЛИЗ ПАРКА ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ 110кв. И ВЫШЕ УСТАНОВЛЕННЫХ НА ПОДСТАНЦИЯХ
 ***** ВВЭС АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

1. Общее число выключателей:		20
2. Число выключателей с номинальным напряжением:		
110кв.	13	(65 %)
220кв.	3	(15 %)
330–500кв.	4	(20 %)
3. Число выключателей по месту установки:		
трансформаторных	6	(30 %)
линейных	10	(50 %)
швиносоединительных	2	(10 %)
обходных	2	(10 %)
блочных	0	(0 %)
4. Число выключателей со сроком службы:		
менее 12 лет	3	(15 %)
от 12 до 24 лет	3	(15 %)
от 24 до 36 лет	5	(25 %)
более 36 лет	9	(45 %)
5. Число выключателей по дугогасительной среде:		
масляных	9	(45 %)
воздушных	8	(40 %)
элегазовых	3	(15 %)

Дата расчета
22.05.2013 г.

Рис. 8

Табличная форма результатов анализа сопровождается предложением отразить результаты в графической форме. Некоторые фрагменты такого представления данных иллюстрируются на рис. 9.

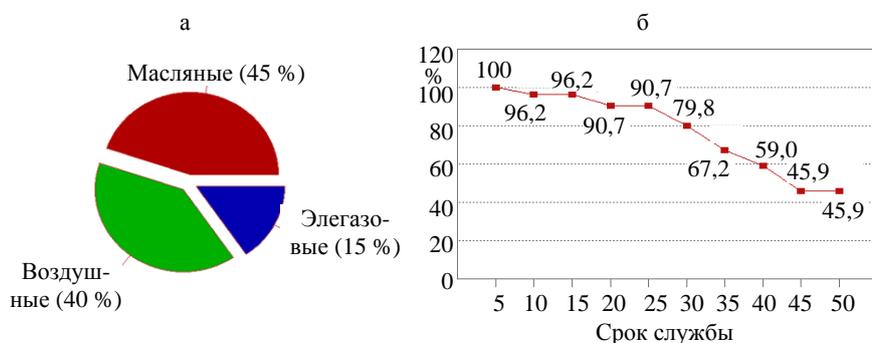


Рис. 9. Изменение относительного числа выключателей:

а – по виду дугогасительной среды; б – в зависимости от срока службы

ВЫВОДЫ

1. Автоматизированная система анализа парка высоковольтных выключателей энергосистемы является неременной составляющей автоматизированной информационной системы оценки технического состояния высоковольтных выключателей.

2. Автоматизированный анализ парка выключателей снимает громоздкость и трудоемкость ручного анализа данных, обеспечивает безошибочность и оперативность решения эксплуатационных задач, оперативность информационной поддержки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дьяков, А. Ф. Современное состояние электроэнергетики России и факторы снижения надежности электроснабжения / А. Ф. Дьяков, Я. Ш. Исамухамедов // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. – Баку, 2013. – Вып. 63: Проблемы надежности систем энергетики в рыночных условиях. – 562 с.

2. Рафиева, Т. К. Автоматизированный контроль технического состояния выключателей распределительных устройств энергосистемы / Т. К. Рафиева, С. А. Абдуллаева // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. – Баку, 2013. – Вып. 63: Проблемы надежности систем энергетики в рыночных условиях. – С. 506–513.

3. И г н а т ь е в, Е. Б. Оценка состояния электрооборудования на основе программного комплекса «Диагностика+» в режиме on-line / Е. Б. Игнатъев, Е. Ю. Комков, Г. В. Попов // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2006. – № 9. – С. 32–37.
4. С т р у к т у р а экспертно-диагностической и информационной системы оценки состояния высоковольтного оборудования / И. В. Давиденко [и др.] // Электрические станции. – 1997. – № 6. – С. 25–27.
5. О О О «ЭТЛ-СЕРВИС»: разработка информационных систем, 2000–2006 гг. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.etl-service.com.ua/info>. – Дата доступа 05.02.2014.
6. Ф а р х а д з а д е, Э. М. Автоматизированный контроль технического состояния выключателей распределительных устройств энергосистемы / Э. М. Фархадзаде // Сб. научных трудов АЗНИПИИ энергетики, 2013.
7. Н а з а р ы ч е в, А. Н. Методика оценки фактического ресурса электрооборудования с учетом воздействия эксплуатационных факторов / А. Н. Назарычев, Д. А. Андреев // Повышение эффективности работы энергосистем: труды ИГЭУ. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – Вып. 6. – С. 288–306.
8. Н а з а р ы ч е в, А. Н. Основные принципы системы технического обслуживания и ремонта электрооборудования по техническому состоянию / А. Н. Назарычев // Надежность либерализованных систем энергетики / под ред. Н. И. Воропая, А. Д. Тевяшева. – Новосибирск: Наука, 2004. – С. 173–189.
9. Д а в и д е н к о, И. В. Разработка системы многоаспектной оценки технического состояния и обслуживания высоковольтного маслонаполненного электрооборудования: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.14.12 / И. В. Давиденко. – Екатеринбург, 2009. – 45 с.
10. Объем и нормы испытаний электрооборудования: РД 34.45-51.300-97: утв. Департаментом науки и техники РАО «ЕЭС России» 8.05.97 г. / Российское акционерное общество энергетики и электрификации «ЕЭС России»; под общ. ред. Б. А. Алексеева, Ф. Л. Когана, Л. Г. Мамиконянца. – 6-е изд., с изм. и доп. по состоянию на 01.03.2001. – М.: ЭНАС, 2012. – 255 с.

R E F E R E N C E S

1. D i a k o v, A. F., & Isamuhamedov, Ya. Sh. (2013) Modern State of Electric Power Engineering of Russia and Downgrading Factors of Power Supply. *Methodical Problems of Investigation of Large Energy Systems Reliability. Vyp. 63: Reliability Problems of Power Systems Under Market Conditions*. Baku. 562 p. (in Russian).
2. R a f i e v a, T. K., & Abdullaeva, S. A. (2013) Automated Control of Technical Maintenance of Breakers of Distributed Devices of Power System. *Methodical Problems of Investigation of Large Energy Systems Reliability. Vyp. 63: Reliability Problems of Power Systems Under Market Conditions*. Baku, 506–513 (in Russian).
3. I g n a t i e v, E. B., Komkov, E. Yu., & Popov, G. V. (2006) Estimation of Electrical Equipment State on the Base of Program Complex “Diagnostics +” in Regime On-Line. *Elektrooborudovanie: Eksploatatsiia i Remont* [Electrical Equipment: Maintenance and Repair], 9, 32–37 (in Russian).
4. D a v i d e n k o, I. V., Golubev, V. P., Komarov, V. I., & Osotov, V. N. (1997) Structure of Expert-Diagnostic and Information System for Estimation of High-Voltage Equipment State. *Elektricheskie Stantsii* [Electric Power Stations], 6, 25–27 (in Russian).
5. *L t d Company “ETL-SERVICE”: Development of Information Systems*. Available at: <http://www.etl-service.com.ua/info> (Accessed 5 February 2014).
6. F a r h a d z a d e, E. M. (2013) Automated Control of Technical Characteristics of Breakers of Distributed Devices of Energy Systems. *Sbornik Nauchnykh Trudov AzNIPII Energetiki* [Collection of Scientific Works of the Azerbaijan Scientific Research and Design Institute of Energy]. (in Russian).
7. N a z a r i c h e v, A. N., & Andreev, D. A. (2003) Evaluation Methods of Actual Resource of Electrical Equipment Taking Into Account an Effect of Operating Characteristics. *Povyshenie Effektivnosti Raboty Energosistem: Trudy IGEU. Vyp. 6* [Improvement of Power Systems Operation: Proceedings of the Ivanovo State Power University. Publication 6]. Moscow, Energoatomizdat, 288–306 (in Russian).
8. N a z a r i c h e v, A. N. (2004) The Main Principles of Technical Maintenance and Repair of Electrical Equipment on Maintenance Condition. *Nadezhnost' Liberalizovanykh Sistem Energetiki* [Reliability of Liberalized Power Systems]. Novosibirsk, Nauka, 173–189 (in Russian).

9. D a v i d e n k o, I. V. (2009) *Razrabotka Sistemy Mnogoaspektnoi Otsenki Tekhnicheskogo Sostoianiia i Obsluzhivaniia Vysokovol'tnogo Maslonapolnennogo Elektrooborudovaniia: Avtoreferat diss. dokt. tekhn. nauk* [Development of Multi-Faceted Evaluation System for Technical Condition and Technical Maintenance of High-Voltage Oil-Filled Electrical Equipment. Dr. tech. sci. diss.]. Ekaterinburg. 45 p. (in Russian).

10. A l e k s e e v, B. A., Kogan, F. L., & Mamikonians, L. G. (2012) *Volume and Norms of Electrical Equipment Testing: RD 34.45-51.300-97*. 6th ed. Moscow, ENAS. 255 p. (in Russian).

Поступила 06.03.2014