

УДК 338.436.33:620.9

DOI: 10.17022/dms2-3z73

ИСПЫТАНИЯ ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ 3,6 И 10 КВ ПЕРЕД ВВОДОМ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ И В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Л.М. Рыбаков, О.И. Канюгин

Марийский государственный университет
424000, г. Йошкар-Ола, Российская Федерация

Аннотация. Внедрение ограничителей перенапряжений (ОПН) в системах электроснабжения сельскохозяйственных электроприёмников осложнено значительными трудностями во время применения, что объясняется недостаточным количеством нормативных документов, выпускаемых различными заводами-изготовителями. Виды испытаний ОПН, проводимых на заводах-изготовителях и в эксплуатирующих организациях, недостаточно взаимосвязаны. Объемы испытаний при эксплуатации не позволяют оценить работоспособность ОПН при длительном их использовании с учетом многократности срабатывания и ухудшений свойств варисторов.

В статье рассмотрены рекомендуемые виды испытаний при эксплуатации ОПН: измерение сопротивления изоляции, тока проводимости и тепловизионное обследование. Следует учитывать следующие недостатки тепловизионного обследования: на него могут повлиять особенности окружающей среды (температура, влажность воздуха, скорость ветра), невозможность определения точного коэффициента излучения материала внешней изоляции, истинной температуры варистора, расположенного внутри корпуса ОПН.

При длительном приложении напряжения промышленной частоты на варисторах выделяется активная мощность. В итоге увеличение выделяющейся активной мощности приводит к потере тепловой устойчивости ОПН. Целью испытаний ОПН является выявление деградации варисторов в процессе длительной эксплуатации.

Было доказано, что измерение общего тока под напряжением не является эффективным диагностическим признаком из-за влияния токов утечки по внутренней и внешней поверхностям и токов проводимости ОПН. При эксплуатации измеряют ток утечки при снятом напряжении, что способствует селекции токов утечки и токов проводимости, однако требует тщательной очистки внешней поверхности, низкой влажности окружающей среды.

Поэтому было предложено использовать дополнительный диагностический признак – измерение температуры поверхности внешней изоляции с использованием покрытий изоляционной поверхности ОПН термоиндикаторной пленкой, изменяющей свои цветовые характеристики при нагреве варисторов проходящими через них токами.

Ключевые слова: ограничитель перенапряжений, варистор, емкостная и активная составляющая тока проводимости, ток утечки, наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение, изоляция, тепловизор.

Ограничители перенапряжений в настоящее время являются основными аппаратами защиты от внутренних и атмосферных перенапряжений электроустановок всех классов напряжений взамен ранее используемых вентильных разрядников. Поэтому на электросетевых предприятиях применяются ограничители перенапряжений (ОПН) различных фирм: ООО «Таврида-электрик», НПО «Электрокерамика», ЗАО «НПО Полимер-аппарат», ЗАО «Завод энергозащитных устройств», ООО «Севзапром», ЗАО «Феникс 88», ЗАО «ЗЭТО», ОАО «Позитрон», ЗАО «Росизол», ООО «Балтэнерго» (совместно с НПО «Дельта», ООО «ЛМ Электро», ЗАО «НИИ ЗАИ», ООО «Элеком», ООО «Комплектматериалы», ООО «НЛС-Компани», ИГУР (г. Самара), ООО КПМ, ООО «Разряд», УПТК «Техносервис», ООО «Энергопротекция», ООО «Энерго-план».

В конструкциях ОПН используются варисторы и изоляционные материалы. Характеристики применяемых варисторов, производимых разными заводами-изготовителями, отличаются по размерам, площади соприкосновения, пропускной способности, нелинейности и другим параметрам. Полимерные и фарфоровые изоляционные материалы имеют также различные изоляционные и тепловые свойства. Производители при проектировании и изготовлении ОПН должны руководствоваться нормативным документом, в котором отражены единые требования, предъявляемые к подобной продукции. Государственный стандарт ГОСТ Р 52725 [1] определяет такие основные параметры ОПН, как наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение $U_{н.р.}$, номинальное напряжение U_n , класс энергоемкости, остающееся напряжение при грозовом импульсе $U_{ост.г}$ и при коммутационном импульсе $U_{ост.к}$, величина тока срабатывания противозрывного устройства, длина пути тока утечки внешней изоляции. Для одного класса напряжения могут производиться ОПН с различными эксплуатационными характеристиками.

Перед вводом в эксплуатацию ОПН необходимо проводить испытания, руководствуясь следующими нормативными документами: ГОСТРом 52725-2007 [4], ПУЭ[1]. Требования к ОПН и диагностированию в процессе эксплуатации определяются ПТЭЭП [2], ГОСТом Р 53735.5-2009 [3], РД СО 34.45-51.300-97 (РД 34.45-51.300-97) [5], СТО 34.01-23.1-001-2017 [6] и отраслевыми стандартами эксплуатирующих организаций. В данной статье рассмотрены виды испытаний ОПН перед вводом в эксплуатацию и в процессе эксплуатации.

Перед вводом в эксплуатацию визуально оценивается состояние поверхности внешней изоляции, измеряются сопротивление изоляции, ток утечки, длина пути утечки.

В процессе эксплуатации определяются сопротивление изоляции ОПН, ток утечки и температура корпуса ОПН (варисторов) на основе телевизионного контроля.

Диагностические параметры по току утечки при испытаниях выбраны исходя из наиболее длительно допустимого рабочего напряжения $U_{н.р.}$ (п. 3.7 ГОСТ Р 52725) ОПН:

- для ОПН 3 кВ – 3,6 кВ,
- для ОПН 6 кВ – 7,2 кВ,
- для ОПН 10 кВ – 12,7 кВ.

Нами были выполнены испытания ОПН, результаты которых представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты испытания ОПН в лабораторных условиях

Наименование ОПН	ОПН-П-3/3,6/10/550 УХЛ1	ОПН-РТ/TEL-6/6,9УХЛ2	ОПН-РС-10/12,7-УХЛ1	ОПН-П-10/12/10/550УХЛ1	ОПН-П-6/7,2/10/1УХЛ1
Класс напряжения	3/3,6	6/6,9	10/12,7	10/12	6/7,2
Завод-изготовитель	ЗАО «Завод энергозащитных устройств»	ООО «Таврида-электрик»	ЗАО «НПО «Полимер-аппарат»	НПО «Дельта»	ООО «АС ЭНЕРГИЯ М»
Сопротивление изоляции, МОм	2000	2500	2400	2600	2800
Ток утечки при температуре 20 °С, мА	2	4	3	2	2
Ток утечки при температуре 55 °С, мА	38	13	24	12	16
Нормативный ток утечки, мА	1	1	1	1	1
Длина пути утечки фактическая, см	19,5	13	38,5	49	30
$h_{иопн}$, см	8	8,5	17,5	18,5	13
$l_{ут опн} / h_{иопн}$	2,44	1,53	2,2	2,65	2,31
Коэффициент использования	1,2	1,0	1,1	1,2	1,2
Удельная эффективная длина пути тока утечки по внешней изоляции, $\lambda_э$	Согласно таблице 2 для всех степеней загрязнения				
Наибольшее рабочее напряжение, $U_{нрдоп}$, кВ	3,6	6,9	12,7	12	7,2
Расчетная длина пути тока утечки при степени загрязнения I, см	8	12	25	26	16
Расчетная длина пути тока утечки при степени загрязнения II, см	9	14	28	29	17
Расчетная длина пути тока утечки при степени загрязнения III, см	11	17	35	36	22
Расчетная длина пути тока утечки при степени загрязнения IV, см	13	21	43	45	27

Из 5 типов ОПН разных предприятий-изготовителей только 3 типа соответствуют нормативным значениям длины пути, регламентированным стандартами, для всех четырех зон загрязнения, остальные – лишь для первой и третьей степени загрязнения.

По токам утечки ни один тип ОПН не удовлетворяет нормативным требованиям. Нами были проведены испытания при нагреве варисторов до 55 °С (допускается температура нагрева варисторов не выше 60 °С). Было установлено, что полученные значения токов утечки многократно превышают нормативные требования.

Измерение сопротивления изоляции ОПН при напряжении в 3, 6 и 10 кВ.

Сопротивление изоляции ОПН измеряется мегомметром при напряжении в 500-2500 В.

Схема измерения представлена на рисунке 1.

Для исключения возникновения погрешностей при измерении из-за влияния возможных утечек наружная поверхность покрышек ОПН должна быть чистой и сухой или поверхность средней части изоляции должна покрываться полосой из фольги (позиция 3 рисунка 2).

Величина сопротивления должна быть не менее 500 МОм и не должна отличаться более чем на $\pm 30\%$ от показателей предыдущих измерений или паспортных данных завода-изготовителя.

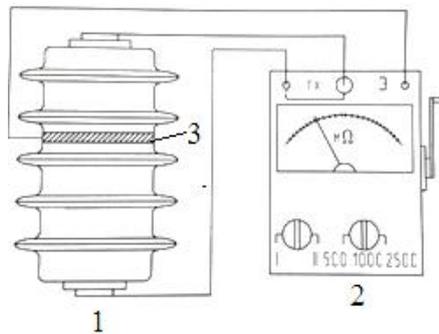


Рис.1. Электрическая принципиальная схема измерения сопротивления изоляции мегомметром ЭС-0202/2-Г: 1 – ОПН, 2- Мегомметр ЭС-0202/2-Г, 3 – экранирующее кольцо из фольги. Измерение тока утечки. Схема для измерения тока утечки представлена на рисунке 2.

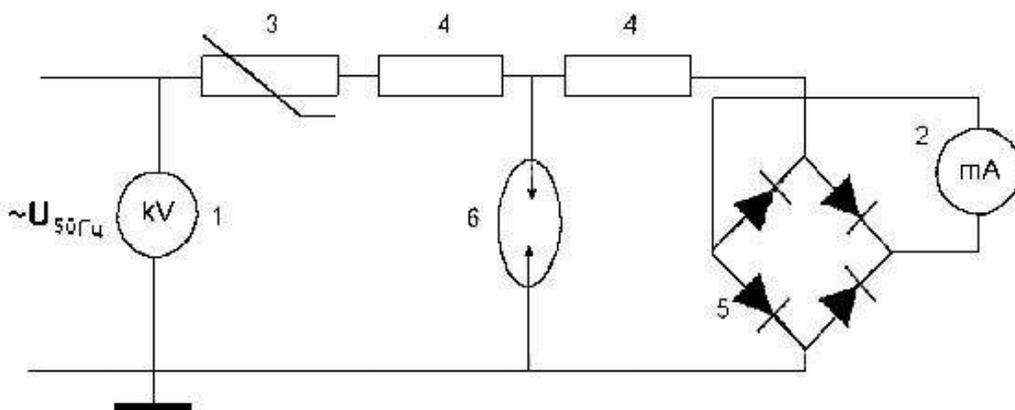


Рис.2. Схема для измерения тока утечки при отключении ограничителя от сети

1. киловольтметр (например, типа Э196);
2. миллиамперметр постоянного тока класса точности 1,5 (может быть использован микроамперметр типа М253);
3. испытуемый ограничитель;
4. резисторы типа МЛТ-2-15 кОм;
5. диодный мост, рассчитанный на ток 10 мА (например, на диодах Д 217, или Д 218, или Д 219А);
6. разрядник типа Р 350.

Измерение длины пути тока утечки у ОПН.

Фактическая длина пути утечки определяется с помощью нерастягиваемой липкой ленты.

Удельная эффективная длина пути тока утечки по внешней изоляции λ_3 , которая гарантирует изоляционные свойства при различных видах загрязнения и увлажнения, такова:

для I степени загрязнения – не менее 1,8 см/кВ;

для II степени загрязнения – не менее 2,0 см/кВ;

для III степени загрязнения – не менее 2,5 см/кВ;

для IV степени загрязнения – не менее 3,1 см/кВ.

Рассчитывается длина пути тока утечки по формуле [1]:

$$l_{утр} = k_{и} \cdot \lambda_3 \cdot U_{нр} \quad (1),$$

где $k_{и}$ – коэффициент использования, определяемый от отношения $l_{ут ОПН}$ к строительной высоте внешней изоляции ОПН $h_{и ОПН}$ (табл.2);

$$l_{ут ОПН} / h_{и ОПН} \quad (2),$$

$U_{нр}$ - наибольшее рабочее напряжение ОПН, кВ.

Таблица 2 – Коэффициент использования $k_{и}$, в зависимости от соотношения $l_{ут}$ к строительной высоте внешней изоляции ОПН $h_{и\text{ОПН}}$

$l_{ут\text{ ОПН}} / h_{и\text{ ОПН}}$	менее 2,0	2,0 – 2,3	2,31 – 2,7	2,71 – 3,2	3,21 – 3,5
$k_{и}$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4

Фактическая длина пути тока утечки ограничителя $l_{ут\text{ ОПН}}$ должна быть больше рассчитанной длины пути тока утечки в условиях размещения ОПН:

$$l_{ут\text{ ф}} < l_{ут\text{ ОПН}} \quad (3).$$

Большинство представленных образцов ОПН не удовлетворяют нормативным требованиям по току утечки, указанным в технической документации заводов-изготовителей.

На наш взгляд, при приложении высокого напряжения от 3,6 кВ до 12,7 кВ к изоляционному материалу корпуса ОПН загрязненная поверхность материала при повышении температуры до 55 °С становится проводящей и увеличивает ток утечки по поверхности, которая превышает ток проводимости через колонку варисторов.

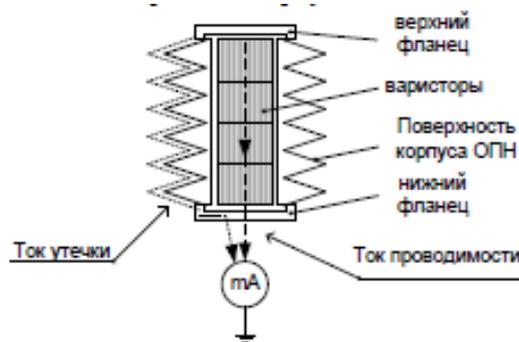


Рис. 3. Токи утечки и проводимости ОПН

При приложении к ОПН наибольшего длительно допустимого рабочего напряжения $U_{н.р}$ через ОПН протекает ток, как показано на рисунке 3, равный сумме тока, протекающего по колонке варисторов (ток проводимости ОПН), и тока утечки по корпусу, в том числе, и по его внешней и внутренней поверхности. Величина тока по поверхности корпуса ОПН со временем с изменением структуры изоляции корпуса, а также с учетом увлажнения может превышать допустимые браковочные значения тока проводимости ОПН. Из этого следует, что значение тока проводимости, измеренное в условиях эксплуатации, может отличаться от паспортной и измеренной в условиях лаборатории завода-изготовителя величины.

Поэтому контроль тока проводимости через варисторы не является достаточно информативным диагностическим параметром.

Ток проводимости варисторов имеет две составляющие: ёмкостную и активную. На величину ёмкостной составляющей тока проводимости дополнительно влияют взаимная созависимость соседних фаз и ошиновки, конструкция опорной площадки. Величина активной составляющей определяет потери мощности ОПН, а, значит, и ее нагрев. Превышение активной составляющей от ее нормальной величины приводит к дополнительному нагреву варисторов и корпуса и, как следствие, к потере термической устойчивости и тепловому пробоев варисторов, поэтому именно активная составляющая является главной при определении тока проводимости.

Другим диагностическим признаком оценки состояния ОПН может являться температура поверхности изоляции, которая может быть определена тепловизионным способом или визуально контролироваться термостойкой пленкой, нанесенной на корпус ОПН, которая изменяет свои цветовые характеристики при достижении температуры поверхности ОПН до 70 °С и более.

Выводы. Отбраковка ОПН по параметру, связанному с превышением тока проводимости от нормативных значений, измеренного в эксплуатационных условиях, не является достоверным показателем. Предложено использование дополнительного диагностического признака – измерения температуры поверхности внешней изоляции с помощью регистрации изменений цветовых характеристик термических пленок, которыми покрывается внешняя изоляция ОПН.

Литература

1. ГОСТ 52725 – 2007. Ограничители перенапряжений, нелинейные для электроустановок переменного тока напряжением от 3 до 750 кВ. Технические требования. – Введ. 01-01-2008 г. – М.: Стандартиформ, 2007. - 36 с.
2. ГОСТ Р 53735.5 – 2009. Разрядники вентильные и ограничители перенапряжений нелинейные для электроустановок переменного тока напряжением от 3 до 750 кВ. Часть 5. Рекомендации по выбору и применению. – Введ. 01-01-2011. – М.: Стандартиформ, 2011. - 64 с.
3. Об утверждении правил технической эксплуатации электроустановок потребителей: приказ от 13 января 2003 года N 6 [Электронный ресурс] // Гарант. – Режим доступа: base.garant.ru\12129664.
4. Правила устройства электроустановок (ПУЭ-7): приказ Министерства энергетики Российской Федерации от 8 июля 2002 г. N 204 с изменениями и дополнениями по состоянию на 1 января 2006 года [Электронный ресурс] // Консультант плюс. – Режим доступа: Consultant.ru\document\cons_doc_LAW_91542/.
5. СО 34.45-51.300-97, РД 34.45-51.300-97. Объем и нормы испытаний электрооборудования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: elec.ru\library\rd\rd_34.45-51.300-97.doc.
6. СТО 34.01-23.1-001-2017. Объем и нормы испытаний электрооборудования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: eepir.ru\images/news\07122017\3.pdf.

Сведения об авторах

1. **Рыбаков Леонид Максимович**, доктор технических наук, профессор кафедры электроснабжения и технической диагностики, Марийский государственный университет, 424000, Россия, Йошкар-Ола, ул. Я. Свердлова, 49 а; e-mail: diagnoz@marsu.ru, тел. +79027457100;
2. **Канюгин Олег Игоревич**, аспирант кафедры электроснабжения и технической диагностики, Марийский государственный университет, 424000, Россия, Йошкар-Ола, ул. Комсомольская, 86; e-mail: kanyugin@mail.ru, тел. +79024382286.

TEST OF OVERVOLTAGE LIMITERS 3.6 and 10 kV BEFORE COMMISSIONING AND IN THE PROCESS OF OPERATION

L.M. Rybakov, O.I. Kanyugin

Mari State University

424000, Yoshkar-Ola, Russian Federation

Abstract. *The introduction of overvoltage limiters in the power supply systems of agricultural electrical receivers is complicated by significant difficulties during the application, due to the insufficient number of regulatory documents issued by various manufacturers. Types of tests of overvoltage limiters conducted at manufacturing plants and in operating organizations are not sufficiently interconnected. The volume of tests during operation does not allow us to evaluate the performance of the overvoltage limiters during prolonged use, taking into account the frequency of operation and the deterioration of the varistor properties.*

The article discusses the recommended types of tests during the operation of overvoltage limiters: measurement of insulation resistance, conductivity current and thermal imaging inspection. The following disadvantages of a thermal imaging survey should be taken into account: environmental factors (temperature, humidity, wind speed), the inability to determine the exact emissivity of the external insulation material, the true temperature of the varistor located inside the overvoltage limiters can affect it.

With prolonged application of industrial frequency voltage, active power is released on the varistors. As a result, an increase in the released active power leads to a loss of thermal stability of the overvoltage limiters. The purpose of the overvoltage limiters tests is to identify the degradation of varistors during prolonged operation.

It has been proven that measuring the total current under voltage is not an effective diagnostic feature due to the influence of leakage currents on the internal and external surfaces and the conductivity currents of the overvoltage limiters. During operation, the leakage current is measured at a relieved voltage, which contributes to the selection of leakage currents and conduction currents, however, it requires thorough cleaning of the external surface and low ambient humidity.

Therefore, it was proposed to use an additional diagnostic feature - measuring the surface temperature of the external insulation using coatings of the insulating surface of the overvoltage limiters with a thermal indicator film that changes its

Key words: *overvoltage limiters, varistor, capacitor and an active component of the conduction current, the leakage current, the highest permissible operating voltage, insulation, thermographic camera.*

References

1. GOST 52725 – 2007. Ogranichiteli perenapryazhenij, nelinejnye dlya elektroustanovok peremennogo toka napryazheniem ot 3 do 750 kV. Tekhnicheskie trebovaniya. – Vved. 01-01-2008 g. – М.: Standartinform, 2007. - 36 s.

2. GOST R 53735.5 – 2009. Razryadniki ventil'nye i ogranichiteli perenapryazhenij nelinejnye dlya elektroustanovok peremennogo toka napryazheniem ot 3 do 750 kV. CHast' 5. Rekomendacii po vyboru i primeneniyu. – Vved. 01-01-2011. – M.: Standartinform, 2011. - 64 s.

3. Ob utverzhdenii pravil tekhnicheskoy ekspluatatsii elektroustanovok potrebitel'ej: prikaz ot 13 yanvarya 2003 goda N 6 [Elektronnyj resurs] // Garant. – Rezhim dostupa: base.garant.ru\12129664.

4. Pravila ustrojstva elektroustanovok (PUE-7): prikaz Ministerstva energetiki Rossijskoj Federacii ot 8 iyulya 2002 g. N 204 s izmeneniyami i dopolneniyami po sostoyaniyu na 1 yanvarya 2006 goda [Elektronnyj resurs] // Konsul'tant plyus. – Rezhim dostupa: Consultant.ru\document/cons_doc_LAW_91542/.

5. SO 34.45-51.300-97, RD 34.45-51.300-97. Ob"em i normy ispytanij elektrooborudovaniya [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: elec.ru\library/rd/rd_34.45-51.300-97.doc.

6. STO 34.01-23.1-001-2017. Ob"em i normy ispytanij elektrooborudovaniya [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: eepir.ru/images/news/07122017/3.pdf.

Information about authors

1. **Rybakov Leonid Maksimovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Power Supply and Technical Diagnostics, Mari state University, 424000, Russia, Yoshkar-Ola, Ya. Sverdlov str., 49a; e-mail: diagnoz@marsu.ru, tel. +79027457100;

2. **Kanyugin Oleg Igorevich**, Post graduate Student of the Department of Power Supply and Technical Diagnostics, Mari State University, 424000, Russia, Yoshkar-Ola, Komsomolskaya str.; 86, e-mail: kanyugin@mail.ru, tel: +79024382286.

УДК 621.31

DOI: 10.17022/epjv-pb59

СОЗДАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ И ОБОРУДОВАНИЯ СЕЛЬСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ С НАПРЯЖЕНИЕМ 10 КВ

Л.М. Рыбаков, С.В. Ласточкин

*Марийский государственный университет
424000, Йошкар-Ола, Российская Федерация*

Аннотация. В настоящее время сельские электрические сети с напряжением 10 кВ достаточно сильно (до 40 %) изношены (воздушные линии, трансформаторные пункты), отработали свой нормативный срок службы.

Важнейшим показателем работы современного сельскохозяйственного производства является производительность, которая зависит от надежности работы электрооборудования. Показатели надежности непосредственно связаны с техническим состоянием электрооборудования, которое оценивается по степени его износа. Анализ технического состояния электрооборудования и воздушных линий электропередач с напряжением 10 кВ показал, что 45 % ВЛ и 34 % понизительных подстанций эксплуатируются более двадцати лет.

Особенностью эксплуатации сельских распределительных сетей с напряжением 10 кВ является их подверженность таким повторяющимся климатическим воздействиям, как интенсивность грозовой деятельности, ветровая нагрузка, гололед, осадки и резкие колебания температуры в течение года. Влияние климатических факторов сказывается и на количестве отказов элементов оборудования, аппаратов в распределительных сетях с напряжением 10 кВ и позволяет прогнозировать будущие отказы оборудования, оптимизировать проведение ремонтно-эксплуатационных работ. Создание базы данных о количестве отказов оборудования и причинах их возникновения позволит повысить эффективность электроснабжения потребителей, улучшить качество ремонтных работ, технического обслуживания распределительных сетей.

Достижению этой цели будет способствовать повышение качества электроснабжения потребителей при минимальных трудовых и финансовых затратах. В условиях рыночной экономики в большинстве случаев производятся лишь восстановительные работы для поддержания работы распределительных сетей.

Основная задача эксплуатации распределительных сетей заключается в поддержании их в таком техническом состоянии, при котором обеспечивается бесперебойное и надежное электроснабжение потребителей.

Ключевые слова: информационно-измерительная система, техническое состояние, количественная оценка, надежность электроснабжения, прогнозирование, работоспособность, аварийный запас.

Введение. Существуют основные виды обслуживания сельских распределительных электрических сетей. Предлагается создать информационно-измерительную систему, подобную экспертной системе, используемой для линий с напряжением 110 кВ и выше. В указанную систему введен ряд блоков: блок отключений, блок