

виса на МТС // Тракторы и с.-х. машины. – 2002. – № 10. – С. 36–42.

4. Кушнарёв Л.И. Совершенствование технического сервиса машинно-тракторного парка МТС: монография. – М.: МГАУ им. В.П. Горячкина, 2002. – 136 с.

5. Пазова Т.Х., Дзуганов В.Б. Обоснование состава парка машин машинно-технологических станций // Механизация электрификации сельского хозяйства. – 2011. – № 10. – С. 2–3.

6. Анискин В.И., Антышев Н.М., Бычков Н.И. и др. Тракторный парк России: развитие и научное обоснование // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1999. – № 12. – С. 24–28.

7. Завора В.А. Основы эксплуатации мобильных сельскохозяйственных агрегатов. – Барнаул, 2004. – 256 с.

References

1. Zavora V.A., Tolokol'nikov V.I., Vasil'ev S.N. Osnovy tekhnologii i rascheta mobil'nykh protsessov rastenievodstva. – Barnaul, 2008. – 263 s.

2. Piskarev A.V. Nadezhnost' tekhnologicheskikh sistem mashinoispol'zovaniya v rastenievodstve: Sovershenstvovanie metodov proektirovaniya i ekspluatatsii na osnove sistemnogo podkhoda: monografiya. – Novosibirsk: NGAU, 2011. – 384 s.

3. Kushnarev L.I. Ratsional'naya organizatsiya proizvodstvenno-tekhnologicheskogo servisa na MTS // Traktory i s.-kh. mashiny. – 2002. – № 10. – С. 36–42.

4. Kushnarev L.I. Sovershenstvovanie tekhnicheskogo servisa mashinno-traktornogo parka MTS: monografiya. – М.: МГАУ им. В.П. Горячкина, 2002. – 136 с.

5. Pazova T.Kh., Dzuganov V.B. Obosnovanie sostava parka mashin mashinno-tekhnologicheskikh stantsii // Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaistva. – 2011. – № 10. – С. 2–3.

6. Aniskin V.I., Antyshev N.M., Bychkov N.I. i dr. Traktorny park Rossii: razvitie i nauchnoe obosnovanie // Traktory i sel'skokhozyaistvennye mashiny. – 1999. – № 12. – С. 24–28.

7. Zavora V.A. Osnovy ekspluatatsii mobil'nykh sel'skokhozyaistvennykh agregatov. – Barnaul, 2004. – 256 s.



УДК 537.39:621.315:621.317:614.8

А.Ф. Костюков, О.К. Никольский, Н.И. Черкасова
A.F. Kostyukov, O.K. Nikolskiy, N.I. Cherkasova

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И РЕСУРСА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

ANALYSIS OF OPERATING CONDITION TESTING METHODS AND ELECTRICAL DEVICES OPERATING LIFE

Важным условием получения объективной информации о техническом состоянии изучаемого объекта является прогнозирование его полного и остаточного ресурса. Необходимо создание эффективной системы технического обслуживания, включающей комплекс диагностических и профилактических мер, направленных на снижение и предупреждение отказов и аварий в процессе эксплуатации электроустановок. Механизмы износа, являющиеся общими для любой технической системы, могут быть использованы для описания физических процессов старения и повреждения электропроводок, эксплуатирующихся в условиях сельскохозяйственного производства. Надежность предполагает только возможность выполнения свойственных ей функций (обеспечения передачи и потребления электроэнергии), тогда как безопасность связана с вероятностью нанесения ущерба человеку, животному и среде их обитания. Поэтому износ можно рассматривать как некоторый показатель, характеризующий и надежность, и безопасность электроустановки. В зависимости от объема и характера имеющихся исходных данных для прогнозирования остаточного ресурса могут быть применены статистические либо приближенные методы. Тип математической модели для прогнозирования выбирают, исходя из вида преобладающего механизма разрушения, уровня и характера нагрузок. Эти данные могут быть получены путем проведения натуральных или модельных

исследований, используя при этом ресурсные или функциональные испытания электроустановок. Проведение функциональных испытаний сопряжено с необходимостью сбора большого объема информации; эти испытания должны базироваться на теории планирования эксперимента, они имеют высокую стоимость и требуют значительного времени работы на низких уровнях нагрузки. Однако функциональные испытания позволяют получить достоверную информацию о техническом состоянии электроустановок, выявить основные факторы, влияющие на долговечность и установить количественные связи между диагностируемыми параметрами электроустановки и факторами нагрузки. Функциональные испытания позволяют также выявить основные виды повреждения, тем самым оценить остаточный ресурс и дать его прогноз на определенный интервал времени.

Ключевые слова: электропроводка, оценка, прогнозирование, техническое состояние, кинетическая модель, испытания, математическое моделирование, преждевременный износ.

An important condition in obtaining unbiased information on the operating conditions of the tested device is to forecast its total operating life and its limited operation life. It is necessary to

develop an effective maintenance system including testing and preventive measures aimed at the reduction and prevention of failures and damages during the operation of electrical devices. Wear mechanisms that are the same for all technical systems may be used to describe physical aging and damage processes of the electric wiring operating in agricultural industry. Durability supposes only the opportunity to perform its typical functions (to conduct and consume electrical current) whereas electrical safety is related to the probability of causing harm to a human, an animal or their environment. That is why wear may be considered as an indicator of durability and electrical safety of an electrical device. Depending on the amount and characteristics of the initial data, statistical or approximate methods may be used to forecast the limited operation life. The type of mathematical model is chosen due to the predominant failure mechanism and the level and type of loading conditions. The data may be obtained by field or model studies while testing functions or operating life of the electrical

devices. Large body of information should be collected for the functional tests; those tests should be based on the experimental design theory; they are very expensive and require a lot of hours of service with low load level. But the functional tests allows to obtain error-free information about operating conditions of the electrical devices, to determine main factors affecting durability and numerical connections between testing parameters of the electrical device and load factors. Functional tests also enable determining main types of failure and thereby estimating the limited operating life and giving forecast for particular period of time.

Key words: electrical wiring, estimation, forecasting, operating conditions, kinetic model, testing, mathematical modeling, premature wear.

Костюков Анатолий Фёдорович, к.т.н., ст. преп., Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-84-49. E-mail: kostyukovaf@mail.ru.

Никольский Олег Константинович, д.т.н., проф., Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. Тел. (3852) 36-71-29. E-mail: elnis@inbox.ru.

Черкасова Нина Ильинична, к.т.н., зав. каф., Рубцовский индустриальный институт (филиал), Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. E-mail: 4ercas@bk.ru.

Kostyukov Anatoliy Fedorovich, Cand. Tech. Sci., Asst. Prof., Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-84-49. E-mail: kostyukovaf@mail.ru.

Nikolskiy Oleg Konstantinovich, Dr. Tech. Sci., Prof., Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. Ph.: (3852) 36-71-29. E-mail: elnis@inbox.ru.

Cherkasova Nina Ilyinichna, Cand. Tech. Sci., Rubtsovsk Industrial Institute (Branch), Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. E-mail: 4ercas@bk.ru.

Для решения задач, связанных с проектированием и эксплуатацией электроустановок, с обеспечением надежности и безопасности их обслуживания, важным условием является получение объективной информации о техническом состоянии изучаемого объекта, прогнозировании полного и остаточного его ресурса.

Целью исследования является оценка эффективности эксплуатации электроустановок, которая должна определяться, в первую очередь, обеспечением надежности и безопасности, при возможности увеличения остаточного ресурса при приемлемых затратах на техническое обслуживание и ремонт. Достижение цели возможно при решении **задач** методами повышения надежности технических систем, инструментальными средствами диагностики и путем прогнозирования остаточного ресурса.

Известно, что при эксплуатации электроустановок, в частности, электропроводок (ЭП), происходит старение изоляционных и проводящих частей в результате различных физико-химических процессов, а также под воздействием внешних и внутренних факторов. Последние вызывают накопление различных повреждений, развитие дефектов и, как следствие, необратимые процессы в конструкционных материалах, приводящие к снижению их функциональности, наступлению предельного состояния и последующему отказу. Поэтому представляется важным создание эффективной системы технического обслуживания, включающей комплекс диагностических и профилактических мер, направленных на снижение и предупреждение

вероятности отказов и аварий в процессе эксплуатации электроустановок (ЭУ).

В свете постановки задачи продления ресурса ЭУ, т.е. исключения так называемых «износных отказов», понятия «надежность» и «безопасность» являются взаимосвязанными, ибо высокая надежность объекта определяет и высокий уровень безопасности [1]. Однако следует различать, что надежность, например ЭП, предполагает только возможность выполнения свойственных ей функций (обеспечения передачи и потребления электроэнергии), тогда как безопасность связана с вероятностью нанесения ущерба человеку, животному и среде их обитания. Поэтому износ можно рассматривать как некоторый показатель, характеризующий как надежность, так и безопасность электроустановки.

На рисунке 1 приведена классификация механизмов и моделей изнашивания электроустановки, полученная по данным [1]. Отметим, что приведенные механизмы износа, являющиеся общими для любой технической системы, могут быть использованы для описания физических процессов старения и повреждения электропроводок, эксплуатирующихся в условиях сельскохозяйственного производства. Представляет интерес использование энергетических и эмпирических моделей для описания физических процессов старения и износа электропроводки.

В основе первого вида моделей лежит концепция термодинамического подхода, согласно которой поверхностный слой материала, подвергающегося внешней нагрузке, может рассматриваться как открытая термодинамическая система, способная обмениваться

энергией и веществом с окружающей средой [2]. В этом случае параметрами энергетических моделей являются основные термодинамические характеристики материала поверхностного слоя (энергия, энтропия, время и температура).



Рис. 1. Классификация механизмов и моделей износа ЭУ

Модели второго вида представляют собой математическую аппроксимацию экспериментальных или опытных данных. Эти данные могут быть получены путем проведения натурных или модельных исследований, используя при этом ресурсные или функциональные испытания ЭУ (рис. 2)

Отметим, что использование разрушающих методов оценки изоляции, к которым относятся ресурсные испытания, применительно, например, к электропроводке нецелесообразно, поскольку необходимо применение дорогостоящей аппаратуры.

Проведение функциональных испытаний ЭП сопряжено с необходимостью сбора большого объема информации; эти испытания должны базироваться на теории планирования эксперимента, они затратные и требуют значительной длительности на низких уровнях нагрузки. Однако функциональные испытания позволяют получить достоверную информацию о техническом состоянии ЭУ, выявить основные факторы, влияющие на долговечность, и установить количественные связи между диагностируемыми параметрами электроустановки и факторами нагрузки. Функциональные испытания позволяют также выявить основные виды повреждения, тем самым оценить остаточный ресурс и дать его прогноз на определенный интервал времени.

Среди неразрушающих методов контроля широкое применение получили электрические и неэлектрические методы диагностики [3]. Неэлектрические методы, направленные на изучение физико-химических процессов разрушения изоляции, требуют наличие стендовой дорогостоящей аппаратуры. Поэтому для

оценки изоляции электроустановки широко используются электрические методы. По результатам измерения параметров, характеризующих изоляционные и токоведущие конструкции электроустановки, и их сравнение с нормативными значениями, принимается оценка о ее техническом состоянии (ТС).



Рис. 2. Классификация экспериментальных методов исследования ЭУ

Контроль технического состояния как проверка соответствия значений параметров объекта требованиям технической документации и определение на этой основе одного из заданных видов ТС в данный момент времени определен в [4]. При этом для выявления механизмов возникновения повреждений могут быть использованы сведения, полученные непрерывной, периодической диагностикой и экспертизой ТС оборудования. В зависимости от объема и характера имеющихся исходных данных для прогнозирования остаточного ресурса могут быть применены статистические либо экстраполяционные методы. Тип математической модели для прогнозирования выбирают, исходя из вида преобладающего механизма разрушения, уровня и характера нагрузок [5].

Известен метод определения влияния физического износа изоляции на процесс ее старения [6]. Недостаток упомянутого метода в том, что он базируется только на экспертных оценках, а методы экспериментального контроля состояния ЭУ не используются. Известен метод диагностики ЭУ, основанный на функционально-конструкционной декомпозиции, агрегировании состояния ее элементов и переходе к интегральным оценкам [7]. Недостатком данного метода является то, что вывод о состоянии объекта контроля делается без проведения необходимых опытов.

Проведенный анализ существующих методов контроля технического состояния электротехнических изделий показал, что экспериментальное определение их ресурса и долговечности связано с изучением электрофизических свойств выборки образцов, число которых должно быть значительно большим. Кроме того, использование эксплуатационных методов диагностики позволяет судить только о текущем значении того или иного диагностического параметра, сравнивая его со значением, полученным во время предыдущего измерения. Однако остается неопределенным значение этого параметра на предыдущий интервал времени.

В контексте изложенного представляется перспективным использование методов математического моделирования ресурса электроустановки, с учетом влияния внешних и внутренних факторов [8]. Поэтому одной из основных задач при изучении динамики изменения ресурса, вызванного процессами старения, износа и повреждения, является создание таких моделей, которые были бы адекватны вероятностным процессам, протекающим в исследуемом объекте. Тогда моделирование ресурса позволило бы проанализировать связи между диагностическими параметрами ЭУ и действующими на нее нагрузками. В этом случае полученные статистические распределения ресурса, характеризующиеся функцией распределения и плотностью распределения, могут дать объективную информацию по оценке и прогнозированию технического состояния электроустановки.

Выводы

1. Значительная часть отказов электрооборудования в сельском хозяйстве связана со старением и износом изоляции, снижением электрической прочности, повреждением проводников, монтажом и неудовлетворительной эксплуатацией, которая ограничивается визуальными осмотрами и фактом обнаружения аварии, а не направлена на ее предупреждение.

2. Представляется актуальным совершенствование методов диагностики технического состояния ЭУ, в основе которых должен лежать учет и регистрация совокупности параметров, характеризующих надежность и техногенную безопасность в соответствии с действующими нормативами.

3. В практической работе необходимо использование методов математического моделирования ресурса электроустановки, с учетом влияния внешних и внутренних факторов, что дает возможность проанализировать связи между диагностическими параметрами электроустановок и действующими на них нагрузками. В этом случае полученные статистические распределения ресурса, харак-

теризующиеся функцией распределения и плотностью распределения, могут дать объективную информацию по оценке и прогнозированию технического состояния электроустановок.

Библиографический список

1. Окладникова Е.Н., Сугак Е.В. Оптимизация техногенных рисков // Современные методы математического моделирования природных и антропогенных катастроф: тез. IX Всерос. конф. – Барнаул, 2007. – С. 84.
2. Хрущев М.М., Бабичев М.А. Абразивное изнашивание. – М.: Наука, 1970. – 252 с.
3. ГОСТ 27.002-90. Надежность в технике. Основные понятия, термины и определения.
4. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения.
5. Тепловые электрические станции. Методика оценки состояния основного оборудования. Стандарт организации. ОАО РАО «ЕЭС России». – М., 2007.
6. Правила оценки физического износа жилых зданий. ВСН 53-86.
7. Черкасова Н.И. Способ диагностики электропроводок зданий // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2012. – Вып. 11. – С. 171-176.
8. Костюков А.Ф. Надежность установочных электропроводок // Вестник Алтайского государственного аграрного университета – 2013. – № 9. – С. 97-99.

References

1. Okladnikova E.N., Sugak E.V. Optimizatsiya tekhnogennykh riskov // Sovremennye metody matematicheskogo modelirovaniya prirodnykh i antropogennykh katastrof: tezisy IX Vserossiiskoi konf. – Barnaul, 2007. – S. 84.
2. Khrushchev M.M., Babichev M.A. Abrzivnoe iznashivanie. – M.: Nauka, 1970. – 252 s.
3. GOST 27.002-90. Nadezhnost' v tekhnike. Osnovnyye ponyatiya, terminy i opredeleniya.
4. GOST 20911-89. Tekhnicheskaya diagnostika. Terminy i opredeleniya.
5. Teplovye elektricheskie stantsii. Metodika otsenki sostoyaniya osnovnogo oborudovaniya. Standart organizatsii. – M.: OAO RAO «EES Rossii», 2007.
6. Pravila otsenki fizicheskogo iznosa zhilykh zdaniy. VSN 53-86.
7. Cherkasova N.I. Sposob diagnostiki elektroprovodok zdaniy // Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2012. – № 11. – S. 171-176.
8. Kostyukov A.F. Nadezhnost' ustanovochnykh elektroprovodok // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – № 9. – S. 97-99.