

3. Дismембратор для приготовления гомогенизированных продуктов: пат. 2466795 Рос. Федерация: МПК В02С 13/00 / Ситников А.А., Нефедов Е.Н., Нефедов К.Е., Дрюк В.А., Салеев Ф.И., Почтер С.В., Камышов Ю.Н.; заявитель и патентообладатель Ситников А.А., Нефедов Е.Н. – Заявка 2010137459/13; заявл. 08.09.2010; опубл. 20.11.2012.

4. Устройство для приготовления гомогенизированных продуктов: пат. на полезную модель 112646 Рос. Федерация: МПК В02С7/00 / Нефедов Е.Н., Ситников А.А., Нефедов К.Е., Камышов Ю.Н., Почтер С.В.: патентообладатель ООО «МИП СХМ АлтГТУ». – Заявка 2011132100/13; заявл. 29.07.2011; опубл. 20.01.2012.

5. Ситников А.А., Камышов Ю.Н., Лебедев А.С. Опытная установка по приготовлению жидких кормов на основе вихревого теплогенератора // Ползуновский альманах. – 2009. – № 2. – С. 54-55.

6. Goodband R.D., Tokach M.D., Nelssen J.L. The Effects of Diet Particle Size on Animal Performance. Feed Manufacturing, #2050, Cooperative Extension Service, Kansas State University, 1995.

7. Сороченко С.Ф., Дрюк В.А., Ситников А.А., Нефедов Е.Н., Шишин М.Ю., Куцый В.А., Томаровский А.А., Суворов С.А. Полевые испытания технологии рекультивации песчаных почв // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 2 (112). – С. 46-52.

References

1. Sorochenko S.F., Dryuk V.A., Suvorov S.A., Avramchik E.M., Strantsov K.N. Zernovaya seyalka s dopolnitel'nym oborudovaniem dlya realizatsii tekhnologii po rekul'tivatsii peschanykh pochv [Elektr. izd.] // Mater. 11-i Vseros. nauchn.-tekhn. konf. «Nauka i molodezh' – 2014» // edu.secna.ru: server

elektr. nauchn. zhurnala «Gorizonty obrazovaniya». – Vyp. 16, Prilozheniya, Sektsiya «Nazemnye transportnye sistemy». – Barnaul: AltGTU, 2014.

2. Sorochenko S.F., Dryuk V.A., Sitenkov A.A., Nefedov E.N., Shishin M.Yu., Kutsyi V.A., Suvorov S.A., Kamyshev Yu.N. Tekhnologiya rekul'tivatsii peschanykh pochv // Polzunovskii vestnik. – 2014. – Ch. 4. – S. 40-44.

3. Dismembrator dlya prigotovleniya gomogenizirovannykh produktov: pat. 2466795 Ros. Federatsiya: MPK V02S 13/00 / Sitenkov A.A., Nefedov E.N., Nefedov K.E., Dryuk V.A., Saleev F.I., Pochter S.V., Kamyshev Yu.N.; zayavitel' i patentoobladatel' Sitenkov A.A., Nefedov E.N. – Zayavka 2010137459/13; zayavl. 08.09.2010; opubl. 20.11.2012.

4. Ustroistvo dlya prigotovleniya gomogenizirovannykh produktov: pat. na poleznuyu model' 112646 Ros. Federatsiya: MPK V02S7/00 / Nefedov E.N., Sitenkov A.A., Nefedov K.E., Kamyshev Yu.N., Pochter S.V.: patentoobladatel' ООО «МИП СХМ АлтГТУ». – Zayavka 2011132100/13; zayavl. 29.07.2011; opubl. 20.01.2012.

5. Sitenkov A.A., Kamyshev Yu.N., Lebedev A.S. Opytnaya ustanovka po prigotovleniyu zhidkikh kormov na osnove vikhreвого teplogeneratora // Polzunovskii al'manakh. – 2009. – № 2. – S. 54-55.

6. Goodband R.D., Tokach M.D., Nelssen J.L. The Effects of Diet Particle Size on Animal Performance. Feed Manufacturing, #2050, Cooperative Extension Service, Kansas State University, 1995.

7. Sorochenko S.F., Dryuk V.A., Sitenkov A.A., Nefedov E.N., Shishin M.Yu., Kutsyi V.A., Tomarovskii A.A., Suvorov S.A. Polevye ispytaniya tekhnologii rekul'tivatsii peschanykh pochv // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2014. – № 2 (112). – S. 46-52.



УДК 537.39:621.315:621.317:614.8

А.Ф. Костюков
A.F. Kostyukov

ВЛИЯНИЕ ЦИКЛИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ИЗНОС УСТАНОВОЧНЫХ ЭЛЕКТРОПРОВОДОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

CYCLIC LOAD EFFECT ON ELECTRIC WIRING WEAR OF AGRICULTURAL CONSUMERS

Ключевые слова: электропотребление, износ, работоспособность, аварийная ситуация, математический аппарат, принятие решений, определение вероятности.

Key words: electrical energy consumption, wear, operation capacity, emergency situation, mathematical tool, decision making, probability determination.

При оценке работоспособности установочных электропроводок не применяются общепринятые в промышленности оценки надежности. Нормативы надежности заменены техническими регламентами ПУЭ, подразумевающими постоянное присутствие человека. Используя технические регламенты, невозможно прогнозировать наступление аварийной ситуации, принимать упреждающие решения. Всероссийскими строительными нормами установлено, что срок службы внутренней электропроводки жилых зданий и сооружений в неагрессивной среде не может превышать 20 лет при скрытом монтаже и 40 лет – при открытом монтаже. В помещениях с влажной, агрессивной средой (например, животноводческих помещениях) срок службы проводки не может превышать 15 лет. Для оценки износа электропроводок в условиях неопределенности можно использовать аппарат многокритериального принятия решений и экспертных оценок. Концентрации свободных электронов для разных металлов различаются на величины порядка единиц процентов (например, для меди и никеля это различие 10%). Соответственно, значение удельной проводимости в основном зависит от средней длины свободного пробега электронов в данном проводнике. Все чистые металлы с наиболее правильной кристаллической решеткой характеризуются наименьшими значениями удельного сопротивления. Примеси, искажая решетку, приводят к увеличению удельного сопротивления. Рост температуры под воздействием проходящего тока вызывает рост дислокаций в проводнике и, соответственно – снижение проводимости. На этой основе разработан ряд способов, позволяющих произвести оценку работоспособности проводки и времени ее наработки до отказа.

Костюков Анатолий Федорович, к.т.н., ст. преп., каф. «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства», Алтайский государственный аграрный университет. Тел. (3852) 62-84-49. E-mail: kostyukovaf@mail.ru.

Как правило, при анализе эксплуатационной надежности электропроводок Технические нормативы надежности заменены техническими регламентами ПУЭ7 [1] и ГОСТ [2], подразумевающими постоянное присутствие человека.

Между тем, используя технические регламенты, невозможно прогнозировать наступление аварийной ситуации, принимать упреждающие решения по своевременному предотвращению нарушений электроснабжения. Разумеется, прекращение электроснабжения жилого сектора, школы, сельской больницы, животноводческого комплекса или зерноперерабатывающего объекта на несколько часов не создает катастрофических последствий, если возникающие аварии не сопровождаются искрением, возникновением электрической дуги, тепловыми разрушениями (вызывающими возгорание) и попаданием элект-

ricкого тока на электропроводящие элементы, для этого не предназначенные [3]. Всероссийскими строительными нормами установлены правила оценки физического износа строительных сооружений. В том числе установлено, что срок службы внутренней электропроводки жилых зданий и сооружений в неагрессивной среде не может превышать 20 лет при скрытом монтаже и 40 лет – при открытом монтаже. В неотопляемом вспомогательном помещении, а также в помещениях с влажной, агрессивной средой (например, животноводческих помещениях) срок службы проводки не должен превышать 15 лет [4].

Целью исследования является оценка эффективности эксплуатации электропроводок, которая должна определяться, в первую очередь, обеспечением надежности и безопасности, с возможностью увеличения остаточного ресурса, при приемлемых затратах

Kostyukov Anatoliy Fedorovich, Cand. Tech. Sci., Asst. Prof., Chair of Electrification and Automation of Agriculture, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-84-49. E-mail: kostiukovaf@mail.ru.

рического тока на электропроводящие элементы, для этого не предназначенные [3].

Всероссийскими строительными нормами установлены правила оценки физического износа строительных сооружений. В том числе установлено, что срок службы внутренней электропроводки жилых зданий и сооружений в неагрессивной среде не может превышать 20 лет при скрытом монтаже и 40 лет – при открытом монтаже. В неотопляемом вспомогательном помещении, а также в помещениях с влажной, агрессивной средой (например, животноводческих помещениях) срок службы проводки не должен превышать 15 лет [4].

Целью исследования является оценка эффективности эксплуатации электропроводок, которая должна определяться, в первую очередь, обеспечением надежности и безопасности, с возможностью увеличения остаточного ресурса, при приемлемых затратах

на техническое обслуживание и ремонт. Достижение цели возможно при решении **задач** повышения надежности токопроводящих систем и их изоляции, на основе рекомендаций по режиму эксплуатации и резервирования, разработки инструментальных средств диагностики и на их основе прогнозирования остаточного ресурса электропроводок.

Как известно, электропотребление в сфере обслуживания, в быту, производстве, за исключением непрерывных производств, является циклически-переменным. Проиллюстрируем это на примере сельской односменной школы и сельского жилого дома (рис. 1, 2) [5]. Взят зимний период с минимальным световым днем. В данном случае летний период характер кривых изменяет не принципиально. Изменяется только амплитуда характеристик и в некоторой степени их временной размах. Наиболее существенны изменения электропотребления в школе, приходящиеся на июль-август, но в остальном зависимость остается неизменной (рис. 1).

Вид зависимости, показанный на рисунке 1 с незначительными отличиями, характерен также для сельскохозяйственных производств циклического действия: для животноводческих и птицеводческих ферм (предполагающих в летний период птицы и животных), зерноперерабатывающих производств, кормоприготовительных производств, зернохранилищ и т.п.

Из этого следует, что при оценке износа электропроводок на предприятиях сельскохозяйственного производства и сферы обслуживания, работающих в циклическом режиме, наиболее значимыми по негативному воздействию на проводящеизолирующую составляющую установочных проводок является суточный период с 6 до 20 ч, независимо от климатического периода.

В жилом секторе график суточной нагрузки имеет характерный «двугорбый» вид с пиком нагрузок в районе 7-9 и 18-23 ч, независимо от того рабочий день или выходной (рис. 2). Причем «пик» с 7 до 9 ч хотя и значителен, существенно меньше броска энергопотребления с 18 до 23 ч.

Положение усугубляется тем, что невозможно достаточно достоверно предсказать климатические колебания температуры в годовом цикле и от года к году. Соответственно, невозможно предсказание электропотребления производством и населением, определяемое этим фактором, в обозримый период. Невозможность предсказания электропотребления и влияния климатических факторов на него предопределяет невозможность точной оценки износа электропроводок и точного определения вероятности аварийной ситуации [6].

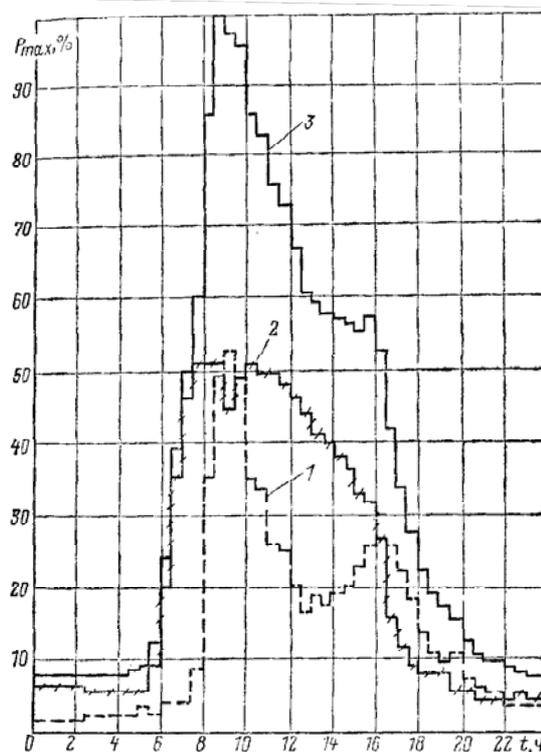


Рис. 1. Суточный режим электропотребления односменной школы с электрифицированным пищеблоком в зимний период:
 1 — осветительная нагрузка;
 2 — силовая нагрузка;
 3 — суммарная нагрузка

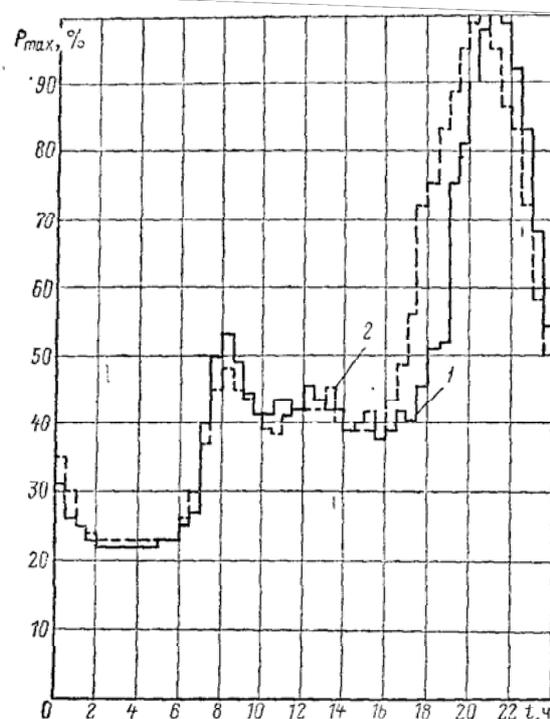


Рис. 2. Суточный режим электропотребления жилого здания с газовой плитой в зимний период:
 1 — будние дни; 2 — выходные дни

Поскольку климатические и нагрузочные отклонения возникают в каких-то технических приемлемых пределах (исключая катастрофические), можно использовать для оценки износа электропроводок в условиях неопределенности либо аппарат «нечеткой логики» [7], либо многокритериального принятия решений и экспертных оценок.

Сложность заключается в том, что в данном случае многокритериальность процесса разрушения электропроводки не может быть оценена однокритериальной оценкой «нечеткой логики». Проще говоря, динамический процесс не может быть определен с помощью статической оценки [8].

Кроме того, применение аппарата «нечеткой логики» предполагает замену технических (метрологических) параметров и оценок устройства или процесса чувственным восприятием. В нашем случае это не соответствует действительности. Все параметры электропитания могут быть обеспечены метрологически. Необходима лишь вероятностная оценка наступления того или иного события, а также весовая оценка этого события, т.е. применение человеко-машинных процедур [9].

Недостаток теории многокритериального принятия решений и экспертных оценок, а также вероятностная оценка наступления того или иного события, весовая оценка этого события, постоянное использование «мозгового штурма» для оценки работоспособности установочных проводок требуют, естественно, больших материальных затрат, связанных с метрологической регистрацией параметров проводки и привлечением высококвалифицированного экспертного персонала.

Есть целый ряд процедур принятия решений, позволяющих исключить «мозговой штурм», сводя его к минимально необходимому объему параметров, позволяющих лицу, принимающему решение (ЛПР), на основе своего опыта делать обоснованное заключение о степени работоспособности проводки и вероятности наступления аварийной ситуации. Имеются в виду процедуры системного анализа.

Расчет электропроводности металлов, выполненный на основе квантовой теории [10], приводит к выражению для удельной электрической проводимости металла, которое по внешнему виду напоминает классическую формулу для σ , но имеет совершенно другое физическое содержание:

$$\sigma = \frac{ne^2 \langle l_F \rangle}{m^* \langle u_F \rangle}, \quad (1)$$

где σ – удельная проводимость;

n – концентрация электронов проводимости в металле;

$\langle l_F \rangle$ – средняя длина свободного пробега электрона, имеющего энергию Ферми;

$\langle u_F \rangle$ – средняя скорость теплового движения электрона;

m^* – эффективная масса электронов.

Выводы, получаемые на основе формулы (1), полностью соответствуют опытным данным. Квантовая теория металлов, в частности, объясняет зависимость удельной проводимости от температуры $\sigma \sim 1/t^0$ (классическая теория дает, что $\sigma \sim 1/\sqrt{t^0}$), а также аномально большие величины (порядка сотен периодов решетки) средней длины свободного пробега электронов $\langle l_F \rangle$ в металле.

Средняя скорость теплового движения электрона $\langle u_F \rangle$ от температуры не зависит, так как уровень Ферми остается практически неизменным. Однако с повышением температуры рассеяние «электронных волн» на тепловых колебаниях решетки (на фононах) возрастает, что соответствует уменьшению средней длины свободного пробега электронов. В области комнатных температур $\langle l_F \rangle \sim t^{-1}$, поэтому, учитывая независимость $\langle u_F \rangle$ от температуры, получим, что сопротивление металлов ($R \sim 1/\sigma$), в соответствии с данными опытов, растет пропорционально температуре t^0 .

Для различных металлов скорости хаотического теплового движения электронов (при определенной температуре) примерно одинаковы. Концентрации свободных электронов для различных металлов различаются на величины порядка единиц процентов (например, для меди и никеля это различие меньше 10%). Соответственно, значение удельной проводимости (или удельного сопротивления) в основном зависит от средней длины свободного пробега электронов в данном проводнике, которая, в свою очередь, определяется структурой проводникового материала (т.е. степенью его чистоты).

Все чистые металлы с наиболее правильной кристаллической решеткой характеризуются наименьшими значениями удельного сопротивления. Примеси, искажая решетку, приводят к увеличению удельного сопротивления.

К такому же выводу можно прийти, исходя из волновой природы электронов [10]. Рассеяние электронных волн происходит на дефектах кристаллической решетки, которые соизмеримы с расстоянием около четверти длины электронной волны. Нарушения меньших размеров не вызывают заметного рассеяния волн. В металлическом проводнике, где длина волны электрона около 0,5 нм, микродефекты создают значительное рассеяние, уменьшающее подвижность электронов, следовательно, приводят к росту сопротивления материала.

Из множества дестабилизирующих и разрушающих факторов электроснабжения по установочным электропроводкам чаще всего не более $2^x - 3^x$ оказывает наибольшее влияние. В данном случае такими факторами являются временной износ и «пиковые» нагрузки, предопределяемые климатическими колебаниями, что вызывает количественный рост дислокаций в металле. Остальные причины на этом фоне несущественны (перегрузка, вызванная безграмотностью обслуживающего персонала не рассматривается). Поскольку отказ какого-либо элемента проводки рассматривается как отказ всей системы, то система является цепной и ее функционирование подчиняется распределению Вейбулла-Гнеденко [11].

Необходимо учитывать, что «пиковые» нагрузки дискретны и ограничены во времени, что дает возможность произвести оценку их влияния статистическими методами с помощью «геометрического» распределения. Однако временной износ, в данном случае, может быть оценен как явление непрерывное. Это предполагает использование экспоненциального временного распределения с наложением «пикового» геометрического распределения на процесс, т.е. как произведение вероятностей. Вероятность появления отказа за время большее, чем заложенное время безотказной работы определяется выражением [11]

$$P \{ \tau > T \} = e^{-\lambda T}, \quad (2)$$

где P – вероятность отказа;

τ – время безотказной работы;

T – расчетное время;

λ – величина, обратная времени безотказной работы.

В этом случае вероятность безотказной работы определяется выражением

$$P \{ \tau > T \} = e^{-\frac{T}{M \{ \tau \}}}, \quad (3)$$

где M – математическое ожидание времени безотказной работы.

Отсюда среднее время безотказной работы определяется выражением

$$M \{ \tau \} = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \lambda \int_0^{\infty} t e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}. \quad (4)$$

Если имеются данные о времени безотказной работы системы, то

$$\lambda = \frac{1}{\tau} = \frac{N}{\sum_{i=1}^N \tau_i}, \quad (5)$$

где N – количество потребителей.

Учитывая все вышеизложенное, появляется возможность оценки работоспособности

проводок и вероятного времени ее наработки на отказ.

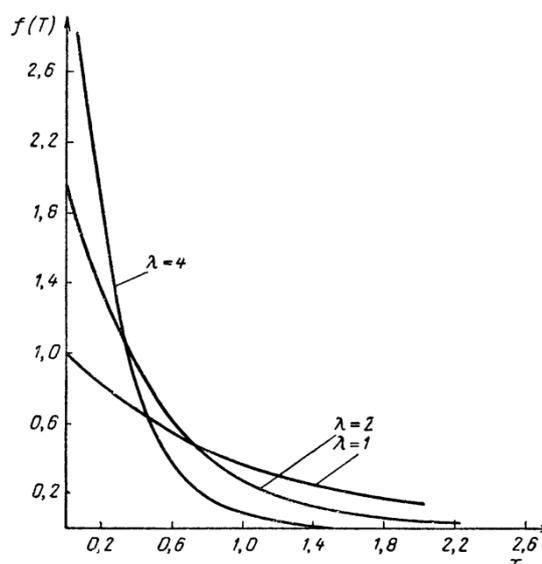


Рис. 3. Плотность экспоненциального распределения для различных λ

Например, определяют металл электропроводки и материал изоляционного покрытия. Находят паспортные данные на данную проводную пару, в том числе нормативный срок эксплуатации линии и времени наработки на отказ до начала эксплуатации, а также температуру проводки в данной среде прокладки при отсутствии нагрузки. Определяют трассировку и длину контролируемой линии. Расчетным путем устанавливают сопротивление линии при указанных условиях, а также температуру нагрева проводов линии до состояния устойчивого теплообмена с окружающей средой при экономическом и реально используемом токах нагрузки. К линии подключают регулируемую нагрузку и с помощью вводного устройства – источник электроэнергии. Регулируя нагрузку по показаниям амперметра, добиваются экономического значения тока в линии. Через промежуток времени, достаточный для установления температурного баланса между линией и окружающей средой, определяют с помощью датчика температуру проводов и изоляции линии. Затем, регулируя нагрузку, по показаниям амперметра, добиваются получения реально используемого значения тока в линии. Через промежуток времени, достаточный для установления температурного баланса между линией и окружающей средой, определяют с помощью датчика температуру проводов и изоляции линии. Находят отношение расчетных значений к реальным. После чего все полученные справочные данные на проводку, расчетные и экспериментальные результаты, совместно с кривой вероятности безотказной работы, заносят в вычислительное устройство, с его помощью соотносят

полученные результаты с кривой вероятности безотказной работы и по наихудшему результату оценивают остаточное время наработки линии на отказ.

Помимо изложенного имеется ряд методов оценки работоспособности проводки и вероятного времени ее наработки на отказ, разработанных автором, использующих другие принципы контроля (резистивный, индуктивный, емкостный, акустический и т.п.), которые позволяют производить текущий контроль состояния установочных проводов.

Выводы

1. Использование технических регламентов (ПУЭ) не дает возможность прогнозировать наступление аварийной ситуации в электропроводах, принимать упреждающие решения по своевременному предотвращению нарушений электроснабжения.

2. Отсутствие предсказания временного режима электропотребления и влияния климатических факторов на него предопределяет невозможность точной оценки износа электропроводок и точного определения вероятности аварийной ситуации.

3. Основными факторами, нарушающими работоспособность установочных электропроводок, являются временной износ и «пиковые» нагрузки, предопределяемые климатическими колебаниями, что вызывает количественный рост дислокаций в металле. Остальные причины на этом фоне малосущественны.

4. Точная оценка износа электропроводок и определения вероятности аварийной ситуации возможна при использовании распределения Вейбулла-Гнеденко в совокупности с разработанными методами проверки работоспособности на основе различных физических принципов.

5. Для оценки износа электропроводок в условиях неопределенности можно использовать аппарат многокритериального принятия решений и экспертных оценок.

Библиографический список

1. Правила устройства электроустановок ПУЭ7. Нормативно-технический сборник. – М.: Минэнерго, 2003.

2. ГОСТ Р50571.15-97. Электропроводки (стандарт МЭК 364-5-52 (1993) «Электрические установки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 52. «Электропроводки»).

3. Федеральный закон Российской Федерации о пожарной безопасности. № 230 – ФЗ от 18.10.2007.4. ВСН53-86(Р). Правила оценки физического износа жилых зданий. – М.: Госгражданстрой, 1988.

4. Тульчин И.К., Нудаер Г.И. Электрические сети и электрооборудование жилых и общественных зданий. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 480 с.

5. РМГ 91-2009. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. ГСИ. Совместное использование понятий «погрешность измерения» и «неопределенность измерения». Общие принципы.

6. Zadeh L. Fuzzy sets // Information and Control. – 1965. – Vol. 8. – P. 338-353.

7. ГОСТ Р 51905.5-2005. Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности.

8. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений. – М.: Логос, 2000. – 305 с.

9. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981. – 488 с.

10. Герцбах И.Б., Кордонский Х.Б. Модели отказов. – М.: Советское радио, 1966. – 172 с.

References

1. Pravila ustroistva elektroustanovok PUE7. Normativno-tehnicheskii sbornik. – M.: Mine-nergo, 2003.

2. GOST R50571.15-97. Elektroprovodki (standart MEK 364-5-52 (1993) «Elektricheskie ustanovki zdanii. Chast' 5. Vychor i montazh elektrooborudovaniya. Glava 52. «Elektroprovodki»).

3. Federal'nyi zakon Rossiiskoi Federatsii o pozharnoi bezopasnosti, № 230-FZ ot 18.10.2007.4. VSN53-86(R). Pravila otsenki fizicheskogo iznosa zhilykh zdanii. – M.: Gosgrazhdanstroi, 1988.

4. Tul'chin I.K., Nudaer G.I. Elektricheskie seti i elektrooborudovaniye zhilykh i obshchestvennykh zdanii. – M.: Energoatomizdat, 1990. – 480 s.

5. RMG 91-2009. Rekomendatsii po mezhgosudarstvennoi standartizatsii. GSI. Sovmestnoe ispol'zovanie ponyatii «pogreshnost' izmereniya» i «neopredelennost' izmereniya». Obshchie printsipy.

6. Zadeh L. Fuzzy sets // Information and Control. – 1965. – Vol. 8. – P. 338-353.

7. GOST R 51905.5-2005. Menedzhment riska. Rukovodstvo po primeneniyu metodov analiza nadezhnosti.

8. Larichev O.I. Teoriya i metody prinyatiya reshenii. – M.: Logos, 2000. – 305 s.

9. Moiseev N.N. Matematicheskie zadachi sistemnogo analiza. – M.: Nauka, 1981. – 488 s.

10. Gertsbakh I.B., Kordonskii Kh.B. Modeli otkazov. – M.: Sovetskoe radio, 1966. – 172 s.

