

УДК 658.012:004.42(075.8)

Н.И. Хорошев, А.Б. Петроченков, В.П. Казанцев

Система оптимизации ресурса электротехнического оборудования на основе методов субъективной оценки факторов риска

Рассмотрен подход к построению системы оптимизации ресурса электротехнического оборудования на основе методов субъективной оценки факторов риска, направленный на повышение показателей надежности и снижение стоимости эксплуатации изделия на предприятиях нефтегазодобывающей отрасли. Основопологающим является экспертный метод анализа надежности и оптимизации принимаемых управленческих (технических) решений в условиях ограниченности и неопределенности исходной информации.

Ключевые слова: база данных (БД), комплексные критерии эффективности, оптимальное решение, целевая функция, цех добычи нефти и газа (ЦДНГ), эксперт, электротехническое оборудование (ЭО).

Введение

При эксплуатации электрических станций, подстанций, сетей и энергосистем обычно учитываются следующие основные требования [1]:

1. Производство, передача и распределение заданного количества электроэнергии (мощности) в соответствии с заданным графиком.
2. Надежная работа установок и энергосистемы в целом.
3. Удовлетворительное качество электроэнергии.
4. Снижение ежегодных издержек на эксплуатацию.

Первое требование представляет собой техническое задание на электроснабжение потребителей. Второе и третье определяются существующими техническими нормативами. Четвертое выступает в качестве экономического критерия при распределении задания первого требования по объектам энергосистемы.

Оптимальность решения при эксплуатации электроэнергетических объектов означает, что заданный производственный эффект (располагаемая мощность, отпускаемая энергия, уровень надежности и качества) достигается при минимально возможных затратах материальных и трудовых ресурсов. Таким образом, необходимо говорить о том, что система оптимизации ресурса включает в себя эффективное управление основными факторами производства: трудовыми, денежными и информационными ресурсами, а также основными фондами.

В связи с существующими недостатками, выявленными в ходе анализа системы планово-предупредительных ремонтов [2], а также с ростом количества оборудования предприятий нефтегазодобывающей отрасли особое значение приобретают системы мониторинга и диагностики. Они позволяют контролировать непрерывно или с некоторой периодичностью различные физические величины: частичные разряды, электрические токи утечки, возвратное напряжение, акустические волны, вибрацию, инфракрасное излучение и др., которые в свою очередь позволяют судить о состоянии электротехнического оборудования (ЭО). Следовательно, возникает необходимость в решении задачи оптимального распределения денежных потоков на мониторинг и диагностику. Данное решение с учетом ранее выдвинутых требований к объектам электроэнергетики может находиться как в области определенности (параметрические оценки надежности), так и неопределенности исходной информации (непараметрические оценки), на чем и базируется формирование управленческого решения.

Исходя из всего вышесказанного, оптимизация распределения денежных средств на проведение различных работ по выявлению состояния ЭО является актуальной задачей в рассматриваемой области народного хозяйства.

Основной целью является разработка методики оптимизации ресурса ЭО на основе методов субъективной оценки факторов риска (методов экспертной оценки) в условиях неопределенности исходной информации.

Решение задачи принятия оптимального управленческого решения

В условиях определенности исходной информации возможен случай, при котором оценки показателей надежности сравниваемых объектов неразличимы [3], тогда однозначного решения нет – варианты равнонадежны. В таком случае для выбора наилучше-

го варианта требуются дополнительные критерии, в качестве которых предлагаются непараметрические оценки надежности в виде числа конъюнкций и комплексные оценки эффективности, которые также могут использоваться и при наличии неопределенности. Возможен вариант и совместного применения данных методов формализации состояния энергосистемы и принятия оптимального решения.

Источниками исходной информации при принятии решений, прежде всего, должны быть соответствующие базы данных (БД): измерений физических величин, статистических данных. Первая БД представляет собой данные о динамике развития дефектов и повреждений, а вторая – показатели надежности [3, 4]. Также необходимо ориентироваться на ремонтные и эксплуатационные документы, материалы специальных исследований, акты расследования аварий и рекламации, которые могут выступать в качестве дополнительных источников информации.

В случае определения оптимального варианта распределения денежных средств из некоторого числа возможных необходимо учитывать дополнительные издержки, т.е. все потенциально возможные составляющие экономического ущерба предприятия, обусловленные вероятностью возникновения аварийного простоя в схемах электроснабжения [1, 3].

Бесспорно, что для принятия обоснованных решений необходимо опираться на опыт, знания и интуицию специалистов. Данная составляющая является наиболее приоритетной в системе принятия решения и определяет ее эффективность.

Рассмотрим методы экспертных оценок, представляющие собой методы организации работы со специалистами-экспертами и обработки мнений экспертов. Экспертные исследования проводят с целью подготовки информации для лиц, принимающим данные решения (ЛПР).

Экспертные оценки бывают следующими:

1. Индивидуальные – оценки одного специалиста. В контексте мониторинга (осмотров) и диагностики – это качественная оценка электротехническим персоналом состояния оборудования согласно идентифицирующим параметрам (признакам).

2. Коллективные – совещание специалистов в области электроэнергетики, направленное на подготовку информации к принятию решения с учетом коллективного мнения.

Мнения экспертов часто могут быть выражены в порядковой шкале, т.е. эксперт может сказать (обосновать), что один показатель (параметр) электрооборудования более важен, чем другой, первый технологический объект более опасен, чем второй, и т.д. Но он не в состоянии сказать, во сколько раз или насколько более важен, соответственно, более опасен. Поэтому экспертов часто просят дать ранжировку (упорядочение) объектов экспертизы, т.е. расположить их в порядке возрастания (или убывания) интенсивности интересующей организаторов экспертизы характеристики.

Рассмотрим в качестве примера решение упрощенной задачи выбора объекта (цеха добычи нефти и газа – ЦДНГ) для проведения работ согласно системам мониторинга и диагностики в условиях ограниченности финансовых возможностей и неопределенности исходной информации. Данное решение будет основано на коллективной экспертной оценке каждого варианта схем электроснабжения.

Каждое решение направлено на достижение одной или нескольких целей:

– провести мониторинг ЭО (в том числе в условиях неопределенности, недостаточности информации);

– осуществить ремонт, измерения, другие профилактические работы, направленные на достижение надежной работы установок и энергосистемы в целом.

Каждое решение предполагает использование тех или иных ресурсов, в частности финансовые отчисления на проведение работ (мониторинг, диагностика, ремонт) с использованием трудовых ресурсов.

Поскольку речь идет об оценке факторов риска для каждой из рассматриваемых экспертами схем, то следует определить данные риски. Прежде всего, оценивается основной риск – риск выхода из строя ЭО (потери) и связанные с ним последствия в виде экологических рисков, которые так или иначе ведут к экономическому ущербу предприятия. Также существуют риски нанесения вреда здоровью человека, что тоже немаловажно.

Почему вообще возможны расхождения во мнениях экспертов? В частности, потому что они по-разному оценивают возможный риск выхода из строя ЭО, а также его влияние на успешность достижения цели: регламентированного времени функционирования ЭО ($T_{ф}$, ч).

Многие решения принимаются в условиях риска, т.е. при возможной опасности потерь. Связано это, как правило, с разнообразными неопределенностями, возникающими

при отсутствии исчерпывающей информации о состоянии оборудования. Кроме отрицательных (нежелательных) неожиданностей бывают положительные (успехи).

Любое измерение проводится с некоторой погрешностью, и эту погрешность необходимо указывать.

В антагонистических конфликтных ситуациях выбор оптимального решения основывается на теории минимакса (максимина), базирующейся на минимаксном (максиминном) критерии Вальда. Применение данного критерия обеспечивает максимизацию минимального выигрыша или, что то же самое, минимизацию максимальных потерь, которые могут быть использованы при выборе определенной стратегии.

Выбор оптимальных решений из числа попавших в зону неопределенности производится на основе комплексных критериев эффективности.

Процедура принятия решения на основе комплексных критериев эффективности и экспертных оценок состоит из следующих этапов:

1. Выбор экспертов.

Число экспертов должно быть не менее числа свойств, учитываемых при сравнении вариантов. Состав экспертов должен определяться необходимостью присутствия специалистов, компетентных в нужной области. Ориентировочное число экспертов – от 5 до 10.

В нашем случае число экспертов $N = 5$.

2. Составление перечня свойств.

Эксперты устанавливают перечень свойств, подлежащих оценке. Ориентировочно в перечне должно быть от 3 до 7 свойств.

Таблица 1

Критериальные свойства схем электроснабжения

№ п/п	Свойство	Значение
1	Техническое состояние ЭО (БД измерений)	min (плохое)
2	Число отказов (аварий) ЭО (БД статистики)	max
3	Устойчивоспособность наряду с передаваемой мощностью	max
4	Денежные затраты на методы съема параметров	min

Техническое состояние электротехнического оборудования на основе БД измерений оценивается параметрически [5], используя, как правило, дистанционные неразрушающие методы контроля без отключения оборудования.

Число вариантов рассмотрения $m = 3$ (оценка трех схем электроснабжения).

1. Определение весомостей.

Каждому свойству каждый эксперт присваивает оценочный ранг, который соответствует месту, занимаемому свойством в порядке убывания его важности. Наиболее важное свойство получает первое место или ранг $a = 1$.

2. Обработка матрицы рангов (a_{ik}).

Дает возможность оценить весомость каждого свойства (v_i) согласно формуле (1).

Таблица 2

Матрица рангов критериальных свойств

Свойство, i	Эксперт, k					Весомость критериального свойства, v_i
	1	2	3	4	5	
1	1,5	1,5	2	1,5	1,5	0,40
2	4	3,5	3	3,5	3	0,10
3	3	3,5	4	1,5	4	0,13
4	1,5	1,5	1	3,5	1,5	0,36

Весомость каждого свойства определяется следующим образом:

$$v_i = \omega_i \cdot \left(\sum_{i=1}^n \omega_i \right)^{-1}, \quad (1)$$

где $\omega_i = 1 - A_i \cdot (n \cdot N)^{-1} + n^{-1}$; N – число экспертов; n – число свойств в перечне; A_i – сумма рангов i -го свойства, $A_i = \sum_{k=1}^N a_{ik}$.

3. Оценка эффективности вариантов по каждому свойству.

Данная оценка основана на выявлении показателей, связанных с этим свойством наглядными зависимостями. Например, числа каких-либо элементов в схеме или частоты возможных событий. Менее желательно использовать показатели, которые требуют рас-

четов и новых исходных данных. Достоверность таких показателей может быть оспорена экспертами, что недопустимо. Переход от численных показателей к относительным оценкам может быть осуществлен с помощью какого-либо линейного преобразования. В случае отсутствия показателей относительные оценки получаются путем ранжирования вариантов каждым экспертом.

На основе матрицы оценок (\mathbf{b}_{ijk}), где j – номер варианта, можно получить сумму рангов B_{ij} -го варианта по i -му свойству (табл. 3) и эффективность e_{ij} каждого свойства для каждого варианта [формула (4), табл. 4]:

$$B_{ij} = \sum_{k=1}^N b_{ijk}; e_{ij} = 1 - B_{ij} \cdot (m \cdot N)^{-1} + m^{-1}, \quad (2)$$

где m – число вариантов.

1. Комплексная оценка эффективности.

Эта оценка производится с помощью:

– средней арифметической формы:
$$E^*_{aj} = \sum_{i=1}^n v_i \cdot e_{ij}; \quad (3)$$

– средней гармонической формы:
$$E^*_{\Gamma j} = \left(\sum_{i=1}^n v_i / e_{ij} \right)^{-1}. \quad (4)$$

Линейная форма может иногда дать весьма близкие оценки, если проигрыш по одному свойству компенсируется выигрышем по другому. У оптимального варианта значения E^*_{aj} и $E^*_{\Gamma j}$ должны быть наибольшими. При неразличимости каких-либо вариантов по комплексному критерию процедуру для них следует повторить. Если неразличимость возникла из-за большой погрешности в оценках E^* , следует изменить состав экспертов. Если неразличимость возникла из-за близких значений E^* у вариантов, следует составить новый перечень свойств – из числа не учтенных при первом сравнении.

Таблица 3

Матрица оценок (\mathbf{b}_{ij}) вариантов принятия решения

Схема, j	Свойство, i			
	1	2	3	4
1	2	2	1,5	1
2	1	3	1,5	2
3	3	1	3	3

Примечание: рассматривается для $N = 1$.

Применив данный алгоритм комплексных критериев эффективности к нашей задаче, можно получить оценочные отношения, представленные в виде табл. 3 и 4.

Таблица 4

Комплексная оценка эффективности вариантов принятия решения

Схема, j	Эффективность каждого свойства для каждого варианта, e_{ij}				E^*_{aj}	$E^*_{\Gamma j}$
	1	2	3	4		
1	0,667	0,667	0,833	1,000	0,803	0,778
2	1,000	0,333	0,833	0,667	0,757	0,660
3	0,333	1,000	0,333	0,333	0,440	0,373

Погрешность оценок v_i в случае определения их группой экспертов вычисляется по множеству указанных экспертами значений как среднеквадратическое отклонение от среднего [1]. Погрешности оценок e_i определяются погрешностями измерения показателей критериальных свойств y_i и распределением вероятностей этих погрешностей. В случае определения e_i экспертным путем погрешности этих оценок вычисляются аналогично погрешностям оценок v_i .

Если оставить без внимания погрешности оценок, то варианты имеют вполне различимые оценки E^* . Оценка средней гармонической – самая низкая (третья схема – рис. 1), предупреждает, что принятие этого варианта осуществляется в самую последнюю очередь, при условии остатка денежных средств.

Заключение

Из методики анализа схем электроснабжения следует, что значение целевой функции E^* [формулы (3) и (4)] для каждого варианта объекта или системы является комплексной оценкой его качества.

В зависимости от постановки критериальных свойств оптимальным значением является либо минимальное, либо максимальное значение данной функции среди множества

рассматриваемых вариантов. В нашем случае оптимальным можно признать вариант, у которого целевая функция максимальна, что выделяет необходимость проведения восстановительных работ на первом участке общей схемы электроснабжения (ЦДНГ №1) среди прочих вариантов.

Целевая функция как комплексный показатель качества является мерой эффективности управленческого (технического) решения, или мерой приближения к эталону [6].

Таким образом, задача распределения денежных средств на проведение комплексных работ по оценке состояния ЭО (ряда ключевых параметров) на предприятиях нефтегазодобывающей отрасли может быть сведена к экспертному ранжированию вариантов схем электроснабжения.

Работы по данному направлению ведутся в рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых (договор № 02.120.11.4435-МК).

Литература

1. Гук Ю.Б. Комплексный анализ эффективности технических решений в энергетике / Ю.Б. Гук, П.П. Долгов, В.Р. Огороков и др.; под ред. В.Р. Огорокова, Д.С. Щавелева. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 175 с.
2. Яцюра А.И. Система технического обслуживания и ремонта энергетического оборудования: справочник. – М.: НЦ ЭНАС, 2005. – 503 с.
3. Гук Ю.Б. Анализ надежности электроэнергетических установок. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 222 с.
4. Бочкарев С.В. Диагностика и надежность автоматизированных систем: учеб. пособие для вузов / С.В. Бочкарев, А.И. Цаплин; Пермский государственный технический университет. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2006. – 262 с.
5. РД 34.45-51.300-97. Объем и нормы испытаний электрооборудования. – М.: Атомиздат, 2001. – 154 с.
6. Бочкарев С.В. Автоматизация управления жизненным циклом электротехнической продукции: учеб. пособие / С.В. Бочкарев, А.Б. Петроченков, А.В. Ромодин; Пермский государственный технический университет. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008. – 365 с.

Хорошев Николай Иванович

Аспирант кафедры микропроцессорных средств автоматизации Пермского государственного технического университета (МСА ПГТУ)
Эл. почта: horoshevni@mail.ru.

Петроченков Антон Борисович

Канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой МСА ПГТУ
Тел.: (342) 239-18-21
Эл. почта: pab@msa.pstu.ac.ru.

Казанцев Владимир Петрович

Д-р техн. наук, профессор кафедры МСА ПГТУ
Тел.: (342) 239-18-22
Эл. почта: kazvlad2008@yandex.ru.

N.I. Khoroshev, A.B. Petrochenkov, V.P. Kazantsev

Resource optimization system of electro-technical equipment on the basis of subjective risk factors estimation methods

In this article approach to creating resource optimization system of electro-technical equipment on the basis of subjective risk factors estimation methods, directed on increase of reliability indices and cost reduction of product exploitation on enterprises of oil and gas branches is considered. The expert method of reliability analysis and optimization of administrative decisions in conditions of limitation and uncertainty of the initial information is basic.

Keywords: database (DB), complex criteria of efficiency, optimal solution, criterion function, oil recovery and gas shop (ORGS), expert, electro-technical equipment (EE).

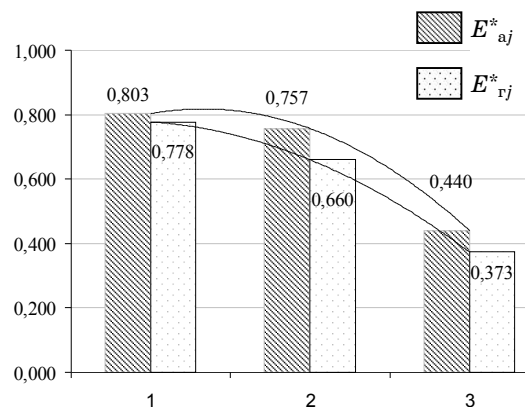


Рис. 1. Средняя арифметическая и гармоническая формы трех вариантов схем