

Электроэнергетика

УДК 002.52:681.3.016

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ, УПРАВЛЯЕМЫХ ОПЕРАТОРОМ

В.И. Павлов, Т.В. Аксенова, В.В. Аксенов

Тамбовский государственный технический университет

E-mail: belova_tatyana@bk.ru

При управлении объектами энергетики в работе операторов возникают сложные ситуации неопределенности в показаниях приборов и измерителей, противоречия в показаниях, выход индицируемых показаний за пределы допустимых значений. Цель статьи заключается в повышении надежности функционирования автоматизированных объектов энергетики, за счёт применения информационной системы поддержки операторской деятельности, сущность которой заключается в формировании моделей изменения фазовых координат и управляющих воздействий объектом, применяемых в системе информационной поддержки. При возникновении неопределенностей в течение сеанса управления объектом предлагается использовать эвристические способности оператора для коррекции определенной части базы данных, а именно базы моделей в случаях, когда оператору удастся быстро найти приемлемый для практики способ разрешения возникшей неопределенности. Разработанный подход снижает психическую нагрузку оператора, повышает его помехоустойчивость и пропускную способность при возникновении неблагоприятных психологических факторов. Показана целесообразность оперативной коррекции базы данных информационной системы поддержки принятия решений.

Ключевые слова:

Операторская деятельность, неопределенность, модель состояния объекта, модель измерения, коррекция информационной системы.

Состояние вопроса. Статистика свидетельствует, что в области автоматизированного управления объектами энергетики на «человеческий фактор» приходится более 50 % всех случаев нарушений, инцидентов и аварий. Часто это связано с низким уровнем профессионализма, а также неумением принимать оптимальные решения в сложной критической обстановке в условиях дефицита времени [1].

Международной эргономической ассоциацией принято определение человеческого фактора как комплекса психофизических, психологических и физиологических особенностей поведения человека в производственной среде, в частности в системе управления. Имеется обширная литература по отбору, подготовке и обучению, тренажу, эргономическому обеспечению рабочего места и условий труда операторов.

Однако «узким местом» в организации автоматизированного управления объектами энергетики является «пропускная способность» человека-оператора. Наиболее сложными при работе оператора являются ситуации, в которых возникают не-

определенности в показаниях приборов и измерителей, противоречия в показаниях, выход индицируемых показаний за пределы допустимых значений.

Постановка задачи. Из совокупности человеческих факторов, влияющих на надежность функционирования управляемых объектов, в статье рассматриваются пропускная способность (быстродействие) – количество обслуживаемых заявок в единицу времени, и безошибочность (помехоустойчивость) – способность оператора принимать правильные решения в условиях действия неблагоприятных психологических факторов. Под неблагоприятными психологическими факторами понимается несоответствие данных, получаемых по каналам связи о функционировании управляемого объекта энергетики, его штатной модели.

Операторская деятельность рассматривается на примере телеуправления объектом с известной моделью изменения фазовых координат [2]:

$$Y_k = A_{k-1}Y_{k-1} + B_{k-1}U_{k-1} + F_{k-1}a_{k-1}, \quad (1)$$

где Y, U, ξ – векторы фазовых координат объекта, управлений и случайных составляющих (шумов состояния) соответственно; A, B, F – матрицы состояния, управления и шумов соответственно; k – текущий момент времени. Составляющими вектора Y являются все контролируемые фазовые координаты объекта, составляющими вектора U являются те фазовые координаты, по которым осуществляется управление.

Измерения фазовых координат объекта осуществляются в соответствии с моделью [2]:

$$Z_k = C_k(\mu_k, \gamma_k)Y_k + N_k, \quad k = \overline{1, K}, \quad (2)$$

где Z, N – векторы выходных сигналов и шумов измерителей; $C(\mu_k, \gamma_k)$ – матрица дискриминационных характеристик измерителей фазовых координат; μ, γ – программа измерений, задаваемая оператором: μ – назначаемый измеритель, γ – интервал измерений; K – длина серии измерений. Результаты измерений передаются по каналу передачи данных (проводному, беспроводному) для визуализации на средствах отображения информации оператора.

Несоответствие данных о функционировании управляемого объекта энергетике его штатной модели возникает по независящим от оператора причинам: 1) неблагоприятные факторы внешней среды, старение и износ аппаратуры, неадекватная реакция объекта на команды управления; 2) искажения при передаче данных по каналу из-за воздействия естественных и искусственных помех.

Цель статьи – повышение надежности функционирования автоматизированных объектов энергетике путем повышения помехоустойчивости и пропускной способности операторов.

Основная часть. Для повышения помехоустойчивости и пропускной способности операторов широко используется информационная поддержка операторской деятельности, как правило, в виде экспертных систем (ЭС) [3, 4]. Сущность разрабатываемого подхода заключается в формировании с единых позиций концептуальной модели управления объектом в сознании оператора, а также моделей изменения фазовых координат и управляющих воздействий объектом, применяемых в системе информационной поддержки (СИП). При этом при возникновении неопределенностей в течение сеанса управления объектом предлагается использовать эвристические способности оператора для коррекции определенной части базы данных, а именно базы моделей в случаях, когда оператору удается оперативно найти приемлемый для практики способ разрешения возникшей неопределенности.

При разработке процедуры принятия решения оператором по коррекции базы данных СИП необходимо учитывать следующие особенности:

- СИП находится в состоянии непрерывного функционирования с изменяющимися внешними и внутренними факторами влияния;
- возможно возникновение неопределенности в первичных измерениях из-за воздействия по-

мех естественного и искусственного происхождения;

- решение принимается в условиях дефицита времени;
- при изменении условий функционирования (внешних, внутренних) и отсутствии реакции оператора вариант решения генерируется автоматически;
- алгоритмы формирования решения оператором и СИП должны быть адекватными друг другу;
- оператор имеет возможность изменять предпочтения (иерархию критериев), неоднократно пользоваться подсказкой, корректировать определенную часть базы данных – базу моделей;
- решаемая задача может иметь уникальный, новый характер, когда отсутствуют статистические данные, позволяющие обосновать иерархию между критериями;
- на момент принятия решения может отсутствовать информация, позволяющая объективно оценить возможные последствия выбора того или иного варианта решения;
- оператор должен принимать решения по корректровке определенной части базы данных в реальном масштабе времени.

Учет данных особенностей достигается разработкой соответствующего алгоритмического обеспечения СИП и возможен, когда модель изменения фазовых координат управляемого объекта имеет вид:

$$Y_k = A_{k-1}Y_{k-1} + B_{k-1}U_{k-1} + F_{k-1}\xi_{k-1} + g_{Y, k-1}, \quad (3)$$

где g_Y – смещения в векторе фазовых координат, вызванные воздействием одного или совокупности неблагоприятных факторов, приводящие к возникновению неопределенности при управлении объектом. Остальные обозначения аналогичны (1).

Модель измерений фазовых координат объекта при реализации разрабатываемого подхода представлена в виде:

$$Z_k = C_k(\mu_k, \gamma_k)Y_k + N_k + Z_{\Pi, k}, \quad k = \overline{1, K}, \quad (4)$$

где Z_{Π} – смещения в измерениях, вызванные воздействием искусственных помех в канале передачи данных и приводящие к неопределенности. Остальные обозначения аналогичны (2).

Модели (3) и (4) за счет введения аддитивных составляющих g_Y, Z_{Π} являются интуитивно понятными оператору. Оператор при необходимости способен оперативно за счет эвристических способностей внести изменения не только в управление объектом U , но и в программу измерений μ, γ с контролем результатов.

Модель измерений (4) при реализации в СИП может быть детализирована следующим образом [5].

Неравноточные измерения

Вектор фазовых координат объекта наблюдается в условиях, когда шумы измерения изменяются. Уравнение измерения будет иметь вид:

$$Z_k = C_k Y_k + \beta_k N_k, \quad k = \overline{1, K}, \quad (5)$$

где $\beta_k \geq 0$ – скалярная случайная величина, определяющая текущую точность измерений. Матрица интенсивностей шумов измерения в каждый момент времени принимает значение $\beta_k^2 Q_k$, где Q – матрица интенсивностей шумов в штатном режиме. Возможны три способа задания случайной величины β_k :

1. $\beta_k \in [0, \beta]$ – непрерывная случайная величина. Матрица интенсивностей шумов измерений $\beta_k^2 Q_k$ принимает бесконечное множество значений, а сами шумы принадлежат бесконечному множеству гауссовских распределений, выбор которых осуществляется случайным образом.
2. $\beta_k = \beta_k^{(s)}$, $s=1, 2, \dots, S$. В этом случае шумы измерений принадлежат конечному множеству гауссовских распределений, каждое из которых имеет матрицу интенсивностей $\beta_k^{(s)2} Q_k$, $s=1, \dots, S$ – номер. Можно считать, что при каждом конкретном $\beta_k^{(s)}$ объект управления находится в s -м состоянии и уравнение измерений имеет вид:

$$Z_k^{(s)} = C_k Y_k + \beta_k^{(s)} N_k, \quad (6)$$

или в эквивалентной форме

$$Z_k^{(s)} = C_k Y_k + N_k^{(s)}, \quad k = \overline{1, K}, \quad (7)$$

где s – номер состояния. Переход от одного состояния к другому (смена индекса) происходит в пределах интервала наблюдений.

3. $\beta_k = \beta_i$, $i=1, 2$; $\beta_1=1$, $\beta_2 \gg 1$. При $\beta_k = \beta_1$ осуществляется режим измерений с нормальной точностью. При $\beta_k = \beta_2$ – режим аномальных измерений.

Случайные пропадания сигнала

Уравнение измерения, учитывающее пропадания сигнала, имеет вид

$$Z_k = \beta_k C_k Y_k + N_k, \quad k = \overline{1, K}, \quad (8)$$

где β_k – скалярная случайная величина, принимающая два значения – ноль и единица. Эволюция β_k во времени может быть представлена в виде однократных скачков, происходящих в случайные моменты времени, что соответствует естественным условиям функционирования, а также в виде марковских цепей, частные случаи которых соответствуют различным сочетаниям неблагоприятных факторов, вызывающим неопределенности.

Ложные измерения

Уравнение измерения имеет вид (8), в котором

$$\beta_k = 1 \pm \varepsilon \Delta, \quad \Delta = t_k - t_{k-1}, \quad (9)$$

где ε – нормирующая константа. Эквивалентная форма имеет вид:

$$Z_k^{(s)} = \beta_k^{(s)} C_k Y_k + N_k, \quad k = \overline{1, K}. \quad (10)$$

Данная модель соответствует часто встречающемуся при дистанционном управлении объектами, но мало изученному случаю плавного изменения свойств канала измерения из-за действия искусственных помех в канале передачи данных. Особенностью данного случая является то, что для

измерителей следящего типа при плавном изменении их свойств широко распространенные способы обнаружения отказов на основе фильтра Калмана не эффективны.

Фрагмент структурной схемы СИП операторской деятельности в условиях неопределенности, построенной на базе типовой ЭС, показан на рисунке.

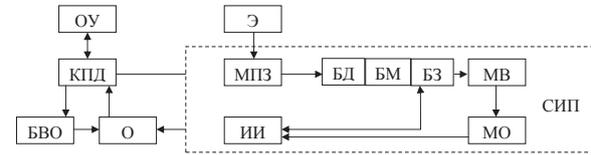


Рисунок. Схема информационной поддержки операторской деятельности в условиях неопределенности (вариант). ОУ – объект управления; КПД – канал передачи данных; БВО – блок визуализации обстановки; О – оператор; Э – эксперт; МПЗ – механизм приобретения знаний; БД, БМ, БЗ – базы данных, моделей, знаний соответственно; МВ – машина вывода; МО – машина объяснения; ИИ – интеллектуальный интерфейс. Стрелками показаны направления передачи информации

Возможная коррекция БМ оператором заключается в замене штатных моделей (1) и (2) на модели (3) и (4) соответственно. Реакция СИП на коррекцию будет заключаться в следующем. При замене только модели (1) на (3) в уравнениях (5)–(10) будет использоваться новое значение Y из (3). При замене только модели (2) на (4) далее используемыми будут измерения (9), (10). Одновременная замена моделей (1) и (2) на модели (3) и (4) не рекомендуется, так как это затруднит выяснение причин возникновения неопределенности по вине объекта управления или канала передачи данных.

Заключение. В представленном варианте поддержки операторской деятельности рассмотрены случаи аддитивных негативных составляющих в моделях состояния объекта управления и измерения его фазовых координат, приводящие к возникновению неопределенности. Аддитивные составляющие в уравнениях измерений (5)–(10), учитываемые в алгоритмическом обеспечении СИП, наглядно проявляются при визуализации измерений на средствах отображения информации оператора. Это наиболее распространенные на практике случаи, с которыми сталкиваются операторы при дистанционном управлении объектами энергетики. В таких случаях оператор должен быстро распознать причину неопределенности, а при невозможности распознавания воспользоваться подсказкой СИП. Такой подход снижает психическую нагрузку оператора, повышает его помехоустойчивость и пропускную способность при возникновении неблагоприятных психологических факторов. Для достижения требуемой помехоустойчивости и пропускной способности оператора при возникновении мультипликативных составляющих в матрице состояния объекта A (3) и в матрице дискриминационных характеристик измерителей фазовых координат $C(\mu_k, \gamma_k)$ (4) в разработанном подходе необходимо дополнительно

обеспечить распознавание причины возникновения неопределенности. Такое распознавание, интуитивно понятное операторам и технически реализуемое в СИП, возможно осуществить с помо-

щью изучения и внедрения индикаторов сопутствующих признаков [6].

Статья подготовлена при поддержке РФФИ, грант № 12-08-00352-а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Контуров Ф.Ф., Петров Д.В. Классификация и краткая характеристика чрезвычайных ситуаций. Основы защиты населения и территорий от ЧС техногенного, природного и экологического характера. – СПб.: Изд-во СПбГУИТМО, 2008. – 84 с.
2. Казаков И.Е., Артемьев В.М., Бухалев В.А. Анализ систем случайной структуры. – М.: Наука, 1993. – 272 с.
3. Кунаев М.А. Оперативная диагностика энергетических установок // Атомная стратегия XXI век. – 2010. – № 3. – С. 14–16.
4. Артемова С.В., Муромцев Д.Ю., Ушанев С.Б., Чернышов Н.Г. Применение экспертной системы для оптимального управле-

5. Селиванова З.М., Хоруб Х.Х., Ибрагим И.А. Информационные технологии создания интеллектуальных информационно-измерительных систем контроля // Автоматизация и современные технологии. – 2009. – № 12. – С. 32–34.
6. Павлов В.И. Скорейшее обнаружение изменения свойств случайных процессов с использованием сопутствующих признаков // Радиотехника. – 2009. – № 2. – С. 15–19.

Поступила 15.07.2013 г.

UDC 002.52:681.3.016

INCREASE OF RELIABILITY OF OPERATOR-CONTROLLED POWER OBJECT FUNCTIONING

V.I. Pavlov, T.V. Aksenova, V.V. Aksenov

Tambov State Technical University

When controlling power objects operators face difficult situations of uncertainty and contradictions in instrument readings, release of displayed indications out of admissible value limit. The purpose of the paper consists in increasing reliability of automated power objects functioning applying the information system of operator activity support. The authors have developed the approach to operator activity information support in uncertainty. The matter of the approach consists in forming the models of changing phase coordinates and the control action by the object applied in the information support system. When indefiniteness occur during the object control the operator heuristic abilities are offered to be used to correct a certain part of a database, the model bases in cases when the operator manages to find quickly the way to solve the uncertainty accepted for practice. The approach developed reduces the operator mental load, increases his noise stability and capacity at occurrence of adverse psychological factors. The paper introduces the appropriateness of on-line correction of a database of information decision-support system.

Key words:

Operator activity, uncertainty, object state model, measurement model, correction of the information system.

REFERENCES

1. Kontuzorov F.F., Petrov D.V. *Klassifikatsiya i kratkaya kharakteristika chrezvychaynykh situatsiy. Osnovy zashchity naseleniya i territoriy ot ChS tekhnogennogo, prirodnogo i ekologicheskogo kharaktera* (Classification and brief characteristic of emergencies. Bases of protecting population and territories against technogenic, natural and ecological emergencies). Saint Petersburg, SPbGUITMO, 2008. 84 p.
2. Kazakov I.E., Artemyev V.M., Bukhalev V.A. *Analiz sistem sluchaynoy struktury* (Analysis of random structure systems). Moscow, Nauka, 1993. 272 p.
3. Kunaev M.A. *Atomnaya strategiya XXI vek*, 2010. 3, pp. 14–16.
4. Artemova S.V., Muromtsev D.Yu., Ushanev S.B., Chernyshov N.G. *Informatsionnye tekhnologii v proektirovanii i proizvodstve*, 1997. 1, pp. 12–16.
5. Selivanova Z.M., Horub H.H., Ibrahim I.A. *Avtomatizatsiya i sovremennye tekhnologii*, 2009. 12, pp. 32–34.
6. Pavlov V.I. *Radiotekhnika*, 2009. 2, pp. 15–19.