

УДК 002.52:681.3.016

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ОПЕРАТОРА ПРИ УПРАВЛЕНИИ ОБЪЕКТОМ ЭНЕРГЕТИКИ

Павлов Владимир Иванович,

д-р техн. наук, профессор кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем» ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», Россия, 392000, г. Тамбов, ул. Советская, 106.
E-mail: vpavl@mail.ru

Аксенова Татьяна Викторовна,

аспирант кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем» ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», Россия, 392000, г. Тамбов, ул. Советская, 106.
E-mail: belova_tatyana@bk.ru

Аксенов Виктор Владимирович,

канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем» ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», Россия, 392000, г. Тамбов, ул. Советская, 106. E-mail: avaks_68@bk.ru

Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения «помехоустойчивости» и «пропускной способности» человека – оператора – при управлении объектами энергетики в случаях возникновения неопределенности, а также в условиях дефицита времени.

Цель исследования заключается в повышении надежности функционирования автоматизированных объектов энергетики за счёт применения информационной системы поддержки операторской деятельности.

Методы исследования: методы системного анализа, математического моделирования сложных систем, компьютерного моделирования; теория Марковских процессов; теория систем со случайно изменяющейся структурой.

Результаты. Разработан подход к информационной поддержке операторской деятельности, сущность которого заключается в возможности использования эвристических способностей оператора для корректировки баз данных, моделей и знаний в системе информационной поддержки при возникновении неопределенности. При этом подсказки системы информационной поддержки при принятии того или иного решения актуальны, т. к. осуществляются в реальном масштабе времени. Модернизированный алгоритм функционирования системы информационной поддержки, основанный на байесовском подходе, обеспечивает дополнительное распознавание причины возникновения неопределенности за счёт регистрации сопутствующих признаков и учёта этой информации при определении текущей ситуации. Проведено исследование быстродействия алгоритма распознавания ситуаций. Разработана структурная схема системы информационной поддержки операторской деятельности, в которой на функциональном уровне учтена возможность получения оператором необходимой подсказки о текущей ситуационной обстановке, соответствии изменений фазовых координат объектов их моделям, появлении скрытых закономерностей в измерениях, а также реализована возможность коррекции базы данных, базы моделей и базы знаний системы поддержки принятия решений.

Ключевые слова:

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

Состояние вопроса

При управлении объектами энергетики широко используются автоматизированные системы, в которых реализована информационная поддержка операторской деятельности в виде экспертных систем [1–3]. Наибольшее распространение получили системы информационной поддержки (СИП), в которых поступление входной информации организовано автоматически по каналам связи с объектом управления (системой контроля) [4–8]. Применяются также СИП смешанного типа, в которых часть информации, как правило, параметрическая, поступает автоматически, а непараметрическая информация вводится вручную оператором [9–11]. Статистика свидетельствует, что в области автома-

тизированного управления объектами энергетики на «человеческий фактор» приходится более 50 % всех случаев нарушений, инцидентов и аварий [12–15]. Это обусловлено недостаточной «пропускной способностью» и «помехоустойчивостью» человека-оператора. Наиболее сложными при работе операторов являются ситуации, в которых возникают неопределенности в показаниях приборов и измерителей, противоречия в показаниях, выход индицируемых показаний за пределы допустимых значений. Требуется дальнейшая разработка методов и совершенствование систем информационной поддержки операторов для повышения эффективности и, в том числе, безопасности автоматизированного управления объектами энергетики.

Постановка задачи

В [16] операторская деятельность рассмотрена на примере телеуправления объектом с известной моделью изменения фазовых координат:

$$\mathbf{Y}_k = \mathbf{A}_{k-1} \mathbf{Y}_{k-1} + \mathbf{B}_{k-1} \mathbf{U}_{k-1} + \mathbf{F}_{k-1} \xi_{k-1}, \quad (1)$$

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

Измерения фазовых координат объекта осуществляются в соответствии с моделью:

$$\mathbf{Z}_k = \mathbf{C}_k(\mu_k, \gamma_k) \mathbf{Y}_k + \mathbf{N}_k, \quad k = \overline{1, K}, \quad (2)$$

где \mathbf{Z} , \mathbf{N} – векторы размерности $\geq n$ выходных сигналов и шумов измерителей; $\mathbf{C}(\mu_k, \gamma_k)$ – 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 энергетики 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. В [16] указаны причины неадекватности измерений (2) и приведены соответствующие модели при неравноточных измерениях, случайных пропаданиях сигнала, ложных измерениях. Приведен фрагмент структурной схемы системы информационной поддержки операторской деятельности в условиях неопределенности, реализующей разрабатываемый подход повышения пропускной способности и помехоустойчивости человека-оператора. Сущность разрабатываемого подхода заключается в формировании с единых позиций концептуальной модели (КМ) управления объектом в сознании оператора, а также моделей изменения фазовых координат и управляющих воздействий объектом, применяемых в СИП. При этом при возникновении неопределенностей в течение сеанса управления объектом предлагается параллельно с машиной вывода и машиной объяснения в СИП 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.

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

Основная часть

Оператор в процессе функционирования непрерывно корректирует КМ ситуационной обстановки по мере изменений, отображаемых на информационном поле. Информационное поле может содержать неопределенности, явно проявляющиеся в скачкообразном изменении параметров сигналов. Кроме того, возможно появление скрытых неопределенностей, выражающихся в несоответствии изменений компонентов вектора фазовых координат объекта их действующим моделям. Учет данных особенностей, интуитивно понятных оператору, в [16] предложено осуществлять путем формального введения в модель состояния объекта и модель измерения аддитивных составляющих. Модели приобретают вид:

$$\mathbf{Y}_k = \mathbf{A}_{k-1} \mathbf{Y}_{k-1} + \mathbf{B}_{k-1} \mathbf{U}_{k-1} + \mathbf{F}_{k-1} \xi_{k-1} + \mathbf{g}_{k-1}, \quad (3)$$

$$\mathbf{Z}_k = \mathbf{C}_k(\mu_k, \gamma_k) \mathbf{Y}_k + \mathbf{N}_k + \mathbf{Z}_{\Pi k}, \quad k = \overline{1, K}, \quad (4)$$

где \mathbf{g} , \mathbf{Z}_{Π} – смещения в векторе фазовых координат и измерения, приводящие к неопределенности. Остальные обозначения как в (1) и (2).

Для обеспечения согласованного функционирования оператора и СИП, а также для предоставления возможности оператору корректировать определенную часть базы данных СИП алгоритмическое обеспечение должно строиться с учетом моделей (3) и (4). Ситуационная обстановка при управлении объектом разбивается экспертами на множество ситуаций S , составляющих полную группу несовместных событий. В данное множество включаются ситуации штатного функционирования, а также ситуации сбоев и отказов из-за неравноточных измерений, случайных пропаданий сигналов, ложных измерений в различных сочетаниях. Алгоритм распознавания ситуаций, основанный на байесовском подходе [17, 18] и реализуемый в СИП, в результате модернизации [19] приобретает вид:

$$\hat{p}_k^{(s)}(\mathbf{Y}) = \frac{p^{(s)}(\mathbf{Y})q \exp[-0,5 \Delta t \varphi_k^{(s)}(\mathbf{Y}, \mathbf{Z}, \mathbf{U})]}{\sum_{s=1}^S \int_{-\infty}^{\infty} p^{(s)}(\mathbf{Y})q \exp[-0,5 \Delta t \varphi_k^{(s)}(\mathbf{Y}, \mathbf{Z}, \mathbf{U}) d\mathbf{Y}], \quad (5)$$

$$\varphi_k^{(s)}(\mathbf{Y}, \mathbf{Z}, \mathbf{U}) = \sum_{l, m=1}^n \frac{\bar{Q}_{lq}^{(s)}}{|\mathbf{Q}^{(s)}|} \left([\mathbf{Z}_k - \mathbf{C}_{lk}^{(s)}(\mu_k, \gamma_k) \mathbf{Y}_k] \times \right. \\ \left. \times [\mathbf{Z}_k - \mathbf{C}_{mk}^{(s)}(\mu_k, \gamma_k) \mathbf{Y}_k] \right), \quad (6)$$

где $\Delta t = t_k - t_{k-1}$, $s = \overline{1, S}$ – номер текущей ситуации, определяемый по критерию $s = \arg \max [p_k^{(s)}(\mathbf{Y})]$; l, m – индексы соответствующих составляющих фазовых координат объекта; \bar{Q}_{lm} – алгебраическое дополнение элемента Q_{lm} в определителе $|\mathbf{Q}|$ матри-



Рисунок. Схема информационной поддержки операторской деятельности в условиях неопределенности (вариант). АСУ – автоматическая система управления; БК – блок коммутации

Figure. Diagram of information support of an operator activity in uncertainty (variant). ACU is the automated control system; БК is the switching block

цы шумов измерителя; q – коэффициент, назначаемый экспертом в случае инструментальной регистрации признака, сопутствующего возникновению неопределенной ситуации (неравноточного измерения, случайного пропадания сигнала, ложного измерения). Возможность такой регистрации возникает, если часть штатных измерителей фазовых координат объекта или специально разработанные измерители использовать в виде [20]:

$$q = q_m(P_r, k | s_k, y_{mk}, k), \quad P_r = \overline{1, 0}, \quad s = \overline{1, S}, \quad (7)$$

где $P_r=1$ соответствует инструментальной регистрации признака неопределенности по m -й фазовой координате объекта.

Фрагмент структурной схемы СИП операторской деятельности в условиях неопределенности с возможностью корректировки системы поддержки принятия решений (СППР) показан на рисунке. При разработке схемы учтено то, что при взаимодействии оператора и СППР на функциональном уровне должна быть возможность получения необходимой подсказки о: текущей ситуационной обстановке; соответствии изменений фазовых координат объектов их моделям; появлении скрытых закономерностей в измерениях; возможности коррекции базы данных, базы моделей, базы знаний СППР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кунаев М.А. Оперативная диагностика энергетических установок // Атомная стратегия XXI век. – 2010. – № 3. – С. 14–16.
2. Применение экспертной системы для оптимального управления технологическими процессами / С.В. Артемова, Д.Ю. Муромцев, С.Б. Ушанев, Н.Г. Чернышов // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 1997. – № 1. – С. 12–16.
3. Калинушкин А.Е., Митин В.И., Семченков Ю.М. Создание экспертных систем для ядерной энергетики // Атомная техника за рубежом. – 1990. – Т. 7. – С. 3–12.
4. Грунтович Н.В., Бубнов Е.А., Бондарев Д.И. Создание автоматизированных систем информационной поддержки оператора на основе систем централизованного контроля судовых энергоустановки // Судостроение. – 1993. – № 1. – С. 24–25.
5. Владимиров В.А., Поршнева С.В., Фридман И.С. Анализ технологической информации для выявления предвестников аварийных остановок газоперекачивающих агрегатов // Датчики и системы. – 2003. – № 12. – С. 40–44.
6. Мохорт И.А., Семикин В.Ю. Развитие информационно-управляющей системы газотранспортного предприятия. Опытная эксплуатация // Нефтяное хозяйство. – 2007. – № 5. – С. 112–114.
7. Комплекс информационной поддержки оператора ВВР-ц. Опыт создания первой версии / И.Н. Козиев, О.Ю. Кочнов, Е.С. Старизный, Ю.В. Волков // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2000. – № 2. – С. 30–39.
8. Система информационной поддержки оператора группового щита управления неблочной электростанции / А.Ш. Лейзерович, Д.И. Бухны, Ю.А. Радин и др. // Электрические станции. – 1994. – № 7. – С. 27–31.
9. Дьяков А.Ф. Надежная работа персонала в энергетике. – М.: Изд-во МЭИ, 1991. – 224 с.
10. Анохин А.Н., Острейковский В.А. Вопросы эргономики в ядерной энергетике. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 344 с.

Выводы

В представленном варианте поддержки операторской деятельности учтена возможность как автоматического, так и автоматизированного управления объектом энергетики.

Разработанный вариант автоматизированной коррекции информационных подсистем (измерителей фазовых координат) объекта путем изменения μ и γ в (4) предполагает использование оператором при формировании корректирующих воздействий подсказки со стороны СППР. При этом оператор также использует интуицию и опыт эксплуатации объекта при коррекции КМ в соответствии с (3), (4) и частично (7). Оператор в случае необходимости корректирует определенную часть баз данных, моделей и знаний СППР. Очевидно, что корректировка СППР и выдача ею подсказки при принятии того или иного решения должны осуществляться в реальном масштабе времени, то есть подсказка должна быть актуальной. Исследование быстродействия алгоритма распознавания ситуаций (5), (6) для различных сочетаний возможных неопределенностей показало, что время, затрачиваемое на определение изменившейся ситуации с вероятностью $p_k^{(s)}(\mathbf{Y})$ не менее 0,95, не превышает одной секунды.

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

11. Development of an expert system for estimating fault section in control center based on protective system simulation / T. Kimura, S. Nishimatsu, Y. Ueki, Y. Fukuyama // IEEE Trans. on Power Delivery. – 1992. – V. 7. – № 1. – P. 167–172.
12. Thompson N., Goffman M. Electric experience with online generator monitoring and diagnostics // Proceeding of the American Power Conference. – 1988. – № 50. – P. 468–471.
13. Zinser K., Welsang C. Knowledge-based systems in distributed control // Modern Power Systems. – 1990. – V. 1. – P. 63–67.
14. Костин А.Н. Голиков Ю.Я. Психология автоматизации управления техникой. – М.: Изд-во Ин-та психологии РАН, 1996. – 160 с.
15. Обеспечение комплексной адекватности тренажеров для электроэнергетики – основа безаварийной работы оперативного персонала / И.Ш. Загреддинов, С.И. Магид, С.В. Мищеряков, Л.В. Сысоева, Е.Н. Архипова. – М.: АПАРТ, 2003. URL: <http://www.testenergo.ru/article1.htm> (дата обращения: 29.07.2014).
16. Павлов В.И., Аксенова Т.В., Аксенов В.В. Повышение надежности функционирования объектов энергетики, управляемых оператором // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 323. – № 4. – С. 91–94.
17. Муромцев Д.Ю., Орлова Л.П., Козлов А.И. Принятие решений с использованием байесовского подхода и экспертных оценок // Вестник Тамбовского ГТУ. – 2003. – Т. 9. – № 1. – С. 15–24.
18. Савчук В.П. Байесовские методы статистического оценивания. Надежность технических объектов. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 328 с.
19. Павлов В.И., Аксенов В.В., Белова Т.В. Оптимизация функционирования измерительных систем // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317. – № 4. – С. 104–106.
20. Павлов В.И. Скорейшее обнаружение изменения свойств случайных процессов с использованием сопутствующих признаков // Радиотехника. – 2009. – № 2. – С. 15–19.

Поступила 04.08.2014 г.

UDC 002.52:681.3.016

EFFICIENCY OF INFORMATION SUPPORT OF OPERATOR WHEN CONTROLLING POWER ENGINEERING FACILITIES

Vladimir I. Pavlov,

Dr. Sc., Tambov State Technical University, 106, Sovetskaya Street, Tambov,
392000, Russia. E-mail: vpavl@mail.ru

Tatyana V. Aksenova,

Tambov State Technical University, 106, Sovetskaya Street, Tambov, 392000,
Russia. E-mail: belova_tatyana@bk.ru

Victor V. Aksenov,

Cand. Sc., Tambov State Technical University, 106, Sovetskaya Street, Tambov,
392000, Russia. E-mail: avaks_68@bk.ru

The relevance of the discussed issue is caused by the need of increasing «noise stability» and «capacity» of a person – an operator – when controlling power engineering facilities in cases of uncertainty, as well as at time deficiency.

The main aim of the study consists in increasing reliability of functioning of automated engineering facilities operation, applying the information system of operator activity support.

The methods of the study: methods of systems analysis, mathematical modeling of complex systems, computer modeling, theory of Markov processes, theory of systems with accidental changing structure.

The results. The authors have developed the approach to information support of operator activity which essence consists in possibility of using heuristic abilities of an operator to correct databases, models and knowledge in the information support system at uncertainty. The hints in the information support system when making this or that decision are relevant as they are given in real time. The modernized algorithm of the information support system operation, based on the Bayesian approach, provides additional recognition of the reason of uncertainty occurrence by recording accompanying signs and accounting of this information when determining current situations. The authors studied the speed of the situation recognition algorithm and developed the block diagram of the operator activity information support system. In the diagram the authors took into account at functional level the possibility of receiving the required hint on the current situation, correspondence of changes of the objects phase coordinates to their models, occurrence of the hidden regularities in measurements. The possibility of correcting database, base of models and base of knowledge of decision-making system support is implemented in the research.

Key words:

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

The paper was supported by RFBR, grant no. 12–08–00352-a.

REFERENCES

1. Kunaev M.A. Operativnaya diagnostika energeticheskikh ustanovok [Operational diagnostics of power plants]. *Atomnaya strategiya XXI vek*, 2010, no. 3, pp. 14–16.
2. Artemova S.V., Muromtsev D.Yu., Ushanev S.B., Chernyshov N.G. Primenenie ekspertnoy sistemy dlya optimalnogo upravleniya tekhnologicheskimi protsessami [Use of expert system for optimum control of technological processes]. *Information technologies in design and production (ITDP)*, 1997, no. 1, pp. 12–16.
3. Kalinushkin A.E., Mitin V.I., Semchenkov Yu.M. Sozdanie ekspertnykh sistem dlya yadernoy energetiki [Creation of expert systems for nuclear power]. *Atomnaya tekhnika za rubezhom*, 1990, vol. 7, pp. 3–12.
4. Gruntovich N.V., Bubnov E.A., Bondarev D.I. Sozdanie avtomatizirovannykh sistem informatsionnoy podderzhki operatora na osnove sistem tsentralizovannogo kontrolya sudovoy energoustanovki [Creation of the automated systems of operator information support on the basis of the centralized control systems of ship power installation]. *Sudostroenie*, 1993, no. 1, pp. 24–25.
5. Vladimirov V.A., Porshnev S.V., Fridman I.S. Analiz tekhnologicheskoy informatsii dlya vyavleniya predvestnikov avariynyykh ostanovok gazoperekachivayushchikh agregatov [The analysis of technological information to identify the harbingers of emergency stops of gas-distributing units]. *Sensors and Systems*, 2003, no. 12, pp. 40–44.
6. Mokhort I.A., Semikin V.Yu. Razvitie informatsionno-upravlyayushchey sistemy gazotransportnogo predpriyatiya. Opytnaya ekspluatatsiya [Development of management-information system of gas transmission company. Trial operation]. *Neftyanoe khozyaystvo*, 2007, no. 5, pp. 112–114.
7. Koziev I.N., Kochnov O.Yu., Starizny E.S., Volkov Yu.V. Kompleks informatsionnoy podderzhki operatora VVR-ts. Opyt sozdaniya pervoy versii [Complex of information support of the operator of VVR-ch. Experience of developing the first version]. *Nuclear Power. Proceedings of the universities*, 2000, no. 2, pp. 30–39.
8. Leyzerovich A.Sh., Bukhny D.I., Radin Yu.A. Sistema informatsionnoy podderzhki operatora gruppovogo shchita upravleniya neblochnoy elektrostantsii [The information support system for the operator of a group control panel of not block power plant]. *Elektricheskie stantsii*, 1994, no. 7, pp. 27–31.
9. Dyakov A.F. *Nadezhnaya rabota personala v energetike* [Staff reliable work in power industry]. Moscow, MYI Publ., 1991. 224 p.
10. Anokhin A.N., Ostreykovskiy V.A. *Voprosy ergonomiki v yadernoy energetike* [Ergonomics issues in nuclear power engineering]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 2001. 344 p.
11. Kimura T., Nishimatsu S., Ueki Y., Fukuyama Y. Development of an expert system for estimating fault section in control center based on protective system simulation. *IEEE Trans. on Power Delivery*, 1992, vol. 7, no. 1, pp. 167–172.

12. Thompson N., Goffman M. Electric experience with online generator monitoring and diagnostics. *Proceeding of the American Power Conference*, 1988, no. 50, pp. 468–471.
13. Zinser K., Welsang C. Knowledge-based systems in distributed control. *Modern Power Systems*, 1990, vol. 1, pp. 63–67.
14. Kostin A.N., Golikov Yu.Ya. *Psikhologiya avtomatizatsii upravleniya tekhnikoy* [Psychology of equipment automation management]. Moscow, Institute of psychology RAN Press, 1996. 160 p.
15. Zagretdinov I.Sh., Magid S.I., Mishcheryakov S.V., Syssoeva L.V., Arkhipova E.N. *Obespechenie kompleksnoy adekvatnosti trenazherov dlya elektroenergetiki – osnova bezavariynoy raboty operativnogo personala* [Ensuring complex adequacy of exercise machines for power industry is a base of staff trouble-free operation]. Moscow, APART, 2003. Available at: <http://www.tstenergo.ru/article1.htm> (accessed 29 July 2014).
16. Pavlov V.I., Aksenova T.V., Aksenov V.V. Povyshenie nadezhnosti funktsionirovaniya obektov energetiki, upravlyaemykh operatorom [Increase of reliability of operator-controlled power object functioning]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2013, vol. 323, no. 4, pp. 91–94.
17. Muromtsev D.Yu., Orlova L.P., Kozlov A.I., Prinyatie resheniy s ispolzovaniem bayesovskogo podkhoda i ekspertnykh otsenok [Decision making using the Bayes approach and expert estimations]. *Transactions of the TSTU*, 2013, vol. 9, no. 1, pp. 15–24.
18. Savchuk V.P. *Bayesovskie metody statisticheskogo otsenivaniya. Nadezhnost tekhnicheskikh obektov* [Bayesian methods of statistical estimation. Reliability of technical objects]. Moscow, Nauka Publ., 1989. 328 p.
19. Pavlov V.I., Aksenov V.V., Belova T.V. Optimizatsiya funktsionirovaniya izmeritelnykh system [Optimization of measuring systems functioning]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2010, vol. 317, no. 4, pp. 104–106.
20. Pavlov V.I. Skoreyshee obnaruzhenie izmeneniya svoystv sluchaynykh protsessov s ispolzovaniem soputstvuyushchikh priznakov [The prompt detection of change in random processes properties by accompanying]. *Radioengineering*, 2009, no. 2, pp. 15–19.

Received: 04 August 2014.