

## Морфологический синтез комплекса имитационных моделей с учетом адаптивного информационного взаимодействия оператора с объектом управления

*Осуществлен анализ функционирования энергосистемы с позиции эффективности безаварийной эксплуатации и влияния человеческого фактора на безопасность работы системы. Представлена математическая модель морфологического синтеза тренажно-имитационного комплекса, для моделирования аварийных и нестандартных режимов работы. Предложена структура системы адаптивного информационного взаимодействия (гибридного интеллекта) оператора с объектом управления.*

**Ключевые слова:** энергосистема, оператор, человеко-машинный комплекс, безопасность функционирования, морфологический синтез, гибридный интеллект.

## Morphological synthesis of imitation model complex taking into account adaptive information interaction of operator with object of control

*The analysis of functioning a power system from the point of view of the efficiency of trouble-free operation and a human factor impact upon the safety of system functioning is carried out. The simulator of the morphological synthesis of a training-imitation complex is presented for modeling breakdown and uncommon working modes is presented. There is offered a structure of the adaptive information interaction system (hybrid intelligence) of an operator with the object of control.*

**Keywords:** power network, operator, man-machine complex, safety of functioning, morphological synthesis, hybrid intelligence.

### Введение

Для операторов сложных человеко-машинных комплексов, функциональной особенностью работы которых является управление энергосистемой, важнейшую роль играет степень их квалификации, вырабатываемая, в том числе и на специальных тренажерах, либо тренировочных программных комплексах. Существующий комплекс автоматизированной системы контроля и управления энергосистемой позволяет осуществлять тренировку персонала, при вводимой экспертом заранее задуманной им задачи по имитации аварийного режима в энергосистеме. Недостатком данного комплекса является отсутствие возможности автоматизированного определения безошибочности и своевременности выполнения алгоритма действия оператора по решаемой им задаче ликвидации заданного аварийного режима.

### Теоретико – методологические особенности вариантного синтеза системы адаптивного информационного взаимодействия (гибридного интеллекта) оператора с объектом управления

Зачастую при определении рациональных структур данных компонентов, разработчики опираются на интуицию и свой эмпирический опыт [2, 4, 6].

Предлагается найти такой вариант системы, который в большей мере соответствует требованиям, удовлетворяющим критериям, предъявляемым к операторам энергосистем. Пусть необходимо разработать программу специального назначения  $S$  для подготовки диспетчеров энергосистемы Приднестровья, в условиях действия факторов энергосистемы, которая состоит из  $n$  подсистем (блоков)  $s_j$  ( $j=\overline{1, n}$ ), например визуальные имитации схем подстан-

ций, блоки данных перетоков по линиям электропередачи, блоки аварийных сигналов и т.д. Каждый из этих блоков может быть выполнен в  $m_j$  вариантах, например на базе существующей системы SCADA или в Windows среде ПК. Функционирование и использование каждого блока можно охарактеризовать некоторым числом  $I_j$  ( $j=\overline{1,n}$ ) классификационных признаков, к которым можно отнести: надежность работы, стоимость, быстродействие, эффективность и др. Важно, чтобы все варианты подсистем описывались одинаковыми параметрами, что обусловлено необходимостью их дальнейшего сравнения.

Множества классификационных признаков, для удобства программной реализации разобьем на две группы: в первую будут входить признаки, которые желательно увеличить (надежность, быстродействие и т.п.), а во вторую – параметры, требующие снижения значений (стоимость, трудоемкость и т.д.).

Построим две трехмерные морфологические таблицы [1]  $X$  и  $Y$ , соответствующие этим разбиениям, при этом номер столбца будет соответствовать номеру подсистемы (блока), а номер строки – номеру варианта, третье же измерение – номеру классификационного признака:

$$X = \{x_{ijk}\}, i=\overline{1,m_j}, j=\overline{1,n}, k=\overline{1,k_j},$$

$$Y = \{y_{ijk}\}, i=\overline{1,m_j}, j=\overline{1,n}, k=\overline{1,k_j},$$

где  $m_j$  – число возможных вариантов выполнения  $j$ -го блока,  $k'_j+k''_j=I_j$ .

При построении функционала качества необходимо выполнение следующих принципов квалиметрии [1]:

- значения всех классификационных признаков должны лежать в одном и том же интервале (0, 1);
- все нормированные единичные показатели качества должны увеличиваться при улучшении единичных показателей.

Нормировку матриц  $X$  и  $Y$  можно осуществить следующим способом:

$$u_{ijk} = x_{ijk}/\max x_{ijk},$$

$$v_{ijk} = \min y_{ijk}/y_{ijk}.$$

Поставим в соответствие каждому  $i$ -му варианту  $j$ -й подсистемы функционал качества

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^{k'_i} \alpha_k u_{ijk} + \sum_{k=1}^{k''_i} \beta_k v_{ijk}. \quad (1)$$

Единичные показатели качества могут иметь различную значимость, что можно учесть, введя векторы весовых коэффициентов  $\alpha = \{\alpha_k\}$  и  $\beta = \{\beta_k\}$ ,  $k=\overline{1,k'_j}$ ;  $q=\overline{1,k''_j}$ , определяемых методом экспертного опроса. В таком случае аддитивный функционал качества примет вид

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^{k'_i} \alpha_k u_{ijk} + \sum_{k=1}^{k''_i} \beta_k v_{ijk}. \quad (2)$$

Все это равносильно свертыванию морфологических таблиц  $X$  и  $Y$ , точнее, полученных на основе этих таблиц нормированных матриц  $U$  и  $V$ , по третьему измерению с учетом весовых коэффициентов и получению некоторой матрицы  $A$  размерности  $m \times n$ , элементы которой имеют вид (2), здесь

$$m = \max m_j.$$

Аддитивный интегральный показатель качества для комплекса в целом будет определяться следующим образом

$$\Phi(S) = \sum_{j=1}^n \rho_j A_{ij}, \quad (3)$$

где  $\rho_j$  – весовой коэффициент, определяющий значимость  $j$ -го блока в общей структуре комплекса. Коэффициенты  $\rho_j$ , так же как и коэффициенты  $\{\alpha_k\}$ ,  $\{\beta_q\}$ , могут быть определены методом экспертного опроса, но для сокращения временных затрат предлагается использовать методы структурного анализа [1]. В этом случае необходимо вычислить ранг каждого из  $n$  блоков, входящего в состав программного комплекса

$$R_j = \frac{\sum_{i=1}^n b_{ij}}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n b_{ij}}, \quad (4)$$

где  $b_{ij}$  – элементы матрицы  $B = C^\gamma$ ;  $C$  – матрица смежности графа, построенного по структуре тренажера с учетом функциональных связей всех блоков;  $\gamma$  – показатель степени, выбираемый исследователем от 2 до 4.

Вектор рангов  $R = \{R_j\}$  позволяет распределить подсистемы программы тренажера в порядке их значимости, которая определяется здесь только количеством связей блока с другими. Так как весовые коэффициенты должны удовлетворять условию  $\sum_{j=1}^n \rho_j [1]$ , необходимо произвести нормировку  $\{R_j\}$ : в результате получаются средневзвешенные ранги

$$\rho_j = \frac{R_j}{\sum_{j=1}^n R_j}. \quad (5)$$

Таким образом можно сформулировать оптимизационную задачу построения программного тренажерного комплекса:

Необходимо разработать такой тренажер  $S^*$ , состоящий из блоков  $s_j^*$ , чтобы выполнялось условие

$$\Phi(S^*) = \max_s \sum_{j=1}^n \rho_j A_{ij}, \quad (6)$$

где

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^{k'_i} \alpha_k u_{ijk} + \sum_{k=1}^{k''_i} \beta_k v_{ijk},$$

а  $\rho_j$  определяется в соответствии с (4) и (5).

Чтобы решение задачи (6) не привело к результату не имеющему практической значи-

мости, следует ввести ряд ограничений на допустимые решения.

Ограничения на независимые переменные (первого рода) не применимы, так как эти параметры определяются конструктивным исполнением подсистем. Предлагается построить ограничения на основе математической модели обучаемости оператора (второго рода) [3].

В качестве показателей обученности оператора энергосистемы целесообразно выбрать время выполнения задачи ( $t$ ) и вероятность успешного выполнения задачи ( $P$ ), так как их регистрация программно и конструктивно решается довольно просто. В общем виде математическую модель обучаемости диспетчера в условиях действия факторов и параметров энергосистемы можно записать следующим образом

$$\begin{aligned} t &= f(N, Z), \\ P &= \varphi(N, Z), \end{aligned} \quad (7)$$

где  $N$  – число тренировок;  $Z = \{z_{\Theta}\}$  – вектор факторов среды  $\Theta = \Gamma, M$ .

В условиях комплексного воздействия факторов среды функции  $f$  и  $\varphi$  существенным образом отличаются от общепринятых экспоненциальных зависимостей [5], поэтому на ранних этапах проектирования необходимо экспериментально определить вид этих функций и описать их с помощью полиномиальных регрессий.

Чем больше моделируемых факторов, тем сложнее структура программного комплекса.

Уровни воздействия факторов  $z_{\Theta}$  образуют определенное подмножество классификации-

онных признаков  $x_{ijk}$ , потому что с точки зрения полноты имитации внешних воздействий со стороны энергосистемы желательно добиться максимальных значений  $z_{\Theta}$  в разрабатываемом комплексе.

Назовем эффективным быстродействием произведение вероятности успешного выполнения поставленной задачи на величину, обратную времени выполнения оператором этой задачи, то есть

$$Q = \frac{P}{t}. \quad (8)$$

Задавись требуемым значением эффективного быстродействия  $Q_{\Theta}$ , получим с учетом (7) ограничение второго рода

$$\frac{\varphi(N, Z)}{f(N, Z)} \geq Q_{\Theta} \quad (9)$$

Таким образом можно в окончательном виде сформулировать задачу морфологического синтеза тренажного комплекса для операторов энергосистем:

Необходимо разработать такой комплекс  $S^*$ , чтобы

$$\Phi(S^*) = \max_s \sum_{k=1}^n \rho_j [\sum_{k=1}^{k_i} \alpha_k u_{ijk} + \sum_{k=1}^k \beta_k v_{ijk}] \quad (10)$$

при  $\frac{\varphi(N, Z)}{f(N, Z)} \geq Q_{\Theta}$

Задача (10) может быть решена методами дискретного программирования.

Исходя из опыта работы и анализа ошибок операторов энергосистем, нами предложена структура системы адаптивного информационного взаимодействия (гибридного интеллекта) оператора с объектом управления, которая представлена на рисунке 1.

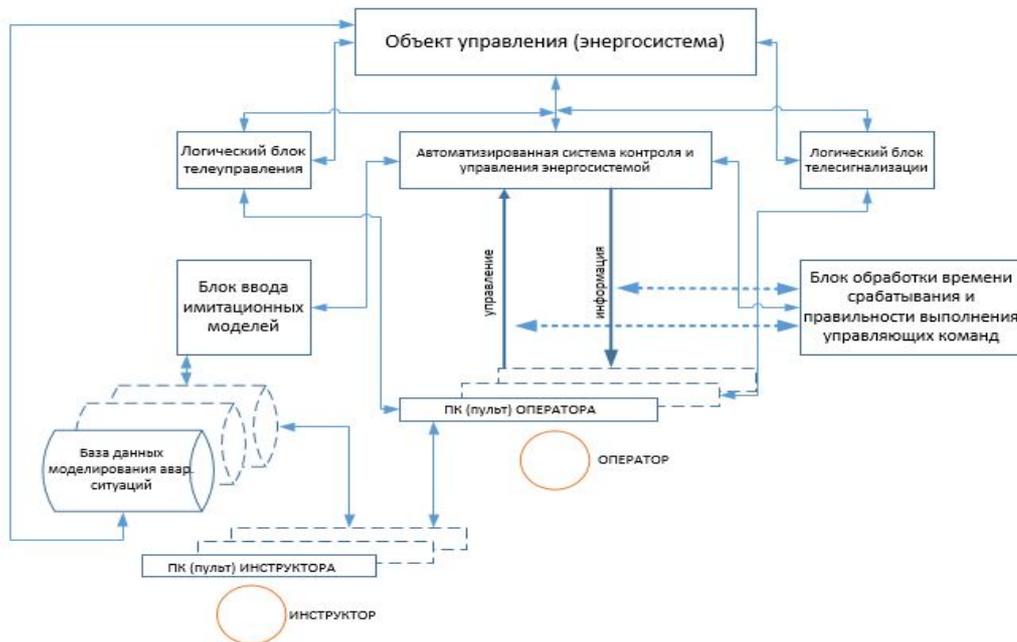


Рис.1. Система адаптивного информационного взаимодействия (гибридного интеллекта) оператора с объектом управления

## Заключение

Внедрение предложенной системы позволит сузить область поиска допустимых технических и программных решений, ускорить процесс разработки конкретного образца тренажерного комплекса. Это даст возможность

увеличить эффективность подготовки персонала на должность оперативного руководителя энергосистемы, сократить время на обучение претендентов, а также повысить квалификационный уровень работающего персонала в процессе его аттестации при проверочных противоаварийных тренировках.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андрейчиков, А. В. Интеллектуальные информационные системы: Учебник. / А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова— М.: Финансы и статистика, 2006. — 424 с.
2. Вербицкая, Н.О. Формирование нейрометодики профессионального обучения в условиях человеко-машинного взаимодействия. / Н.О. Вербицкая, Р.С. Чекотин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Образование. Педагогические науки. — 2017. — том 9. - №2. — С.62-73.
3. Волков, Э.В. Оценки профессионально-важных качеств у операторов атомных электростанций, влияющих на успешность деятельности. / Э.В. Волков, Т.Б. Мельнишкая, Е.Д. Чернецкая // Вестник психотерапии. — 2012. - №42. — С.95-100.
4. Егоров, В.В. Профессионально-важные качества, способствующие безопасности работы операторов. / В.В. Егоров, К.Д.Яшин, М. Ел-Грейд // Безопасности в техно-сфере. — 2013. - №2(41). — С.27-33.
5. Спасенников, В.В. Имитационная модель для оценки комплексного влияния инженерно-психологических факторов на эффективность эргатической системы. / В.В. Спасенников, Б.М. Герасимов, Г.В. Ложкин, С.В. Скрыль // Кибернетика и вычислительная техника. — 1984. - №61. — С.88-93.
6. Шаманов, В.А. Оценка качества проектирования человеко-машинных систем. / В.А. Шаманов, С.В. Чубарыкин, Р.А. Бреус, А.В. Васильев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2014. - №12-2. — С.252-256.

### Сведения об авторах:

**Яцков Роман Владимирович**

Приднестровский государственный технический университет им. Т.Г. Шевченко,  
гор. Бендеры (Республика Приднестровье)

аспирант

E-mail: romanyatskov@gmail.com

IDORCID

## REFERENCES

1. Andreichikov, A.V. Intelligent information system: textbook / A.V. Andreichikov, O.N. Andreichikova – M.: *Finances and Statistics*, 2006. – pp. 424.
2. Verbitskaya, N.O. Neuro-procedure formation of vocational training under conditions of man-machine interaction / N.O. Verbitskaya, R.S. Chekotin // *Bulletin of South-Urals State University. Series: Education. Pedagogic Sciences.* – 2017. – Vol.9. – No.2. – pp. 62-73.
3. Volkov, E.V. Estimates of professional significant characteristics in nuclear power plant operators affecting activity success / E.V. Volkov, T.B. Melnitskaya, E.D. Chernetskaya // *Bulletin of Psychotherapy.* – 2012. – No.42. – pp. 95-100.
4. Yegorov, V.V. Professional significant characteristics contributing to operators' work safety. / V.V. Yegorov, K.D. Yashin, M. El-Grade // *Safety in Techno-Sphere.* – 2013. – No.2(41). – pp. 27-33.
5. Spasennikov, V.V. Imitation model for estimate of engineering psychological factor complex impact upon ergatic system efficiency. / V.V. Spasennikov, B.M. Gerasimov, G.V. Lozhkin, S.V. Skryl // *Cybernetics and Computer Engineering.* – 1984. – No.61. – pp. 88-93.
6. Shamanov, V.A. Estimate of design quality of man-machine systems. / V.A. Shamanov, S.V. Chubarykin, R.A. Breus, A.V. Vasiliev // *Proceedings of Tula State University. Engineering Sciences.* – 2014. – No.12-2. – pp. 252-256.

### Abstracts:

**R.V. Yatskov**

Shevchenko Transdnistriean State Technical University,  
Bendery, Transdnistriean Republic

Post graduate student

E-mail: romanyatskov@gmail.com

IDORCID

Статья поступила в редколлегию 01.03.2018 г.

Рецензент:

д.т.н., профессор  
Брянского государственного  
технического университета  
Аверченков В.И.

Статья принята к публикации 05.04.2018 г.