

УДК 004.052

Матвієнко Роман Михайлович

Асистент кафедри комп'ютерних технологій в системах управління та автоматики

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ

МАТЕМАТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРОБЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ДІЯЛЬНОСТІ ЗМІННОГО ІНЖЕНЕРА КОМПРЕСОРНОЇ СТАНЦІЇ

Анотація. Наведено класифікацію моделей діяльності людини-оператора за способом представлення інформації. Визначено інформаційні показники діяльності змінного інженера компресорної станції, що в комплексі формують математичний апарат створення його інформаційної моделі. Проведено порівняльний аналіз визначених інформаційних показників за ступенем їх важливості при визначенні ефективності професійної діяльності змінного інженера компресорної станції.

Ключові слова: інформаційна модель; інформаційні показники; людина-оператор; змінний інженер

Аннотация. Приведена классификация моделей деятельности человека-оператора по способу представления информации. Определены информационные показатели деятельности сменного инженера компрессорной станции, которые в комплексе формируют математический аппарат создания его информационной модели. Проводится сравнительный анализ определенных информационных показателей по степени их значимости при определении эффективности профессиональной деятельности сменного инженера компрессорной станции.

Ключевые слова: информационная модель; информационные показатели; человек-оператор; сменный инженер

Abstract. The paper identifies the need to designing an information model of activity of human operator to evaluate its readiness to execute their professional responsibilities. The characteristic of cognitive and network models of activity of human operator and models based on the principles of control theory is given. Also a classification of models of human operator activity by the method of representation is carried out and the expediency of the application of mathematical models to calculate the values of the readiness indicators of an exchangeable engineer is determined. The mathematical relationships are given based on the theoretical assumptions of engineering psychology that allow to determine relevant information indicators for individual activities of human operator. Among these information indicators of activity of human operator the indicator "reliability" is defined as the most significant in definition the effectiveness of professional work of shift engineer of compressor station. In addition, the most frequent types of errors that occur during operation of shift engineers of compressor stations are indicated.

Keywords: information model; information indicators; human operator; shift engineer

Постановка проблеми

Професійна діяльність людини-оператора (ЛО), яка керує технологічними процесами, характеризується необхідністю контролю та управління складними динамічними об'єктами зі значним числом контрольованих параметрів, високою відповідальністю при виборі оптимальних рішень в різноманітних виробничих ситуаціях. Нафтогазова галузь є однією з галузей, де функціонування підприємства і відповідно робота

персоналу здійснюються цілодобово, що вимагає змінного характеру праці, а фактор змінності підвищує її напруженість. У зв'язку зі зростанням потужності агрегатів, переходом на критичні та надкритичні параметри енергоносіїв, розширенням зони обслуговування людини-оператора, проблема підбору персоналу, здатного і готового оперативно, професійно та максимально ефективно діяти як в штатних, так і в нештатних ситуаціях, набуває все більшої гостроти, а психологічна і фізіологічна відповідність індивідуума вимогам професії

ЛО суттєво впливає на надійність всієї системи “людина-машина”.

Для оцінювання готовності ЛО до виконання своїх професійних обов’язків, в будь-якій сфері діяльності, потрібно оцінити особливості його роботи, визначити складні моменти в його діяльності, тобто створити інформаційну модель діяльності людини-оператора.

У той же час, процес створення інформаційної моделі діяльності ЛО часто буває складнішим, ніж процес створення моделі технічної системи.

Це пояснюється кількома причинами:

- існує невелика кількість фундаментальних законів, або “головних принципів” в науці про поведінку людини;

- часто відповідні процедурні елементи важко описати і представити у вигляді аналітичних залежностей;

- поведінка людини часто скеровується стратегічними та індивідуальними латентними чинниками, причому їх вплив важко виразити в кількісній формі;

- невід’ємною частиною таких систем є здібності людини до прийняття рішень і вирішення завдань зі швидкою адаптацією до змінних, непередбачених умов професійної діяльності [1; 2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Існує багато класифікацій моделей діяльності ЛО під час виконання своїх професійних обов’язків.

Серед великої множини інформаційних моделей діяльності ЛО розглянемо три типи:

- когнітивні моделі;
- моделі теорії управління;
- сіткові (мережеві) моделі.

Когнітивні моделі імітують такі розумові процеси високого рівня, як активне запам’ятовування, збереження і вилучення інформації, порівняльні судження і оцінки, прийняття рішень та вирішення завдань. Подібні моделі можуть містити в собі деяку визначену логіку або використовувати концепції штучного інтелекту для імітації пізнавальної діяльності людини [3].

Розробленням когнітивних моделей діяльності ЛО займалися такі науковці, як В. А. Бодров, Ю. І. Єременко, Л. С. Сікора, Р. Л. Ткачук, О. В. Піскун, В. О. Григорєвський та інші.

Когнітивні підхід також використовується в питаннях управління освітніми проектами та програмами галузевого розвитку [4-6].

Моделі теорії управління – це моделі точного управління моторними реакціями ЛО. Хоча подібні моделі застосовувалися і до інших типів задач моделювання, все ж вони найкраще підходять для

імітації професійних психомоторних дій досвідчених операторів. Згідно з положеннями моделей теорії управління людина розглядається як “оптимальний регулятор” з відповідним набором параметрів, які визначають запізнення на вході, попередження вихідних реакцій і ряд інших характеристик, пов’язаних з можливостями та обмеженнями, властивими людині [7].

Побудовою моделі діяльності оператора у вигляді однієї чи з’єднання кількох передаточних функцій займалися багато науковців, зокрема Д. Макруер, Е. Крендел, Дж. Хендерсон, Г. Н. Семенцов, Г. Ф. Зайцев, С. В. Кондаков, Ю. В. Петрова та багато інших.

Сіткові моделі – це відносно новий спосіб представлення завдань тих предметних областей, де необхідно виконувати операції у певній послідовності [8].

В мережевих моделях задач цілеспрямована діяльність людини розподіляється на послідовність підзадач, співвідношення між якими визначені структурою мережі. Кожен вузол мережі – це окрема підзадача, яку виконує людина. Структура мережі визначає порядок виконання підзадач.

Дослідженням діяльності операторів технічних систем за допомогою мережевих моделей займалися науковці: Б. А. Смірнов, Дж. Пітерсон, В. О. Тимофєєв, М. М. Волинець, С. Є. Мединський., М. В. Фролов, В. В. Тулупов та інші.

На практиці при дослідженні діяльності ЛО в комплексі часто виникає необхідність досліджувати різні аспекти його діяльності за допомогою різних методів. Зокрема, задачі, що вимагають від оператора прийняття рішення, можна описати на основі когнітивного підходу, задачі, що мають за мету визначити психомоторні якості оператора, базуються на теорії систем управління, а задачі, що передбачають створення імітаційних моделей діяльності людини-оператора, використовують алгоритми та процедури сіткових моделей у вигляді дерев або графів.

Мета статті

Мета полягає у визначенні математичних основ розроблення інформаційної моделі діяльності змінного інженера (ЗІ) компресорної станції (КС) та формуванні набору інформаційних показників, які є важливими для дослідження їх діяльності.

Виклад основного матеріалу

Взагалі наявні інформаційні моделі можна класифікувати за способом представлення інформації таким чином:

- 1) математичні моделі;
- 2) текстові моделі;
- 3) табличні моделі;

- 4) графічні моделі;
- 5) словесні (вербальні) моделі.

Залежно від мети дослідження інформаційна модель певного об'єкта (чи процесу) може бути різною.

Так, математичні моделі представлені математичними формулами, що відображають зв'язок досліджуваних параметрів, текстові – представлені певним формалізованим текстом, табличні формують дані у вигляді однієї чи декількох таблиць, графічні подають інформацію у вигляді блок-схем, графіків чи креслень, і нарешті, словесні представляються за допомогою природних мов [9].

У ситуації, коли постає питання дослідження таких інформаційних показників ЛО, як швидкодія, точність, надійність та працездатність, доцільним є застосування математичних моделей, що в результаті можуть надати досліднику конкретні кількісні характеристики показників готовності змінного інженера КС до виконання своїх професійних обов'язків.

Далі наводиться коротка характеристика кожного з інформаційних показників діяльності змінного інженера КС з більш детальним визначенням такого важливого показника, як його надійність. Надійність є комбінованим показником, що характеризується безпомилковістю, готовністю, відновлюваністю та своєчасністю виконання змінними інженерами КС своїх професійних обов'язків.

На рисунку наведена структурна схема комплексного інформаційного показника діяльності ЗІ КС.



Рисунок. Комплексний інформаційний показник діяльності змінного інженера КС

Критерієм швидкодії змінного інженера КС є час виконання завдання, тобто час від моменту надходження сигналу до моменту закінчення виконання керуючих впливів. Як правило, цей час є прямо пропорційним кількості інформації, яка перетворюється людиною [2]:

$$T_{\text{оп}} = a + bH = a + (H / V_{\text{оп}}), \quad (1)$$

де a – прихований час реакції, тобто проміжок часу від моменту появи сигналу до реакції на нього

змінного інженера КС, його значення знаходиться в межах 0,2-0,6 с; b – час обробки одиниці інформації (0,25-0,5 с/біт); H – кількість інформації, яка обробляється (біт); $V_{\text{оп}}$ – середня швидкість обробки інформації (2-4 біт/с), або пропускна здатність ЗІ.

Пропускна здатність ($V_{\text{оп}}$) характеризує час, протягом якого змінний інженер КС досягає сенс інформації. Даний показник залежить від психологічних особливостей ЗІ, типу завдань, технічних і ергономічних особливостей систем управління.

Точність змінного інженера КС – це ступінь відхилення кількісного параметра системи, виміряного змінним інженером, від його істинного, заданого або номінального значення. Кількісно цей параметр оцінюється похибкою, з якою ЗІ вимірює, встановлює чи регулює даний параметр:

$$\Delta A = A_{\text{ном}} - A_{\text{факт}}, \quad (2)$$

де $A_{\text{ном}}$ – справжнє чи номінальне значення параметра; $A_{\text{факт}}$ – фактичне виміряне або регульоване змінним інженером КС значення цього параметра. Значення похибки, що перевищило допустимі межі, є помилкою, тому її слід враховувати при оцінці надійності змінного інженера КС.

Точність ЗІ залежить від [2]:

- характеристик сигналу;
- складності завдання;
- умов і темпу роботи;
- функціонального стану нервової системи ЗІ;
- кваліфікації, втомлюваності інженера та інших факторів.

Під надійністю змінного інженера КС слід розуміти властивість виконувати задані функції протягом певного часу за заданих умов роботи. Надійність змінного інженера КС значно знижується при нештатних та екстремальних умовах діяльності. Надійність ЗІ характеризується показниками безпомилковості, готовності, відновлюваності та своєчасності [2; 8]. Фундаментальним поняттям теорії надійності є поняття відмови.

Під відмовою розуміють випадкову подію, яка полягає в тому, що система повністю або частково втрачає свою працездатність, у результаті чого задані функції системи не виконуються.

Безпомилковість змінного інженера КС оцінюється ймовірністю його безпомилкової роботи, яка залежить від його психофізіологічного стану та стану готовності і є змінною величиною протягом робочого періоду.

Безпомилковість визначається як на рівні окремої елементарної дії, так і в розрізі професійної діяльності ЗІ під час виконання технологічних операцій в цілому.

Ймовірність P_j безпомилкового виконання елементарних дій j -го виду та інтенсивність помилок λ_j допущених ЗІ при цьому, стосовно фази стійкої роботи визначається на основі статистичних даних:

$$\begin{aligned} P_j &= (N_j - C_{пj}) / N_j \\ \lambda_j &= C_{пj} / (N_j T_j), \end{aligned} \quad (3)$$

де N_j – загальне число елементарних дій j -го виду; $C_{пj}$ – допущена кількість помилок; T_j – середній час виконання дії j -го виду.

Дуже добрим показником вважається значення P_j в діапазоні 0,9-0,995.

Ймовірність безпомилкового виконання технологічної операції в цілому визначається при експоненціальному розподілі часу таким виразом:

$$P_o = \exp\left(-\sum_{j=1}^r \lambda_j T_j K_j\right) = \exp\left(-\sum_{j=1}^r (1 - P_j) K_j\right), \quad (4)$$

де K_j – число виконуваних елементарних дій j -го виду; r – кількість різних видів елементарних дій ($j = 1, \dots, r$).

Готовність змінного інженера КС являє собою ймовірність його включення в роботу в будь-який момент часу. Коефіцієнт готовності характеризує ймовірність включення ЗІ в роботу в будь-який момент часу:

$$K_{оп} = 1 - (T_n / T), \quad (5)$$

де T_n – час, протягом якого ЗІ не може прийняти інформацію, що надійшла до нього; T – загальний час роботи ЗІ.

Відновлюваність змінного інженера КС оцінюється ймовірністю виправлення ним допущеної помилки:

$$P_v = P_k \cdot P_{bc} \cdot P_{vp}, \quad (6)$$

де P_k – ймовірність видачі сигналу контрольною системою; P_{bc} – ймовірність виявлення сигналу ЗІ; P_{vp} – ймовірність виправлення помилкових елементарних дій при повторному виконанні всієї операції.

Даний показник дозволяє оцінити можливість самоконтролю змінним інженером КС своїх дій і виправлення допущених ним помилок.

Своєчасність дій змінного інженера КС оцінюється ймовірністю виконання завдання протягом заданого часу:

$$P_{cb} = P\{t \leq t''\} = \int_0^{t''} f(t) dt, \quad (7)$$

де $f(t)$ – функція розподілу часу вирішення технологічної операції оператором; t – ліміт часу, перевищення якого розглядається як помилка.

Дана ймовірність може бути визначена за статистичними даними так:

$$P_{cb} = (N - N_{nc}) / N, \quad (8)$$

де N і N_{nc} – загальне та несвоєчасно виконане число технологічних операцій.

Останній з показників діяльності ЗІ – працездатність – можна розглядати як основний показник функціонального стану змінного інженера КС. Працездатність залежить від багатьох факторів і має стадійний характер. Межа працездатності є величиною змінною. Зміна її в часі називається динамікою працездатності.

Працездатність виявляється у підтримці заданого рівня діяльності протягом певного часу і обумовлюється двома основними групами факторів – зовнішніми, що залежать головним чином від середовища, в якому працює ЗІ, і внутрішніми, які визначаються поточним станом готовності змінного інженера КС до виконання своїх професійних обов'язків [10]. Працездатність належить до слабоформалізованих інформаційних показників діяльності ЗІ.

Якщо провести дослідження професійної діяльності змінних інженерів КС, то можна визначити найбільш типові види помилок під час виконання ними технологічних операцій в штатних та нештатних ситуаціях.

Проведений аналіз діяльності змінного інженера КС показує, що йому притаманні такі типи помилок [11]:

- помилка спостереження (пропуск дії);
- помилка у виборі правильної дії;
- помилка у послідовності виконання дій;
- помилка у часі виконання дії.

Фіксація кількості помилок змінного інженера та їх якісний аналіз дозволить, в свою чергу, на основі статистичного аналізу, виділити найбільш важливі інформаційні показники професійної діяльності змінного інженера КС. Комплексний інформаційний показник професійної діяльності ЗІ КС, побудований на основі виділених показників, є основою для створення інформаційної моделі діяльності змінного інженера компресорної станції, яка характеризує важливі властивості і стани людської ланки у структурі складного людино-машинного комплексу.

Висновки

Провівши аналіз типів моделей, що використовуються для дослідження професійної діяльності ЛО у структурі людино-машинних комплексів, слід зауважити, що універсальних моделей, які б враховували фізіологічні, психологічні особливості ЛО, його поведінку в різних виробничих ситуаціях, а також рівень його

знань, вмінь та навиків при роботі зі складними системами управління технологічними об'єктами, не існує.

Для розробки адекватної інформаційної моделі професійної діяльності змінного інженера КС необхідно провести ретельний аналіз технологічних операцій управління газоперекачувальним

обладнанням компресорної станції, здійснити статистичну обробку помилкових дій персоналу та розробити комплексний інформаційний показник діяльності змінного інженера КС, центральним структуроутворюючим елементом якого є комбінований показник надійності.

Список літератури

1. Хрестоматия по инженерной психологии [Текст] / под ред. Б. А. Душкова. – М. : Высш. шк., 1991. – 287 с.
2. Основы инженерной психологии [Текст]: учебник / под ред. Б. Ф. Ломова. – М. : Высш. шк., 1986. – 448 с.
3. Бодров, В. А. Информационный стресс [Текст]: учеб. пособие для вузов / В. А. Бодров. – М.: ПЕР СЭ, 2000. – 352 с.
4. Кошкин, К. В. Когнитивные модели управления жилищно-коммунальным хозяйством как активной системой [Текст] / К. В. Кошкин, С. А. Макеев, Г. В. Фоменко // Управление развитием сложных систем: сб. науч. трудов. – 2011. – Вып. 5. – С. 17–19.
5. Жованик, В. І. Формування структури управління ВНЗ в середовищі раціональних академічних ресурсів, її когнітивна модель [Текст] / В. І. Жованик // Управління розвитком складних систем:зб. наук. праць. – 2011. – Вип. 5. – С. 95–102.
6. Возный, А. М. Применение когнитивного моделирования при проектировании конструкций технических средств для хранения радиоактивных веществ [Текст] / А. М. Возный, Ю. А. Казимиренко, Т. А. Фарюнова // Управление развитием сложных систем: сб. науч. трудов. – 2012. – Выпуск 10. – С. 37–41.
7. Brooke, J. B. Interactive instruction in solving fault-finding problems [Text] / J. B. Brooke, K. D. Duncan, E. C. Marshall // International of Man-Machine Studies. – 1978. – № 10. – P. 603-611.
8. Смирнов, Б. А. Инженерная психология. Практические занятия [Текст]: учеб. пособие для университетов / Б. А. Смирнов. – Киев: Высшая школа. Головное изд-во, 1979. – 192 с.
9. Википедия. Свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: \www/ URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Информационная_модель/ – 30.07.2014 г. – Загл. с экрана.
10. Смагин, В. А. Техническая синергетика / Выпуск 1. Вероятностные модели элементов сложных систем [Текст] / В. А. Смагин. – Санкт-Петербург, 2003. – 62 с.
11. Человеческий фактор [Текст]. Т. 1. Эргономика – комплексная научно-техническая дисциплина: пер. с англ. / Ж. Кристенсен, Д. Мейстер, П. Фоули и др.; под ред. Г. Салвенди. – М.: Мир, 1991. – 599 с.

References

1. Dushkov, B. A. (1991). *Chrestomathy on engineering psychology*. Moscow: Higher School.
2. Lomov, B. F., & Dushkov B. A. (1986). *Fundamentals of the engineering psychology: Textbook*. Moscow: Higher School.
3. Bodrov, V. A. (2000). *Information stress: Textbook for high schools*. Moscow: PER SE.
4. Koshkin, K. V. (2011). *Cognitive models of housing and communal services as an active system/ K. V. Koshkin, S. A. Makeev, G.B. Fomenko// Management of Development of Complex Systems*. Kyiv, Ukraine: KNUCA, 5, 17-19.
5. Zhovanyk, V. I. (2011). *Formation of the management structure of universities in the environment of rational academic resources, its cognitive model*. Management of Development of Complex Systems. Kyiv, Ukraine: KNUCA, 5, 95-102.
6. Voznyy, A. M (2012). *The application of cognitive modeling in the design of hardware structures for the storage of radioactive substances/ A. M. Voznyy, Y. A. Kazimirenko, T. A. Farionova // Management of Development of Complex Systems*. Kyiv, Ukraine: KNUCA, 10, 37-41.
7. Brooke, J. B. (1978). *Interactive instruction in solving fault-finding problems / J. B. Brooke, K. D. Duncan, E.C. Marshall // International of Man-Machine Studies, 10, 603-611*.
8. Smirnov, B. A. (1979). *Engineering psychology. Practical exercises: Textbook for universities*. Kiev: Graduate School. Head Publishing House.
9. Wikipedia. *The free encyclopedia [Data file]*. Retrieved from: http://ru.wikipedia.org/wiki/Information_model.
10. Smagin, V. A. (2003). *Technical Synergetics / Issue 1. Probabilistic models of the elements of complex systems*. St. Petersburg.
11. Salvendi, G. (Ed.). (1991). *The human factor. T. 1. Ergonomics - complex scientific and engineering discipline*. Moscow: World.

Стаття надійшла до редколегії 31.10.14

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А. П. Олійник, Івано-Франківський національний університет нафти і газу, Івано-Франківськ.