

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

БАБИЧ Юлія Ігорівна

УДК 004.942:004.052.3

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПІДВИЩЕННЯ ВІДМОВОСТІЙКОСТІ
ЕРГАТИЧНИХ СИСТЕМ КРИТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ

05.13.06 – Інформаційні технології

Автореферат дисертації
на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеському національному політехнічному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник

кандидат технічних наук, доцент
Носов Павло Сергійович,
Одеський національний політехнічний
університет, доцент кафедри природничо-
наукової підготовки

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Мещеряков Володимир Іванович,
Одеський державний екологічний
університет, завідувач кафедри
інформатики

доктор технічних наук, професор
Соколова Надія Андріївна,
Херсонський національний технічний
університет, завідувач кафедри економічної
кібернетики та управління проектами

Захист відбудеться 1 жовтня 2015 р. о 13.30 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.052.01 в Одеському національному політехнічному університеті за адресою: 65044, м. Одеса, пр. Шевченка, 1, ауд. 400а.

З дисертацією можна ознайомитись в науково-технічній бібліотеці Одеського національного політехнічного університету за адресою 65044, м. Одеса, пр. Шевченка, 1.

Автореферат розісланий 1 вересня 2015 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

О.Є. Колесніков

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На сучасному етапі економічного та технічного розвитку, однією з найбільш важливих проблем є підвищення відмовостійкості ергатичних систем критичного застосування (ЕСКЗ), які використовуються в управлінні атомними електростанціями, повітряними, залізничними та автотранспортними перевезеннями, технологічними агрегатами в металургії, нафтогазовій промисловості та ін. ЕСКЗ являє собою систему, складовим елементом якої виступає людина-оператор (або група операторів).

Загальну тенденцію розвитку ЕСКЗ характеризують такі фактори: зростання ступеня складності об'єктів управління, розширення складу та рівня складності розв'язуваних функціональних завдань, скорочення часу на прийняття рішення, зростання ціни помилок та ймовірності виникнення масштабних аварійно-небезпечних ситуацій. Основними причинами ескалації виникнення аварійно-небезпечних ситуацій – є відмови ЕСКЗ. Згідно з даними державної служби з екологічного, технічного і атомного нагляду, основними причинами відмов є помилки оператора, що складають до 65 % від усіх випадків, які виникають через низький рівень його професійної готовності та нерегулярні перевірки цього рівня. Тому, через зростання вимог до рівня професійної готовності операторів в ЕСКЗ та оперативності процесу підвищення цього рівня, останнім часом, значні зусилля (наукові, фінансові, ресурсні) витрачаються на розробку нових інформаційних технологій підвищення відмовостійкості ЕСКЗ, саме за рахунок підтримки відповідного рівня професійної готовності оператора на корпоративному (окремі компанії, їх регіональні об'єднання), державному і міждержавному (МАГАТЕ, програми Європейського Союзу, НАТО тощо) рівнях.

Роботи з підвищення рівня професійної готовності операторів проводяться в декількох напрямках, на кожному з яких процеси збору, обробки, представлення та збереження інформації про інформаційний профіль операторів мають свої характерні особливості й недоліки. Таким чином, існує протиріччя – практика вимагає нових інформаційних технологій для підвищення відмовостійкості ЕСКЗ за рахунок підтримки відповідного рівня професійної готовності операторів, а існуючі моделі, методи та інформаційні технології не враховують індивідуальний інформаційний профіль оператора та не дозволяють формувати індивідуальні графіки перевірки та підвищення цього рівня. Реалізація такого рішення дозволяє індивідуалізувати та формалізувати процес підвищення рівня професійної готовності операторів, а також зробити цей процес оперативним, вимірюваним та цілеспрямованим, що є одним з головних факторів забезпечення якісно нового рівня ергатичної ланки ЕСКЗ для підвищення відмовостійкості таких систем.

Таким чином, розробка нових моделей, методів та інформаційної технології підвищення відмовостійкості ЕСКЗ за рахунок підтримки рівня професійної готовності є перспективною і актуальною науково-технічною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Дисертаційна робота виконувалась згідно з завданнями відповідних розділів науково-дослідної роботи Одеського національного політехнічного університету № 689-33

«Підвищення вібростійкості технологічної системи сучасного металорізального устаткування з застосуванням адаптивного керування приводом головного руху» (№ ДР 0113U001459) та комплексу нормативних документів і стандартів: Закон Верховної Ради України від 18.01.2001 № 2245-III «Про об'єкти підвищеної небезпеки»; Наказ Міністерства транспорту та зв'язку України № 507 від 31.08.2005 «Про затвердження Інструкції з руху поїздів і маневрової роботи на залізницях України».

Метою роботи є підвищення відмовостійкості ергатичних систем критичного застосування за рахунок формалізації підтримки індивідуального рівня професійної готовності операторів на базі розроблених моделей, методів та інформаційної технології.

Для досягнення цієї мети в роботі розв'язані **наступні задачі:**

- проаналізовано стан проблеми відмовостійкості ергатичних систем критичного застосування та визначено шляхи її підвищення за рахунок підтримки відповідного рівня професійної готовності операторів;

- розроблено інформаційну модель оператора у вигляді його індивідуального інформаційного профілю;

- розроблено метод оцінки рівня професійної готовності операторів ергатичних систем критичного застосування, який враховує їх індивідуальний інформаційний профіль;

- розроблено метод визначення індивідуального часу на підвищення рівня професійної готовності операторів ергатичних систем критичного застосування;

- розроблено узагальнений метод підтримки індивідуального рівня професійної готовності операторів ергатичних систем критичного застосування;

- розроблено інформаційну технологію підвищення відмовостійкості ергатичних систем критичного застосування за рахунок підтримки індивідуального рівня професійної готовності операторів, виконано її впровадження.

Об'єкт дослідження – процеси, що впливають на відмовостійкість ергатичних систем критичного застосування.

Предмет дослідження – методи, моделі та інформаційні технології підвищення відмовостійкості ергатичних систем критичного застосування.

Методи дослідження. При дослідженні інформаційного профілю операторів використовувались методи математичного моделювання, основні положення теорії нечіткої логіки та експертних систем для визначення індивідуального часу на процес підвищення рівня професійної готовності. Для розробки методик визначення показників індивідуального інформаційного профілю операторів застосовані методи оцінки результатів. Теорія прийняття рішень та методи об'єктно-орієнтованого програмування використовувались для розробки інформаційного забезпечення відмовостійкості ергатичних систем критичного застосування.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- отримала подальший розвиток інформаційна модель оператора у вигляді індивідуального інформаційного профілю, який складається не тільки з оцінки професійних, а й психофізіологічних характеристик, що дозволило

індивідуалізувати процес підтримки рівня професійної готовності оператора в складі ергатичних систем критичного застосування;

– отримав подальший розвиток метод оцінки рівня професійної готовності з урахуванням індивідуального інформаційного профілю оператора, який, на відміну від відомих, враховує не тільки індивідуальні професійні, а й психофізіологічні характеристики оператора за рахунок поєднання методів М. Джонса та Г. Еббінгауза, що дозволило визначити час зниження рівня професійної готовності оператора та сформувавши індивідуальний графік перевірки цього рівня;

– отримав подальший розвиток метод визначення індивідуального часу на процес підвищення рівня професійної готовності оператора, який відрізняється врахуванням його індивідуального інформаційного профілю з використанням апарату нечіткої логіки та бази правил нечітких продукцій, що дозволило підвищити оперативність цього процесу;

– вперше розроблено узагальнений метод підтримки рівня професійної готовності оператора, який складається з восьми послідовних етапів, що дозволило формалізувати цей процес, раціонально проводити перевірку рівня професійної готовності і зменшити кількість відмов ергатичних систем критичного застосування з вини оператора.

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробці інформаційної технології, яку реалізовано у вигляді програмних засобів, використаних для підвищення відмовостійкості ергатичних систем критичного застосування. Впровадження розроблених рішень у виробничій процес показало їх ефективність. Так кількість відмов з вини оператора за звітний період (2 роки) зменшилась з 12 до 7 в Херсонській дирекції залізничних перевезень Одеської залізниці та з 9 до 4 в «ВКФ Кріопром ООО». За рахунок формування індивідуального графіку перевірки рівня професійної готовності оператора з врахуванням індивідуального часу на цей процес, ефективність роботи операторів на вказаних підприємствах збільшилась в середньому на 27 %, а їх кількість з показниками рівня професійної готовності до норми встановленої в ЕСКЗ, зроста майже вдвічі. Результати дисертаційної роботи впроваджено також в навчальний процес Одеського національного політехнічного університету.

Розроблена інформаційна технологія підвищення відмовостійкості ЕСКЗ за рахунок своєї універсальності може бути впроваджена в наступні галузі роботи ергатичних систем критичного застосування: диспетчерські системи управління повітряним, морським, автомобільним рухом; системи оперативного управління ядерними реакторами; технологічними агрегатами в металургії та ін.

Особистий внесок здобувача у розробці методу визначення індивідуальних інформаційних характеристик оператора [1,2,6,11,15]. Виконано аналіз існуючих методів та моделей підтримки рівня професійної готовності [7,9]. Запропоновано інформаційну модель процесу підтримки індивідуального рівня професійної готовності оператора для визначення часу на цей процес [3,8,17]. Було розроблено метод підтримки рівня професійної готовності оператора [4,13,14,16]. Розроблено програмний засіб визначення типу сприйняття інформації оператора [5]. Формалізовано завдання відносно мети дисертаційної роботи [10,12].

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертації були оприлюднені та отримали позитивну оцінку на всеукраїнській науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні технології та телекомунікаційні мережі – 2010» (Одеса, 2010); міжнародній науково-практичній конференції «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте – 2010» (Одеса, 2010); міжнародній науково-практичній конференції «Системы підтримки прийняття рішень. Теорія і практика СППР – 2010» (Київ, 2010); всеукраїнській науково-практичній конференції «Перспективні інновації у підготовці педагогічних та інженерних кадрів: теорія, методологія, досвід – 2010» (Херсон, 2010); всеукраїнській науково-практичній конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті та обладнання для їх обслуговування» (Херсон, 2011); всеукраїнській науково-практичній конференції «Проектна та конструкторсько-технологічна підготовка майбутніх фахівців інженерного та педагогічного напрямів» (Херсон, 2011); міжнародній науково-практичній конференції «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте – 2012» (Одеса, 2010); міжнародній науково-практичній конференції «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании 2013» (Одеса, 2013); всеукраїнській науково-практичній конференції «Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві. Збірник наукових праць» (Одеса, 2013).

Публікації. Результати дисертації викладені в 17 публікаціях, серед них: 6 статей в журналах з переліку спеціалізованих видань МОН України (з них чотири входять до міжнародних науко-метричних баз *BASE, ULRICH-SWEB, DRIVER, Intex Copernicus, WorldCat, DOAJ, EBSCO, FreeFullPDF, eLIBRARY*), 3 статті в журналах, які не входять до переліку спеціальних видань МОН України, а також 8 матеріалів конференцій і семінарів.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 117 найменувань та 4 додатків. Повний обсяг – 143 сторінки, обсяг основного тексту – 122 сторінки. Містить 41 рисунок, 11 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, визначено мету та основні задачі дослідження, об'єкт, предмет та методи дослідження, визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі проведено аналіз існуючих проблем відмовостійкості ЕСКЗ, визначено шляхи її підвищення за рахунок підтримки індивідуального рівня професійної готовності операторів, як складової частини ЕСКЗ (рис.1). Визначено вплив індивідуальних професійних та психофізіологічних характеристик оператора на кількість відмов ЕСКЗ. В роботі під відмовою ЕСКЗ розуміється виникнення аварійно-небезпечних ситуацій, які можуть призвести до людських втрат, екологічних або матеріальних збитків на місцевому, регіональному та загальнодержавному рівні. Результати аналізу показали, що основні методи та моделі, які використовуються в інформаційних технологіях підвищення

відмовостійкості ЕСКЗ за рахунок підтримки індивідуального рівня професійної готовності операторів, зокрема методи Еббінгауза, Джонса, Міллера і Мак-Гілла, Терстоуна та моделі Буша-Мостеллера, Халла, Кричевського, Рестла, не враховують вплив індивідуальних психофізіологічних характеристик оператора на його індивідуальні графіки перевірки та підвищення рівня професійної готовності. Показано, що підвищення відмовостійкості за рахунок підтримки відповідного рівня професійної готовності операторів може бути досягнуто на основі формування індивідуального інформаційного профілю оператора, який враховує як професійні характеристики, так і психофізіологічні. На основі проведеного аналізу, визначено напрями подальшого дослідження.

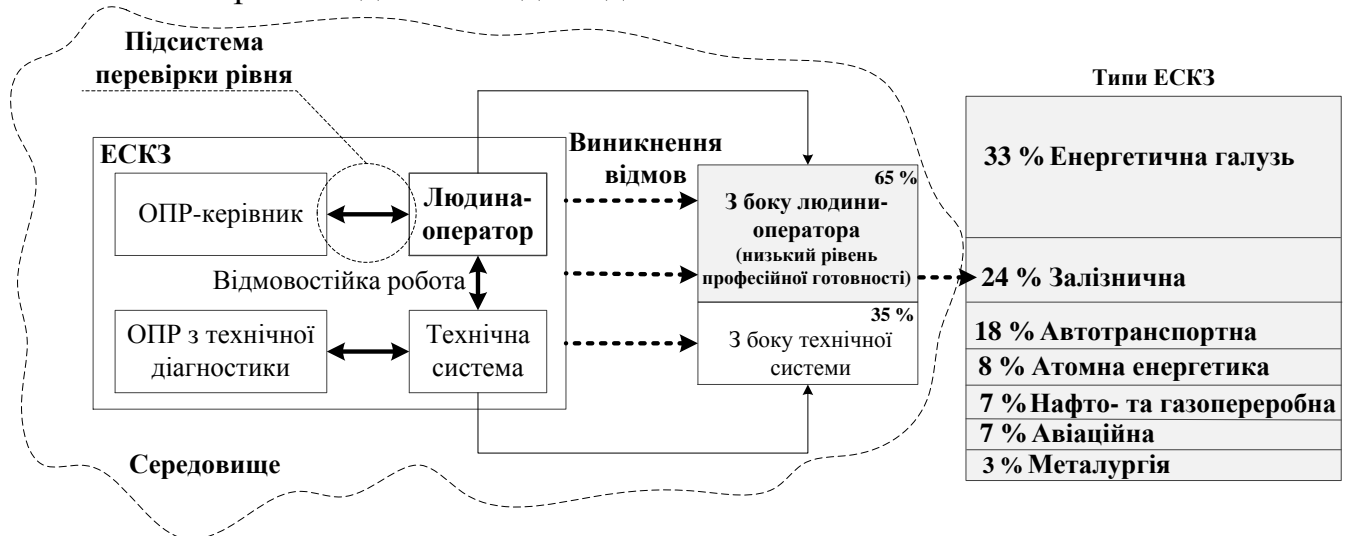


Рисунок 1 – Вплив людини-оператора, як складового елемента ЕСКЗ, на її відмовостійкість

У другому розділі вдосконалено інформаційну модель оператора та метод оцінки рівня професійної готовності оператора за рахунок розробки методик визначення мотиваційного потенціалу, продуктивності, часу на прийняття рішення та індивідуального часу зниження рівня професійної готовності оператора.

Запропонована інформаційна модель має вигляд інформаційного профілю, який містить як оцінки професійних, так і психофізіологічних характеристик оператора ЕСКЗ. Показано, що характеристики, які формують інформаційний профіль, впливають на процес підтримки рівня професійної готовності оператора в ЕСКЗ. Запропонована інформаційна модель оператора представлена у вигляді кортежу:

$$IM_{on} = \langle M, P, S, t_{zn}, TSP, W_i, W_j \rangle, \quad (1)$$

де M – мотиваційний потенціал; P – продуктивність; S – час витрачений на прийняття рішення, c ; t_{zn} – показник часу зниження рівня професійної готовності; TSP – тип сприйняття інформації; W_i – ймовірність безпомилкової роботи; W_j – ймовірність своєчасного виконання завдання.

У роботі визначено мотиваційний потенціал оператора на базі розробленого спеціалізованого тесту. Тест містить дванадцять мотиваційних факторів, які було

обрано коректним груповим експертним шляхом. Приклад результату тестування оператора ЕСКЗ представлено в таблиці 1. Для кожного фактору проводилась оцінка його значимості та ступеня задоволеності цим фактором за бальною шкалою від 0 до 1 з кроком 0,1. При цьому, значення 0 – це «незадоволений», а 1 – «повністю задоволений».

Таблиця 1 – Значимість та ступінь задоволеності оператора мотиваційними факторами в ЕСКЗ

Мотиваційні фактори оператора в ЕСКЗ	Значимість фактору для оператора (z)	Ступінь задоволеності оператора фактором (q)
Фізичні умови праці	0,7	0,5
Ризик при виконанні професійних обов'язків	0,3	1,0
Наявність страхової виплати у разі виникнення аварійно-небезпечних ситуацій	0,3	1,0
Висока заробітна плата	0,7	1,0
Структуризація та інформатизація роботи	0,4	1,0
Підтримка рівня професійної готовності	0,9	0,7
Психологічна підтримка	0,9	0,7
Визнання керівництвом	0,7	1,0
Влада та впливовість	0,9	0,5
Можливість впровадження власних ідей	0,8	0,5
Самовдосконалення	1,0	0,6
Цікавість та перспективність роботи	0,8	0,9

Визначено мотиваційний потенціал оператора за формулою:

$$M = \frac{\sum_{i=1}^{12} (z_i + q_i)}{24}, \quad (2)$$

де z_i – значимість мотиваційного фактору для оператора, q_i – ступінь задоволеності оператора фактором.

З урахуванням отриманого значення мотиваційного потенціалу та самооцінки професійних здібностей оператора ЕСКЗ визначається продуктивність (P) його роботи:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^{12} (z_i + q_i)}{24} \cdot A, \quad (3)$$

де A – самооцінка професійних здібностей оператора (визначається бальною оцінкою за шкалою від 0 до 1, з кроком 0,1).

Оцінка часу витраченого на прийняття рішення (S), як критерію швидкості реакції оператора, визначається як час від моменту реагування оператора на сигнал

(початок відповідей на питання спеціалізованого тесту) до моменту закінчення керуючих впливів (вибір правильної відповіді):

$$S = \frac{t_{cp}}{n} \cdot N, \quad (4)$$

де n – відсоток правильних відповідей оператора на питання спеціалізованого тесту, %; t_{cp} – середній час, витрачений оператором на правильні відповіді спеціалізованого тесту, с; N – кількість питань спеціалізованого тесту перевірки рівня професійної готовності оператора, прийнята за 100 %.

Запропоновано вдосконалити метод оцінки рівня професійної готовності оператора, враховуючи психофізіологічний процес забування та швидкість реакції оператора, так як процес підтримки цього рівня – це динамічний процес, який включає інформаційні процеси, які відбуваються під час прийняття рішень.

На основі досліджень Г. Еббінгауза, в роботі визначено коефіцієнт часу зниження рівня професійної готовності оператора:

$$k = \frac{V_k \cdot S \cdot I}{F \cdot \log(t) \cdot V_0}, \quad (5)$$

де V_k – залишкові професійні знання; I – коефіцієнт зацікавленості ($I = 0,88 \cdot M$); F – коефіцієнт забування ($F = 0,768$, згідно Еббінгауза); t – оптимальний час, після якого необхідно проводити повторний процес підтримки рівня професійної готовності; V_0 – кількість питань спеціалізованого тесту для перевірки рівня професійної готовності, прийнята за 100 %.

На основі запропонованого індивідуального підходу до кожного оператора, визначено раціональний об'єм подачі інформації у процесі підвищення рівня його професійної готовності. Враховуючи дослідження М. Джонса, припустимо, що процес забування інформації оператором є не нескінченим, тобто по закінченні деякого проміжку часу у оператора формуються залишкові професійні знання, які характеризують рівень його професійної готовності в ЕСКЗ і більше не зменшуються з часом. На основі результатів досліджень Г. Еббінгауза та М. Джонса, апроксимована залежність забування від часу та одержана оцінка рівня професійної готовності оператора:

$$V = (V_0 - V_k) \cdot e^{\left(-\frac{V_k \cdot S \cdot I}{F \cdot \log(t) \cdot V_0} \cdot t\right)} + V_k, \quad (6)$$

де V_0 та V_k – значення, отримані емпірично, шляхом спеціалізованого тестування оператора ЕСКЗ.

Надалі цей метод було використано для вирішення задачі індивідуальної подачі інформації в діапазоні часу засвоєння професійних знань оператором для підтримки рівня його професійної готовності.

Для розрахунку показника часу зниження рівня професійної готовності (t_{zn}) задано абсолютну похибку $\Delta V = V_{zn} - V_k$, в проміжку $[0,05; 0,3]$, де V_{zn} – розрахункові професійні знання, які залишились в пам'яті оператора після

закінчення t_{3H} . Для подальших розрахунків $\Delta V = 0,05$, оскільки як відомо, що експонента наближається до осі абсцис з похибкою $\approx +0,05$ при $t \in [3; 3,5]$ враховуємо залежність Г. Еббінгауза:

$$\Delta V = e^{(-kt_{3H})}. \quad (7)$$

Звідки значення часу зниження рівня професійної готовності t_{3H} визначається за формулою:

$$t_{3H} = \frac{\ln(0,05)}{-k}. \quad (8)$$

Для розрахунку невідомого коефіцієнта k на основі додаткового тестування визначено значення рівня професійної готовності (V) за довільний проміжок часу t :

$$k = -\frac{\ln\left(\frac{V - V_k}{V_0 - V_k}\right)}{t}. \quad (9)$$

Підставляючи (9) в (8) знаходимо t_{3H} .

$$t_{3H} = \frac{\ln(0,05) \cdot t}{\ln\left(\frac{V - V_k}{V_0 - V_k}\right)}. \quad (10)$$

Для вдосконалення процесу підвищення рівня професійної готовності оператора в ЕСКЗ запропоновано враховувати тип його сприйняття інформації (*TSP*) під час спеціалізованого тестування. В роботі розроблено програмно-технічний засіб, який розпізнає положення зіниці ока оператора, визначає тип його сприйняття інформації, використовуючи схеми ключів «очних сигналів доступу» (за М. Еріксоном). Для визначення положення зіниці використано алгоритм посилення простих класифікаторів (*AdaBoost*), який базується на комбінуванні примітивних «слабких» класифікаторів в один «сильний» та вдосконалений алгоритм *Daugman*.

Використання вдосконалених інформаційної моделі оператора у вигляді індивідуального інформаційного профілю і методу оцінки рівня професійної готовності надало можливість відстежувати час зниження цього рівня та враховувати професійні та психофізіологічні характеристики з інформаційного профілю оператора для формування індивідуального графіка перевірки цього рівня у операторів ЕСКЗ.

У третьому розділі розроблено метод визначення індивідуального часу для підвищення рівня професійної готовності оператора ЕСКЗ за рахунок використання апарату нечіткої логіки та бази правил нечітких продукцій, а також узагальнюючий метод підтримки рівня професійної готовності оператора, який складається з восьми послідовних етапів.

Для розробки методу визначення індивідуального часу для підвищення рівня професійної готовності оператора ЕСКЗ експертним шляхом визначено п'ять вхідних змінних: V – «Рівень професійної готовності», t_{3H} – «Час зниження рівня професійної готовності», M – «Мотиваційний потенціал», P – «Продуктивність»

S – «Час витрачений на прийняття рішення» та одну вихідну змінну: t_{np} – «Індивідуальний час на підвищення рівня професійної готовності» (рис.2).

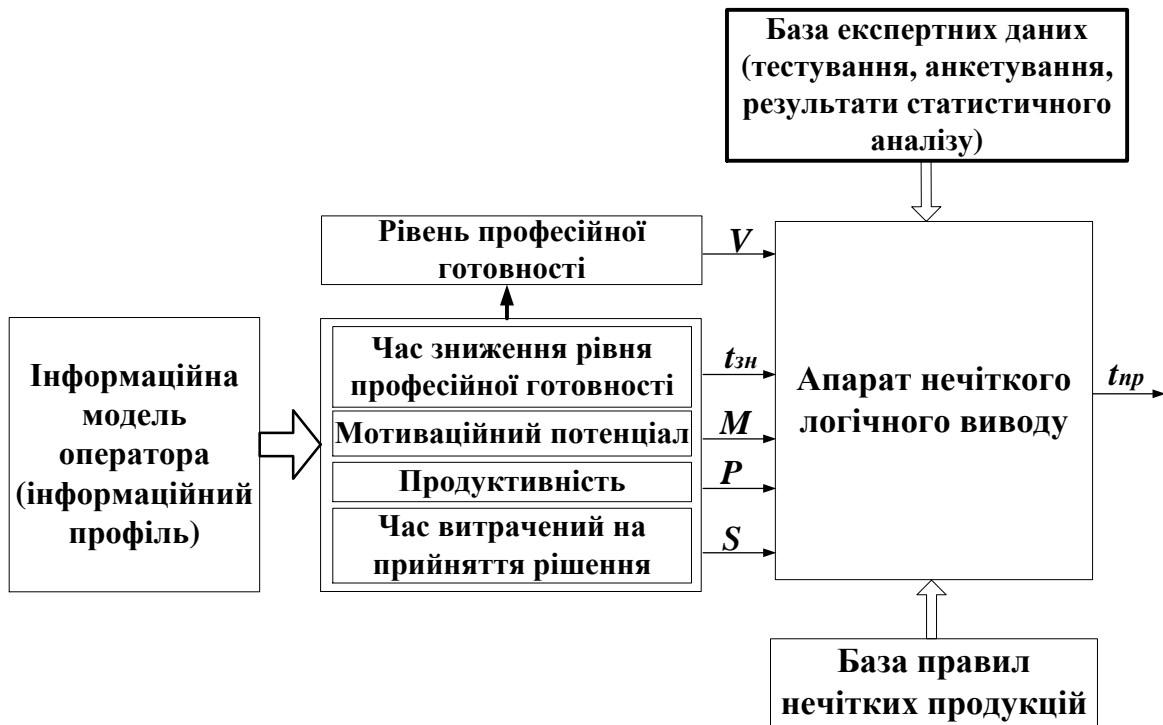


Рисунок 2 – Структура методу визначення індивідуального часу на процес підвищення рівня професійної готовності оператора ЕСКЗ

Для визначення індивідуального часу на підвищення рівня професійної готовності оператора ЕСКЗ використано трапецієвидні Z-S-П-подібні функції належності з бази нечітких правил. Графічне представлення лінгвістичної змінної представлено на рисунку 3.

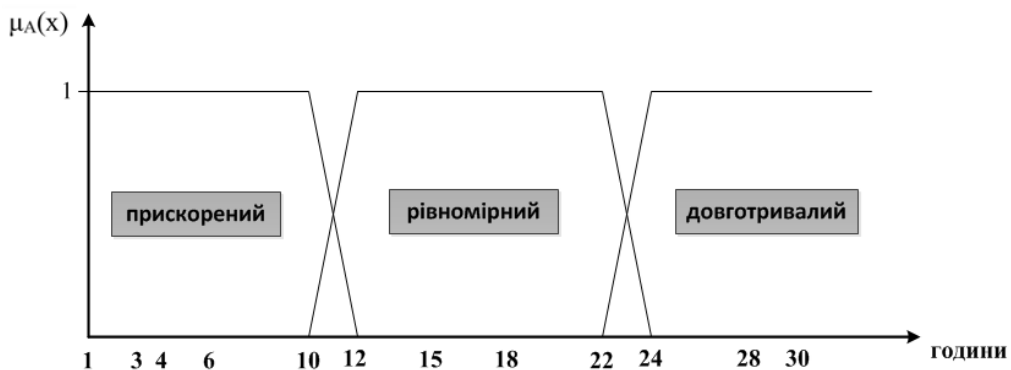


Рисунок 3 – Графічне представлення функції належності лінгвістичних термів змінної «Індивідуальний час на підвищення рівня професійної готовності оператора»

За результатами проведеного експертного аналізу сформовано базу правил на основі нечітких продукцій у формі «якщо – то» і функцій належності для відповідних лінгвістичних термів. Всього в базу включено 40 правил. База правил

для нечіткого логічного виводу має вигляд:

Правило №1: $(V \in v) \wedge (M \in v) \rightarrow (t_{np} \in np)$,

Правило №2: $(V \in v) \wedge (M \in c) \wedge (t_{zn} \in \partial n) \rightarrow (t_{np} \in np)$,

Правило №3: $(V \in v) \wedge (M \in \partial v) \rightarrow (t_{np} \in np)$,

Правило №4: $(v \in c) \wedge (M \in \partial v) \wedge (t_{zn} \in \partial n) \wedge (S \in u) \rightarrow (t_{np} \in np)$,

...

Правило №40: $(V \in n) \wedge (M \in \partial n) \wedge (t_{zn} \in \partial u) \wedge (P \in n) \wedge (S \in n) \rightarrow (t_{np} \in \partial)$.

Для отримання числового значення функції належності використано приведення значень змінних до чіткості – дефазифікацію методом центру ваги.

Результати показали, що динаміка змін відповідності рівня професійної готовності, часу зниження цього рівня та мотиваційного потенціалу в рамках середніх і високих показників може використовувати рівномірний та прискорений час для процесу підтримки рівня професійної готовності оператора. Що стосується низьких показників оцінки рівня професійної готовності, то вони вимагають застосування довготривалого часу на процес підвищення. Використання запропонованого методу дозволило оперативно проводити процес підвищення рівня професійної готовності оператора в ЕСКЗ за рахунок використання індивідуального підходу. В рамках дисертаційного дослідження проведено перевірку запропонованих рішень для 10 операторів підприємства «ВКФ Кріопром ООО». Перевірка підтвердила забезпечення оперативності підвищення рівня їх професійної готовності (рис. 4).

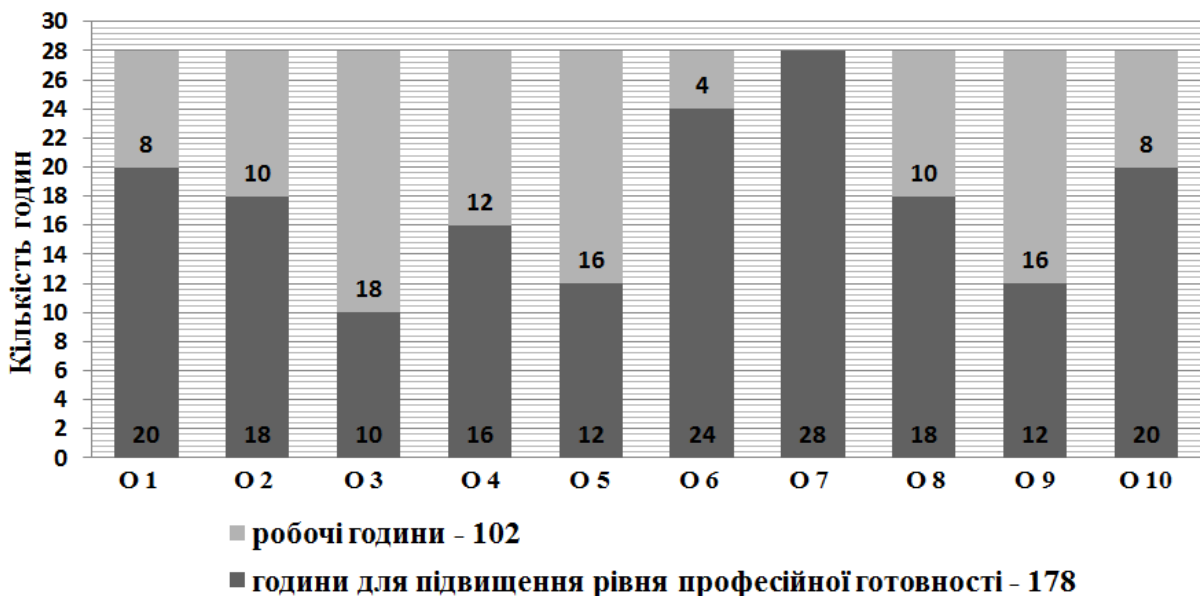


Рисунок 4 – Результати визначення індивідуального часу на підвищення рівня професійної готовності операторів ЕСКЗ підприємства «ВКФ Кріопром ООО»

Як видно з наведених результатів, найбільший час для підвищення рівня професійної готовності потрібен сьомому оператору – 28 годин. Таким чином, при стандартному підході до підвищення рівня професійної готовності кількість годин

складає 280 людино/годин, а застосовуючи запропонований підхід – 178 людино/годин. Загальна різниця складає 102 людино/години і доводить, що використання запропонованого методу дозволяє за рахунок застосування індивідуального графіку оперативно підвищувати рівень професійної готовності оператора ЕСКЗ.

З урахуванням запропонованих рішень розроблено узагальнений метод підтримки рівня професійної готовності оператора ЕСКЗ (рис. 5), який складається з восьми послідовних етапів і реалізується наступним алгоритмом:

Етап *A* – «*Analysis*». Визначається сфера діяльності ЕСКЗ, місце конкретного оператора в цій ЕСКЗ та аналіз його функціональних обов'язків.

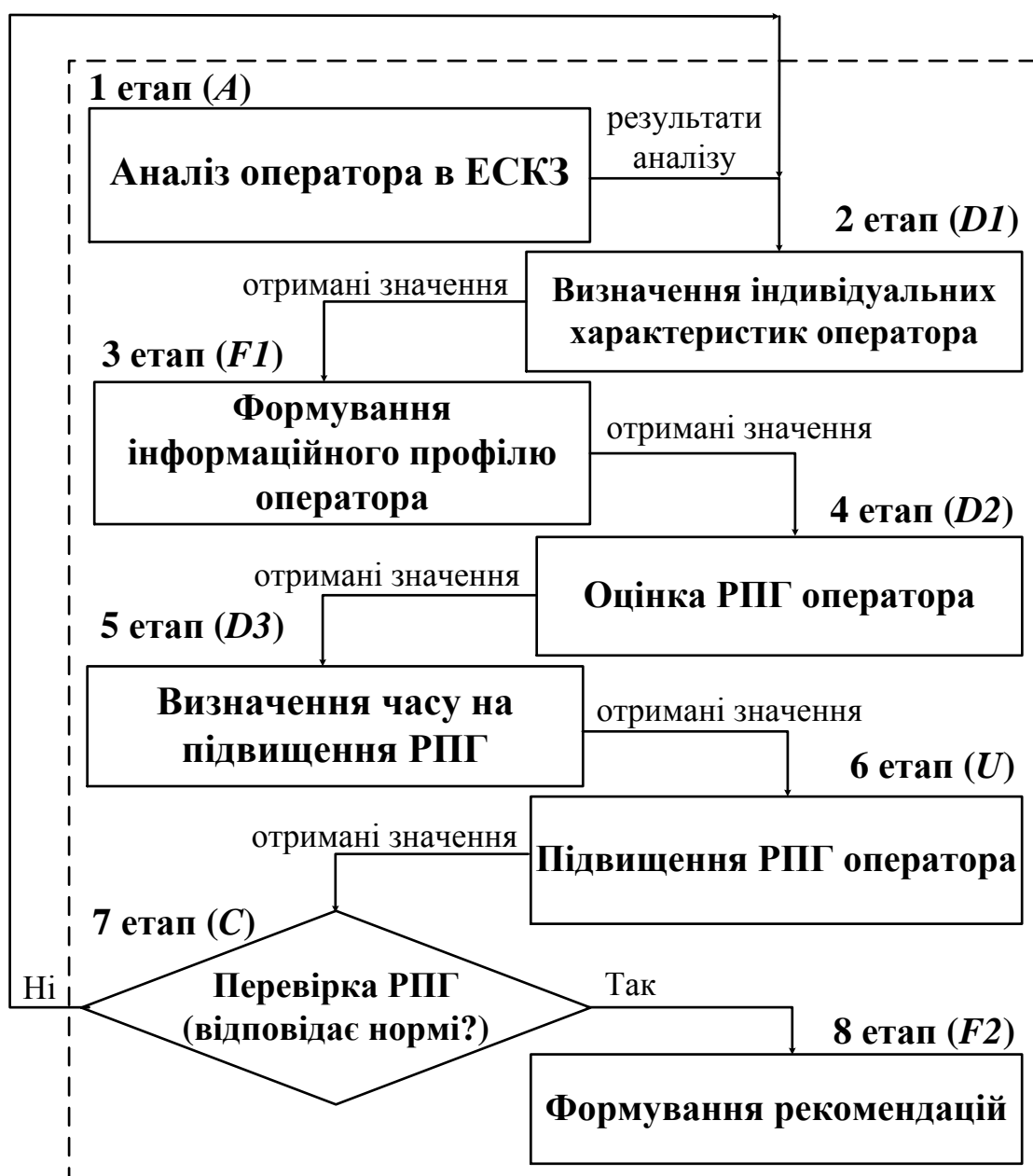


Рисунок 5 – Схема узагальненого методу підтримки рівня професійної готовності (РПГ) операторів в ЕСКЗ

Етап D_1 – «*Deed 1*». За результатами проведеного аналізу, визначаються індивідуальні інформаційні характеристик оператора, проводиться анкетування та спеціалізоване тестування оператора.

Етап F_1 – «*Formation 1*». Проводиться експертна оцінка та перевірка результатів спеціалізованого тестування та анкетування. Формується індивідуальний інформаційний профіль оператора ЕСКЗ.

Етап D_2 – «*Deed 2*». Показники з індивідуального інформаційного профілю використовуються для оцінки рівня професійної готовності оператора на базі розробленого відповідного методу.

Етап D_3 – «*Deed 3*». Визначається індивідуальний час на процес підвищення рівня професійної готовності оператора, використовуючи метод на основі апарату нечіткої логіки.

Етап U – «*Using*». Використовуючи показники індивідуального інформаційного профілю оператора, визначаються підходи щодо підвищення рівня його професійної готовності шляхом розроблення індивідуальної програми відповідно до його функціональних обов'язків в ЕСКЗ.

Етап C – «*Check*». Перевіряються результати виконання індивідуальної програми підтримки рівня професійної готовності оператора та відповідності показника рівня професійної готовності до встановленої норми в ЕСКЗ.

Етап F_2 – «*Formation 2*». Планування наступного етапу підтримки рівня професійної готовності оператора з урахуванням сформованих рекомендацій, отриманих при використанні розробленої інформаційної технології.

Застосування такого методу надає змогу раціонально проводити перевірку рівня професійної готовності оператора і зменшити кількість відмов ЕСКЗ з вини оператора, що ставить ергатичну ланку ЕСКЗ на новий, якісно високий рівень.

Запропоновані в роботі методи дозволяють отримати рекомендації при формуванні індивідуального графіку перевірки та підвищення рівня професійної готовності оператора та розробити інформаційну технологію підвищення відмовостійкості ЕСКЗ за рахунок підтримки цього рівня.

У четвертому розділі розроблена інформаційна технологія підвищення відмовостійкості ЕСКЗ за рахунок підтримки індивідуального рівня професійної готовності оператора.

Всі інформаційні процеси, які відбуваються в роботі інформаційної технології проходять в десять етапів (рис. 6).

Етап 1 – оператору потрібно пройти спеціалізоване тестування та анкетування на підготовленому персональному комп'ютері, на якому встановлено розроблене спеціалізоване програмне забезпечення та додаткове технічне обладнання. На даному етапі в інформаційній технології використовується модуль *Creator-test* – для формування спеціалізованих тестів для оператора, та база даних для зберігання створених тестів та анкет.

Саме в процесі проходження тестування відбувається зчитування мікрорухів оператора, розпізнавання положення зіниць та відповідне формування вхідних даних для його індивідуального інформаційного профілю.

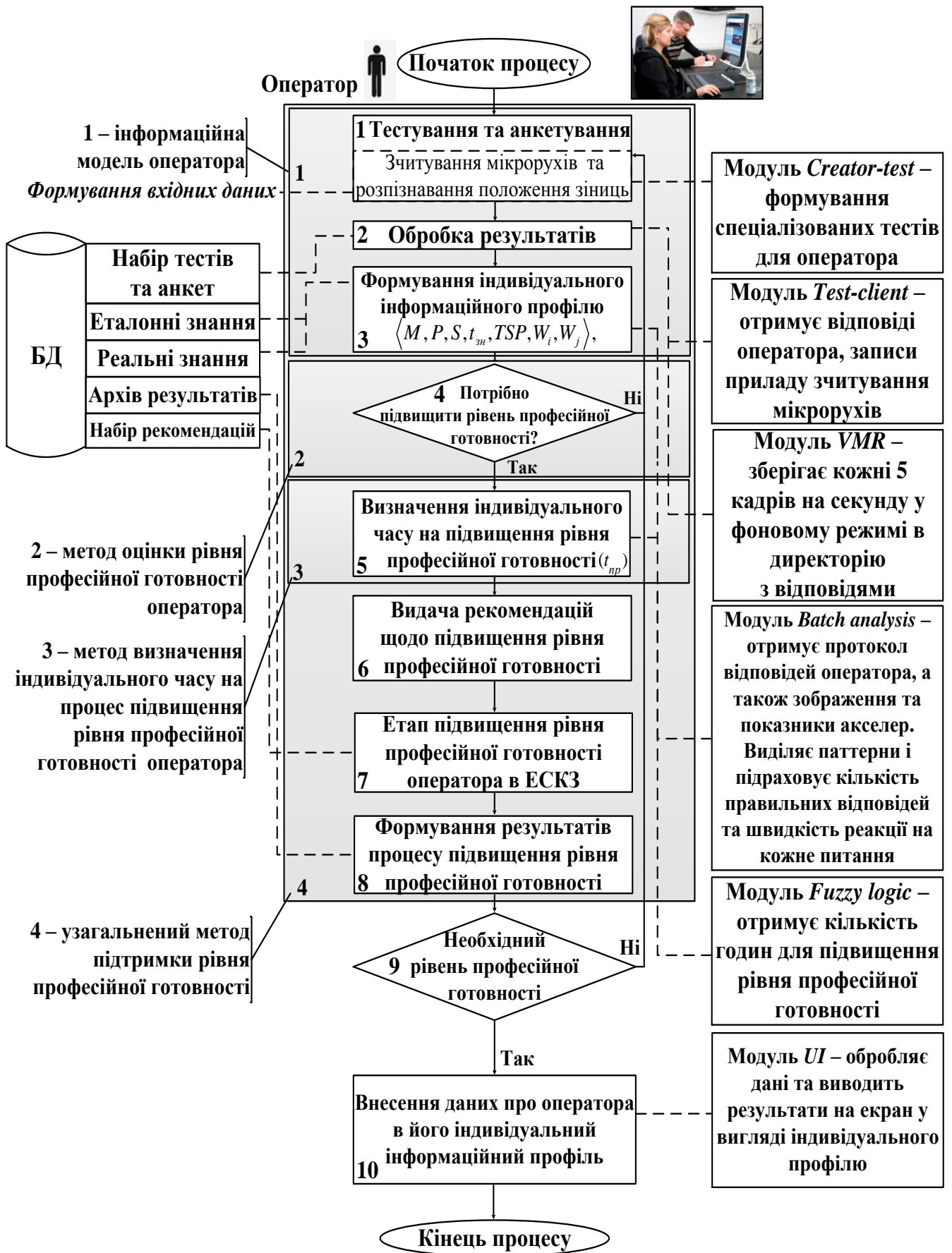


Рисунок 6 – Загальна структурна схема інформаційної технології підвищення відмовостійкості ЕСКЗ

Етап 2 – відбувається обробка результатів тестування та анкетування оператора ЕСКЗ. Модуль *Test-client* обробляє відповіді оператора, записи приладу зчитування мікрорухів та заносить їх до бази даних в таблицю аналізу результатів. Мікрорухи оператора мають свої екстремуми, які свідчать про хвилювання, що дає змогу провести аналіз часу на прийняття рішення при відповіді на питання. Модуль *IMR* зберігає кожні 5 кадрів на секунду у фоновому режимі в директорію з відповідями.

Етап 3 – інформаційна технологія формує інформаційний профіль на основі отриманих результатів з попереднього етапу. На даному етапі використовується розроблена інформаційна модель оператора та розроблений модуль *Batch analysis*, який отримує протокол відповідей оператора, а також зображення, виділяє паттерни і підраховує кількість правильних відповідей та швидкість реакції на кожне питання. Саме на цьому етапі визначаються всі індивідуальні характеристики оператора і безпосередньо його рівень професійної готовності в складі ЕСКЗ.

Етап 4 – використовується розроблений в роботі метод оцінки рівня професійної готовності оператора, для того, щоб з'ясувати, чи відповідає рівень встановлений в ЕСКЗ нормі, чи його потрібно підвищувати. Після оцінки рівня визначаємо подальші дії, якщо рівень достатній, то оператор допускається до роботи і чекає на наступну перевірку відповідно до встановленого індивідуального графіку. Якщо недостатній, то переходимо на наступний етап.

Етап 5 – технологія визначає індивідуальний час на підвищення рівня професійної готовності. Для цього використано розроблений відповідний метод та модуль *Fuzzy logic*, який отримує кількість годин для підвищення рівня професійної готовності.

Етап 6 та 7 – направлені на видачу рекомендацій щодо покращення процесу підвищення рівня, та відповідно використовуючи показники індивідуального інформаційного профілю оператора та сформовані рекомендації, визначаються підходи щодо підвищення рівня його професійної готовності шляхом розроблення індивідуальної програми відповідно до його функціональних обов'язків в ЕСКЗ.

Етап 8 – формування результатів після процесу підвищення рівня професійної готовності оператора ЕСКЗ.

Етап 9 – відбувається повторна оцінка рівня професійної готовності оператора.

Етап 10 – заключна частина інформаційної технології – внесення змін в інформаційний профіль оператора.

Для верифікації запропонованих моделей та методів проведено їх апробацію. В дослідженнях приймали участь 117 операторів (працівники Херсонської дирекції залізничних перевезень Одеської залізниці). Визначено кількість операторів з достатнім ($\geq 90\%$) та недостатнім рівнем професійної готовності. Для операторів визначався індивідуальний інформаційний профіль, час зниження рівня професійної готовності, оцінювався рівень професійної готовності та визначався індивідуальний час на підвищення цього рівня.

Загальні показники ефективності щодо проведених досліджень показано на рисунку 7.



Рисунок 7 – Показники ефективності запропонованих рішень

Результати роботи впроваджено в «ВКФ Кріопром ООО» та Херсонській дирекції залізничних перевезень Одеської залізниці. Отримано відповідні акти впровадження.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота містить нові, раніше незахищені науково-обґрунтовані результати проведених здобувачем досліджень, які полягають у розробленні моделей та методів для підтримки рівня професійної готовності оператора, як складової ЕСКЗ, та інформаційної технології підвищення відмовостійкості ЕСКЗ за рахунок підтримки рівня професійної готовності оператора.

1. Проведений в роботі аналіз стану проблеми показав, що методи та моделі, які використовуються в інформаційних технологіях підвищення відмовостійкості ЕСКЗ за рахунок підтримки рівня професійної готовності операторів, розраховані на груповий підхід та не враховують вплив індивідуальних психофізіологічних характеристик оператора на його індивідуальний графік перевірки та підвищення рівня професійної готовності.

2. Обґрунтовано необхідність врахування як професійних характеристик, так і психофізіологічних для формування індивідуального інформаційного профілю оператора, який використовується для розробки інформаційної моделі оператора, що дозволить індивідуалізувати процес підтримки рівня професійної готовності оператора ЕСКЗ.

3. У роботі отримав подальший розвиток метод оцінки рівня професійної готовності оператора на основі об'єднання методів Г. Еббінгауза та М. Джонса з урахуванням індивідуального інформаційного профілю оператора, що дозволило визначити індивідуальний час зниження рівня професійної готовності оператора та

сформувати індивідуальний графік перевірки цього рівня.

4. Розроблено метод визначення індивідуального часу на процес підвищення рівня професійної готовності оператора за рахунок використання апарату нечіткої логіки, що дозволило підвищити оперативність цього процесу. Застосування розробленого методу надало можливість відділу, який займається перевіркою якості рівня професійної готовності оператора ЕСКЗ, отримати рекомендації стосовно індивідуального часу необхідного на підвищення цього рівня для оператора з урахуванням його індивідуального інформаційного профілю.

5. Розроблено узагальнений метод підтримки рівня професійної готовності оператора ЕСКЗ, який складається з восьми послідовних ітерацій, направлених на формалізацію цього процесу. Такий метод дозволив отримати рекомендації при розробці індивідуального графіку підвищення рівня професійної готовності оператора з урахуванням інформаційного профілю та його типу сприйняття інформації. Застосування запропонованого методу при розробці інформаційної технології, дозволило визначити способи індивідуальної подачі інформації для процесу підвищення рівня професійної готовності оператора та зменшити кількість відмов ергатичних систем критичного застосування з вини оператора.

6. На базі запропонованих рішень створено інформаційну технологію підвищення відмовостійкості ЕСКЗ за рахунок підтримки рівня професійної готовності оператора для створення якісно нового рівня надійності ергатичної ланки ЕСКЗ. Для реалізації такої технології було розроблено спеціальне програмне забезпечення, яке дозволило визначити як професійні характеристики оператора так і психофізіологічні, для індивідуалізації процесу підвищення рівня професійної готовності оператора, що значно підвищило оперативність цього процесу та збільшило ймовірність зниження аварійно-небезпечних ситуацій з вини оператора ЕСКЗ.

7. Результати дисертаційного дослідження впроваджено в Херсонській дирекції залізничних перевезень Одеської залізниці та «ВКФ Кріопром ООО». Використання розробленої інформаційної технології підтвердило ефективність запропонованих рішень – кількість відмов за звітний період (2 роки) зменшилась з 12 до 7 в Херсонській дирекції залізничних перевезень Одеської залізниці та з 9 до 4 в «ВКФ Кріопром ООО», оперативність процесу підвищення рівня професійної готовності збільшилась в середньому на 27 %, а кількість операторів, у яких після процесу підтримки рівня професійної готовності, він став відповідний до норми встановленої в ЕСКЗ, зросла майже вдвічі. Отримані результати підтверджено відповідними актами впровадження.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких є опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Косенко, Ю. І. Використання ланцюгів Маркова для прогнозування колективної мотивації студентів [Текст] / Ю. І. Косенко, П. С. Носов, Є. О. Яковенко // Збірник наукових праць / Східно-європейський журнал

передових технологі – Вип. 3/4(45) – Харків: Технологічний центр, 2010 – С. 30 – 32. [Видання, яке входить до МНБ – PИИЦ, BASE, Ulrich's Periodicals Directory, SWEB, DRIVER, Index Copernicus, WorldCat, EBSCO Publishing, FreeFullPDF, eLIBRARY, Google Scholar, DOAJ].

2. Косенко, Ю. І. Нечіткі моделі і методи ідентифікації та прогнозу стану інформаційної моделі студента [Текст] / П. С. Носов, Ю. І. Косенко // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – Вип. 1 (25), Херсон: ХНТУ, 2010. – С. 26 – 30.

3. Косенко, Ю. І. Выбор стратегии индивидуального планирования учебной деятельности студента в условиях неопределенности [Текст] / П. С. Носов, Ю. И. Косенко, В. Д. Яковенко // Збірник наукових праць / Високі технології в машинобудуванні – Вип. 5 – Харків: НТУ «ХП», 2010 – С. 334 – 339. [Видання включено до МНБ – eLibrary, Ulrich, Google Scholar, DOAJ]

4. Косенко, Ю. І. Модель знаходження оптимуму знань-умінь студента в умовах індивідуалізації навчання [Текст] / П. С. Носов, М. С. Сафонов // Вісник національного технічного університету / Нові рішення в сучасних технологіях. – № 24, Харків: НТУ, 2011. – С. 68 – 72. [Видання включено до МНБ – eLibrary, Ulrich, Google Scholar, DOAJ]

5. Бабич, Ю. І. Інформаційна система визначення типу сприйняття інформації для вибору індивідуальної стратегії відновлення професійних знань [Текст] / Ю. І. Бабич, М. І. Бабич // Науковий вісник Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича / Комп'ютерні системи та компоненти. – Том 5. – № 2, Чернівці: ЧНУ, 2014. – С. 52 – 56.

6. Бабич, Ю. І. Визначення індивідуальних характеристик суб'єкта критичної інфраструктури, які впливають на процес відновлення його професійних знань в знання-орієнтованих системах підтримки прийняття рішень [Текст] / Ю. І. Бабич, М. І. Бабич, В. М. Тонконогий // Збірник наукових праць / Високі технології в машинобудуванні. – Вип.1(24) – Харків: НТУ «ХП», 2014 – С. 3 – 11. [Видання включено до МНБ – eLibrary, Ulrich, Google Scholar, DOAJ]

Опубліковані праці апробаційного характеру

7. Косенко, Ю. І. Узагальнена модель показників засвоєння знань суб'єктами навчання [Текст] / Ю. І. Косенко, В. Д. Яковенко, Ю. В. Арбузова // Збірник наукових праць / Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві – Вип. (1)1 – Одеса, 2012. – С. 63 – 66.

8. Косенко, Ю. І. Механізм ідентифікації та трансформації знань суб'єкта критичної інфраструктури [Текст] / П. С. Носов, Ю. И. Косенко // Збірник наукових праць / Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві – Вип. 3(4) – Одеса, 2013. – С. 99 – 104.

9. Косенко, Ю. І. Узагальнена модель відновлення знань суб'єкта соціальної критичної інфраструктури на базі модернізованого циклу Шухарта-Демінга [Текст] / Ю. І. Косенко, П. С. Носов // Збірник наукових праць / Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві – Вип. (1)2 – Одеса, 2013. – С. 217 – 221.

10. Косенко, Ю.І. Побудова нечіткої моделі студента в задачах автоматизованого управління процесом відновлення знань [Текст] / Ю. І. Косенко, П. С. Носов, В. Д. Яковенко // Збірник наукових праць за матеріалами науково-практичної конференції / Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика СППР – Вип. 2 – Київ, 2010. – С. 154 – 156.

11. Косенко, Ю. І. Комплексна система оцінки мотивації студентів [Текст] / Ю. І. Косенко // Збірник наукових праць за матеріалами всеукраїнської науково-методичної конференції / Перспективні інновації у підготовці педагогічних та інженерних кадрів: теорія, методологія, досвід. – Херсон: ХДУ, 2010. – С. 69 – 71.

12. Косенко, Ю. І. Модель управління подачею учебного материала в условиях неопределенности [Текст] / П. С. Носов, Ю. И. Косенко, А. Ю. Кравченко, С. В. Лопатнев, Р. С. Йовенко // Сборник научных трудов по материалам научно-практической конференции / Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте. – Вип. 1, Том 4. Технические науки. – Одесса: Куприенко, 2010. – С. 39 – 41.

13. Косенко, Ю. І. Проблеми ідентифікації та структуризації знань суб'єкта навчання в автоматизованих системах [Текст] / Ю. І. Косенко, П. С. Носов. // Сборник научных трудов по материалам научно-практической конференции / Современные направления теоретических и прикладных исследований. – Вип. 1, Том 5. Технические науки. – Одесса: Куприенко, 2011. – С. 14 – 16.

14. Косенко, Ю. І. Моделі навчання та їх роль у процесі відновлення знань спеціалістів технічних напрямків [Текст] / Косенко Ю. І., Носов П. С. // Збірник праць за матеріалами всеукраїнської науково-практичної конференції / Сучасні енергетичні установки на транспорті та обладнання для їх обслуговування. – Вип. 2. – Херсон, 2011. – С. 191 – 193.

15. Косенко, Ю. І. Управление мотивацией субъекта обучения в задачах восстановления знаний [Текст] / П. С. Носов, Ю. И. Косенко // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции / Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте 2012. – Вип. 2, Том 5. Технические науки. – Одесса: Куприенко, 2012. – С. 28 – 31.

16. Косенко Ю. І. Об'єктно-орієнтований підхід в ступеневій моделі керування структурними елементами [Текст] / Сафонов М. С., Коленко В. В., Косенко Ю. І. // Матеріали I Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції / Проблеми та перспективи розвитку науки на початку третього тисячоліття у країнах. – Переяслав-Хмельницький, 2012. – С. 234 – 235.

17. Косенко, Ю. І. Система ідентифікації функціональної ентропії суб'єкта критичної інфраструктури [Текст] / Косенко Ю. І., Рослякова С. В., Носов П. С. // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции / Современные направления теоретических и прикладных исследований. – Вип. 2. – Одесса, 2013. – С. 50 – 54.

АНОТАЦІЯ

Бабич Ю.І. Інформаційна технологія підвищення відмовостійкості ергатичних систем критичного застосування. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – Інформаційні технології. – Одеський національний політехнічний університет Міністерства освіти і науки України, Одеса, 2015.

Дисертація присвячена розробці методів, моделей та інформаційної технології підвищення відмовостійкості ергатичних систем критичного застосування за рахунок підтримки рівня професійної готовності оператора. Розроблено інформаційну модель оператора, в ергатичних системах критичного застосування. Запропоновано розглядати її, як індивідуальний інформаційний профіль. Розроблено метод оцінки рівня професійної готовності оператора. Отримав подальший розвиток метод визначення індивідуального часу на процес підвищення рівня професійної готовності оператора, вперше розроблено узагальнений метод підтримки рівня професійної готовності оператора, який складається з восьми послідовних етапів, що дозволило формалізувати цей процес, раціонально проводити перевірку рівня професійної готовності і зменшити кількість відмов ергатичних систем критичного застосування з вини оператора. Розроблено інформаційну технологію підвищення відмовостійкості ергатичних систем критичного застосування за рахунок підтримки рівня професійної готовності, яка, на відміну від відомих, забезпечує формування інформаційного профілю оператора, що дозволило індивідуалізувати цей процес.

Ключові слова: ергатичні системи критичного застосування, відмовостійкість, оператор, рівень професійної готовності, інформаційний профіль.

ANNOTATION

Babich Y.I. Information technology of resiliency ergonomics systems of critical application. – The Manuscript.

The dissertation seeking scientific degree of the candidate of technical science in specialty 05.13.06 – Information technologies. – Odessa national polytechnic university Ministry of science and education of Ukraine, Odessa, 2015.

The dissertation is devoted to development of methods, models and information technologies in improving the resiliency of critical application ergatic by supporting the professional preparedness of the operator. The information model operator ergatic systems in critical applications. A treat it as personal profile information. The method of assessing the level of professional readiness of the operator. Further developed the method of determining individual time on the process of raising the level of professional readiness of the operator, first developed a method of support of professional readiness of the operator, which consists of eight successive stages, allowing to formalize this process efficiently conduct verification of professional readiness and reduce the number of failures ergatic application of critical fault of the operator. The information

technology to improve resiliency ergatic critical application systems through the support level of professional readiness, which, in contrast to the known profile ensures the formation of an information service that has allowed to individualize the process.

Keywords: ergatic critical application systems, fault tolerance, the operator, the level of professional readiness, information profile.

АННОТАЦИЯ

Бабич Ю.И. Информационная технология повышения отказоустойчивости эргатических систем критического применения. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06. – Информационные технологии. – Одесский национальный политехнический университет Министерства образования и науки Украины, Одесса, 2015.

Диссертация посвящена разработке информационной технологии повышения отказоустойчивости эргатических систем критического применения.

В общем виде деятельность оператора в ЕСКЗ определяют так: человек должен воспринимать и оценивать получаемую информацию, принимать своевременные и правильные решения, выполнять необходимую контролируемую и исполнительную деятельность, оперируя при этом соответствующими органами управления. Оператор лишен возможности непосредственно наблюдать за объектами, которыми управляет, и вынужден пользоваться информацией, поступающей к нему по каналам связи, то есть человек имеет дело не с реальными объектами управления, а с их отображением или информационными моделями. Вследствие чего ошибка в его работе может привести к возникновению аварийно-опасной ситуации и отказа эргатической системы. Повысить вероятность того, что оператор не допустит ошибку и соответственно уменьшить количество аварийно-опасных ситуаций по его вине, возможно за счет поддержания индивидуального уровня профессиональной готовности оператора. Научная новизна результатов диссертационного исследования заключается в следующем: получила дальнейшее развитие информационная модель оператора, предложено рассматривать её, как индивидуальный информационный профиль, который содержит не только оценку профессиональных характеристик, но и комплекс психофизиологических характеристик, что позволило учитывать это при поддержании уровня профессиональной готовности оператора эргатических систем критического применения; получил дальнейшее развитие метод оценки уровня профессиональной готовности, который позволил определить время снижения этого уровня на основе объединения методов М. Джонса и Г. Еббингауза, и в отличие от известных, позволил определить индивидуальный график проверки уровня профессиональной готовности оператора эргатических систем критического применения; получил дальнейшее развитие метод определения времени на повышение уровня профессиональной готовности оператора,

отличающийся учётом его индивидуального информационного профиля, с использованием аппарата нечеткой логики и базы правил нечётких продукций, что позволило индивидуализировать этот процесс; впервые разработан обобщенный метод поддержания уровня профессиональной готовности для повышения отказоустойчивости эргатических систем критического применения, который состоит из восьми последовательных этапов, направленных на создание нового подхода к процессу поддержания уровня профессиональной готовности оператора, что позволило, с учетом его индивидуального информационного профиля, проводить проверку этого уровня. В работе разработана информационная технология повышения отказоустойчивости эргатических систем критического применения за счет поддержания уровня профессиональной готовности оператора для создания качественно нового уровня надёжности эргатической составляющей в ЕСКЗ.

Практическое значение полученных результатов заключается в разработке информационной технологии повышения отказоустойчивости эргатической системы критического применения. Ее применение показало эффективность предложенных решений: количество отказов (возникновение аварийно-опасных ситуаций) за отчетный период (2 года) уменьшилось с 12 до 7 в Херсонской дирекции железнодорожных перевозок Одесской железной дороги и с 9 до 4 в «ПКФ Криопром ООО», оперативность процесса повышения уровня профессиональной готовности увеличилась в среднем на 27 %, а количество операторов, у которых после процесса повышения уровня профессиональной готовности он стал соответствующий норме, установленной в ЕСКЗ, возросло почти вдвое.

Ключевые слова: эргатические системы критического применения, отказоустойчивость, оператор, уровень профессиональной готовности, информационный профиль.