

МЕТОДИЧНІ ТА МАТЕМАТИЧНІ АСПЕКТИ ПРОЕКТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ТРЕНАЖЕРНИХ КОМПЛЕКСІВ СКЛАДНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Проведений порівняльний аналіз існуючих методів, алгоритмів та моделей розробки сучасних комп'ютерних тренажерних комплексів складних технологічних об'єктів на основі інформаційного пошуку щодо існуючих на сьогодні тенденцій розвитку, вдосконалення та успішного впровадження на виробництві систем подібного класу. Наведена функціонально-структурна модель синтезу уніфікованих модулів для комп'ютерних тренажерних комплексів. Проведено аналізу способу інтеграції деяких адаптивних алгоритмів в структуру навчальних модулів комп'ютерних тренажерних комплексів, аналіз можливостей використання інформаційних моделей для створення платформи адаптивних тренажерів у вигляді логіко-ймовірнісних моделей причинно-наслідкових зв'язків відмов складних технологічних об'єктів.

Ключові слова: комп'ютерний тренажерний комплекс, імітаційне моделювання, людина-оператор, системний аналіз, уніфіковані моделі.

N.D. MYKHAILIV

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

METHODICAL AND MATHEMATICAL ASPECTS DESIGNING OF COMPUTER TRAINING COMPLEXES OF COMPLEX TECHNOLOGICAL OBJECTS

The comparative analysis of existing methods, algorithms and models of development of modern computer training complexes complex technological objects of existing nowadays trends development, improvement and successful implementation in the production, system of this class. Presented functional and structural model of the synthesis of standardized modules for computer training complexes. Analyzed models of computer training complexes in different periods of development of information technologies. Considered the model of training facility using adaptive learning algorithms for operator. Analysis capabilities integration some algorithms adaptability to the structure of training modules of computer training complex. Analysis of the possibilities of using information models to create adaptive platform simulators in a logical and probabilistic models of causation failures of complex technological objects. Presented results of work on the information model of the class in the form of finished exercises and training systems for operator profile.

Keywords: computer training complex, simulation, operator, systems analysis, unified model.

Вступ

На сучасному етапі розвитку технологічного суспільства комп'ютерні тренажерні комплекси (КТК) складних технологічних об'єктів (СТО) повинні являти собою уніфіковані багатокомпонентні системи складної структури. Окрім того, КТК вказаного рівня слід будувати на платформі універсальних модулів та компонентів, що надають можливість максимального скорочення майнових, інтелектуальних і часових витрат на розробку засобів навчання, тренажу та атестації обслуговуючого персоналу промислових об'єктів різноманітного призначення.

Необхідність розробки і впровадження КТК СТО виникла наприкінці 80-х років ХХ століття у зв'язку із бурхливим розвитком та вдосконаленням автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУ ТП). Складність алгоритмів та апаратно-програмних засобів (АПЗ) у структурі замкнутих контурів управління хіміко-технологічними процесами, підсистем управління такими не безпечними ділянками промисловості як ядерна енергетика, транспортування нафти та газу, управління досконалими літальними апаратами вимагала від науково-дослідного сектору розвинутих країн світу створення нового покоління АПЗ підтримки навчання персоналу СТО диспетчерсько-операторного профілю.

Слід зазначити, що перші кроки у розробці КТК СТО були спрямовані у напрямку розробки вузькоспеціалізованих систем на основі прямого моделювання та програмування технологічних процесів при комбінуванні отриманих моделей з наявними АПЗ у структурі АСУ ТП. Зрозуміло, що такий підхід не виправдав себе внаслідок стрімкого трансформування та вдосконалення засобів автоматизації та комп'ютерної техніки, розвитку інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ).

Внаслідок недосконалої стратегії вибору моделей, алгоритмів та АПЗ розробки КТК СТО більшість з них залишилась у минулому, так як вони не змогли бути пристосовані до незупинних об'єктивних змін існуючих АСУ ТП.

Постановка завдання

Метою дослідження є формування методичних підходів створення функціонально-структурної моделі проектування та практичної реалізації атестаційного модуля адаптивного рівня в структурі КТК СТО на основі положень кібернетики, системного аналізу та інформаційного пошуку щодо сучасного стану використання моделей взаємодії КТК СТО та ЛО при розробці систем подібного класу.

Розроблена функціонально-структурна модель повинна стати платформою для швидкої адаптації уніфікованого модуля атестації ЛО для КТК СТО стратегічно важливих галузей промисловості.

Функціонально-структурна модель модуля атестації в структурі КТК СТО

Починаючи із ХХІ століття з розвитком методів імітаційного моделювання на основі швидкісних

комп'ютерних станцій, спеціалізованих середовищ об'єктно-орієнтованого програмування та Web-орієнтованого підходу в управлінні СТО до розробників КТК прийшло розуміння необхідності невідкладного та безкомпромісного переходу до використання уніфікованих методів та засобів проектування та практичної реалізації систем подібного класу. Це логічний і зрозумілий крок, так як сам КТК СТО являє собою складну систему, підсистема якої повинні відповідати за окремі замкнуті цикли підготовки персоналу, такі як навчання, визначення поточного психологічного та функціонального стану людини-оператора (ЛО), оперативне тренування та атестація.

На наш погляд, при розробці КТК СТО слід спиратися на положення таких фундаментальних наук як системний аналіз та кібернетика.

Системний аналіз, як предметна область розробки узагальнених підходів дослідження та синтезу складних систем, в тому числі систем автоматичного управління (САУ), передбачає, що опис динамічних процесів в таких системах повинен бути заснований на методі декомпозиції, який є невід'ємною частиною системного дослідження, та передує процедурам аналізу та синтезу систем управління СТО, а відповідно і КТК [1]. Системне дослідження проводиться у тому випадку, коли виникають практичні проблеми при експлуатації системи з включенням СТО, які призводять до значного відхилення якісних показників роботи системи від ідеальних, з точки зору ефективності її функціонування та надійності.

КТК практично є моделлю СТО та основою його декомпозиції з метою подолання практичної проблеми негативного впливу людського фактору на виникнення не штатних та аварійних ситуацій на виробництві. Глибина декомпозиції СТО для створення КТК повинна відповідати структурній декомпозиції внаслідок того, що при створенні КТК СТО ми переходимо до нового типу системи, яку прийнято називати складним людино-машинним комплексом (СЛМК).

Модуль атестації ЛО у структурі КТК СТО є найбільш складним функціональним елементом, тому що від його ефективності та точної діагностики якісних властивостей ЛО безпосередньо залежить надійність безвідмовної роботи АСУ ТП СТО. Такий модуль повинен проектуватися на основі сучасних адаптивних алгоритмів та основ побудови систем самоадаптації.

Зрозуміло, що на основі синтезованого модуля атестації простіше побудувати модуль оперативного контролю функціонального стану ЛО. Практично в якості даного модуля можуть виступати окремі інструментальні складові атестаційного модуля.

На сьогоднішній день, відомі різні підходи до створення уніфікованих багатокомпонентних моделей підсистем СТО у структурі КТК. Публічно признаним фактом даний етап розробки КТК визнається найбільш складним та неоднозначним в процесі його реалізації. Серед найбільш перспективних методів створення вказаних моделей необхідно зазначити доменний підхід, використання інформаційних моделей на основі графо-аналітичних представлень дерев подій у СТО та дерев дій ЛО і спеціалістів екстремальних професій, стохастичні методи та побудову часових статистичних моделей опису процесів, що супроводжують експлуатацію СТО.

В свою чергу, доведеним фактом є те, що використання досконалих КТК СТО у структурі АСУ ТП значним чином підвищує рівень їх безпечної експлуатації та ефективності відпрацювання диспетчерами та операторами підприємств підвищеної техногенної небезпеки не штатних та аварійних ситуацій [3].

На рис. 1 представлена функціонально-структурна модель, яка є першим етапом створення КТК СТО на основі положень системного аналізу. Зрозумілим стає взаємозв'язок між окремими функціональними частинами тренажерного комплексу з метою синтезу, апробації, дослідної експлуатації та впровадження у структурі КТК СТО модуля атестації ЛО. При розробці функціонально-структурної схеми враховані всі основні задачі системного аналізу – декомпозиція, аналіз і синтез.

При детальному розгляді функціонально-структурної схеми (рис. 1) зрозуміло, що при даному представленні спеціаліст операторного профілю (ЛО) в структурі СЛМК, з точки зору системного аналізу, є підсистемою.

З іншої точки зору, ЛО сама по собі є складною латентною системою, для якої СТО та його модель в структурі КТК є зовнішніми факторами впливу. Значний вплив на стан ЛО оказує оточуюче середовище, до якого йому необхідно швидко та професійно адаптуватися в умовах невизначеної зміни параметрів, оперативної інформації щодо штатних, не штатних та аварійних ситуацій.

В свою чергу розробка модуля атестації в структурі КТК СТО пов'язана із такими важливими та трудомісткими задачами, як вивчення посадових інструкцій ЛО, детальний аналіз алгоритмів його діяльності при відпрацюванні штатних, не штатних та аварійних ситуацій, вивчення статистичних даних щодо можливих помилок спеціалістів, які обслуговують визначені СТО. Подібні задачі повинні вирішуватися експертами у даній професійній діяльності та спеціалістами – технологами.

Після виділення ЛО у якості підсистеми КТК СТО настає найбільш складний етап синтезу модуля атестації у структурі КТК на основі обраних моделей взаємодії ЛО із тренажерним комплексом. Саме на цьому етапі може бути застосований уніфікований підхід проектування атестаційного модуля у структурі КТК СТО, так як, не дивлячись на різноманітність СТО, процеси, що пов'язані із адаптацією ЛО до випадкових заздалегідь не визначених подій при обслуговуванні складних АСУ ТП, мають спільні риси та однакову природу походження, розвитку та кінцевого завершення.

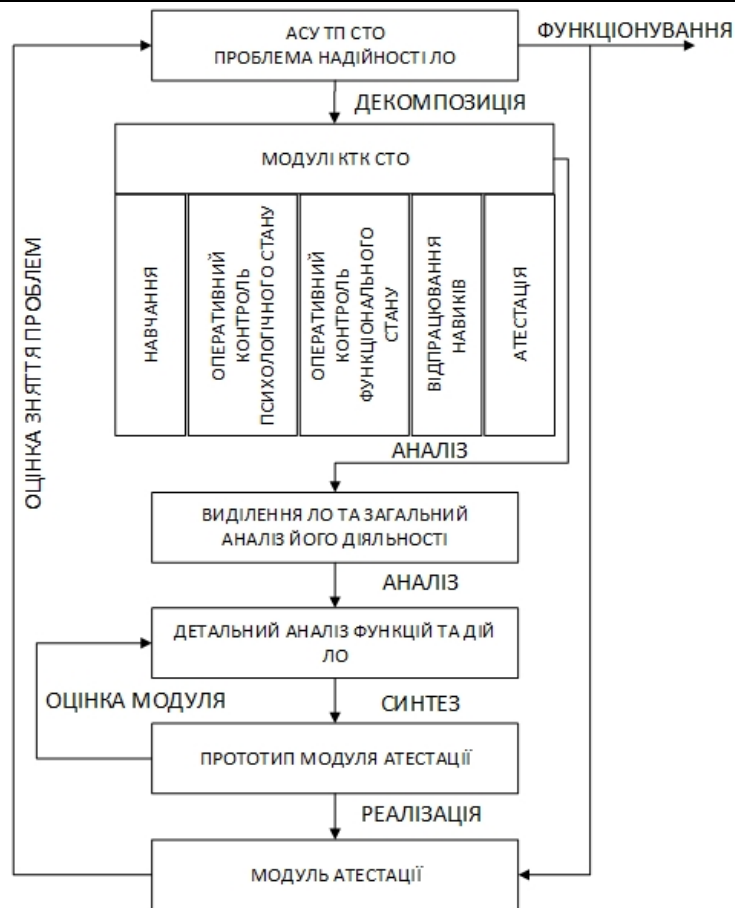


Рис. 1. Функціонально-структурна модель синтезу модуля атестації ЛО у структурі КТК СТО

Наведена функціонально-структурна модель синтезу уніфікованого модуля атестації у структурі КТК СТО має замкнуту структуру, яка передбачає оцінку впливу атестаційних заходів ЛО СТО на зняття проблеми негативного впливу його помилок на загальну надійність, безвідмовність роботи та безпеку експлуатації АСУ ТП у цілому.

Аналіз та класифікація моделей взаємодії КТК СТО з ЛО в процесі проходження навчання та атестації

Аналіз наукових джерел доводить той факт, що кількість КТК СТО, у структурі яких використовують адаптивні моделі проходження оперативного контролю, тренажу та атестації спеціалістів операторного та екстремального профілю, є в рази меншою у порівнянні з традиційними системами тренажу, в яких реалізовані жорсткі алгоритми діагностики професійної придатності та поточного функціонального стану ЛО. Під адаптивністю системи навчання ЛО, відповідно до класичних положень кібернетики, слід розуміти накопичення системою досвіду в результаті багаторазових впливів на неї і коригування її реакцій на ці впливи. Джерелами навчальних і коригувальних впливів можуть бути керуюча система (або спостерігач), зовнішнє середовище в цілому (в цьому випадку відбувається адаптація системи до неї), але можуть бути й елементи самої системи, тоді вона називається самонавчальною.

Зрозуміло, що практична реалізація адаптивних сценаріїв навчання та атестації ЛО вимагає розробки складних імітаційних моделей взаємодії ЛО, АПЗ та навколишнього середовища у структурі СЛМК з відповідною обробкою отриманих результатів з врахуванням сучасних вимог щодо використання сучасних ІКТ на основі розподілених WEB-орієнтованих систем.

Успішна розробка будь-якої імітаційної моделі зазвичай починається з простого прототипу, який поступово ускладнюється до тих пір, поки не будуть задоволені вимоги кінцевої мети практичного використання даної моделі.

ЛО є тим компонентом системи, з яким найкраще знайомі фахівці у галузі інженерної психології і який повинен описуватися за допомогою методів аналізу професійних завдань з ретельним описом подій в системі та реакцій на них з боку ЛО. Однак, у процесі моделювання складних замкнених систем взаємодії СТО та ЛО простого абстрактного опису поведінки людини, що виконує деяку послідовність дій в процесі професійної діяльності, зазвичай недостатньо. Імітаційна модель, яка покладена в основу КТК СТО повинна стати абстрактним поданням цілісної системи з вибіркоким включенням до неї лише окремих аспектів поведінки ЛО, функціонування обладнання та впливу навколишнього середовища.

Не дивлячись на розвиток та вдосконалення АСУ ТП та сучасних КТК СТО спеціаліст операторного профілю залишається найбільш небезпечною ланкою, яка негативно впливає на виникнення, розвиток та успіх подолання не штатних та аварійних ситуацій під час експлуатації СТО [2]. Тому, особливу

увагу слід приділяти адекватному моделюванню взаємодії ЛО з іншими компонентами системи під час реалізації модулів атестації і тренажу у структурі КТК СТО.

Перші моделі КТК СТО створювались більш на інтуїтивному рівні та не вкладались в загальну класифікаційну схему. Проте, можна стверджувати, що фізичні, математичні та імітаційні моделі різноманітних СТО адаптовані до нових потреб сучасних КТК. Більшість фізичних моделей СТО у структурі КТК [3] було побудовано для подальшого використання у військовій промисловості. В той час найбільший розвиток отримали фізичні моделі тренажерів пов'язаних із апаратним моделюванням роботи літальних апаратів. Вже тоді тренажер Лінка мав одну характерну рису, яка зробила його модель домінуючою та надалі була активно розвинута іншими науковцями. А саме, мова йдеться про уніфікованість – універсальність використання його моделі. Тобто була розроблена уніфікована модель літального апарату, за допомогою якої можна було створювати тренажери для різного роду літальних апаратів.

У період після закінчення другої світової війни і аж до періоду активного розвитку комп'ютерної техніки та ІКТ, тривав другий етап розвитку моделей тренажерних комплексів. Під час цього етапу, за основу для створення нових моделей бралися не військові задачі, а підготовка кваліфікованих спеціалістів для СТО. Основним напрямком розвитку моделей був пріоритет на моделюванні самих СТО а також оцінка дій людини-оператора (ЛО) за допомогою класичних методів статистичного аналізу надійності та безвідмовності його професійної діяльності [4]. Враховуючи той факт, що при моделюванні СТО ставилася задача точного відтворення моделі реального об'єкту, стало можливим проводити навчання ЛО, без втручання в роботу реального СТО. Цей етап розвитку моделей тренажерних комплексів був основою для подальшої оцінки дій ЛО в структурі КТК.

Коли почався період бурхливого розвитку ІКТ, моделі побудови КТК СТО почали свою трансформацію у складні розподілені WEB-орієнтовані системи з перенесенням старих, але актуальних фізичних моделей СТО на комп'ютерну платформу [5]. Саме вік інформаційних технологій став переломним для фізичних моделей СТО, розробка яких потребувала значних ресурсів, як матеріальних так і людських. Стала можливим розробка імітаційних моделей СТО настільки адекватних реальним АСУ ТП, що більшість наступних розробок у області моделей КТК були направлені на збільшення інформаційних можливостей, а саме різного роду аналізу отриманих даних при взаємодії ЛО і КТК, що призвело до ідеї створення КТК СТО інтелектуального рівня на основі адаптації тренажерних комплексів до поточного рівня знань, біологічних, психофізіологічних потреб кожного суб'єкту навчання.

В роботі [6] вказане на те, що адаптивний тренажер – це тренажер, що забезпечує автоматичну оптимізацію управління процесом підготовки людини-оператора з урахуванням швидкості і якості виконання ним навчальних завдань. Автори зауважують, що якщо зосередитися на проблемі адаптації КТК СТО до потреб ЛО, як навчальної системи, то можна виділити два типи адаптивності – адаптивність структури тренажера як технічного пристрою (режимну або конструктивну адаптивність) і дидактичну адаптивність. У першому випадку технічні пристрої КТК СТО адаптуються під зовнішні сигнали, змінюючи режими функціонування або математичну модель тренажера, а в другому, мається на увазі автоматична зміна навчально-методичного забезпечення тренажера в залежності від попереднього досвіду навчання, рівня навченості або етапу навчання.

Сучасні КТК СТО адаптивного це програмно-технічні засоби професійної підготовки персоналу, що забезпечує автоматичну оптимізацію управління процесом навчання при зміні властивостей імітаційної моделі СТО і рівня навченості ЛО, при цьому адаптивними властивостями можуть володіти не тільки КТК СТО в цілому, а й їх окремі вузли, підсистеми та модулі.

Що стосується дидактичної адаптивності, то на сьогодні КТК СТО є спеціалізованими віртуальними навчальними середовищами, які активно використовують технології дистанційного та мобільного навчання. В роботі [7] розглянута методика адаптивного контролю знань у структурі функціональних тренажерів на основі індивідуальних ситуаційних завдань із льотної експлуатації бортових засобів. При цьому керування процесом тренажу виконується автоматизованою системою, як в автоматичному режимі, так і в діалозі з інструктором.

Адаптивність КТК розглядається при підготовці ЛО наземних транспортних засобів [8]. При створенні адаптивної та ігрових КТК транспортного засобу недостатньо визначити тільки кінцеву поведінку людини, але також необхідно передбачити набір методів вирішення завдань. В результаті адекватна модель ЛО транспортних засобів повинна мати такі компоненти:

- модель поведінки, (відбір стимулів і відповідей, і правила, що визначають правильну відповідь);
- правила адаптації;
- алгоритмічний або обчислювальний компонент, який описує завдання різних типів, а також загальні або часткові рішення цих задач.

Останнім часом, із розвитком кібернетики, систем штучного інтелекту та експертних систем, заснованих на знаннях, розробка КТК СТО отримала новітню платформу для переходу у клас інтелектуальних систем само адаптації та само розвитку. В роботі [9] розглянуті питання розробки математичного забезпечення КТК на базі технології експертних систем. Авторам представляється доцільним побудова так званих гібридних систем, які поряд з неформальними знаннями фахівців містять знання, отримані в результаті математичного моделювання взаємодії КТК СТО та ЛО. Такий підхід до вирішення завдань навчання ЛО різних виробництв стає можливим завдяки розвитку нових ІКТ, і, в першу чергу,

завдяки створенню промислових систем, заснованих на знаннях.

У нашому випадку, був проведений аналіз можливостей використання інформаційних моделей для створення платформи адаптивних КТК СТО у вигляді логіко-ймовірнісних моделей причинно-наслідкових зв'язків відмов СТО з відмовами її елементів і іншими подіями (впливами), такими як дії ЛО при відпрацюванні штатних, не штатних та аварійних ситуацій. При практичному використанні фундаментального керівництва з проблем впливу людського фактору на надійність експлуатації СТО, написаному авторами з США, Канади та ФРН, в якому розглянуті загальна характеристика професії інженера, основні етапи проектування та розробки автоматизованих систем навчання інженерного рівня, методи оцінки їх надійності та ефективності нами розроблений прототип модуля атестації та тренажу ЛО у структурі КТК СТО змінного інженера газо-перекачувальної станції. На рис. 2 та рис. 3 наведені приклади реалізації дерева подій при імітаційному моделюванні роботи та дерева дій змінного інженера ГПА Ц1 16с при відпрацюванні не штатної ситуації, пов'язаної з явищем помпажу.

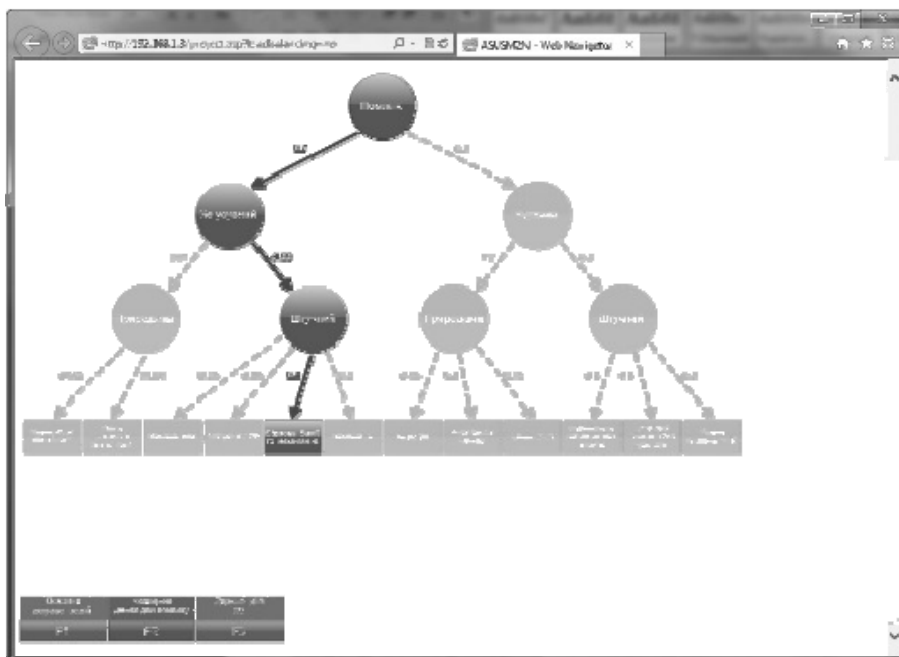


Рис. 2. Реалізація дерева подій у структурі КТК газоперекачувальної станції

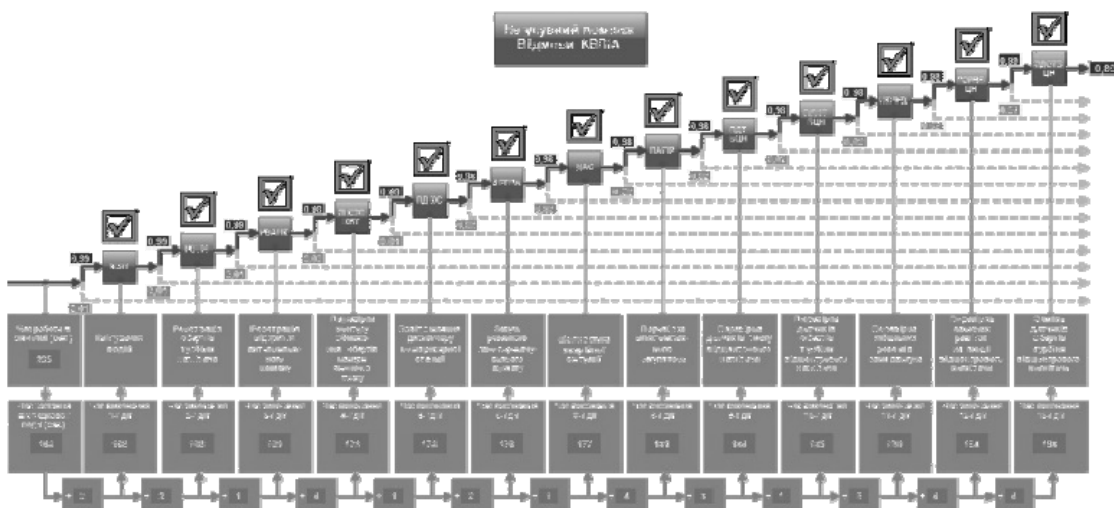


Рис. 3. Реалізація логіко-ймовірнісної моделі ЛО у структурі КТК оператора газоперекачувальної станції

Результати даних досліджень викладені у роботах [10, 11]. Дані результати слід рахувати базовою платформою для подальших досліджень у напрямку розвитку даного прототипу на основі моделей само адаптації та самоорганізації КТК СТО до функціонального стану та рівня знань ЛО.

Доцільним, при реалізації поставленого завдання є використання таких інструментів як нечітка логіка на основі класичної логіки і теорії множин, теорії систем штучного і експертних систем. При цьому КТК СТО повинен використовувати досягнення в області дистанційного та мобільного навчання, особливо в області адаптивної діагностики рівня професійних компетенцій ЛО.

Висновки

Метою даної статті є висвітлення результатів проведення порівняльного аналізу існуючих методів, алгоритмів та моделей розробки сучасних КТК СТО на основі інформаційного пошуку щодо існуючих на сьогодні тенденцій розвитку, вдосконалення та успішного впровадження на виробництві систем подібного класу.

При розробці КТК СТО особливу цінність і важливість представляють інструментальні засоби на основі модульних бібліотек та компонент, що описують подібні енергетичні і інформаційні процеси, які протікають в окремих підсистемах СТО. При об'єднанні отриманих моделей динамічних підсистем СТО у логічні структури можна отримати КТК, який максимально адекватно відображає штатні, не штатні та аварійні ситуації функціонування СТО. Такий КТК є необхідною та невід'ємною частиною загальної системи підготовки, перепідготовки, оперативного контролю компетенцій та переатестації спеціалістів операторного профілю.

Проведений аналіз дозволяє обрати оптимальний шлях створення уніфікованих багатокомпонентних систем розробки КТК СТО інтелектуального рівня для багатьох стратегічних, особливо техногенно небезпечних, галузей промисловості України. Це є науково важливим завданням у складних політичних та економічних умовах розвитку незалежної Української держави.

Література

1. Гайдес М.А. Общая теория систем / Гайдес М.А. – Винница : Глобус-пресс, 2005. – 201 с.
2. Трофімов Ю.Л. Инженерная психология : учебник / Трофімов Ю.Л. – К. : Либідь, 2002. – 264 с.
3. Холдинг Д. Человеческий фактор. Моделирование деятельности, профессиональное обучение и отбор операторов / Холдинг Д., Голдстейн И., Эбертс Р. – М. : Мир, 1991. – 302 с.
4. Polzella D.J. Air crew training devices: Utility and utilization of advanced instructional features / Polzella D.J. – Air Force Human Resources Laboratory Report, 1993. – 226 p.
5. Puig J.A. Motion in flight simulation: An annotated bibliography / Puig J.A., Harris W.T., and Ricard G.L. – U.S. Naval Training Equipment Center, 1998. – 298 p.
6. Сергеев С.Ф. Адаптивность в тренажерах / С.Ф. Сергеев // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. – Санкт-Петербург, 2011. – № 6 (76). – 118 с.
7. Синеглазов В.М. Методика адаптивного контроля на функциональных тренажерах / В.М. Синеглазов // Вісник національного авіаційного університету. – К. : Національний авіаційний університет, 2008 – № 1. – 12 с.
8. Принципы построения адаптивных обучающих тренажеров для подготовки операторов транспортных средств : материалы VIII международной научно-практической конференции, 10–13 марта 2015 – Екатеринбург, 2015. – С. 49–53.
9. Тимофеев В.А. Структура математического обеспечения компьютерного тренажера для обучения оператора на базе технологии экспертных систем / В.А. Тимофеев, В.В. Тулупов // Системи обробки інформації. – Харків : Харківський університет повітряних сил імені Івана Кожедуба, 2002. – № 3(19). – 94 с.
10. Розробка комп'ютерних тренажерних комплексів навчання персоналу : збірник праць дев'ятої міжнародної конференції “Нові інформаційні технології в освіті для всіх: моделі та інфраструктури”, 26 листопада 2014 р. / Мін-во освіти і науки України, Національна академія наук України – К. : IRTC, 2014. – С. 94–100.
11. Розробка підсистеми атестаційного контролю змінних інженерів газоперекачувальних агрегатів в структурі комп'ютерного тренажерного комплексу : збірник праць всеукраїнського науково-практичного семінару “Сучасні інформаційні технології в дистанційній освіті” 25-26 червня 2013 р. / Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – Івано-Франківськ : “ІФНТУНГ”, 2013. – С. 65–67.

Рецензія/Peer review : 14.5.2016 р.

Надрукована/Printed : 6.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Горбійчук М.І.