

I. В. ХОМЕНКО, О. А. ПЛАХТІЙ, Ю. І. ПАНФІЛОВ, Д. А. ШУРІПА

ДОСВІД РОЗРОБКИ ТА ВИКОРИСТАННЯ ТРЕНАЖЕРІВ ДЛЯ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ У ГАЛУЗІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ

Розглянуті питання розробки тренажерів для навчання та тестування електроенергетиків та студентів електроенергетичних спеціальностей. Вони базуються на сучасних знаннях в галузі електроенергетики. Приведено основні характеристики тренажерів та вимоги до їх комп'ютерного забезпечення. Розробки реалізують нову методику практичного навчання та тестування електроенергетиків і можуть бути використані на всіх етапах підготовки інженера-електрика. Розглянуті тренажери базуються на поєднанні практичних і теоретичних знань електроенергетичної галузі. Метою розробок є активізація та підвищення ефективності навчального процесу за рахунок впровадження нових технологій навчання. Технічні можливості програмного забезпечення реалізують як індивідуальну, так і командну роботу студентів та електроенергетичного персоналу. Відзначено, що за останні роки на кафедрі передача електричної енергії Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" розроблено та впроваджено в навчальний процес два професійні тренажери, що реалізовані у вигляді двох лабораторних практикумів. Перший допомагає студентам вивчати основні положення Нормативної документації в електроенергетичній галузі, другий – правила та послідовність оперативних перемикачів в електричних мережах. Крім того, фахівці визначають високу ефективність тренажерних систем на базі прецедентно-аналітичних моделей. Розглянуто тренажерну програму за циклом Демінга. Її основою є відома концепція постійного поліпшення якості «Плануй-Виконуй-Перевірй-Дій» (Plan, Do, Check, Act). Для електроенергетичної галузі підхід на основі циклу Демінга може складатись з циклічного планування діяльності, виконання запланованих дій, перевірки отриманих результатів та корегування невідповідності очікуванням. Детально представлений прецедентно-сценарний метод конструювання тренажерної системи на базі програмної платформи системи тренування за циклом Демінга.

Ключові слова: тренажер, електроенергетика, експлуатація електроенергетичного обладнання, оперативні перемикачання, прецедентно-аналітична модель, комп'ютерна програма.

I. V. KHOMENKO, O. A. PLAKHTII, YU. I. PANFILOV, D. A. SHURIPA

EXPERIENCE IN THE DEVELOPMENT AND USE OF SIMULATORS FOR PROFESSIONAL TRAINING OF SPECIALISTS IN THE ELECTRIC POWER INDUSTRY

Issues of development of simulators for training and testing of electrical engineers and students of electrical engineering specialties were considered. They are based on modern knowledge in the field of electricity. The main characteristics of simulators and requirements for their computer support are given. The developments implement a new method of practical training and testing of electrical engineers and can be used at all stages of electrical engineer training. The considered simulators are based on a combination of practical and theoretical knowledge of the electric power industry. The purpose of the developments is to activate and increase the efficiency of the educational process due to the introduction of new learning technologies. The technical capabilities of the software implement both individual and team work of students and electric power personnel. It was noted that in recent years, two professional simulators, implemented in the form of two laboratory workshops, have been developed and implemented in the educational process at the department of electrical energy transmission of National technical university "Kharkiv polytechnic institute". The first helps students study the main provisions of the Normative Documentation in the power industry, the second – the rules and sequence of operational switching in electrical networks. In addition, experts determine the high efficiency of training systems based on precedent-analytical models. The exercise program according to the plan-do-check-act cycle is considered. Its basis is the well-known concept of continuous quality improvement "Plan-Do-Check-Act" (Deming's cycle). For the electric power industry, a plan-do-check-act cycle approach can consist of cyclical planning of activities, implementation of planned actions, verification of results obtained and correction of non-conformance to expectations. The precedent-scenario method of constructing a training system based on the software platform of the training system based on the plan-do-check-act scenario is presented in detail.

Keywords: simulator, electric power engineering, operation of electric power equipment, operational switches, precedent-analytical model, computer program.

Постановка проблеми. Дефіцит знань та навичок спеціалістів електроенергетичної галузі може привести до суттєвих збитків та аварійних ситуацій. Це може привести до втрати обладнання значної вартості та загрожувати життю та здоров'ю персоналу. Високий рівень професійної підготовки персоналу забезпечується широким впровадженням різноманітних тренажерів [1, 2]. Розробка професійних тренажерів в електроенергетичній галузі представляє собою складне питання, як з точки зору підготовки теоретичного і практичного матеріалу, так і розробки програмного забезпечення [3]. У нашій країні та за кордоном декілька наукових шкіл приділяє цьому питанню значну увагу. Одні з них основну увагу приділяють теоретичним знанням, вивченню основ нормативної літератури та документації. Інші закріплюють практичні знання та навички. Системний

підхід в цьому питанні забезпечує високий рівень професійної підготовки персоналу електроенергетичної галузі, що в свою чергу забезпечує надійну та ефективну роботу електроенергетичної галузі. Більше 10 років на кафедрі передачі електричної енергії Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" (НТУ "ХПІ") створюються та впроваджуються в навчальний процес професійні тренажери. Вони використовуються для підготовки магістри для електроенергетичної галузі.

Огляд літератури. В сучасних умовах науково-технічного прогресу динамічний розвиток електроенергетичної галузі неможливий без впровадження та розвитку передових науково-педагогічних технологій. Тренажери, симулятори та професійні ігри стають класичним напрямком цієї

© I. В. Хоменко, О. А. Плахтій, Ю. І. Панфілов, Д. А. Шуріпа, 2024

діяльності. Як правило вони базуються на сучасних комп'ютерних технологіях [1]. Зацікавленість та висока ефективність професійних тренінгів забезпечується використанням ігрових технологій [2–4]. Електроенергетична галузь є системоутворюючою для кожної країни. Тому зарубіжні фахівці приділяють цьому питанню значну увагу [5]. Особливий прогрес та високий рівень їх програмних науково-практичних продуктів пов'язаний з використанням сучасних комп'ютерних технологій та сучасного математичного апарату [6–8]. Серед вітчизняних фахівців в цьому напрямку виділяються розробка прецедентно-аналітичних моделей [9]. Безумовно, перспективним напрямком розвитку таких технологій є використання штучного інтелекту, як у нас в країні так і за кордоном [10, 11].

Мета статті полягає в розгляді основних принципів створення та ефективного використання професійних тренажерів для електроенергетичної галузі.

Виклад основного матеріалу. За останні роки на кафедрі передачі електричної енергії НТУ «ХПІ» розроблено та впроваджено в учбовий процес два професійні тренажери, що реалізовані у вигляді двох лабораторних практикумів.

Перший допомагає студентам вивчати основні положення Нормативної документації в електроенергетичній галузі, другий – правила та послідовність оперативних перемикачів в електричних мережах. Ці тренажери представлені у вигляді двох лабораторних практикумів схожих по своїй структурі. Вони складаються з наступних розділів: загальні положення, скорочення, нормативно-правові документи, основні терміни та визначення.

Перший лабораторний практикум розглядає організаційні та технічні питання експлуатації електричних мереж та основного енергетичного обладнання, другий – технічну складову оперативних перемикачів та логіку перемикачів при цьому значна увага приділяється підготовці бланків перемикачів.

Приведені лабораторні практикуми та тренажери базуються на непростому професійному матеріалі електроенергетичної галузі, проте систематична робота студента за 2-3 місяці дає хороші результати.

Призначення комп'ютерної програми «EATEST» є навчання і перевірка знань студентів з курсу «Організація енергоспоживання». Програма створена в середовищі «Borland Delphi 7.0» та орієнтована на функціонування в операційній системі починаючи з Windows XP. Система має об'єктно-орієнтований інтерфейс [1], представлений основною формою (рис. 1) з незалежними дочірніми вікнами, що відкриваються.

Система складається з трьох умовно незалежних частин: програми навчання з курсу «Організація енергоспоживання», програми тестування знань з курсу «Організація енергоспоживання» та модулю для генерації тестів у вигляді окремих аркушів на випадок відсутності комп'ютерної бази.

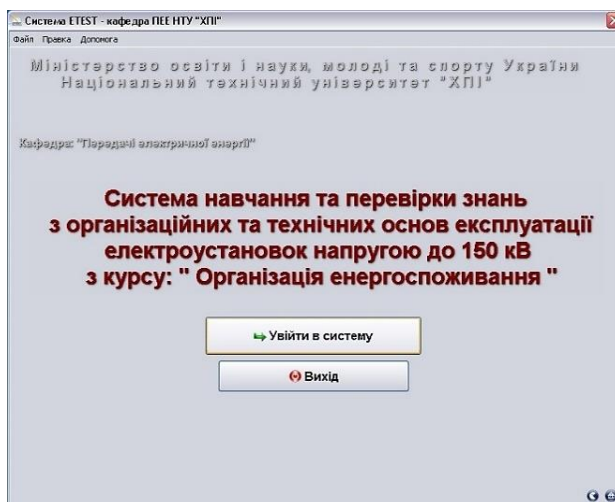


Рисунок 1 – Основна форма програми

Програма навчання (рис. 2) дозволяє ознайомитися та закріпити знання з організаційних та технічних основ експлуатації електроустановок напругою до 150 кВ з курсу «Організація енергоспоживання». У режимі навчання тестування проходить анонімно, результати тестування не записуються в журнал звітності. У випадку неправильної відповіді на питання користувачеві наводиться коментар з короткими поясненнями допущених ним помилок.

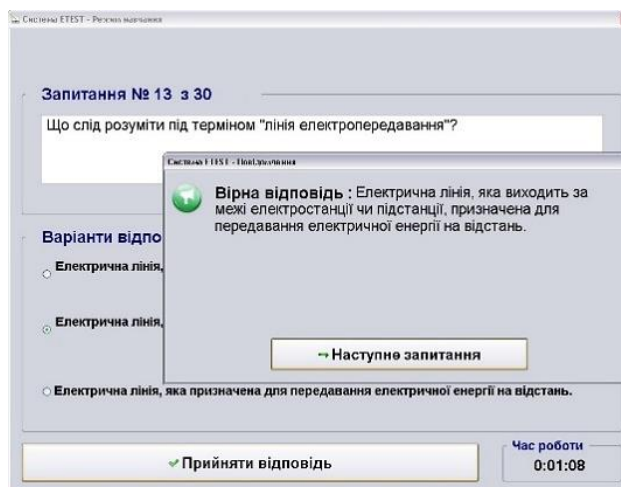


Рисунок 2 – Основна форма програми навчання

Програма тестування (рис. 3) дозволяє визначити рівень знань студента з курсу «Організація енергоспоживання». Після проходження тесту студенту виставляється оцінка, вся інформація (прізвище, ім'я, номер групи, дата та час проходження тесту, оцінка та ін.) про проходження тесту записується до журналу звітності. У режимі контролю перед тестуванням користувачеві пропонується ідентифікувати себе (вказати своє прізвище, ім'я та групу), всі користувачі розподілені за групами, що полегшує пошук.

Далі користувач проходить тест. При неправильній відповіді на запитання, на відміну від режиму навчання, роз'яснень не наводиться та

встановлюється обмеження за часом на надання відповіді.

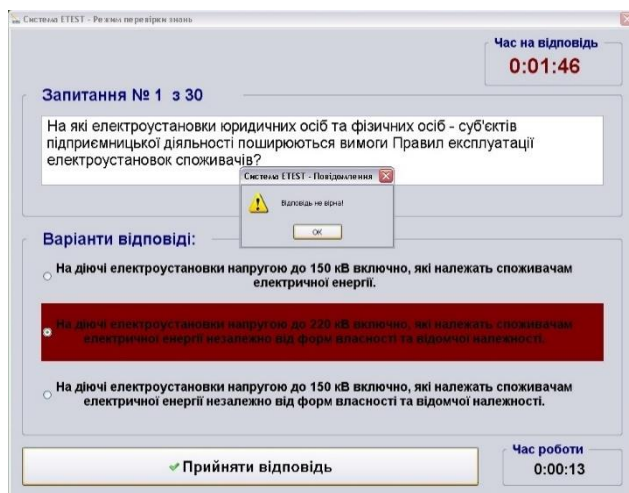


Рисунок 3 – Основна форма програми тестування

Виставлена оцінка й вся інформація з проходження тесту записується в журнал звітності. Частина перегляду результатів активізується при виборі відповідного пункту з основного меню програми.

Другий тренажер присвячений оперативним перемиканням в електроустановках. Він має завдання, електричну схему, послідовність перемикань. Причому кожне перемикання має пояснення. Нижче наведено приклади завдань даного тренажера.

Завдання 1: Вимкнути повітряну лінію (ПЛ) 110 кВ та виконати її заземлення (рис. 4).

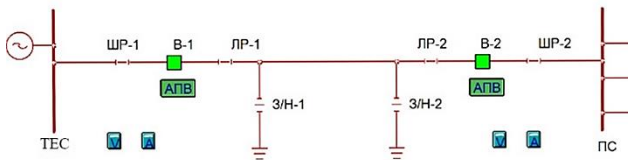


Рисунок 4 – Схема до завдання 1

Послідовність перемикань для вирішення задачі 1:

- вимкнути автоматичне повторне ввімкнення (АПВ) з боку генератора – це необхідно для того, щоб при вимкненні вимикача В-1 обслуговуючим персоналом не спрацювало АПВ;
- вимкнути вимикач В-1 для зняття навантаження з боку генератора 110 кВ;
- вимкнути АПВ з боку навантаження – це необхідно для того, щоб при вимкненні вимикача В-2 обслуговуючим персоналом не спрацювало АПВ;
- вимкнути вимикач В-2 для зняття навантаження з боку лінії;
- вимкнути лінійний роз'єднувач ЛР-2 – створення візуального розриву ланцюга;
- вимкнути лінійний роз'єднувач ЛР-1 – створення візуального розриву ланцюга;
- ввімкнути заземлюючий ніж ЗН-1 для забезпечення безпечної роботи;
- ввімкнути заземлюючий ніж ЗН-2 для забезпечення безпечної роботи.

Завдання 2 є зворотнім завданням 1 – зняти заземлення і ввімкнути в роботу повітряну лінію 110 кВ (рис. 5).

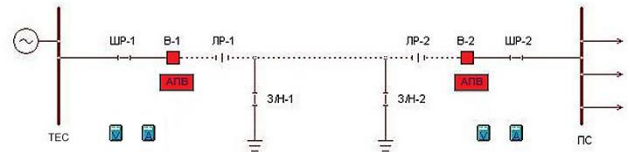


Рисунок 5 – Схема до завдання 2

Послідовність перемикань для вирішення задачі 2:

- вимкнути заземлюючий ніж ЗН-2 для уникнення коротких замикань при введенні лінії в роботу;
- вимкнути заземлюючий ніж ЗН-1 для уникнення коротких замикань при введенні лінії в роботу;
- ввімкнути лінійний роз'єднувач ЛР-1 – відновлення схеми ланцюга;
- ввімкнути лінійний роз'єднувач ЛР-2 – відновлення схеми ланцюга;
- вимкнути вимикач В-2 – введення в роботу ПЛ 110 кВ;
- вимкнути вимикач В-1 – введення в роботу ПЛ 110 кВ;
- ввімкнути АПВ з боку генератора для забезпечення надійної роботи ПЛ;
- ввімкнути АПВ з боку навантаження для забезпечення надійної роботи ПЛ.

Вірні операції підкріплюються кольоровою гамою, невірні – підказками. Все це допомагає студенту вивчати учбовий матеріал, а надалі і проходити тестування.

За останні роки високу ефективність показали тренажерні системи на базі прецедентно-аналітичних моделей. Розглянемо це питання більш детально.

Відомо, що головним завданням електроенергетичних підприємств є надійність електропостачання при забезпеченні необхідної якості та ефективності. Характерною особливістю кожного промислового підприємства є зосередження уваги його керівництва на питаннях виробництва і бажання збільшити його обсяги. Внаслідок цього не завжди приділяється увага такому важливому для функціонування підприємства питанню, як ефективне використання енергоносіїв та їх вартість.

Підприємствам слід дуже серйозно розглянути питання про необхідність посади енергоменеджера, а у разі економічної доцільності – організації групи енергоменеджменту. Але необхідні навички спеціаліст може отримати або в реальних умовах роботи, або за допомогою спеціальної (тренажерної) підготовки. Оскільки перший варіант може бути пов'язаний із зайвими витратами та ризиками, перевагу слід віддавати тренажерній підготовці фахівців в електроенергетичній галузі.

Розглянемо тренажерну програму за циклом Демінга Plan, Do, Check, Act (PDCA). У 2018 р. було опубліковано поновлений стандарт ISO 50001:2018 [1],

який встановлює вимоги до системи енергетичного менеджменту організації. Основою таких вимог є відома концепція постійного поліпшення якості «Плануй-Виконуй-Перевірй-Дій» (Plan, Do, Check, Act). Для електроенергетичного підприємства підхід на основі циклу PDCA може складатись з циклічного планування діяльності, виконання запланованих дій, перевірки отриманих результатів та корегування невідповідності очікуванням.

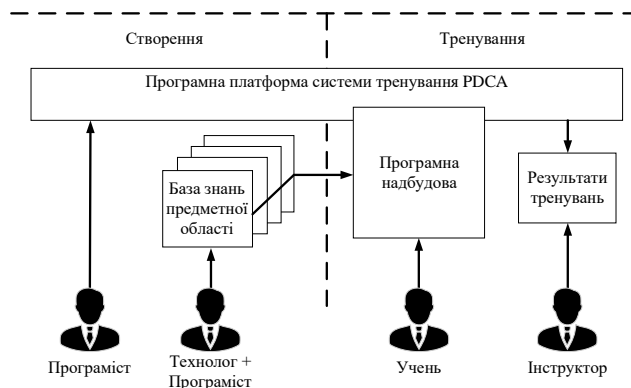


Рисунок 6 – Структурна схема прецедентного методу конструювання

В основі прецедентно-сценарного методу конструювання тренажерної системи лежить програмна платформа системи тренування за сценарієм PDCA. Ця платформа забезпечує виконання циклічного алгоритму міркувань на основі прецедентів квазістаціонарного енергоспоживання обраних технологічних систем. Конкретне наповнення тренажерної системи виконується за рахунок бази знань предметних областей обраних технологічних систем, які утворюють програмну надбудову над системою тренування. До складу кожної з предметних областей бази знань, які створюються за участі технолога, входять наступні елементи:

- база прецедентів еталонного енергоспоживання технологічної системи;
- база прецедентів проблемного енергоспоживання;
- структура технологічної системи і точки контролю технологічних параметрів;
- бібліотека факторів появи енергетичних втрат;
- бібліотека заходів з підвищення енергетичної ефективності.

Конструювання комп'ютерного тренажеру починається з визначення узагальнених структурних схем обраних технологічних систем і контрольних точок заміру впливових технологічних параметрів. Після цього, з використанням існуючої системи моніторингу енергоспоживання, створюється база прецедентів еталонного енергоспоживання технологічної системи в квазістаціонарних режимах роботи. За участі експерта-технолога створюється бібліотека факторів появи енергетичних втрат із зазначенням усереднених енергетичних втрат, а також бібліотека заходів з усунення енергетичних втрат із зазначенням їх ефективності і вартості впровадження.

Таким чином, за участі експертів-технологів, формуються бази знань по усім технологічним системам виробництва з яких утворюється програмна надбудова тренажерної системи електроенергетиків.

Програмна платформа системи тренування PDCA складається з трьох основних модулів (рис. 7):

- модуля створення проблемних ситуацій;
- модуля трансформації прецедентів;
- модуля оцінювання.

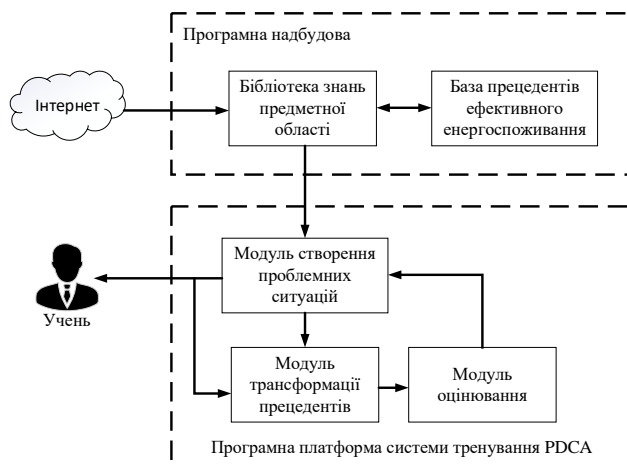


Рисунок 7 – Структурна схема програмного забезпечення комп'ютерного тренажеру енергоменеджера

Модуль створення проблемних ситуацій призначений для створення візуального образу проблемного енергетичного стану технологічної системи і обрання заходів, спрямованих на підвищення надійності та енергетичної ефективності. В залежності від плану і завдання тренування для створення проблемної ситуації використовуються різні прецеденти проблемного енергоспоживання, які накопичені в бібліотеці знань предметної області.

Модуль трансформації прецедентів призначений для перерахунку параметрів поточної проблемної ситуації з урахуванням обраних учнем електротехнічних заходів і економічних обмежень. Отримані після перерахунку параметри порівнюються з еталонними параметрами ефективного енергоспоживання і по результатам порівняння оцінюються дії учня.

Модуль оцінювання призначений для оцінки поточних і планування наступних кроків тренування в залежності від їх успішності. До сценарію тренування можуть бути послідовно включені кілька технологічних систем, що наближає сценарій тренування до реальних дій енергетичних служб в умовах виробництва.

Формування моделі тренувального процесу починається з обрання даних для предметної області. В першу чергу це вибір галузі, до якої відноситься підприємство. В нашому випадку це:

- об'єкти електроенергетики;
- моделювання процесів електропередачі та споживання електроенергії;
- схемні рішення.

Наступним кроком обираються технологічні системи, на яких буде протікати тренування. Це можуть бути

- електрична станція;
- високовольтна підстанція;
- тягова підстанція;
- повітряна лінія електропередачі;
- кабельна лінія електропередачі;
- інша.

Кожна технологічна система представляється мнемосхемою, зручною для тренувань і точками контролю технологічних параметрів.

Крім того, для кожної технологічної системи збирається бібліотека заходів з енергозабезпечення, до складу якої входять надійність та енергетична ефективність і вартість впровадження кожного заходу.

Узагальнена схема формування траєкторій тренування на основі прецедентно-аналітичного підходу представлена на рис. 8.

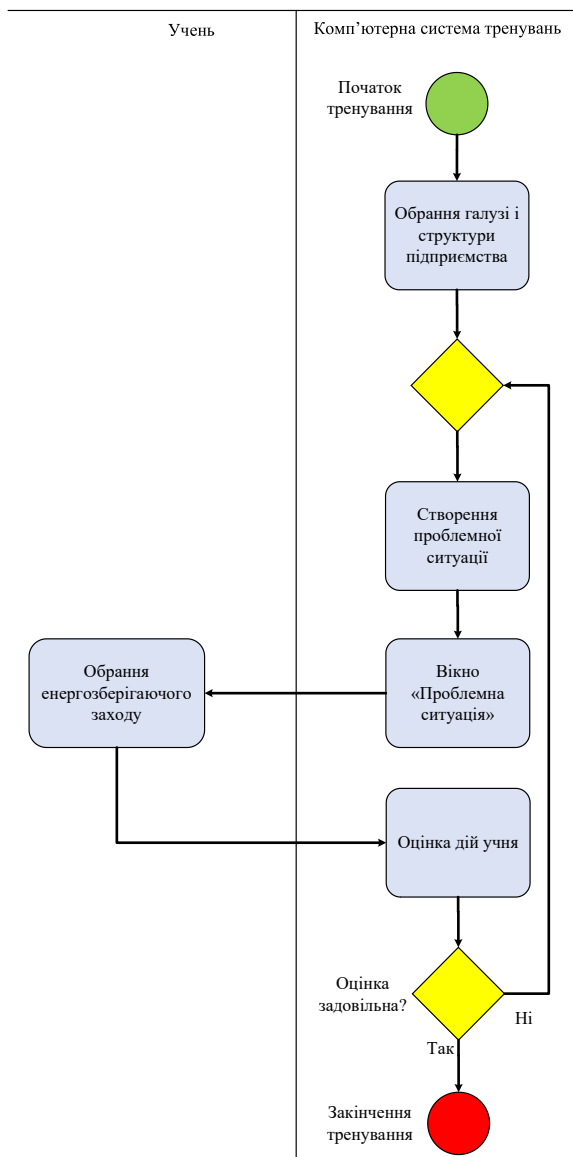


Рисунок 8 – Узагальнена схема тренування енергоменеджера

На початку тренування учень обирає галузь і технологічні системи, з якими він зустрічатиметься на практиці. Після цього комп'ютерна система тренувань, згідно з програмою тренування, створює ситуацію з підвищеним енергоспоживанням для першої технологічної системи. На екран монітора виводиться мнемосхема з технологічними параметрами та значеннями поточного та базового енергоспоживання. Перед учнем постає задача із запропонованого переліку енергозберігаючих заходів обрати підходящий для зменшення енергетичних втрат з урахуванням обмежень. Комп'ютерна система тренувань у відповідності до алгоритму трансформації прецедентів перераховує нові значення технологічних параметрів і оцінює дії учня. Після цього, в залежності від результатів оцінювання, виконується перехід або до наступної технологічної системи, або повернення до попередньої.

Висновки. Таким чином, в статті розглянуто досвід розробки та використання тренажерних систем при організації учбового процесу на кафедрі передача електричної енергії НТУ «ХПІ». Перший тренажер, програмний комплекс «ETEST», допомагає опанувати організаційні та практичні знання необхідні при експлуатації високовольтного обладнання. Другий – забезпечує необхідний рівень знань при проведенні оперативних перемикань. Такі знання необхідні при проведенні ремонтних та профілактичних робіт в електричних мережах та електротехнічних установках. Третій тренажер побудований на прецедентно-аналітичній моделі та забезпечує необхідні навички при управлінні електроенергетичною галуззю. Суттєвий позитивний результат використання цих тренажерів отриманий при навчанні енергоменеджерів з енергоефективності та енергозбереження на підприємствах легкої промисловості [11].

Список літератури

1. Абрамович Р. П., Самойлов В. Д. Технологія конструювання комп'ютерних систем підготовки персоналу в енергетиці. Київ : «Прометей», 2021. 111 с.
2. Жукова О. А. Ігрові технології: інноваційно-методичний аспект професійної підготовки. *Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія 16. Творча особистість учителя: проблеми теорії і практики.* 2016. № 27 (37). С. 46–51.
3. Комп'ютерна програма ігрового тестування та навчання електроенергетиків «Професіонал»: авторське свідоцтво 31692 Україна / І. В. Хоменко, І. В. Обруч, М. І. Хоменко. Оpubл. 25.06.2010, Бюл. № 21.
4. Хоменко І. В., Панфілов Ю. І., Омеляненко Г. В. Розробка професійної гри для електроенергетиків «Професіонал». *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність.* 2023. № 1 (6). С. 99–104. DOI: <https://doi.org/10.20998/2224-0349.2023.01.16>.
5. Kaybiyaynen D.-A. Network cooperation in the training of engineering elite for regional economies. *2014 International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL)*, Dubai, United Arab Emirates, 3–6 December 2014. P. 616–618. DOI: <https://doi.org/10.1109/icl.2014.7017842>.
6. GridLAB-D Simulation Software. *GridLAB-D*. URL: <https://www.gridlabd.org/>.
7. HOMER - Hybrid Renewable and Distributed Generation System Design Software. *HOMER Software*. URL: <https://www.homerenergy.com/>.

8. PSS@SINCAL – simulation software for electric and pipe networks. *Siemens*. URL: <https://www.siemens.com/global/en/products/energy/grid-software/planning/pss-software/pss-sincal.html>.
9. Прецедентно-аналітична модель тренажерної системи для енергоменеджерів / Б. Н. Плєскач та ін. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2021. № 2 (64). С. 42–49. DOI: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.2.2021.247367>.
10. Шерстюк В. Г. Сценарно-прецедентна модель навчально-тренажерної інтелектуальної системи. *Штучний інтелект*. 2013. № 4. С. 488–500.
11. Energy Manager - Pro Solution. *NADA Scientific*. URL: https://nadascientific.com/engineering_education/energy-manager-pro-solution.html (дата звернення: 06.04.2024).
4. I. Khomenko, Y. Panfilov, and H. Omelianenko, “Development of a professional game for power engineers “Professional””, *Bulletin of the National Technical University “KhPI”. Series: Energy: Reliability and Energy Efficiency*, no. 1 (6), pp. 99–104, Jul. 2023, doi: <https://doi.org/10.20998/2224-0349.2023.01.16> (in Ukrainian)
5. D.-A. Kaybiyaynen, “Network cooperation in the training of engineering elite for regional economies”, in *2014 International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL)*, Dubai, United Arab Emirates, Dec. 3–6, 2014. pp. 616–618, doi: <https://doi.org/10.1109/icl.2014.7017842>
6. “GridLAB-D Simulation Software.” GridLAB-D. [Online]. Available: <https://www.gridlabd.org/>
7. “HOMER - Hybrid Renewable and Distributed Generation System Design Software.” HOMER Software. [Online]. Available: <https://www.homerenergy.com/>
8. “PSS@SINCAL – simulation software for electric and pipe networks.” Siemens. [Online]. Available: <https://www.siemens.com/global/en/products/energy/grid-software/planning/pss-software/pss-sincal.html>
9. B. Pleskach, V. Samoilo, V. Prokopenko, and O. Zakladnyi, “Precedent-analytical model of exercise system for energy managers”, *POWER ENGINEERING: economics, technique, ecology*, no. 2, Dec. 2021, doi: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.2.2021.247367> (in Ukrainian)
10. V. H. Sherstiuk, “Scenario-Case Model for Intelligent Training System”, *Shtuchnyi intelekt [Artificial Intelligence]*, no. 4, pp. 488–500, 2013. (in Russian)
11. “Energy Manager - Pro Solution.” NADA Scientific. Accessed: Apr. 6, 2024. [Online]. Available: https://nadascientific.com/engineering_education/energy-manager-pro-solution.html

References

1. R. P. Abramovych and V. D. Samoilo, *Tekhnolohiia konstruiuvannia kompiuternykh system pidhotovky personalu v enerhetytsi [Technology of designing computer systems for personnel training in the energy sector]*. Kyiv: «Prometei», 2021. (in Ukrainian)
2. O. A. Zhukova, “Game techniques in education: Innovative methods of professional training”, *Naukovyi chasopys Natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni M. P. Drahomanova. Seriya 16. Tvorchia osobystist uchytelia: Problemy teorii i praktyky [Scientific Journal of the National Pedagogical Dragomanov University. Series 16. Creative personality of a teacher: Problems of theory and practice]*, no. 27 (37), pp. 46–51, 2016. (in Ukrainian)
3. I. V. Khomenko, I. V. Obruch, M. I. Khomenko, “Kompiuterna prohrama ihrovoho testuvannia ta navchannia elektroenerhetykiv “Professional” [Software for game testing and training of electricians “Professional”],” Ukrainian Copyright certificate 31692, Jun. 25, 2010. (in Ukrainian)

Надійшла (received) 06.06.2024

Відомості про автора (-іє) / About the Author (-s)

Хоменко Ігор Васильович (Igor Khomenko) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри передачі електричної енергії; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5141-5391>; e-mail: igor.v.khomenko@gmail.com.

Плахтій Олександр Андрійович (Oleksandr Plakhtii) – кандидат технічних наук, доцент, Український державний університет залізничного транспорту, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1535-8991>; e-mail: a.plakhtiy1989@gmail.com.

Панфілов Юрій Іванович (Yurii Panfilov) – кандидат психологічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри педагогіки та психології управління соціальними системами ім. акад. І. А. Зязюна; м. Харків, Україна; e-mail: u.i.panfilov@gmail.com.

Шуріпа Данило Андрійович (Danylo Shuripa) – здобувач кафедри передачі електричної енергії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; м. Харків, Україна; e-mail: danylo.shuripa@iee.khpi.edu.ua.