

---

doi: <https://doi.org/10.15407/emodel.42.03.089>  
УДК 621.039.56; 681.3.015

**В.Д. Самойлов**, д-р техн. наук, **Р.П. Абрамович**, **А.О. Лепатьєв**  
Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України  
(Україна, 03164, Київ, вул. Генерала Наумова, 15,  
e-mail: samoylov.vd@gmail.com, romanabramovych@gmail.com,  
antonlepatiev@gmail.com)

## **Комп'ютерні технології розробки тренажерних систем для енергетичної галузі**

Описано технології розробки комп'ютерних тренажерів у енергетичній галузі. Проведено порівняння нового імітаційно-технологічного та об'єктно-математичного методів розробки тренажерів. Наведено опис технологічного ланцюга для розробки тренажерних занять. Розглянуто використання нотації стандарту BPMN для побудови графічних специфікацій (моделей) діяльності персоналу по керуванню енергетичними об'єктами в середовищі редактора моделей робочих процесів Bizagi Modeler в графічній нотації стандарту BPMN.

*К л ю ч о в і с л о в а: тренажерні системи, сценарно-педагогічний метод, імітаційно-технологічний метод, комп'ютерні технології, стандарт BPMN, Bizagi.*

Важливою задачею електроенергетики України як галузі є забезпечення і підтримка компетентності експлуатаційного і оперативно-диспетчерського персоналу теплових і атомних станцій, мережевих підприємств. Ефективне досягнення цієї мети неможливо без комп'ютерних засобів підготовки і контролю знань та навиків управління, і зокрема тренажерів, які орієнтовані на імітацію і контроль робочої діяльності персоналу.

На рис. 1 показано порядок підготовки і підтримки рівня компетентності персоналу, що включає базову освіту, навчання і тренаж навиків по управлінню об'єктом.

На галузеві підприємства персонал приходить після закінчення вищого навчального закладу (ВНЗ), де отримує базову підготовку до майбутньої спеціальності. На останніх курсах студенти можуть отримати вузьку профільну інформацію та можливість профільної практики. При прийомі на роботу новий персонал проходить вхідний контроль знань, який допомагає визначити професійні навички і знання майбутнього пер-

© Самойлов В.Д., Абрамович Р.П., Лепатьєв А.О., 2020

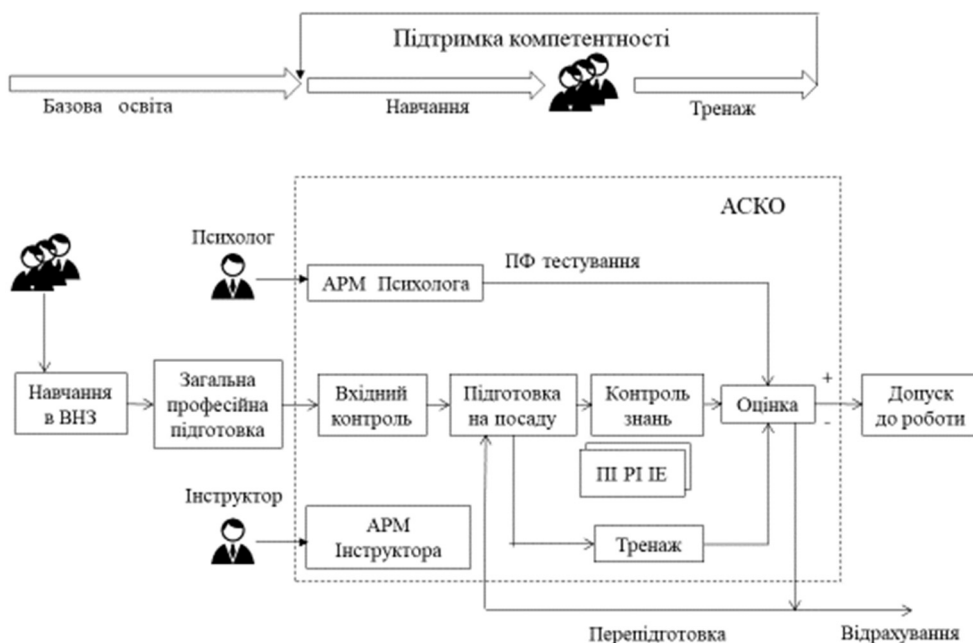


Рис. 1. Схема підготовки і підтримки рівня компетентності персоналу: ПФ — психофізіологічне тестування; АРМ — автоматизоване робоче місце; АСКО — автоматизована система навчання і контролю знань; ІЕ — інструкція по експлуатації

соналу. Після вхідного контролю формується індивідуальна програма підготовки на посаду на основі посадової (ІІ) або робочої інструкції (ІЕ).

Ця програма включає теоретичну та практичну підготовку на тренажерах для набуття персоналом навиків. Після проходження програми підготовки і вхідного контролю приймається рішення про допуск персоналу до самостійної роботи. Для прийняття такого рішення необхідно здійснити також психофізіологічне тестування персоналу. При навчанні для перевірки знань використовуються системи дистанційного навчання, наприклад автоматизована система АСКО. Отже, при підготовці нових спеціалістів і для підтримки потрібного рівня компетентності наявного персоналу значну роль відіграє тренажерна практика.

На рис. 2 наведено схему бажаної структури тренажерних засобів галузевої підготовки персоналу. Особливої уваги потребує тренажерна підготовка численного персоналу нижніх рівнів електростанцій і мережевих підприємств. Існує потреба у великій кількості тренажерів даного типу, оскільки необхідна адаптація до специфіки кожного енергопідприємства. Використання наявних технологій розробки та супроводу тре-



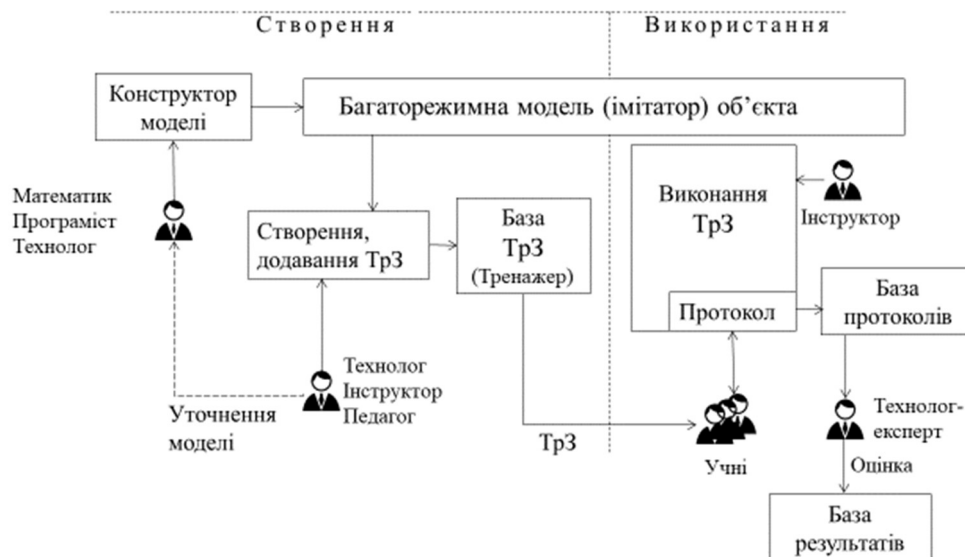


Рис. 3. Сценарно-педагогічний метод розробки Тр3 на основі об'єктно-математичної моделі об'єкта

Інформаційні технології дорого коштують і потребують значних зусиль всіх розробників для їх реалізації. Зазвичай реалізація повномасштабної моделі після її створення потребує подальшої корекції програмістами за результатами висновків технологів (досвідчених операторів, диспетчерів), тому що надзвичайно складно правильно відобразити в моделі всі ситуації, які можуть виникнути на об'єкті. Для розробки моделей використовують мови програмування, складні і дорогі спеціально розроблені або універсальні редактори, що зумовлює залучення до процесу проектування висококваліфікованих спеціалістів-програмістів. Після створення і налагодження математичної моделі об'єкта на неї накладаються сценарії тренажерних занять, навчально-педагогічне супроводження. Цю роботу на ПМТ блоків АЕС виконує інструктор.

Метод розробки моделі об'єкта для тренажера отримав назву об'єктно-математичного, а організація тренувального процесу на основі сценаріїв Тр3 — сценарно-педагогічним методом (рис. 3). Програміст і математик (можливо, декілька) на основі технічної документації об'єкту, а також рекомендацій і уточнень інструктора (технолога) створюють комп'ютерну модель об'єкта. Для цього можливе і бажане використання спеціальних редакторів моделей, але вони мають велику вартість. Після цього спеціалісти об'єкта і організатори навчального процесу створюють сценарії і додають в модель тренажерні заняття.

Сценарно-педагогічний метод конструювання набору ТрЗ на основі об'єктно-математичної моделі має такі ознаки:

наявність комп'ютерної моделі, розробленої на основі математичного опису об'єкта;

динамічна поведінка об'єкта для різних ТрЗ здійснюється від однієї загальної моделі;

кожне ТрЗ для відображення режимів використовує одну комп'ютерну модель;

модель об'єкта повинна із заданою точністю забезпечувати моделювання режиму роботи обладнання для кожного з ТрЗ;

швидкість розрахунку моделі на обраних технічних засобах повинна забезпечувати комфортний час відгуку на дії користувача.

Така технологія проектування потребує додаткової валідації та, дуже часто, корекції кваліфікованими спеціалістами галузі, математиками і програмістами комп'ютерної моделі, тому що, як показує досвід, практично неможливо на початкових стадіях розробки врахувати всі режими та параметри відповідно до кожного із списку тренажерних занять. Засоби, що забезпечують комп'ютерну організацію навчального процесу, фактично є сценарії з інтерфейсом, які визначаються з урахуванням психолого-педагогічних та технологічних вимог до відображення реальних робочих місць персоналу. Тренувальний процес супроводжує інструктор, який забезпечує ТрЗ. Протягом всього процесу тренування автоматично формується протокол дій учня. Аналізуючи протокол, інструктор оцінює тренувальну діяльність учня. Ця оцінка зберігається в базі результатів.

**Імітаційно-технологічний метод розробки моделей управління об'єктом для ТрЗ.** Розглянемо запропонований новий підхід до розробки комп'ютерних засобів підтримки компетентності персоналу і комп'ютерної інформаційної технології розробки комп'ютерних тренажерів, орієнтованих на спеціалістів галузі. Основа запропонованого підходу — відмова від інформаційних технологій, базованих на створенні єдиної математичної моделі об'єкта, орієнтованої на всі заплановані ТрЗ тренажера, і подальшого налаштування до такої моделі всіх ТрЗ. При реалізації нового підходу використовується не загальна математична модель об'єкта, а модель управління об'єктом для кожного ТрЗ. Цей метод названо імітаційно-технологічним [1].

На рис. 4 схематично показано процес створення та використання ТрЗ тренажерів на основі імітаційно-технологічних моделей управління об'єктом. Для наочності і легкості порозуміння між усіма учасниками проекту, а також для легкого забезпечення в подальшому функціонування і підтримки актуального стану створеної сценарно-моделюючої структури (СМС) ТрЗ бажана наявність графічної специфікації усіх складових

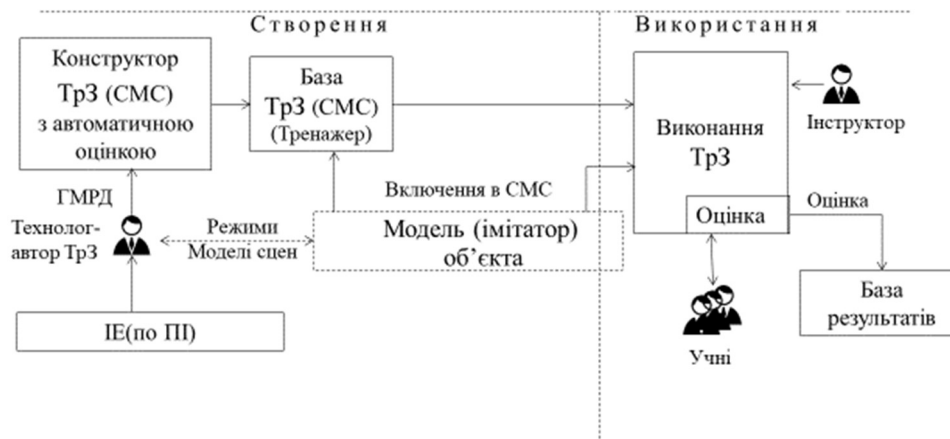


Рис. 4. Сценарно-педагогічний метод розробки ТрЗ з застосуванням імітаційно-технологічних моделей: ГМРД — графічні моделі робочої діяльності

розробки (робочих процесів діяльності при управлінні, СМС ТрЗ, моделі оцінювання, моделі інструктора та інших). Для кожного тренажерного заняття проектується локальна модель або набір моделей відображення діяльності з управління об'єктом в ситуаціях, що визначаються сценарієм ТрЗ, який включає також навчально-педагогічне супроводження процесу підготовки.

Імітаційно-технологічний метод засновано на використанні моделі управління об'єктом та експлуатаційних інструкцій по управлінню. Розробниками ТрЗ є галузеві спеціалісти. На відміну від об'єктно-математичного методу імітаційно-технологічний не потребує знань в області математики та програмування, менш складний, тому що базується на застосуванні доступних стандартних пакетів як редакторів. Імітаційно-технологічний метод орієнтований на дистанційне використання і може працювати на стандартних офісних комп'ютерах з забезпеченням комфортного часу відгуку моделей ТрЗ. Оцінка може формуватися автоматично за допомогою сценарно-імітаційних моделей. У випадку відсутності деяких учнів в групових тренуваннях у цьому методі передбачено сценарну імітацію діяльності відсутніх учнів.

На даний час для відносно нечисленного оперативно-диспетчерського персоналу блочних щитів управління АЕС або ТЕС створені і використовуються тренажери на основі математичної моделі об'єкта, не зважаючи на високу ціну розробки. Але їх немає (або дуже мало) для професій рівня диспетчерського і експлуатаційного персоналу розподільчих мереж, ремонтного та допоміжного персоналу розподільчих мереж, ремонтного і експлуатаційного персоналу ТЕС і АЕС.

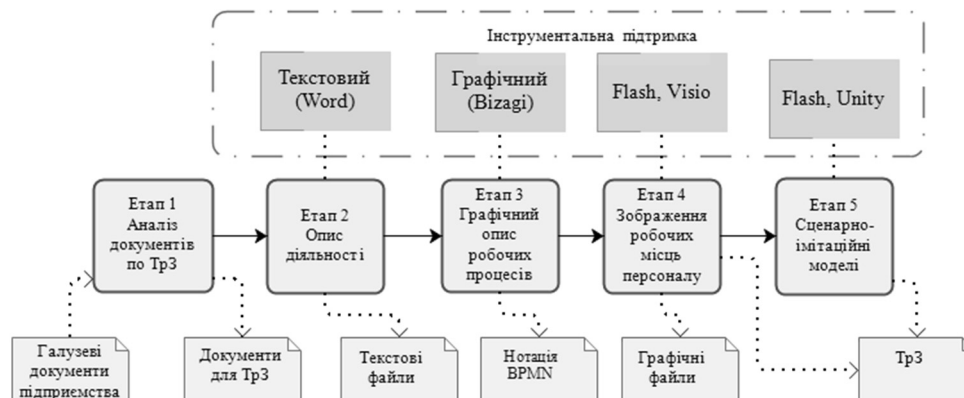


Рис. 5. Технологічний ланцюг розробки Тр3

Запропоновані технології дозволять підвищити ефективність процесу проектування тренажерів, скоротити час проектування і зможуть забезпечити широке впровадження тренажерів на енергетичних підприємствах за допомогою Інтернет-ресурсів.

Технологічний ланцюг розробки тренажерного заняття схематично подано як послідовність етапів складових технологій (рис. 5). Для складання набору Тр3 (етап 1) необхідно використати галузеві регламентуючі документи по організації навчального процесу, які використовуються на підприємстві. Формування набору тренажерних занять проводиться спільно технологами, інструкторами, педагогами. Для кожного Тр3 на основі регламентуючих документів (інструкцій по експлуатації, бланків перемикачів, описів діяльності при аваріях, планових ремонтах та ін.) визначаються початкові умови тренування, мета та кінцева ціль тренажерного заняття.

Результат етапу 2 — текстовий опис робочого процесу управління, а етапу 3 — графічний, який забезпечує більшу однозначність та наочність при колективній розробці Тр3, а також подальшу автоматизацію розробки. На етапі 3 визначаються початкові умови, середовище виконання і робочий процес (опис діяльності) керування об'єктом для досягнення цілі.

Кінцевий продукт Тр3 розробляється на етапах 4 і 5.

Для графічної специфікації діяльності персоналу запропоновано [1] використання нотації стандарту BPMN 2.0, а в якості редактора графічних моделей діяльності — Bizagi Modeler [3].

## Висновки

Запропоновані, досліджені і реалізовані на практиці технології підтримують діяльність непрограмуючих розробників від опису (графічного) набору ГрЗ, визначеного потребами навчального процесу, до імітаційних моделей управління об'єкта і моделей навчально-педагогічного супроводження тренування.

Використання нотації BPMN 2.0 для розробки графічних специфікацій дій персоналу енергетичних об'єктів в середовищі мультимедійного пакету Bizagi Modeler є доцільним і ефективним шляхом реалізації однієї з важливих складових інтегрованої технології побудови тренажерних систем підготовки персоналу, який забезпечує можливість залучення до проектування широкого кола фахівців галузі.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Абрамович Р.П., Самойлов В.Д. Імітаційно-технологічний метод конструювання моделей тренажерів// Зб. наукових праць ІПМЕ ім.Г.Є.Пухова НАН України, № 85. Київ: ІПМЕ ім. Г.Є.Пухова НАН України, 2019.
2. Федоров И.Г. Моделирование бизнес-процессов в нотации BPMN2.0. М.: МЭСИ, 2013, 255 с.
3. Bizagi Modeler and Modeler Services documentation. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://help.bizagi.com/process-modeler/en/>
4. Офіційна специфікація стандарту BPMN [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.omg.org/spec/BPMN/>
5. Рамбо Дж., Блаха М. UML 2.0. Объектно-ориентированное моделирование и разработка. СПб: Питер, 2007, 544 с.
6. Сметана С.И. Автоматизированная система построения тренажеров для диспетчеров электрических сетей. Дис. канд. техн. наук. Київ, 1985, 198 с.

Отримано 30.04.20

## REFERENCES

1. Abramovych, R.P. and Samoylov, V.D. (2019), "Simulation-technological method of designing simulator models", Zb. naukovykh prats' IPME im.H.YE.Pukhova NAN Ukrayiny, no. 85.
2. Fedorov, I.G. (2013), *Modelyuvannya biznes-protseoriv u notatsiyakh BPMN2.0*. [Business process modeling in BPMN2.0 notation], MESU, Moscow, Russia.
3. "Bizagi Modeler and Modeler Services documentation", available at: <https://help.bizagi.com/process-modeler/en/> (accessed May 20, 2020).
4. "Official BPMN Specification", available at: <https://www.omg.org/spec/BPMN/> (accessed May 20, 2020).
5. Rambo, J. and Blaha, M. (2007), *Ob'yektno-oriyentirovannoye modelirovaniye i razrabotka* [Object Oriented Modeling and Development], Piter.
6. Smetana, S.I. (1985), "Automated system for building simulators for dispatchers of electric networks", Abstract of Cand. Sci. (Tech.), 05.14.02, Kiev.

Received 30.04.20



*В.Д. Самойлов, Р.П. Абрамович, А.О. Лепатьев*

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ  
ТРЕНАЖЕРНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Описаны технологии разработки компьютерных тренажеров в энергетической отрасли. Проведено сравнение нового имитационно-технологического и объектно-математического методов разработки тренажеров. Дано описание технологической цепи для разработки тренажерных занятий. Рассмотрено использование нотации стандарта BPMN для построения графических спецификаций (моделей) деятельности персонала по управлению энергетическими объектами в среде редактора моделей рабочих процессов Bizagi Modeler в графической нотации стандарта BPMN.

*К л ю ч е в ы е с л о в а: тренажерные системы, сценарно-педагогический метод, имитационно-технологический метод, компьютерные технологии, стандарт BPMN, Bizagi.*

*V.D. Samoilov, R.P. Abramovich, A.O. Lepatiev*

COMPUTER TECHNOLOGIES FOR THE DEVELOPMENT  
OF TRAINING SYSTEMS FOR THE ENERGY INDUSTRY

The article describes the role of computer simulators, as well as the technology of their development in the energy industry. The new simulation-technological and object-mathematical methods for the development of simulators are compared. The description of the technological chain for the development of training sessions is given. This article discusses the use of BPMN standard notation for constructing graphic specifications (models) of personnel involved in managing energy objects in the environment of Bizagi Modeler workflow model editor in graphic notation of BPMN standard.

*K e y w o r d s: training systems, scenario-pedagogical method, simulation-technological method, computer technology, BPMN standard, Bizagi.*

*САМОЙЛОВ Віктор Дмитрович, д-р техн. наук, професор, гол. наук співроб. Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.С. Пухова НАН України. В 1960 р. закінчив Українську академію сільськогосподарських наук. Область наукових досліджень — комп'ютерні технології моделювання, тренажери, професійна діагностика в енергетиці.*

*АБРАМОВИЧ Роман Петрович, ст. наук спів роб. Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.С. Пухова НАН України. В 2007 р. закінчив Національний університет «Львівська політехніка». Область наукових досліджень — технологія моделювання при створенні тренажерів, комп'ютерні системи підготовки персоналу, підготовка персоналу в енергетиці.*

*ЛЕПАТЬЄВ Антон Олександрович. У 2020 р. закінчив Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна» за спеціальністю магістр комп'ютерної інженерії. Область наукових досліджень — комп'ютерні технології моделювання, тренажери, комп'ютерні системи підготовки персоналу.*