

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУКИ УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МОДЕЛЮВАННЯ В ЕНЕРГЕТИЦІ  
ІМ. Г.Є. ПУХОВА

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**АБРАМОВИЧ Роман Петрович**

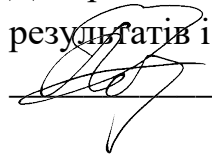
УДК 004.94; 004.4'2

**ДИСЕРТАЦІЯ**  
**МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ КОНСТРУЮВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ**  
**СИСТЕМ ПІДГОТОВКИ ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО**  
**ПЕРСОНАЛУ НИЖЧИХ РІВНІВ В ЕНЕРГЕТИЦІ**

Спеціальність 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти  
Галузь знань – інформаційні технології

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



Р.П. Абрамович

Науковий керівник – Самойлов Віктор Дмитрович,  
доктор технічних наук, професор

Київ – 2020 р.

## АНОТАЦІЯ

***Абрамович Р.П.* Методи та засоби конструювання комп'ютерних систем підготовки оперативно-диспетчерського персоналу нижчих рівнів в енергетиці. – На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти. – Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, Київ, 2020.

Дисертаційна робота присвячена розробці методів та засобів конструювання комп'ютерних систем підготовки персоналу, пошуку ефективного інструментального забезпечення інформаційних технологій для проектування та побудови комп'ютерних навчальних систем та тренажерів спеціалістами технологами галузі, які дозволять забезпечити масовість розробки, за рахунок зниження затрат на розробку таких систем.

Запропоновано і реалізовано графічне представлення робочої діяльності персоналу та сценаріїв тренажерних і навчальних занять на основі адаптації стандарту опису бізнес процесів BPMN.

Представлений імітаційно-технологічний метод конструювання тренажерних занять в якому основою для побудови є опис процесу робочої діяльності оперативно-диспетчерського персоналу, що формується виходячи з посадових інструкцій та галузевої нормативно-технічної та технологічної документації. Для тренажерного заняття розробляється імітаційна модель управління об'єктом, а не математична модель об'єкта. Проведено порівняння традиційного об'єктно-математичного методу конструювання комп'ютерних тренажерів з представленим імітаційно-технологічним.

Розглянуто методи побудови моделей розподільчих мереж та розрахунку режиму енергомережі для тренажерів оперативних перемикачів. Враховуючи специфіку структури розподільчих мереж, переважну деревовидність і обмежену кількість контурів, що визначається галузевими нормативними документами, представлений ефективний метод побудови моделей

розподільчих мереж та метод розрахунку режиму з використанням таких моделей при великій кількості вузлів.

Розглянуті методи та моделі оцінювання компетентності персоналу, що використовуються в начальних та тренувальних заняттях. Описано реалізований новий метод інтегрального оцінювання компетентності конкурсантів та виконання контрольних занять з використанням формул і структур розрахунку шахового рейтингу.

**Ключові слова:** системи підготовки персоналу, комп'ютерні навчальні системи, комп'ютерні тренажери, конструювання комп'ютерних систем підготовки персоналу, оперативний персонал, диспетчерський персонал, опис робочих процесів, графічне представлення діяльності.

## **АННОТАЦІЯ**

***Абрамович Р.П.* Методы и средства конструирования компьютерных систем подготовки оперативно-диспетчерского персонала нижних уровней в энергетике. – На правах рукописи.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – компьютерные системы и компоненты. – Институт проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины, Киев, 2020.

Диссертационная работа посвящена разработке методов и средств конструирования компьютерных систем подготовки персонала, поиску эффективного инструментального обеспечения информационных технологий для проектирования и построения компьютерных обучающих систем и тренажеров специалистами технологами отрасли, которые позволят обеспечить массовость разработки, за счет снижения затрат на разработку таких систем.

Предложено и реализовано графическое представление рабочей деятельности персонала и сценариев тренажерных и учебных занятий на основании адаптации стандарта описания бизнес процессов BPMN. Использование BPMN, как средства формального графического описания

деятельности персонала, позволяет привлекать к проектированию и разработке тренажеров и обучающих систем специалистов отрасли, улучшить взаимодействие между участниками процесса построения обучающих систем и уменьшить общее время разработки.

Представлен имитационно-технологический метод конструирования тренажерных занятий, в котором основанием для построения является описание процесса рабочей деятельности оперативно-диспетчерского персонала, который формируется исходя из должностных инструкций и отраслевой нормативно-технической и технологической документации. Для тренажерного занятия разрабатывается имитационная модель управления объектом, а не математическая модель объекта. Проведено сравнение традиционного объектно-математического метода конструирования компьютерных тренажеров с представленным имитационно-технологическим.

Рассмотрены методы построения моделей распределительных сетей и расчета режима энергосетей для тренажеров оперативных переключений. Учитывая специфику структуры распределительных сетей, преимущественную древовидность и ограниченное количество контуров, которая определяется отраслевыми нормативными документами, представлен эффективный метод построения моделей распределительных сетей и метод расчета режима с использованием таких моделей при большом количестве узлов. Использование предложенного метода в тренажерах оперативных переключений делает возможным использование для проведения обучения типовых компьютеров и обеспечивает комфортное время отклика на управляющие действия при большом количестве узлов в модели.

Рассмотрены методы и модели оценивания компетентности персонала, которые используются в учебных и тренировочных занятиях. Описан реализованный новый метод интегрального оценивания компетентности конкурсантов и выполнения контрольных занятий с использованием формул и структур расчета шахматного рейтинга. Представленный метод расчета рейтинга может быть использован в компьютерных системах контроля знаний

для формирования рейтинга персонала и для проведения профессиональных соревнований.

Предложены модели расчета рейтинга и оценки контрольных занятий на основе известных педагогических подходов в виде типовых формульных библиотечных компонентов, которые обеспечивают возможность настройки и использования моделей для оценки контрольных занятий. Модели оценки реализованы в компьютерных системах дистанционного обучения и используются инструкторами при проведении контроля знаний персонала.

Для создания средств конструирования тренажерных занятий предложено и описано использование стандартных программных пакетов редакторов, которые известны специалистам отрасли и просты в освоении. Для этого из всего набора функций программных пакетов выделены необходимые и проведена их адаптация. Такой подход позволяет разрабатывать и модернизировать тренажерные занятия в режиме редактирования специалистами отрасли без привлечения программистов.

**Ключевые слова:** системы подготовки персонала, компьютерные обучающие системы, компьютерные тренажеры, конструирование компьютерных систем подготовки персонала, оперативный персонал, диспетчерский персонал, описание рабочих процессов, графическое представление деятельности.

## **ABSTRACT**

***Abramovych R.P. Methods and tools of designing computer aided systems for training lower levels operational and dispatcher personnel in Energy Engineering. – As the manuscript.***

Dissertation for the candidate of technical science degree in specialty 05.13.05 computer systems and components. – Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering NAS of Ukraine, Kyiv, 2020.

The dissertation is dedicated to development of the methods and tools for computer aided personnel training systems design and research of information

technologies for design and construction computer aided learning systems and training simulators by industry experts. This methods and tools will ensure mass development of such systems, by reducing development costs.

Graphical representation of personnel activity and training scenarios is proposed and implemented based on the adaptation of the BPMN business process description standard.

The imitative-technological method of designing training simulators is presented, it is based on working processes specification of operational and dispatcher personal, which is formed on position instructions and other technical documentation.

The methods of constructing distribution network models and calculation of the power grid mode for operator training simulators are considered. Given the specifics of the distribution network structure, predominant tree view and a limited number of contours, effective method for constructing distribution network models and a mode calculation method are presented.

The methods and models for personnel competence evaluation are considered. New method for the integrated evaluation of contestants' competence and training exercises level using formulas and structures of the chess rating is implemented and described.

**Key words:** personnel training systems, computer aided learning systems, computer aided training simulators, operator training simulators, computer aided personnel training systems design, operational personnel, dispatcher personnel, working processes specification, graphical representation of activity.

#### **Список публікацій здобувача:**

1. Самойлов В.Д., Абрамович Р.П. Поиск токов в коммутационных структурах электрических подстанций для моделей тренажеров оперативных переключений. *Электронное моделирование*. – 2013 – Т. 35, № 1. – С. 95-107.

2. Самойлов В.Д., Винничук С.Д., Абрамович Р.П. Метод подъема токов нагрузок к узлу ввода для расчета энергетических распределительных сетей. *Электронное моделирование*. – 2015. – Т. 37, № 6. – С. 83-97.
3. Абрамович Р.П. Використання професійного рейтингу в системі тестування держслужбовців. *Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України* – К.: ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2009. – Вип. 50. – С. 28-36.
4. Абрамович Р.П., Бальва А.О., Самойлов В.Д. Інтегрована технологія проектування комп'ютерних засобів сценарного типу підготовки фахівців для енергопідприємств. *Електронне моделювання*. – 2018. – Т. 40, № 2. – С. 27-42.
5. Абрамович Р.П., Бальва А.А., Самойлов В.Д. Построение модели навигации для компьютерных тренажеров и приложений сценарного типа. *Электронное моделирование*. – 2014 – Т. 36, № 1. – С. 97-105.
6. Абрамович Р.П. Структуры данных для модели тренажера оперативных переключений. *Моделювання та інформаційні технології*. – 2016. – Вип. 76. – С. 10-17.
7. Бальва А.О., Абрамович Р.П., Максименко О.О. Технологія візуального проектування систем підтримки компетентності персоналу енергопідприємств. *Моделювання та інформаційні технології*. – 2016. – Вип. 76. – С. 70-77.
8. Бальва А.О., Самойлов В.Д., Абрамович Р.П. До вибору графічної специфікації діяльності персоналу енергопідприємств. *Моделювання та інформаційні технології*. – 2018. – Вип. 85. – С. 45-52.
9. Абрамович Р.П. Метод графічної специфікації діяльності користувачів системи контролю знань. *XXIX Науково-технічна конференції «Моделювання» ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 12-13 січня 2010 р. – тези доп. – м. Київ – С. 20.
10. Абрамович Р.П. Імітаційно-технологічний метод конструювання моделей для комп'ютерних тренажерів. *II Міжнародна науково-практична*

конференція «*Priority directions of science development*». 25-26 листопада 2019 р. – тези доп. – м. Львів – С. 152-155.

11. Абрамович Р.П. Використання комп'ютерних тренажерів та комп'ютерних навчальних систем для підготовки та перепідготовки фахівців в енергетиці. *III Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція «Перспективи розвитку управлінських систем у соціальній та економічних сферах України: теорія і практика»*. 28 листопада 2019 р. – тези доп. – м. Київ – С. 236-238.

12. Абрамович Р.П. Використання нотації BPMN для графічного представлення робочої діяльності персоналу та сценаріїв тренажерних занять. *Міжнародна науково-практична конференція «Пріоритетні напрямки досліджень в науковій та освітній діяльності»*. 05-06 грудня 2019 р. – тези доп. – м. Львів – С. 29-30.

13. Абрамович Р.П. Методи побудови моделей розподільчих мереж та розрахунку режиму для тренажерів оперативних перемикачів. *Міжнародна науково конференція «Наука та інновації – 2019: теорія, методологія та практика»*. 06 грудня 2019 р. – тези доп. – м. Запоріжжя – С. 119-121.

14. Бальва А.О., Абрамович Р.П., Максименко О.О. Питання розробки імітатора людино-машинної системи для проектування інтерфейсу автоматизованих робочих місць (АРМ). *Моделювання та інформаційні технології*. – 2016. – Вип. 77. – С. 12-20.

15. Соляник С.М., Абрамович Р.П., Лемчик Р.О., Шалай Д.Б., Збінський К.В., Шемечко Я.П. Комп'ютерна програма «Комп'ютерна система дистанційного навчання та контролю знань «АСКО»». *Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 85005, дата реєстрації 29.01.2019 р.*

16. Соляник С.М., Абрамович Р.П., Лемчик Р.О., Шалай Д.Б., Збінський К.В., Шемечко Я.П. Комп'ютерна програма «Автоматизована система проведення навчання, контролю знань та тренажу «АСПЕКТ»». *Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 85006, дата реєстрації 29.01.2019 р.*



## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ .....	2
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	11
ВСТУП .....	13
РОЗДІЛ 1 .....	21
1.1 Персонал в енергетиці України. Компетентність персоналу .....	21
1.2 Порядок підготовки і підтримання компетентності персоналу .....	25
1.3 Класифікація комп'ютерних засобів підготовки персоналу .....	26
1.4 Проблеми в сфері підготовки персоналу та розробки комп'ютерних систем підготовки .....	32
1.5 Комп'ютерні засоби підготовки як сценарно-педагогічні системи.....	33
1.6 Вимоги до методів та засобів конструювання комп'ютерних систем підготовки персоналу та тренажерів.....	34
1.7 Висновки до Розділу .....	35
РОЗДІЛ 2 .....	36
2.1 Об'єктно-математичний метод конструювання моделей тренажерів .....	36
2.2 Імітаційно-технологічний метод конструювання моделей тренажерів .....	38
2.3 Порівняння об'єктно-математичного та імітаційно-технологічного методів .....	43
2.4 Бібліотека типових компонентів та моделей .....	44
2.5 Порядок конструювання тренажерного заняття на основі імітаційно-технологічного методу .....	49
2.6 Побудова тренажерних занять з використанням графічних редакторів додатків .....	59
2.7 Висновки до Розділу .....	64
РОЗДІЛ 3 .....	66
3.1 Методи представлення діяльності, сценаріїв, тренажерних занять, моделей для галузевих спеціалістів.....	66
3.2 Використання UML .....	68
3.3 Стандарт опису процесів BPMN .....	71

3.4 Графічне представлення робочої діяльності персоналу та сценаріїв тренажерних занять на основі ВРМН. ....	76
3.5 Висновки до Розділу .....	81
РОЗДІЛ 4 .....	83
4.1 Методи побудови моделей розподільчих мереж та розрахунку режиму для тренажерних занять.....	83
4.2 Метод підйому струмів для розрахунку моделі режиму розподільчих мереж для ТОП.....	89
4.3 Експериментальна оцінка швидкодії методів розрахунку моделей режиму розподільчих мереж для ТОП.....	92
4.4 Етапи розробки тренажерів оперативних перемикачів.....	96
4.5 Висновки до Розділу .....	98
РОЗДІЛ 5 .....	100
5.1 Методи та моделі оцінки успішності проходження навчання персоналом з використанням в комп'ютерних засобів підготовки .....	100
5.2 Моделі оцінки успішності проходження навчальних занять .....	101
5.3 Моделі оцінки успішності проходження тренажерних занять .....	105
5.4 Ранжирування за рівнем компетентності фахівців.....	106
5.5 Висновки до Розділу .....	113
ВИСНОВКИ.....	115
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	117
ДОДАТОК 1 Список публікацій за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.....	123
ДОДАТОК 2 Алгоритм методу підйому струмів .....	127
ДОДАТОК 3 Копії відгуків та акту впровадження .....	130
ДОДАТОК 4 Авторські свідоцтва .....	135

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

CASE	–	computer-aided software engineering
CBT	–	computer based training
LMS	–	learning management system
АЕС	–	атомна електростанція
АРМ	–	автоматизоване робоче місце
БЩУ	–	блочний щит управління
ВРП	–	відкритий розподільчий пристрій
ГМРД	–	графічні моделі робочої діяльності
ДОДГ	–	диспетчер оперативної диспетчерської групи
ДЦДС	–	диспетчер центральної диспетчерської служби
ЕРМ	–	електричні розподільчі мережі
ІЕ	–	інструкція по експлуатації
ІТ	–	інформаційні технології
КС	–	комутаційна структура
ДП НАЕК «Енергоатом»	–	Державне підприємство «Національна атомна енергогенеруюча компанія «Енергоатом»
НвЗ	–	навчальне заняття
НТЦ	–	навчально-тренувальний центр
ОВБ	–	оперативна виїзна бригада
ОЕС України	–	об'єднана енергосистема України
ОІК	–	оперативно-інформаційний комплекс
НТД	–	нормативно-технічна документація
ПД	–	плани дій
ПІ	–	посадова інструкція
ПМТ	–	повномасштабний тренажер
ПО-компоненти	–	проблемно-орієнтовані компоненти
ПС	–	підстанція
РІ	–	робоча інструкція
РП	–	робочий процес

- СЛАР – система лінійних алгебраїчних рівнянь
- СМС – сценарно-моделююча структура
- СУБД – система управління базою даних
- ТЕС – теплова електростанція
- ТОП – тренажер оперативних перемикачів
- ТрЗ – тренажерне заняття
- ЧЕМ – черговий електрик
- ЧШ – часова шкала

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Надійна та безперебійна робота будь-якої системи, в тому числі енергосистеми, залежить від підготовки та підтримання на належному рівні кваліфікації персоналу.

Статистика стверджує, що в енергетиці кожна друга аварія трапляється з вини експлуатуючого персоналу [1, 2]. Підвищення рівня підготовки персоналу дозволить:

- підвищити безпеку та надійність роботи енергетичної системи як в цілому, так і окремих складових;
- збільшити період експлуатації обладнання за рахунок правильної експлуатації, що дозволить зменшити витрати;
- підвищити енергоефективність системи, за рахунок правильного режиму роботи обладнання.

Комп'ютерні тренажери та системи навчання використовуються і показують свою високу ефективність. Для прикладу, у навчально-тренувальних центрах на кожній АЕС України діють повномасштабні комп'ютерні тренажери, на яких здійснюється підготовка оперативного персоналу зміни блоку. Однак хотілося б відмітити, що на даний час недостатня увага приділяється підготовці оперативно-диспетчерського персоналу нижчих рівнів, який здійснює безпосереднє виконання оперативних перемикачів на обладнанні. Від правильності дій польового персоналу залежить нормальне функціонування обладнання та енергосистеми. Також серед такого персоналу існує більший ризик виникнення нещасних випадків через невиконання вимог безпечної експлуатації обладнання та порушень норм та правил з охорони праці.

Розробка тренажерних засобів підготовки в спеціалізованих організаціях з залученням кваліфікованих програмістів підвищує фінансові витрати і не вирішує проблем їх масової розробки. Економічно обґрунтованою є доцільність масової розробки засобів безпосередньо галузевими спеціалістами, які добре

обізнані з технологічними процесами, з мінімальним залученням до розробок спеціалістів–програмістів шляхом використання Internet-технологій і пристосування в якості конструкторів існуючих новітніх мультимедійних інформаційних пакетів, які забезпечують відносно легке розповсюдження тренажерів в корпоративних мережах підприємств, проектування без використання мов програмування в зручному і зрозумілому інтерактивному середовищі з використанням графічного інтерфейсу, адаптацію розроблених додатків до різноманітних енергетичних об'єктів, можливість розпаралелення процесу проектування та конструювання тренажерних та навчальних систем між розробниками різних професій (інженерами, технологами, інструкторами, дизайнерами та іншими).

Існуючі промислові технології побудови тренажерів, як набору тренажерних занять (ТрЗ), в більшій мірі орієнтовані на побудову повномасштабних тренажерних систем, в яких основна увага приділяється проектуванню моделей (математичних або імітаційних) всього об'єкту. В доповнення до повномасштабних тренажерів існує необхідність в локальних тренажерах. В таких тренажерних системах замість однієї повномасштабної моделі використовується сукупність значно менш складних моделей, кожна з яких відображує роботу в рамках окремих тренажерних занять, а функціонування яких визначається експлуатаційними документами вказаними в посадових інструкціях персоналу. З економічної точки зору більш дешевою є розробка тренажерів, на основі тренажерних занять.

При такому підході можливо забезпечити залучення до проектування та побудови тренажерів широкого кола фахівців галузі, добре обізнаних з технологічними процесами на об'єкті, без залучення спеціалістів-програмістів з мінімальними фінансовими витратами та у короткі терміни. Досвід створення спеціалістами галузі протиаварійних тренажерних занять без використання комп'ютерних технічних засобів є і, відповідно до [3], протиаварійні тренування періодично проводяться на всіх підприємствах енергосистеми України.

Проблемами підготовки персоналу в енергетиці та створення засобів навчання та тренажу в різний час займалися і внесли великий вклад наступні науковці та інженери – Башмаков А.І., Гурєєв В.А., Краснов В.І., Магід С.І., Нетлюх О.П., Переверзев І.О., Писаренко А.П., Плєтяний І.В., Самойлов В.Д., Склярів В.Ф., Сметана С.І., Соляник С.М., Чачко А.Г.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тематика дисертаційної роботи відповідає основним науковим напрямам та планам Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова, що пов'язані з дослідженням та розробкою комп'ютерних візуальних технологій побудови ситуаційних і динамічних тренажерів для персоналу енергопідприємств, зокрема: «Дослідження та розробка комп'ютерних інструментальних технологій побудови засобів підтримки компетентності персоналу для забезпечення і підвищення надійності функціонування об'єктів енергетики», шифр «Конструктор-2»; «Дослідження та розробка комп'ютерних візуальних технологій побудови ситуаційних і динамічних тренажерів для персоналу енергопідприємств» (Шифр – «Тренажер»); «Дослідження і удосконалення технологій конструювання тренажерів оперативних переключень персоналу розподільчих систем енергетики на основі редакторів нового покоління» (Шифр – «Тренажер-2»).

**Мета і завдання дослідження.** Метою дисертаційної роботи є розвиток існуючих методів та засобів конструювання комп'ютерних систем підготовки персоналу, розробка нових підходів до побудови тренажерів та моделей для них, пошук шляхів зниження матеріальних та часових затрат на розробку навчальних систем та тренажерів оперативних перемикачів. Виходячи з мети цілями дослідження є:

- підвищення якості підготовки оперативно-диспетчерського персоналу за допомогою тренажерів та систем навчання;
- огляд, аналіз та класифікація комп'ютерних систем підготовки персоналу;

- аналіз сучасних методів, засобів і підходів до розробки та конструювання комп'ютерних тренажерів та систем навчання;
- пошук ефективних комп'ютерних технологій побудови засобів підготовки, які дозволять забезпечити зниження матеріальних та часових затрат на розробку навчальних систем.

*Об'єкт дослідження* – розробка та використання комп'ютерних систем і засобів підготовки та підтримання компетентності оперативно-диспетчерського персоналу нижчих рівнів в енергетиці.

*Предмет дослідження* – методи, засоби та технології конструювання комп'ютерних систем підготовки персоналу, а саме комп'ютерних тренажерів (тренажерних занять) та комп'ютерних систем навчання та контролю знань (навчальних занять), орієнтованих на оперативно-диспетчерський персонал нижчих рівнів.

*Методи дослідження.* У процесі дослідження використано теоретичний та експериментальний підходи, використовувалися методи теорії графів, математичного моделювання, теорії множин, чисельні методи.

#### **Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:**

1. Вперше представлений ефективний метод розрахунку режиму для комп'ютерних тренажерів оперативних перемикачів, який розроблений з врахуванням специфіки структури розподільчих мереж – переважна деревовидність і обмежена кількість контурів, що визначається галузевими нормативними документами. Використання запропонованого методу в тренажерах оперативних перемикачів уможливило використання для проведення навчання типових комп'ютерів та забезпечує комфортний час відгуку на управляючі дії при великій кількості вузлів в моделі.

2. Удосконалено імітаційно-технологічний метод конструювання комп'ютерних тренажерних занять, в якому основою для побудови є опис процесу робочої діяльності оперативно-диспетчерського персоналу, що формується виходячи з посадових інструкцій та галузевої нормативно-технічної та технологічної документації. Згідно імітаційно-технологічного методу для



тренажерного заняття необхідно розробляти модель управління об'єктом, а не математичну модель об'єкта. Використання методу дозволяє зменшити час та витрати на розробку тренажерних занять.

3. Вперше запропоновано для графічного представлення робочої діяльності персоналу та сценаріїв тренажерних і навчальних занять використовувати адаптацію стандарту опису бізнес процесів BPMN. Використання BPMN, як засобу формального графічного опису діяльності персоналу, дозволяє залучати до проектування та розробки тренажерів і навчальних систем спеціалістів галузі, покращити взаємодію між учасниками процесу побудови навчальних систем і зменшити загальний час розробки.

4. Удосконалено методи оцінювання компетентності персоналу. Вперше для ранжирування за рівнем компетентності фахівців запропоновано використовувати формули і структуру розрахунку шахового рейтингу, які ґрунтовані на порівнянні ймовірності очікуваного результату пари конкурсант – контрольне заняття і реального результату. Даний метод розрахунку рейтингу може бути використаний в комп'ютерних системах контролю знань для формування рейтингу персоналу та для проведення професійних змагань.

Представлені моделі розрахунку запропонованого рейтингу та оцінювання контрольних занять на основі відомих педагогічних підходів у вигляді типових формульних бібліотечних компонентів, що забезпечує можливість налаштування та використання моделей для оцінювання контрольних занять.

5. Набув подальшого розвитку метод конструювання навчально-тренувальних занять, який полягає у виборі і адаптації програмних пакетів-редакторів графічно-візуальної розробки додатків за рахунок створення і включення в них бібліотек типових компонентів та моделей орієнтованих на енергетику, що забезпечує в процесі експлуатації засобів підготовки персоналу можливість редагування контрольних занять без необхідності програмування, що в свою чергу, підвищує ефективність розробки комп'ютерних засобів підготовки.

6. Вперше запропоновано поєднати графічну специфікацію компонентів сценарію тренажерного заняття і власне компонентів предметного середовища, які відображаються на кожній сцені. Такий підхід до побудови засобів навчання дозволяє спростити процес розробки та відлагодження тренажерного заняття з використанням відомих пакетів графічно-візуальної розробки додатків.

**Практичне значення отриманих результатів.** Результати дисертаційної роботи мають практичну і прикладну цінність та використовувалися при розробці комп'ютерних систем дистанційного навчання, контролю знань та тренажу АСПЕКТ/КОНКУРС/АСКО, локальних тренажерів для обхідників по обладнанню та тренажерів оперативних перемикачів і ліквідації аварійних ситуацій для персоналу підстанцій, електростанцій та енерговузлів.

Під час розробки систем дистанційного навчання АСПЕКТ/АСКО були використані представлені в дисертації методи і підходи до проектування та розробки комп'ютерних навчальних систем. В системі КОНКУРС реалізовано модуль інтегральної оцінки – рейтингу на основі методів та моделей описаних в дисертаційній роботі.

Локальні тренажери для обхідників по обладнанню та демонстрації по правильному порядку виконання операцій конструювалися за допомогою імітаційно-технологічного методу представленому в роботі.

Результати роботи були використані в тренажері енерговузла для розподільчих мереж. Енерговузол, що моделюється в тренажері оперативних перемикачів складається з 15 підстанцій різних типів, в моделі тренажера розраховуються напруга для більш як 2 тис. вузлів, та струми через 350 комутаційних апаратів. Результати досліджень дозволили побудувати швидкодіючу модель розрахунку розподільчої електричної системи для використання в тренажері.

**Особистий внесок здобувача.** Результати і наукові положення, що виносяться на захист, отримано здобувачем самостійно. Персональний внесок здобувача до наукових праць опублікованих у співавторстві:

[2] – алгоритм автоматичного формування вхідних даних для СЛАР, який по комутаційній структурі ПС формує систему рівнянь для розрахунку напруги у вузлах методом вузлових потенціалів; [3] – реалізація навігаційної структури, виділення побудови моделі навігації тренажера в окрему задачу з можливістю незалежної і паралельної роботи над нею; [4] – аналіз методів та алгоритмів розрахунку моделі комутаційної структури при практичній реалізації тренажерів оперативних перемикачів, включаючи методи вузлових потенціалів та метод по контурній ув'язки, алгоритм пошуку струмів та напруг в деревовидних комутаційних структурах, метод підйому струмів від навантажень до витоків; [6] – адаптація середовища Flash для використання в якості редактора для побудови програм і додатків сценарного типу не програмуєчими спеціалістами; [7] – методологія проектування та побудови імітатора автоматизованих робочих місць з використанням середовища Flash; [8] – реалізація складових інтегрованої технології проектування сценарних структур; [9] – використання нотації BPMN 2.0 для графічних специфікацій робочої діяльності персоналу енергопідприємств.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення і матеріали дисертаційної роботи було представлено на наступних конференціях та семінарах:

- щорічна ХХІХ науково-технічна конференція молодих вчених та спеціалістів Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова, м. Київ, 2010 р.
- семінар «Використання сучасних систем дистанційного навчання для підготовки, перепідготовки і тестування персоналу підприємств енергетики», с. Славське, 2010 р.
- семінар «Проблеми впровадження і використання систем дистанційного навчання та тренажерної підготовки працівників енергетики та інших галузей промисловості з питань технічної експлуатації, охорони праці та пожежної безпеки», с. Славське, 2011 р.

- семінар-практикум «Принципи розробки, впровадження та використання сучасних комп'ютерних мультимедійних систем підготовки та тренажу персоналу енергопідприємств та об'єктів промисловості», с. Славське, 2013 р.
- науково-практична конференція «Сучасні методи аналізу усталених режимів електричних мереж та стійкості електроенергетичних систем. Новітні досягнення у проведенні тренажерної підготовки оперативно-диспетчерського персоналу», с. Славське, 2016 р.
- семінар «Сучасні комп'ютерні та інформаційні системи навчання і тренажерної підготовки персоналу та системи підтримки управління підприємством для енергетики та інших об'єктів промисловості», с. Славське, 2018 р.
- II Міжнародна науково-практична конференція «Priority directions of science development», м. Львів, 2019 р.
- III Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція «Перспективи розвитку управлінських систем у соціальній та економічних сферах України: теорія і практика», м. Київ, 2019 р.
- Міжнародна науково-практична конференція «Пріоритетні напрямки досліджень в науковій та освітній діяльності», м. Львів, 2019 р.
- Міжнародна науково конференція «Наука та інновації – 2019: теорія, методологія та практика», м. Запоріжжя, 2019 р.

**Публікації.** Основні положення і результати дисертаційної роботи опубліковано в 16 роботах: 9 статтях, що входять до переліку наукових фахових видань, 5 – публікаціях матеріалів конференцій та 2 свідоцтвах про реєстрацію авторського права на твір (комп'ютерну програму).

**Структура та обсяг роботи.** Робота складається з анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел (66 найменувань) та 4 додатків. Загальний обсяг дисертації складає 136 сторінок, в тому числі 116 сторінок основного тексту, включаючи 5 таблиць та 31 рисунок.

## РОЗДІЛ 1

У першому розділі дисертаційної роботи наведено структуру сучасної енергетики України і категорії персоналу в енергетиці, проведено аналіз існуючих систем підготовки та підтримання кваліфікації персоналу енергопідприємств. Представлено класифікацію сучасних комп'ютерних тренажерів та систем навчання персоналу. Здійснено огляд і аналіз методів та засобів побудови систем підготовки персоналу, в тому числі комп'ютерних тренажерів.

### 1.1 Персонал в енергетиці України. Компетентність персоналу

Поточна ситуація. Велика кількість підприємств різних форм власності і персоналу, який працює на цих підприємствах. На даних підприємствах працює велика кількість персоналу, в яких повинен бути відповідний рівень кваліфікації. Орієнтовно, в енергетиці України працює 170 тис. людей,

Генерація (АЕС, ТЕС, ТЕЦ, ГЕС, ГАЕС, ВЕС, СЕС) – 80 тис. чол.

Магістральні мережі (8 енергосистем) – 15 тис. чол.

Розподільчі мережі (30 підприємств) – 75 тис. чол.

З них 35 тис. це оперативно-диспетчерський персонал. Існує проблема з первинною підготовкою кадрів у вищій школі та закладах професійно-технічної освіти. На всіх об'єктах новоприйнятий персонал обов'язково проходить підготовку на місці. Крім того, персонал потребує періодичного навчання для підвищення та підтримки кваліфікації.

Кожне підприємство або група підприємств з одним власником організують це власними силами. Найкраща ситуація в НАЕК «Енергоатом» [4]:

- сформована єдина політика компанії;
- функціонують навчально-тренувальні центри, які займаються підготовкою персоналу, в яких в 2018 році 60 456 людино/курсів;

- введений в роботу міжнародний центр підготовки ремонтного персоналу.

Також належну увагу питанням підготовки персоналу приділяє група компаній ДТЕК, з 2010 року діє Академія ДТЕК, яка має в своєму складі 15 філіалів та займається підготовкою кадрів, розробкою навчальних програм [5].

В багатьох енергопостачаючих компаніях діють навчальні пункти і центри, але загальна тенденція - чим менша компанія, тим менше уваги приділяється підготовці і кваліфікації персоналу та виділяються на це менші фінансові ресурси.

Ще одна проблема це плинність кадрів і втрата знань разом з персоналом: фахівці звільняються і втрачаються їхні знання. Якби існували зручні і прості в освоєнні комп'ютерні інструментальні засоби конструювання, ці люди могли б створити навчальні системи, які потім би використовувалися.

На сьогоднішній день не в повній мірі використовуються можливості сучасних комп'ютерних систем навчання та підготовки. Дуже часто використовуються традиційні способи навчання, такі як: лекції, ігри і т.п. Причини такої ситуації – велика вартість розробки тренажерів.

Одним із шляхів підвищення рівня підготовки персоналу є розробка технологій побудови спеціалістами галузі засобів підготовки персоналу, тобто розробка програмного інструментарію для розробки навчальних систем і тренажерів технологіями галузі, самими енергетиками.

### **Категорії, групи та види персоналу в енергетиці України.**

Відповідно до [6] персонал енергооб'єкта – це усі працівники підприємства, організації або установи енергетики, які забезпечують процеси, пов'язані з виробництвом, передачею і постачанням електричної та теплової енергії, а також забезпечують нормальні умови функціонування енергооб'єкта і обслуговують його колектив. Персонал енергооб'єкта складається з таких категорій працівників: керівники, спеціалісти, службовці і робітники.

Залежно від виду діяльності персонал поділяється на виробничий і невиробничий. Персонал, який забезпечує виробничі процеси (монтаж, експлуатацію, налагодження тощо), є виробничим персоналом і поділяється на оперативний, оперативно-виробничий і адміністративно-технічний персонал.

Для цілей організації підготовки персоналу, відповідно до [7], За характером виконуваної роботи персонал поділяється на такі групи:

- адміністративно-технічний персонал;
- оперативний персонал;
- ремонтний персонал;
- персонал технічної підтримки;
- інструкторський персонал.

Також за відношенням до процесу ліцензування окремих видів діяльності персонал поділяється на такі групи [7, 8]:

- ліцензований персонал – персонал (спеціаліст) який повинен здійснювати безпосереднє управління реакторною установкою АЕС на основі ліцензії, виданої Держатомрегулювання України;
- неліцензований персонал.

Весь персонал потребує періодичного навчання, перевірки знань, перепідготовки і підтримання компетентності.

Згідно [6] передбачаються такі види робіт з формування і підтримування у працівників необхідного кваліфікаційного рівня:

- професійна підготовка нових працівників;
- перепідготовка і навчання другим і суміжним професіям;
- навчання на робочому місці (стажування);
- дублювання;
- підтримування і підвищення рівня кваліфікації;
- спеціальна підготовка;
- обходи й огляди робочих місць;
- перевірка знань (атестація);

- ліцензування.

Додатково у [9] виділяють такі види підготовки персоналу:

- професійна підготовка;
- перепідготовка;
- підтримка та підвищення кваліфікації.

Готовність персоналу до ефективної оперативної роботи визначається рівнем компетентності або кваліфікації персоналу. Компетентність персоналу – це сукупність взаємопов'язаних знань, вмінь, навиків необхідних для виконання певної роботи, що регламентуються посадовими або робочими інструкціями.

Знання – сукупність перевіреної практикою інформації, отриманої в результаті навчання та пізнання дійсності, і достовірно відображеної в мисленні людини у вигляді понять, суджень, умовиводів, теорій. можуть бути теоретичними та практичними [9].

Знання отримуються під час аудиторних занять, навчанню на робочому місці, при самотійному вивченні навчальних матеріалів: навчальних посібників, нормативно-технічної документації, інших першоджерел. Також, забезпечення підвищення рівня знань використовуються комп'ютерні системи навчання та контролю знань.

Вміння – освоєний суб'єктом спосіб виконання дії, забезпечений сукупністю отриманих знань, що створює можливість виконання діяльності не лише в звичних, але і змінних умовах [9].

Знання та вміння можуть бути теоретичними і практичними.

Навик – вміння виконувати цілеспрямовані дії, вироблене і доведене до автоматизму багаторазовими вправами, для вирішення типових завдань на виробництві або навчанні у відповідності з посадовими обов'язками. Навики можна розглядати як закріплені практикою вміння. Навики носять виключно практичний характер [9].



Навики отримуються під час практичних занять в класах, майстернях і лабораторіях, проведенню занять на локальних, комплексних та повномасштабних тренажерах.

На рис.1.1 представлені складові частини компетентності персоналу:

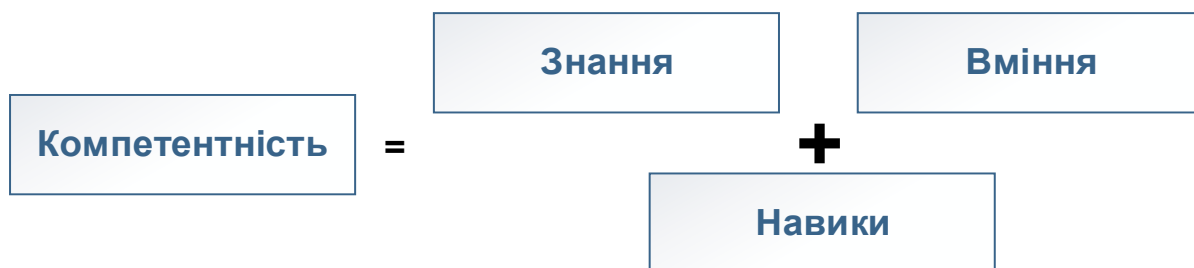


Рис. 1.1 Складові частини компетентності

Також потрібно відмітити, що необхідна надійність персоналу, яка визначається здатністю зберігати потрібну кваліфікацію у встановлених умовах впродовж заданого часу. Однією із складових підтримки надійності персоналу є постійна і регулярна перепідготовка.

## 1.2 Порядок підготовки і підтримання компетентності персоналу

Провівши аналіз діючої нормативної документації в сфері підготовки персоналу в енергетиці наведеної в попередньому пункті [6, 7, 9, 10] можна представити такий загальний порядок підготовки і підтримання компетентності персоналу:

1. Отримання базової вищої або професійно-технічної освіти в начальних закладах.
2. Проходження вхідного контролю знань при поступленні на роботу для визначання початкового рівня знань та навиків.
3. Підготовка на конкретну посаду по сформованій індивідуальній програмі підготовки. Підготовка включає отримання знань та формування навиків для можливості виконувати обов'язки відповідно до посадової або робочої інструкції.
4. Перевірка рівня знань, навиків та вмінь та отримання допуску до роботи.

5. Особливо складовою виділяється перевірка психофізіологічних характеристик кандидата на відповідність займаній посаді.
6. Періодична перевірка рівня компетентності та перепідготовка персоналу.
7. Підготовка на інші посади та в кадровий резерв.
8. Завершення робочої діяльності.

Структурно порядок підготовки персоналу представлений на рис.1.2:

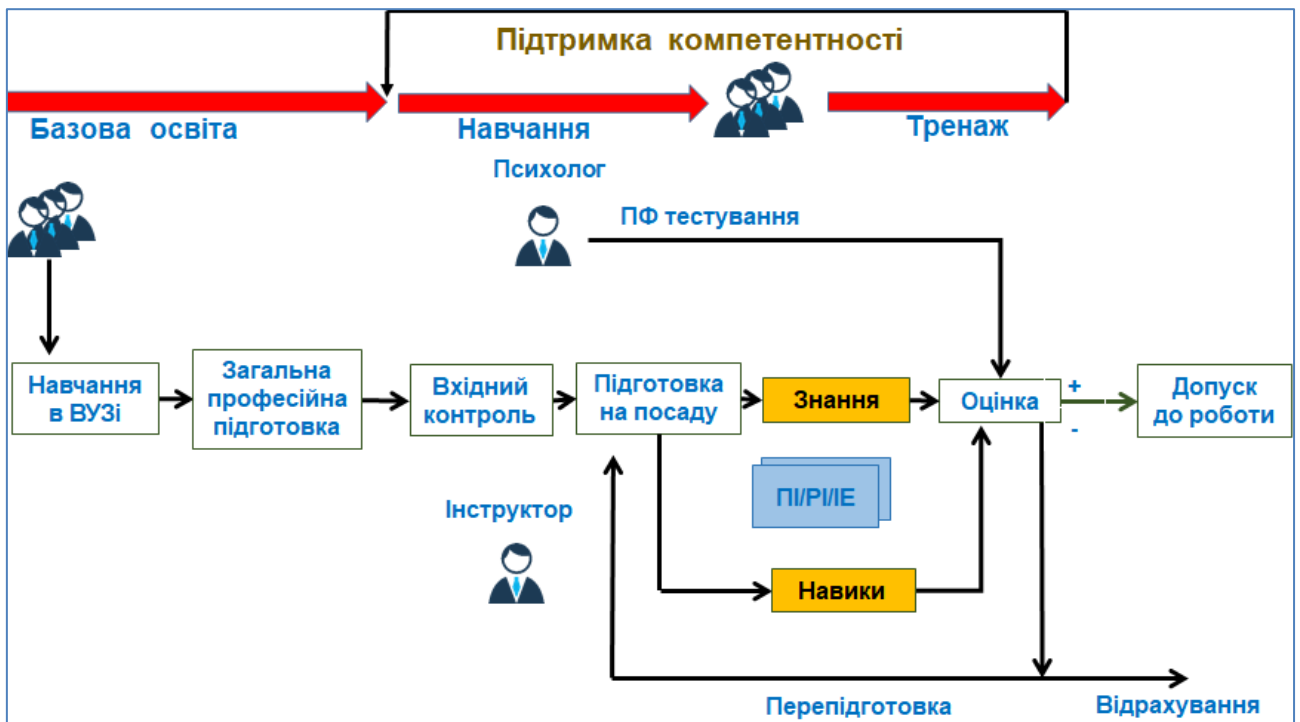


Рис. 1.2 Порядок підготовки персоналу

### 1.3 Класифікація комп'ютерних засобів підготовки персоналу

Для забезпечення якісної підготовки персоналу (диспетчерського, оперативного, допоміжного (ремонтний та обслуговуючий персонал, слюсарі та інші) необхідний належний рівень теоретичних знань, вмінь та доведених до автоматизму навичок користування обладнанням. Вузівська підготовка, мультимедійні курси, системи навчання і контролю знань забезпечують отримання теоретичних знань, тренажерні системи – вмінь та навичок персоналу.

Комп'ютерні систем підготовки персоналу – це програмні або програмно-технічні засоби призначені для перевірки рівня, підтримки та підвищення компетентності персоналу, яка включає знання, вміння та навички.

Відомі різні класифікації комп'ютерних систем підготовки персоналу [9, 11, 12, 13, 16]. Для цілей даної дисертаційної роботи розділимо комп'ютерні систем підготовки персоналу на два класи:

- **Автоматизовані системи контролю знань** – призначені для отримання та перевірки рівня засвоєння знань.
- **Комп'ютерні тренажери** – призначені для отримання та перевірки рівня засвоєння навичків та вмінь по управлінню об'єктом.

Порядок підготовки персоналу з використанням комп'ютерних систем підготовки представлений на рис.1.3, жовтим контуром позначені межі використання зазначених систем.



Рис. 1.3 Порядок підготовки персоналу з використанням комп'ютерних систем

Відмінність в розробці цих систем підготовки персоналу полягає в тому, що сценарії в системах навчання і контролю знань розробляються з врахуванням рекомендацій психологів та педагогів, а до розробки тренажерних систем активно залучаються технологи, роль яких при проектуванні є визначною.

Системи навчання і контролю знань – це структури сценарного типу, а тип тренажерних систем, які прийняті до розгляду, визначимо з урахуванням наведеної нижче класифікації.

Моделі процесів і ситуацій на енергооб'єктах класифікуються за декількома ознаками, а саме: за об'ємом обладнання, що моделюється, за наявністю часової складової і реальністю відображення в часі. Згідно цього загальна класифікація тренажерних систем представлена на рис.1.4:

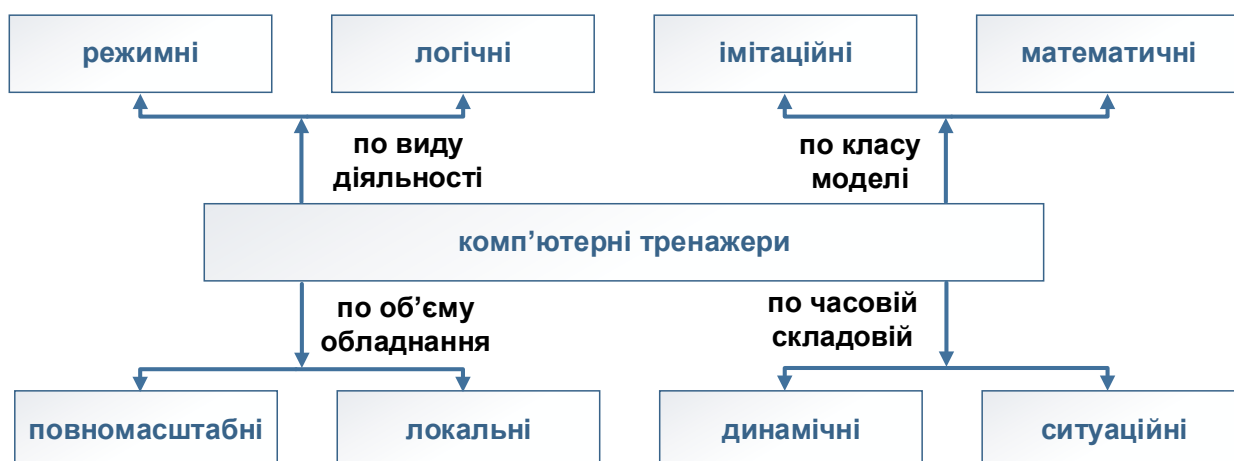


Рис. 1.4. Загальна класифікація тренажерних систем

Ситуаційний тренажер відтворює конкретні ситуації та переходи між ними. За об'ємом обладнання, що моделюється, в основному, в ситуаційному тренажері моделюється окрема закінчена ділянка технологічної системи.

Окрім сценарної складової, сценарні тренажерні системи містять модель об'єкта, яка забезпечує реакцію на дії персоналу, який тренується, і адекватність його дій реальній обстановці, і надбудову до моделі для організації тренувального процесу і автоматичного оцінювання тренажерної діяльності.

Ситуаційний тренажер може імітувати функціональне обладнання (імітаційні моделі), відображати роботу з інструментом, засобами індивідуального захисту.

На даний час розроблений ряд якісних комп'ютерних засобів підготовки персоналу [15, 19].

Наприклад, для оперативно-диспетчерського персоналу нижчих рівнів енергопідприємств розроблені:

- в АТ «ГВЦ «Енергетика» тренажерні системи «Тропа-1», «Каскад» та інші (обслуговування електроустановок) у вигляді мультимедійних ігор. Але в них відсутні можливість використання комп'ютерної мережі та, можливість гнучкого налаштування;
- тренажер по відпрацюванню порядку проведення комутаційних робіт на енергетичних об'єктах. Розробник – компанія «Модус» [15]. Тренажер побудований на програмному забезпеченні, що представляє дворівневу структуру, перший рівень якої моделює порядок комутації, другий – послідовність операцій і дій. Для програмування застосовується вбудована макромова. Компанія «Модус» розробила свою спеціалізовану об'єктно-орієнтовану графічну систему відображення електричних мереж;
- комплекс «Дакар», призначений для розрахунку та аналізу ustalених нормальних, граничних та післяаварійних режимів роботи електричних мереж напругою 0,4÷1150 кВ; електромеханічних перехідних процесів (аналіз стійкості) електроенергетичних систем з врахуванням дії будь-яких пристроїв автоматики, реакції теплосилового обладнання електричних станцій.

Провівши аналіз методів конструювання комп'ютерних тренажерів [15, 18, 20, 21], можна розділити їх на 3 групи:

- використання спеціалізованих програмних пакетів для розробки комп'ютерних моделей та тренажерів;

- розробка власного програмного середовища для розробки тренажерів за допомогою програмування з використанням середовищ та бібліотек розробки програмного забезпечення.
- адаптація програмних пакетів, які початково не призначені для розробки тренажерів та навчальних систем.

Спеціалізовані програмні пакети є достатньо дорогими та потребують високої кваліфікації персоналу зі спеціалізованими навиками. Освоєння таких пакетів є достатньо складною задачею. В більшості випадків роботи по розробці та модернізації тренажерів з використанням спеціалізованих програмних пакетів, виконують підрядні організації, які дуже часто також є розробниками самих програмних пакетів.

Застосування спеціалізованих пакетів передбачає конструювання систем навчання та тренажерів за допомогою власного програмного середовища, яке створюється безпосередньо розробниками тренажерів, наприклад, МОДУС, КУРСОГРАФ, САПДИТ, САПТОП, САППАТ, УРОК та інші.

Розробка власного програмного середовища для розробки тренажерів за допомогою програмування є складною та ресурсоємною задачею. При застосуванні прямого програмування побудови тренажерних систем ми маємо симбіоз «технолог – програміст», де кожний виконує свою роботу. Завдання технолога – це необхідність чіткої постановки задачі програмісту, котра виходить з технології процесу і вимог замовника. Має місце парадоксальна ситуація, коли люди, які не мають професійних технологічних знань, створюють технічні засоби для підготовки і підвищення кваліфікації технологів, що в свою чергу зумовлює труднощі при побудові функціональних і інформаційних моделей тренажерів і потребує високої кваліфікації розробників, великого досвіду, експертних оцінок і експериментальних перевірок та доробок кінцевого продукту.

Третій варіант це адаптація програмного середовища (Authorware, Adobe Flash, Adobe Animator, Director, HyperMethod, ToolBook, Adobe Captivate та інші), яке не є спеціалізованим для створення тренажерів.

Розробці методології конструювання тренажерів оперативних перемикачів з використанням програмного середовища Authorware присвячені роботи [17, 22].

В Authorware є суттєві недоліки:

- система Authorware не призначена для проектування тренажерних систем;
- графічна специфікація Authorware не забезпечує в повному обсязі наочне і зрозуміле представлення додатку, тому що вміст обчислюваних кадрів графічно не специфікується;
- використання зовнішніх бібліотек у вигляді .dll файлів для реалізації додатку за допомогою AW потребує зовнішніх ресурсів програмістів;
- відсутня технологія проектування на основі блочної і ієрархічної структуризації і т.п.

Технолог на енергетичному об'єкті, в цьому випадку, має змогу створювати чи проводити модернізацію тренажера самостійно без допомоги інших спеціалістів. В разі сумісної роботи технолога, програміста, дизайнера проблема колективної роботи і легкого порозуміння також має місце, але ключовою фігурою при побудові тренажера є технолог.

Перевага використання мультимедійних спеціалізованих пакетів – це приваблива можливість графічного відображення додатку. Але створення імітаційних моделей з їхньою допомогою може бути більш складним, ніж при прямому програмуванні або створенню у власному середовищі, хоча адаптовані програмні пакети дають можливість використовувати зовнішні моделі, які створені за допомогою мов програмування.

В умовах обмеженого фінансування, і як наслідок неможливості підключення до розробки великої кількості спеціалістів-програмістів більш

доцільно вибрати в якості базових для конструювання моделей і сценаріїв універсальні мультимедійні пакети, які можуть бути налаштовані на автоматизоване конструювання комп'ютерних засобів підготовки фахівців зусиллями не програмуючих фахівців галузі.

#### **1.4 Проблеми в сфері підготовки персоналу та розробки комп'ютерних систем підготовки**

Аналізуючи теперішню ситуацію з підготовки персоналу в енергетиці України можна виділити наступні проблеми:

- Недостатній рівень первинної підготовки кадрів у вищій школі та закладах професійно-технічної освіти. Необхідність суттєвої і тривалої підготовки на підприємствах перед допуском до самостійної роботи.

- Значна плинність кадрів і втрата знань разом з персоналом.

- Велика завантаженість інструкторського персоналу.

- Висока вартість розробки та використання комп'ютерних тренажерів та навчальних систем.

- Недостатня кількість тренажерів для підготовки нижчих рівнів оперативного персоналу. Відповідно до [4] в 4 УТЦ в складі НАЕКу експлуатуються 8 повномасштабних комп'ютерних тренажерів, на яких проходять підготовку склад зміни блоку, тобто це ліцензований персонал. Кількість ліцензованого персоналу в складі НАЕК «Енергоатом» в 2018 року складала 409 чоловік, при загальній кількості персоналу 35 тис. чоловік, а оперативного персоналу – 18 тис. чоловік.

Тренажерна підготовка не ліцензованого оперативного персоналу здійснюється на інших тренажерах та макет-тренажерах, наприклад тренажерах для підготовки персоналу хімічного цеху «Клотік». Кількість таких тренажерів невелика, часто модернізації не проводиться

В значній мірі вирішити зазначені проблеми зможе розробка та впровадження в галузі комп'ютерних технологій конструювання тренажерів та



навчальних систем не програмуєчими спеціалістами, в першу чергу експертами технологіями на самих об'єктах енергетики.

### **1.5 Комп'ютерні засоби підготовки як сценарно-педагогічні системи**

Всі комп'ютерні засоби підготовки можна розглядати як сценарно-педагогічні системи. Поділ можна розглядати в залежності від розміру (ступеня) залучення педагога або інструктора в навчальний процес.

Для повномасштабних комп'ютерних тренажерів блоків АЕС інструктор залучається в більшій мірі: він формує тренажерне заняття, проводить саме тренування, приймаючи в ньому безпосередню участь, наприклад заміщаючи та імітуючи дії персоналу, які не задіяні в тренуванні, але впливають на нього. Після завершення тренажерного заняття відбувається аналіз його проходження по протоколу і інструктором виставляється експертна оцінка за тренування.

В тренажерах оперативних перемикачів роль інструктора є меншою, при сформованому і підготовленому завданні учень може проходити тренажерне завдання без залучення Інструктора. Інструктор може бути необхідний лише на етапі аналізу проходження тренування на основі протоколу та автоматично виставленої оцінки.

Для систем дистанційного навчання бажана майже повністю автоматична сценарно-педагогічна організація навчального процесу.

#### **Технологія проектування програм сценарного типу. Визначення.**

Інтегрована технологія проектування програм сценарного типу, в тому числі засобів навчання, містить в собі:

- метод проектування на основі аналізу робочої діяльності;
- графічні специфікації окремих складових сценарної структури;
- виконання навігаційного процесу по сценарію структури;
- причинно-наслідкові зв'язки між параметрами та складовими моделі/моделей, імітаційні моделі;

- адаптований мультимедійний пакет, в якості конструктора з наступними можливостями:
  - мультимедійних вставок з бібліотеки компонент і графічних примітивів;
  - тиражуванням в мережі Internet;
  - функціонуванням додатку в середовищі пакету;
  - забезпечення комфортного часу відгуку на дії користувача.

Підсумовуючи вищевказане, візуальну технологію проектування засобів навчання сценарного типу можливо визначити як реалізацію сценарно-педагогічного методу в візуальному середовищі конструктора на основі сучасного інтегрованого мультимедійного пакету з дружнім інтерфейсом, який забезпечує розробку і використання графічного опису всіх складових систем на основі уніфікованих графічних нотацій, проблемно-орієнтованих блоків, мультимедійних вставок і широкого тиражування в мережі Internet.

## **1.6 Вимоги до методів та засобів конструювання комп'ютерних систем підготовки персоналу та тренажерів**

Виходячи з інформації викладеній в попередніх пунктах сформульовано вимоги до засобів конструювання комп'ютерних систем підготовки персоналу та тренажерів:

- Доступність використання спеціалістами галузі:
  - Простота освоєння;
  - Локалізація українською (російською) мовами.
- Візуальне конструювання;
- Графічна специфікація моделей функціонування;
- Інструменти для не алгоритмічної реалізації комп'ютерних систем підготовки персоналу;
- Багаторазове використання розроблених блоків;

- Побудова на основі існуючих технічних засобів, без необхідності додаткового придбання спеціальних швидкодіючих комп'ютерів;
- Використання сучасних мультимедійних можливостей;
- Мережеве виконання з використанням web-технологій:
  - Платформонезалежність;
  - Дистанційне використання.
- Можливість простого обміну розробленими навчальними матеріалами.

### **1.7 Висновки до Розділу**

1. В енергетиці України працює велика кількість персоналу, який потребує підготовки та періодичної підтримки кваліфікації.

Основні проблеми пов'язані з підготовкою персоналу в галузі:

- Недостатній рівень первинної підготовки кадрів;
- Значна плинність кадрів;
- Велика завантаженість інструкторського персоналу;
- Висока вартість розробки та використання комп'ютерних тренажерів та навчальних систем
- Недостатня увага приділяється підготовці оперативно-диспетчерського персоналу нижчих рівнів.

2. Комп'ютерні засоби підготовки персоналу показують свою ефективність та дозволяють покращити та пришвидшити підготовку персоналу.

3. В значній мірі вирішити зазначені проблеми зможе розробка та впровадження в галузі інструментального забезпечення інформаційних технологій для проектування та побудови комп'ютерних навчальних систем та тренажерів не програмуючими спеціалістами, в першу чергу експертами технологіями на самих об'єктах енергетики.

## РОЗДІЛ 2

У другому розділі представлено технологічний метод проектування та побудови тренажерів на основі опису діяльності оперативно-диспетчерського персоналу і метод конструювання навчально-тренувальних занять за допомогою адаптації відомих пакетів графічно-візуальної розробки додатків, який включає розробку бібліотек типових компонентів та моделей орієнтованих на енергетику.

### 2.1 Об'єктно-математичний метод конструювання моделей тренажерів

Згідно існуючих підходів [11] тренажер повинен складатися з моделюючого пристрою, робочих місць учня (-ів) та інструктора, допоміжних систем. Задача моделюючого пристрою відтворювати з необхідною точністю модель об'єкта із заданим масштабом часу. В більшості сучасних тренажерів це забезпечується математичною моделлю об'єкта і її комп'ютерною реалізацією. Будемо називати такий підхід **об'єктно-математичним**.

Об'єктно-математичний метод розробки моделей тренажерів, при якому основною складовою є багаторежимна математична модель об'єкта, є традиційним.

На рис. 2.1 представлена структурна схема об'єктно-математичного методу при створенні і використанні ТрЗ для тренажера:

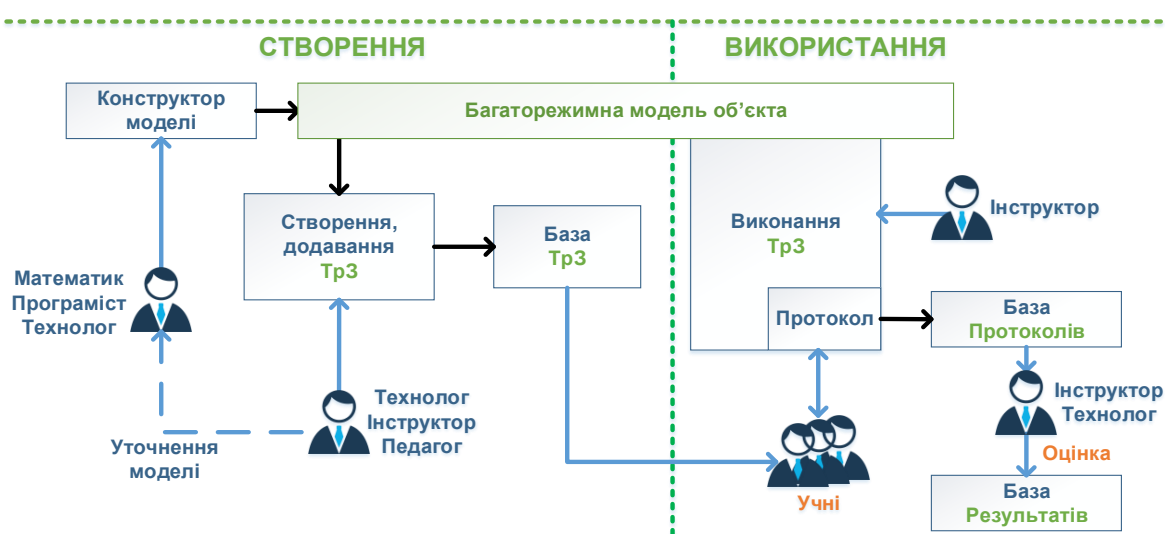


Рис. 2.1. Структурна схема об'єктно-математичного методу

Об'єктно-математичний метод конструювання має такі ознаки:

- наявність комп'ютерної моделі на основі математичного опису об'єкта;
- динамічна поведінка на різних сценах сценарію здійснюється від однієї загальної моделі;
- кожне ТрЗ для відображення режимів використовує одну комп'ютерну модель;
- модель об'єкта повинна забезпечити моделювання режиму для визначеної кількості ТрЗ;
- кожне ТрЗ створюється і виконується на основі однієї комп'ютерної моделі об'єкта.

Інформаційні технології побудови тренажерів, які використовувались раніше і на даний час, основані на розробці складних повномасштабних комп'ютерних моделей енергетичних об'єктів – мереж і енергоблоків. Моделі розробляються спеціалістами-програмістами разом з технологами та математиками.

Такі технології дуже дорогі і потребують великих зусиль всіх розробників для його реалізації зважаючи на наступне.

Реалізація повномасштабної моделі зазвичай потребує після її створення подальшої корекції програмістами на основі висновків технологів, тому що складно реалізувати в одній моделі всі режими запланованих та нових ТрЗ з необхідною точністю. Для розробки моделей використовуються мови програмування, складні спеціалізовані редактори з комп'ютерною реалізацією блоків математичного опису, що унеможлиблює залучення до процесу проектування спеціалістів галузі без допомоги висококваліфікованих спеціалістів по ІТ та математичним методам.

Виконання сценарію ТрЗ, поведінка динамічних елементів набору сцен, забезпечується комп'ютерною моделлю.

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 з списку тренажерних занять.

Засоби, які забезпечують комп'ютерну організацію навчального процесу, представляють собою сценарії з інтерфейсом, які визначаються з урахуванням психолого-педагогічних вимог до відображення реальних робочих місць персоналу.

## 2.2 Імітаційно-технологічний метод конструювання моделей тренажерів

Для розробки систем підготовки та моделей тренажерів розроблений і пропонується для використання, **імітаційно-технологічний метод**, який дає змогу розробляти тренажерні засоби безпосередньо за участю фахівців галузі, так як орієнтований на технічні знання фахівців.

Даний метод базується на попередніх розробках описаних в [23, 24, 25]. Описаний в роботах підхід успішно застосовувався для розробки тренажерних систем при впровадженні Регіональної галузевої системи підготовки персоналу при міністерстві енергетики в 1980-1990 рр. В той же час, представлений метод враховує сучасні технічні можливості.

На рис. 2.2 представлена структурна схема імітаційно-технологічна методу конструювання моделей тренажерів:

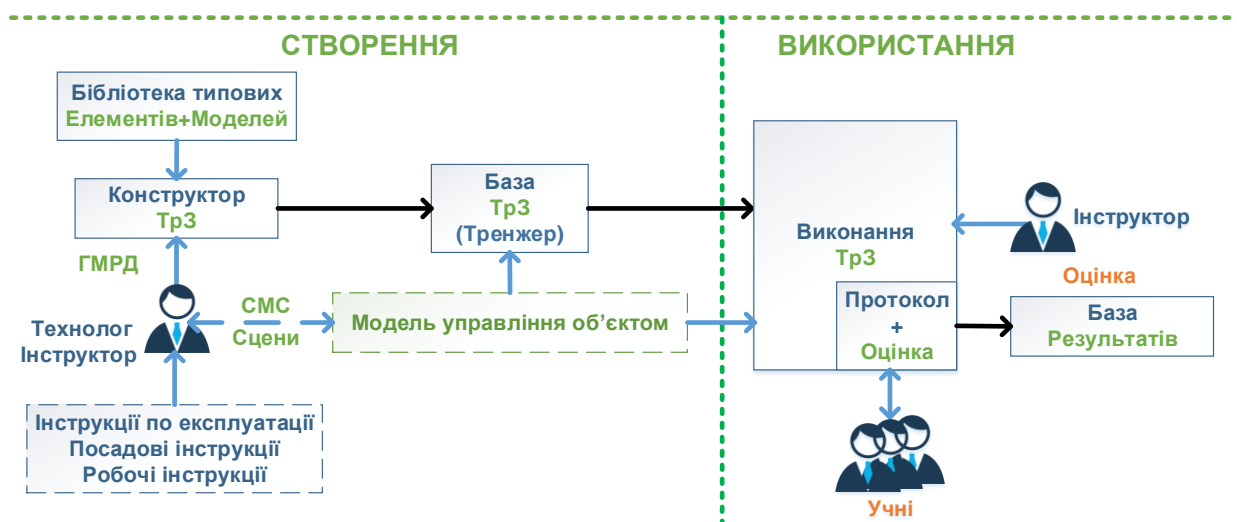


Рис. 2.2 Структурна схема імітаційно-технологічного методу

На відміну від об'єктно-математичного методу конструювання в основі імітаційно-технологічного лежить побудова моделей тренажерів виходячи із робочої діяльності персоналу для кожного робочого місця у відповідності із галузевою нормативно-технічною документацією (НТД).

Відштовхуючись від затверджених регламентом загальних вимог до організації роботи на енергетичних об'єктах, відповідно до посадових інструкцій фахівців, імітаційно-технологічний метод може бути визначений як шлях розробки сценарно-моделюючої структури (СМС) програмного додатку на основі робочої діяльності, яка визначена у документах з посадових інструкцій (ПІ).

На першому етапі визначається перелік персоналу (посад), які будуть проходити навчання на тренажері та формується перелік тренажерних занять, які повинні бути реалізовані.

Розробка моделей тренажерів, згідно запропонованого методу, в тому числі формування переліку тренажерних занять, базується на основі галузевої документації і технічної документації підприємства. До неї відносяться: посадові (ПІ) та робочі (РІ) інструкції, інструкції з експлуатації, типові бланки та програми перемикачів, інша нормативно-технічна документація. Під час формування переліку також береться до уваги досвід проведення операцій для конкретних посад, типові помилки персоналу, аварії та нещасні випадки, які мали місце, описи діяльності при аваріях, планових ремонтах, введені та виведені обладнання в ремонт. Формування набору тренажерних занять проводиться технологами, інструкторами.

Розробник (один або декілька галузевих спеціалістів) має пакет вихідної документації, регламентуючих документів, які притаманні енергетичній галузі, описаний вище, який регламентує діяльність спеціалістів по управлінню об'єктом, режими роботи обладнання та переліки та значення параметрів. Дана інформація є вихідною для створення навчальної системи чи тренажера.

Для кожного ТрЗ на основі цих документів визначаються початкові умови тренування, мета тренажерного завдання і порядок керування об'єктом для досягнення мети.

Для кожного спеціаліста, залученого до тренажерного заняття, з урахуванням вимог ПІ та інших НТД, розробляється опис робочого процесу з управління об'єктом в тій чи іншій ситуації, а на основі РП – детальний сценарій ТрЗ.

Для виконання РП здійснюється перехід до створення сценарно-моделюючої структури для кожного ТрЗ, тобто імітаційної моделі відображення реакції об'єкта на управляючі дії персоналу при робочій діяльності.

Для більшої наочності і легкості порозуміння між усіма учасниками проекту, а також легкого забезпечення в подальшому функціонування створеної СМС необхідна наявність графічної специфікації усіх складових розробки (планів дій, сценарно-моделюючої структури, інших).

Для кожного тренажерного завдання проектується локальна модель або набір моделей відображення діяльності з управління об'єктом в ситуаціях, які визначаються сценарієм ТрЗ, який включає навчально-педагогічне супроводження процесу навчання.

Базові принципи імітаційно-технологічного методу конструювання тренажерів та навчальних систем:

- шлях розробки:
  - від посадових та експлуатаційних інструкцій (ПІ/ЕІ);
  - через графічні моделі робочої діяльності (ГМРД);
  - до сценарно-моделюючих структур (СМС).
- замість математичної моделі об'єкта застосовується модель управління об'єктом у вигляді даних і формул;
- моделі управління об'єктом можуть бути розподілені між сценами;
- розробки супроводжуються графічними специфікаціями як сценарної складової, так і імітаційної частини;



- графічна специфікація типових бібліотечних блоків;
- наявність типових блоків реалізації автоматичного оцінювання навчальної діяльності.

Побудова засобів підготовки персоналу у вигляді сценарно-моделюючих структур з використанням імітаційно-технологічного методу містить в собі:

- розробку графічних моделей діяльності;
- формування сцен і системи навігації між сценами;
- побудову моделей сцен з окремих готових компонентів;
- можливість створення і корекції бібліотеки проблемно-орієнтованих компонентів (ПО-компонентів).

Технологічний ланцюг розробки тренажерного завдання можна представити в укрупненому вигляді як послідовність блоків формування деяких складових технології (рис. 2.3).

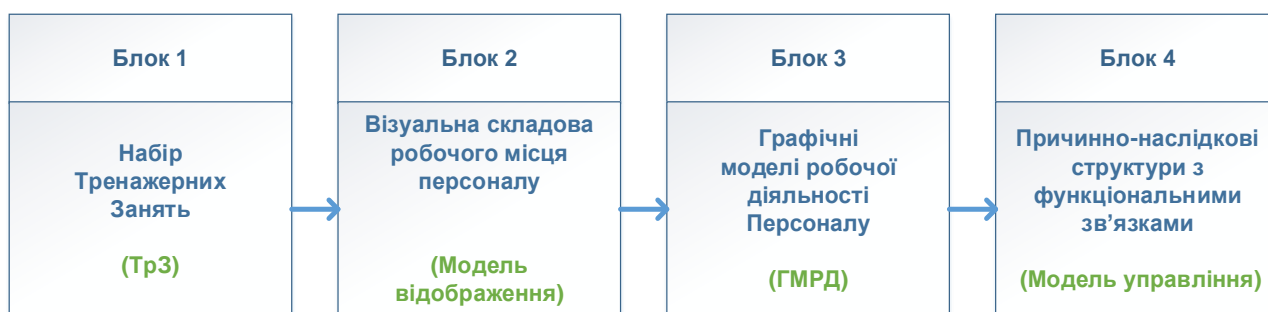


Рис. 2.3 Технологічний ланцюг розробки Tr3

При застосуванні імітаційно-технологічного методу за рахунок наявності графічних моделей діяльності з'являється можливість реалізувати процес автоматичного оцінювання навчальної діяльності, що в свою чергу дозволяє дистанційно використовувати екземпляри тренажера.

При імітаційно-технологічному методі тренажер розглядається як набір тренажерних занять.

#### **Вимоги до тренажерних занять.**

Тренажерне заняття повинно:

- мати мету і опис початкового стану;

- відповідати документам посадових інструкцій спеціалістів, які тренуються;
- забезпечувати відображення робочого місця персоналу, а саме:
  - загальну обстановку робочих зон діяльності спеціалістів;
  - подібність елементів управління і відображення інформації при виконанні діяльності;
- забезпечувати ефективну і допустиму діяльність, яка дозволяє досягнути мети ТрЗ;
- забезпечувати комфортний, або реальний час відгуку на дії спеціалістів по управлінню об'єктом;
- можливість оцінювати діяльність з врахуванням допустимого відхилення від ефективної діяльності;
- наявність педагогічного супроводження процесу тренування;
- можливість реагувати на критичні дії (помилки) учня.

### **Комп'ютерна підтримка методу.**

При реалізації методу і створенні інтегрованої технології проектування тренажерних систем на його основі необхідно забезпечити наступне.

Для реалізації сценаріїв:

- структурування навчального процесу, навчальних засобів, суб'єктів навчання, суб'єктів управління навчальним процесом;
- поетапну специфікацію графічного представлення сценарію;
- управління логікою сценарію по моделі інструктора і/або педагога для користувача;
- комфортний час відгуку на дії користувача при комп'ютерній реалізації;
- роботу з базою даних, яка враховує і підтримує структурування навчального середовища.

Для реалізації моделей управління об'єктом:

- специфікацію моделі управління об'єктом у вигляді блокової структури з бібліотечних типових і проблемно-орієнтованих блоків, пов'язаних причинно-наслідковими зв'язками;

- роботу динамічних моделей в заданому темпі часу;
- доступ користувача до моделі через сцени сценарію ТрЗ;
- виведення результатів моделювання на навчально-інформаційну модель відображення робочої обстановки;
- можливість доповнення сценарію ТрЗ моделлю оцінювання його виконання на основі оцінок ситуацій робочої діяльності, моделлю інструктора та педагога.

Для розробки графічних специфікацій необхідно обрати інструменти розробки, які забезпечать:

- опис робочого процесу (діяльності) розробника і супроводжуючий сценарій підтримки розробки;
- єдину мову, бажано графічну, взаємодії між усіма учасниками розробки проекту: розробниками, замовниками, технологами та іншими;
- широку стандартизацію, тобто максимальне використання загальноживаних і загальновідомих специфікацій.

### **2.3 Порівняння об'єктно-математичного та імітаційно-технологічного методів**

При переході від об'єктно-математичного підходу, використання якого потребує високопродуктивних засобів обчислювальної техніки, імітацію оперативних переговорів за допомогою інструктора, великих витрат для створення і використання моделі об'єкту та інше, до нового підходу з'являється можливість уникнути зазначених недоліків і реалізувати:

- використання звичайних, не спеціалізованих технічних засобів - офісних комп'ютерів;
- можливість автоматичного оцінювання виконання ТрЗ;
- сценарну імітацію оперативних переговорів;
- простоту додавання нових ТрЗ;
- можливість дистанційного використання тренажера.

В таблиці 2.1 наведено порівняння Об'єктно-математичного та Імітаційно-технологічного методів конструювання тренажерів:

Таблиця 2.1. Порівняння Об'єктно-математичного та Імітаційно-технологічного методів

	<b>Об'єктно-математичний</b>	<b>Імітаційно-технологічний</b>
<b>Використовувана модель</b>	Математична модель об'єкта	Модель управління об'єктом
<b>Модель будується по</b>	Технічній документації	Експлуатаційним інструкціям
<b>Розробники моделі</b>	Програмісти, математики	Технологи
<b>Складність розробки</b>	Висока складність розробки і відповідно вартість	Набагато менша складність розробки
<b>Складність підтримки</b>	Складна адаптація та модернізація	Простіша адаптація та модернізація
<b>Групові тренування</b>	Підтримуються. Відсутність учня імітує інструктор	Підтримуються. Сценарна імітація відсутніх учнів
<b>Імітація оперативних переговорів</b>	Імітація оперативних переговорів через інструктора	Сценарна імітація оперативних переговорів
<b>Модель оцінювання</b>	Складно реалізувати. Часто експертна оцінка по протоколу	Можливість автоматичного оцінювання
<b>Дистанційне використання</b>	Обмежене через відсутність автоматичного оцінювання	Можливе
<b>Технічні засоби (комп'ютери)</b>	Високопродуктивні, часто спеціалізовані комп'ютери	Офісні комп'ютери

#### 2.4 Бібліотека типових компонентів та моделей

Важливою умовою для конструювання фахівцями галузі тренажерних систем відповідно до імітаційно-технологічного методу, є розробка Бібліотеки типових компонентів та моделей з можливістю подальшого розширення і доопрацювання. В рамках написання дисертаційної роботи була розроблена Бібліотека типових компонентів та моделей структура, якої представлена на рис. 2.4.

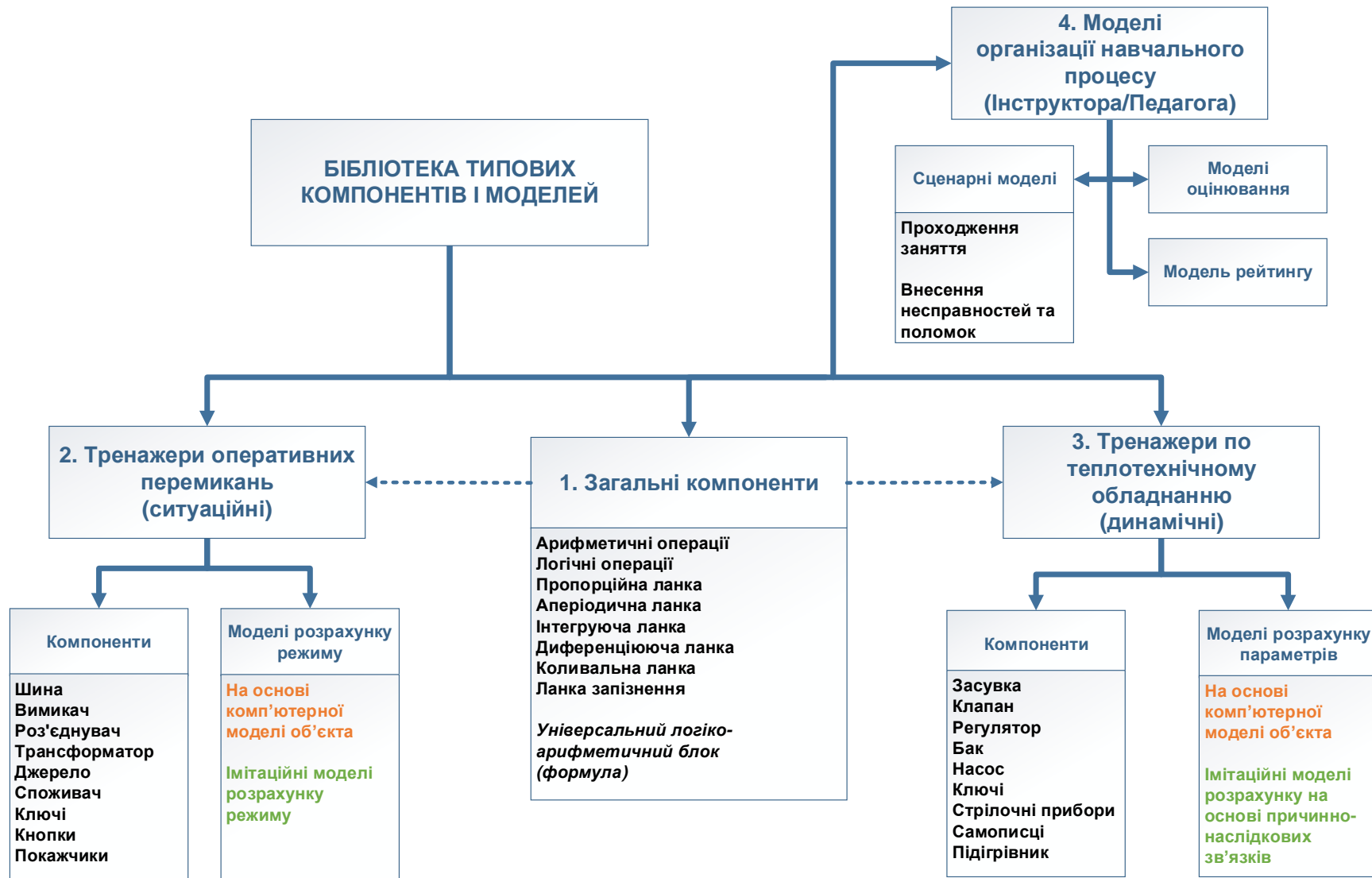


Рис. 2.4. Структура бібліотеки типових компонентів та моделей

В першу групу типових компонентів «Загальні компоненти» входять базові елементи: алгебраїчні та логічні операції, аперіодична, коливальна та ланка запізнення. Зазначені базові елементи використовуються для побудови більш складних структур, в тому числі, базові елементи використовуються для побудови внутрішніх моделей компонентів, загальних моделей об'єкта та моделей управління об'єктом.

Додатково в цей розділ Бібліотеки введений універсальний логіко-арифметичний блок. Такий блок отримує на вхід набір вхідних параметрів та на їхній основі розраховує одне вихідне значення. Структура логіко-арифметичного блока представлена на рис. 2.5:

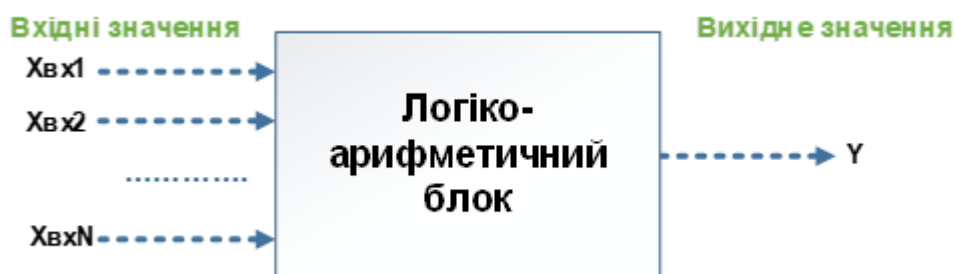
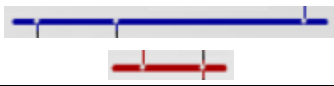
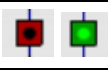
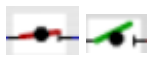
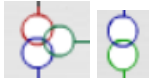

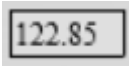
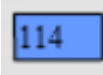


Рис. 2.5 Логіко-арифметичний блок

Так як на виході з блоку є тільки одне значення, розрахунок в середині блоку може бути представлений у вигляді однієї формули з використанням арифметичних та логічних операцій. Використання такого блоку дозволяє будувати нетипові причинно-наслідкові зв'язки, на основі яких автоматично можуть бути побудовані та розраховані імітаційно-технологічні моделі.

Побудова імітаційних моделей для тренажерних систем на основі логіко-арифметичних блоків (функціональних елементів) та ефективність використання таких моделей розглянуто в [25]. В другу групу входять компоненти необхідні для розробки тренажерів оперативних перемикань, сюди відносяться елементи наведені в таблиці 2.2:

Таблиця 2.2. Типові компоненти для тренажерів оперативних перемикачів

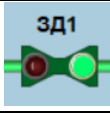
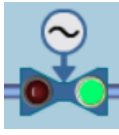
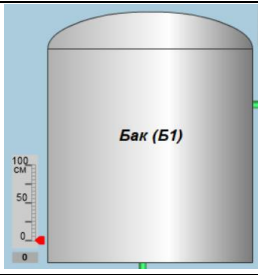
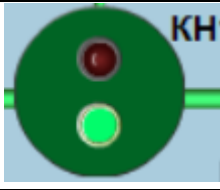


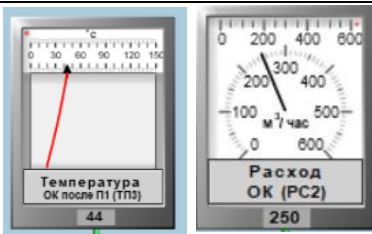
Графічне представлення	Опис
	Шина
	Вимикач
	Роз'єднувач
	Трансформатор
	Споживач
	Показники напруги
	Показники струму

Для графічного представлення компонентів використовуються загальноприйняті мнемонічні символи.

В тренажерах оперативних перемикачів використовується модель розрахунку режиму енергосистеми. Побудові таких моделей та методам розрахунку режимів присвячений Розділ 4.

В наступну групу увійшли компоненти та моделі необхідні для розробки локальних тренажерів тепломеханічного обладнання, приклади таких компонентів наведені в таблиці 2.3:

Таблиця 2.3. Типові компоненти для тренажерів тепломеханічного обладнання

Графічне представлення	Опис
	Засувка
	Регулятор
	Бак
	Насос
	Ключі
	Стрілочні прибори
	Самописець

Для цієї групи були використані графічні представлення у вигляді імітації зовнішнього вигляду обладнання, а не мнемонічних символів.

В окрему групу виділені моделі Інструктора/Педагога, які дозволяють автоматизувати оцінювання проходження тренажерного або навчального заняття. Представлені моделі можуть бути використані як в системах навчання



та контролю знань, таких як АСПЕКТ/АСКО, так і в тренажерах. Опису даних моделей присвячений Розділ 5 дисертаційної роботи.

Необхідно передбачити можливість розширення Бібліотеки типових елементів та моделей, як в частині модернізації існуючих, так і додавання нових необхідних елементарних блоків в існуючі групи силами авторів проектів, а також збільшення кількості груп для розробки навчальних та тренажерних систем для інших предметних областей.

## **2.5 Порядок конструювання тренажерного заняття на основі імітаційно-технологічного методу**

Загальний порядок робочого процесу виконуваного технологом-розробником по конструюванню тренажерного заняття з використанням імітаційно-технологічного методу за умови наявності розробленої бібліотеки типових компонент представлений далі (в кінці кожного пункту вказано тип та назву пропонованого в даний час інструментарію (популярних пакетів), який використовується).

1. Визначення мети та цілі тренажерного заняття (Текстовий редактор – Microsoft Word).
2. Формування текстового опису робочої діяльності на основі інструкцій по експлуатації, посадових інструкцій та інших нормативних документів (Текстовий редактор – Microsoft Word).
3. Розробка формального графічного представлення робочої діяльності у вигляді BPMN діаграм на основі текстового опису (Редактор BPMN діаграм – Bizagi Modeler).
4. Визначення переліків органів керування та показуючих приладів для тренажерного заняття (Текстовий редактор – Microsoft Word).
5. Формування початкових та кінцевих станів для досягнення цілі тренажерного заняття (Текстовий редактор – Microsoft Word).
6. Визначення допустимих умов, граничних режимів та можливих помилок (Текстовий редактор – Microsoft Word).

7. Розробка графічної обстановки для Учня – статичної графічної схеми на основі технологічних схем. (Графічний редактор – Adobe Flash).
8. Визначення та групування інформаційних вузлів імітаційної моделі управління об'єктом (Текстовий редактор – Microsoft Word).
9. Побудова причинно-наслідкових зв'язків імітаційної моделі (Редактор графічних структур – Microsoft Visio).
10. Аналіз бібліотеки типових компонентів на наявність необхідних елементів для розробки ТрЗ. При необхідності:
  - а. Збір вхідних даних для внутрішніх моделей та параметрів (Текстовий редактор – Microsoft Word).
  - б. Розширення бібліотеки типових компонентів (виконує автор проекту) (Середовище графічної розробки додатків – Adobe Flash, Unity).
11. Розробка тренажерного заняття на основі матеріалів підготовлених на попередніх кроках з використанням бібліотеки типових компонентів (Середовище графічної розробки додатків – Adobe Flash, Unity).
12. При необхідності, відлагодження імітаційної причинно-наслідкової моделі управління об'єктом. (Електронні таблиці – Microsoft Excel)
13. Комплексне відлагодження тренажерного заняття. (Середовище графічної розробки додатків – Adobe Flash, Unity).

### **Приклад використання імітаційно-технологічного методу для реалізації тренажерного заняття.**

Розглянемо використання імітаційно-технологічного методу для розробки комп'ютерних засобів навчання на прикладі розробки тренажерного заняття «Включення в роботу підігрівника». Одна сцена завершеного розробленого тренажерного заняття представлено на рис. 2.6:

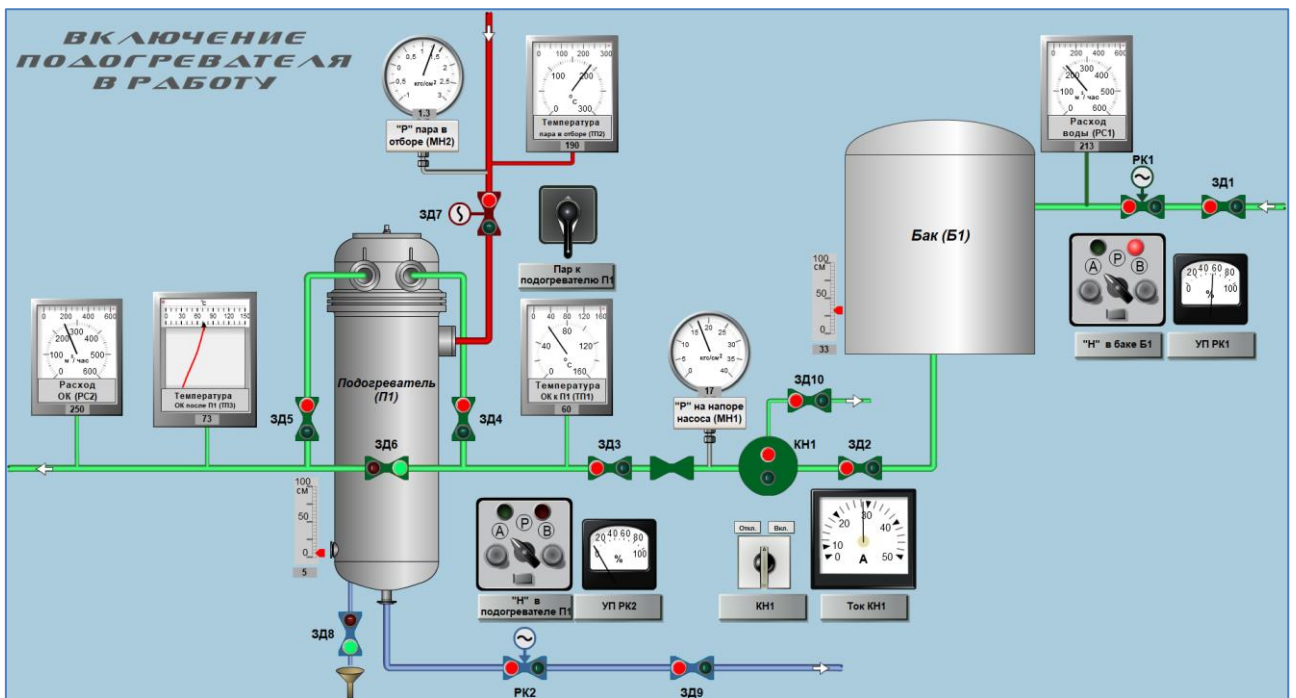


Рис. 2.6 Тренажерне заняття «Включення в роботу підігрівника».

На рис. 2.6 прикладі представлена ділянка технологічної схеми – об’єкт, що складається з бака Б1, конденсатного насоса КН1, поверхневого підігрівника П1 та допоміжного обладнання. Заповнення бака Б1 здійснюється з колектора через ручну засувку ЗД1 і регулюючий клапан РК1. Підігрів води в підігрівачі П1 здійснюється парою з нерегульованого відбору турбіни з тиском  $1,3 \text{ кгс/см}^2$  і температурою  $190 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Мета тренажерного заняття: отримати знання та навички, необхідні для виконання операцій з підготовки і включенню в роботу підігрівника по воді та гріючій парі з незаповненого стану у відповідності до вимог нормативної документації.

Виходячи з вимог посадової інструкції «Інженера по управлінню турбіною» – цільова посада, для якої розроблялося ТрЗ, інструкцій з експлуатації та технологічних схем відповідної ділянки обладнання було зроблено:

**1. Визначена ціль тренажерного заняття:** включити підігрівник П1 в роботу по воді та гріючій парі, виконавши всі підготовчі операції, та забезпечити виконання **кінцевих умов** (див. п 7).

2. Сформовано та уточнено **текстовий опис робочого процесу** (діяльності) персоналу по включенню підігрівника в роботу та змінах в режимі роботи обладнання. Приклад переліку пунктів текстового опису робочої діяльності:

1. Відкрити засувку ЗД1, засувка відкривається в 6 с.
2. Почнеться заповнення бака Б1, дочекається наповнення бака до рівня вище 10 см.
3. Перевести регулюючий клапан РК1 в автоматичний режим.
4. Закрити засувку ЗД3, засувка закривається в 12 с.
5. Закрити засувку ЗД10.
6. Відкрити засувку ЗД, почекати 2 с для заповнення насоса КН 1 водою.
7. Включити насос КН1 ключом управління, дочекається виходу насоса на нормальний режим роботи, струм АМ1 = 10 А.
8. Відкрити засувку ЗД3, засувка відкривається в 12 с. В процесі відкриття засувки одночасно з затримкою 2 с:
  - тиск Р на манометрі МН1 почне знижуватись до значення  $\sim 16$  кгс/см<sup>2</sup> (формула №5);
  - струм на АМ1 почне рости з 10 до 28 А (формула №6);
  - витрата на приладі РС2 почне рости до значення  $\sim 250$  м<sup>3</sup>/год;
  - температура на приладах ТП1 і ТП3  $\sim 70$  °С;
  - почне знижуватись рівень в баку по ШК1 (формула №8).

.....  
23. Відкриваємо засувку ЗД7 ключом КЛ3. При цьому починає:

- змінюватися температура за приладом ТП3 на виході води з підігрівника (формули 10-12). Температура змінюється від 70 °С до 93 °С за час повного відкриття засувки ЗД7 і протягом 5 с до значення 98 °С після повного її відкриття;
- рости рівень конденсату гріючої пари в підігрівнику за шкалою водомірного скла ШК2 (формула 7).
- Різниця показів температур води ТП3 і ТП1 буде складати 25 °С після повного відкриття засувки ЗД7.

24. Після вирівнювання значень параметрів підігрівник П1 введений в роботу по воді та гріючій парі, ціль, з урахуванням кінцевих, досягнута.

3. На основі текстового опису робочого процесу побудовано **графічний опис** – діаграма робочого процесу, по стандарту BPMN. Початкова частина діаграми робочого процесу представлена на рис. 2.7:

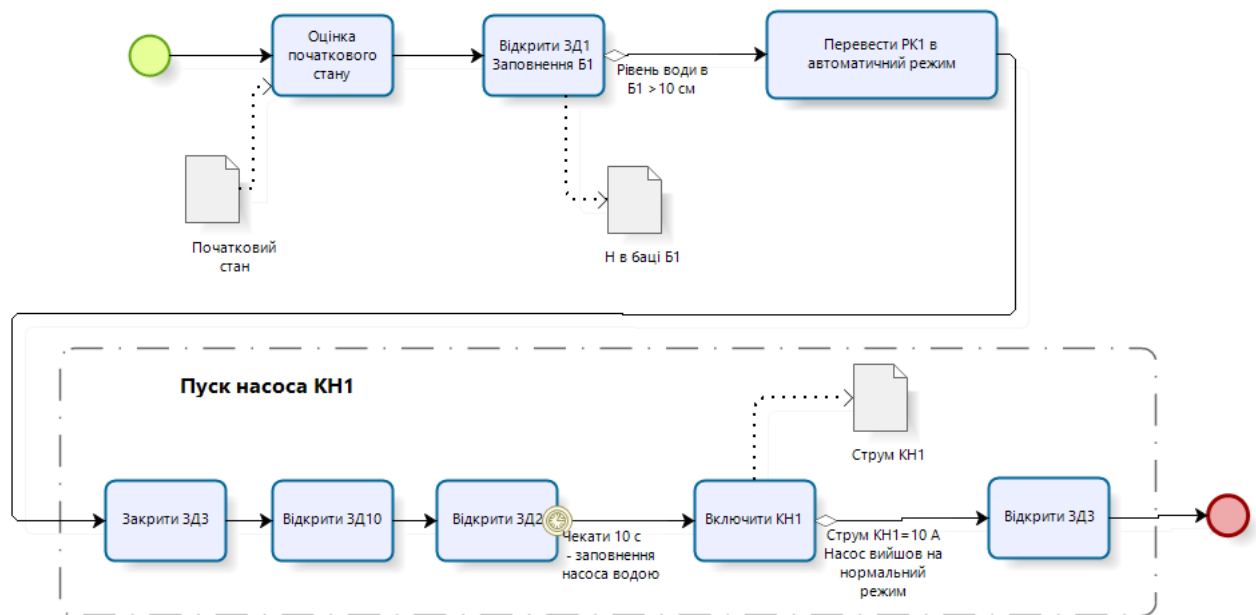


Рис. 2.7 Діаграма робочого процесу для Тр3

4. Визначено **перелік органів керування**, через які здійснюється управління об'єктом:

1. ЗД1 – ручна засувка на вхідному колекторі;
2. РК1 – регулюючий клапан перед баком Б1, керується блоком керування;
3. ЗД2 – ручна засувка перед насосом КН1;
4. ЗД10 – ручна засувка на лінії відсмокту повітря з насоса КН1;
5. ЗД3 – ручна засувка за насосом КН1;
6. ЗД6 – ручна засувка байпасу підігрівника П1;
7. ЗД4, ЗД5 – ручні засувки подачі води в підігрівник П1;
8. ЗД7 – електрифікована засувка подачі пару на підігрівник П1, керується ключем;
9. РК2 – регулюючий клапан зливу конденсату з підігрівника П1, керується блоком керування;
10. ЗД9 – ручна засувка зливу конденсату з підігрівника П1;
11. ЗД8 – ручна засувка на дренажі підігрівача П1;
12. КН1 – конденсатний насос, керується ключем.

**5. Визначено перелік показуючих приладів, на які виводиться інформація про параметри та режим роботи обладнання:**

1. РС1 – прилад, що показує витрату води на лінії заповнення бака Б1, шкала 0-600 м<sup>3</sup>/год;
2. УП1 – показник положення (% відкриття) регулюючого клапана РК1, шкала 0-100 %;
3. ШК1 – водомірне скло, що показує рівень води в баці Б1, шкала 0-100 см;
4. АМ1 – амперметр, що показує струм електродвигуна насоса КН1, шкала 0-50 А;
5. МН1 – манометр, що показує тиск на напорі насоса КН1 до зворотного клапана, шкала 0-40 кгс/см<sup>2</sup>;
6. ТП1 – прилад, що показує температуру води на вході в підігрівник П1, шкала 0-160 °С;
7. ТП2 – прилад, що показує температуру пари у відборі на вході в підігрівник П1, шкала 0-300 °С;
8. МН2 – манометр, що показує тиск пари у відборі на вході в підігрівник П1, шкала -1-3 кгс/см<sup>2</sup>;
9. ТП3 – самописець, що показує температуру води на виході з підігрівника П1, шкала 0-160 °С;
10. РС2 – прилад, що показує витрату води за підігрівником П1, 0-600 м<sup>3</sup>/год;
11. ШК2 – водомірне скло, що показує рівень конденсату гріючої пари в підігрівнику П1, шкала 0-100 см;
12. УП2 – показник положення (% відкриття) регулюючого клапана РК2, шкала 0-100 %.

**6. Сформульовані початкові умови ТрЗ:**

1. ЗД1, РК1, ЗД2, ЗД10, ЗД4, ЗД5, ЗД7, РК2, ЗД9 – закриті;
2. ЗД3, ЗД6, ЗД8 – відкриті;
3. КН1 – виключений;
4. Значення на приладах: РС1 – 0; УП1 – 0; ШК1 – 0; АМ1 – 0; МН1 – 0; ТП1 – 0; ТП3 – 0; РС2 – 0; МН2 – 1,3; ТП2 – 190; ШК2 – 0; УП2 – 0.

**7. Сформульовані кінцеві умови ТрЗ, при досягненні цілі:**

1. Засувки ЗД6, ЗД8 – закриті;
2. Засувки ЗД1, ЗД2, ЗД10, ЗД3, ЗД4, ЗД5, ЗД7, ЗД9 – відкриті;
3. Насос КН1 – включений, покази на АМ1 > 10 А;

4. Регулюючі клапани РК1, РК2 в автоматичному режимі, положення «А»;
5. Розхід по показуючим приладам РС1, РС2 рівний;
6. Температура по показуючим приладам ТП3 та ТП1 відрізняються на 25 °С.

**8.** Визначені **допустимі умови діяльності**, граничні режими роботи обладнання та можливі помилки персоналу, наприклад:

1. Перелив бака Б1 – заповнення вище 100 см;
2. Подача пари в підігрівник П1 з незаповненою водою трубною системою – пошкодження обладнання;
3. Включення насоса КН1 на відкриту засувку ЗД3 – перевантаження та поломка насоса.

**9.** Визначено **перелік** та виконано групування **інформаційних вузлів моделі** для формування причинно-наслідкових зв'язків, на основі аналізу впливу органів керування (п.4) на показуючі прилади (п.5). Кожному вузлу присвоєно унікальне ім'я:

*Контур води:*

1. Розхід води з колектора – **В\_РС0**.
2. Розхід води через засувку ЗД1 – **ЗД1\_В\_РС**.
3. Розхід води через регулюючий клапан РК1 – **РК1\_В\_РС**.
4. Розхід води за РС1 – **В\_РС1**.
5. Рівень води в баці Б1 – **Б1\_В\_РВ**.
6. Включення насоса КН1 – **КН1\_ВКЛ**.
7. Забір води з бака Б1 – **Б1\_В\_ЗБ**.
8. Розхід води через засувку ЗД2 – **ЗД2\_В\_РС**.
9. Розхід води через засувку ЗД3 – **ЗД3\_В\_РС**.
10. Розхід води через засувку ЗД4 – **ЗД4\_В\_РС**.
11. Розхід води через засувку ЗД5 – **ЗД5\_В\_РС**.
12. Розхід води через підігрівник П1 – **П1\_В\_РС**.
13. Розхід води через засувку ЗД6 – **ЗД6\_В\_РС**.
14. Розхід води за РС2 – **В\_РС2**.

*Контур пара:*

15. Вхід пара з нерегульованого відбору – **П\_РС0**.
16. Розхід пара через засувку ЗД7 – **ЗД7\_П\_РС**.
17. Розхід пара в підігрівнику П1 – **П1\_П\_РС**.
18. Рівень конденсата в підігрівнику П1 – **П1\_К\_РВ**.

- 19. Забір конденсата з підігрівника П1– П1\_К\_ЗБ.
- 20. Розхід конденсата через регулюючий клапан РК2 – РК2\_К\_РС.
- 21. Розхід конденсата через засувку ЗД9 – ЗД9\_К\_РС.

*Теплопередача в підігрівнику П1:*

- 22. Розхід води через підігрівник П1– П1\_В\_РС.
- 23. Температура води на вході в підігрівник П1 – П1\_В\_Т1.
- 24. Розхід пари через підігрівник П1 – П1\_П\_РС.
- 25. Температура пари на вході в підігрівник П1– П1\_П\_Т.
- 26. Рівень конденсата в підігрівнику П1 – П1\_К\_РВ.
- 27. Температура води на виході з підігрівника П1– П1\_В\_Т2.

**10.** Визначено та зображено **причинно-наслідкові зв'язки між параметрами** тренажерного заняття. Схема причинно-наслідкових зв'язків для Тр3 представлена на рис. 2.8.

**11.** Зібрані **вхідні дані** для визначення **взаємозв'язків між параметрами** та окремими одиницями обладнання для розробки імітаційних моделей. Вхідні дані для розробки моделей можуть бути представлені в різних виглядах:

- Формульному представлені. Наприклад залежність потужності насоса  $N$  (кВт), від витрати води  $Q$  (м<sup>3</sup>/год) представлено формулою 2.1, в діапазоні  $Q$  від 0 до 380 м<sup>3</sup>/год.

$$N = 0,4Q + 80 \quad (2.1)$$

- У вигляді графіка функції. На рис.2.9 зображено графік залежності розходу води через ручну засувку від положення засувки:

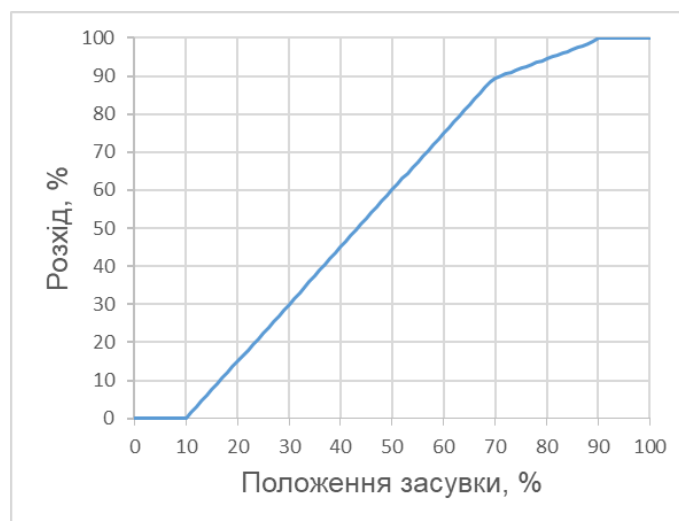


Рис. 2.9. Графік розходу води через засувку.



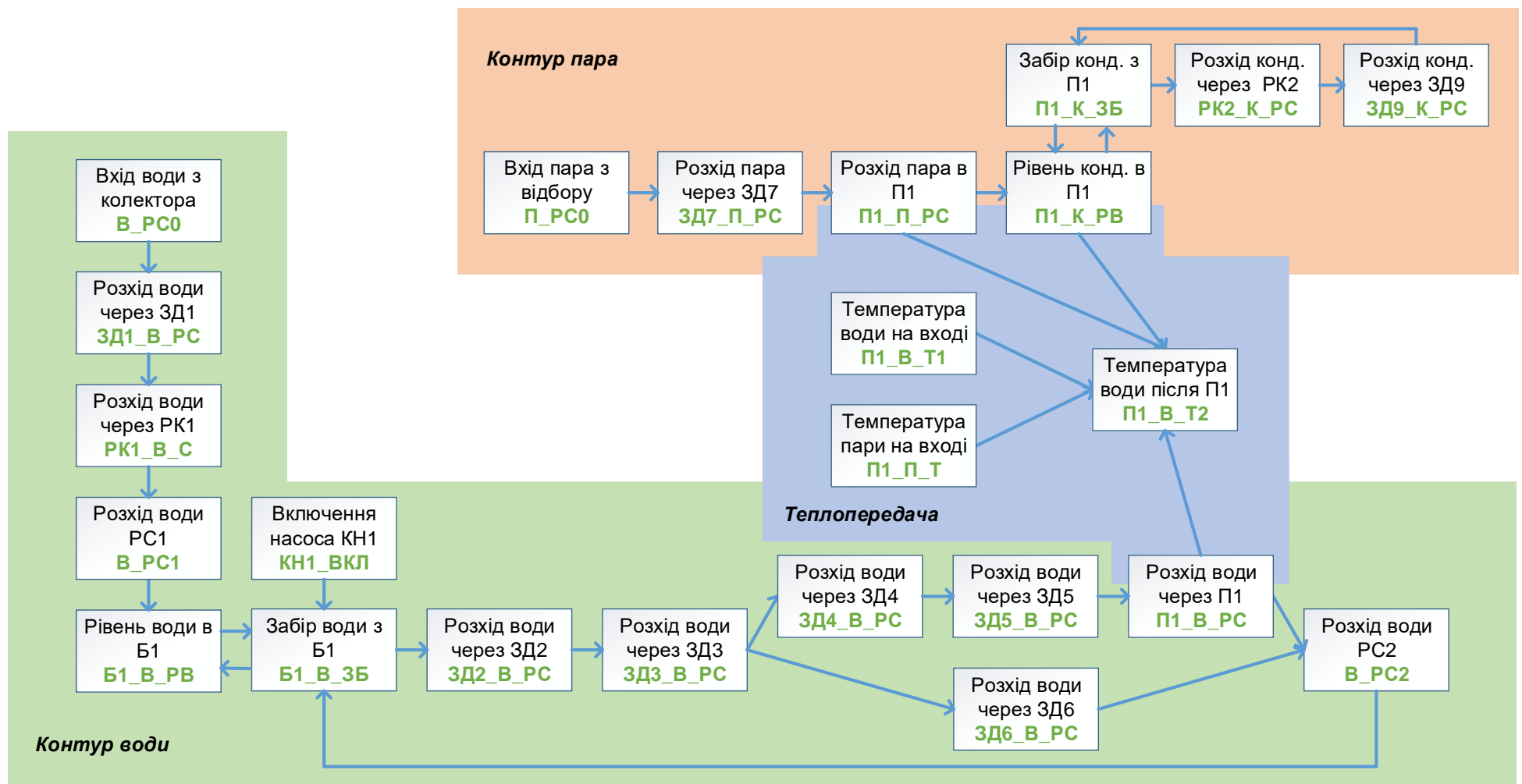


Рис. 2.8 Схема причинно-наслідкових зв'язків для моделі тренажерного заняття «Включення в роботу підігрівника».

- В вигляді таблиці з набором значень. В табл. 2.4 представлено дані по рівню води по водомірного склу та заповненню баку в м3:

Табл.2.4 Рівень води по водомірного склу та заповнення баку

Рівень, см	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120	150
Об'єм води, м <sup>3</sup>	0,50	1,10	1,65	1,95	2,10	2,30	2,45	3,15	3,90	4,45	5,05	6,00	7,00

**12.** Визначені або розроблені **імітаційні моделі** для взаємозв'язків параметрів та окремих одиниць обладнання. Всі імітаційні моделі описані на попередньому кроці, які представлені не у вигляді формул, приведені до формульного вигляду. Для кожної імітаційної моделі визначено формулу або набір формул. Для прикладу, залежність розходу води через ручну засувку від положення засувки зображену у вигляді графіка кусково-лінійної функції (рис.2.9) представлено формулою (2.2):

$$\begin{aligned}
 P = & 1,5*(ПЗ-15)*(ПЗ>10)*(ПЗ\leq 70) + \\
 & + 0,5*(ПЗ+55)*(ПЗ>70)*(ПЗ\leq 90) + \\
 & + 100*(ПЗ>90),
 \end{aligned}
 \tag{2.2}$$

де P – розхід води через засувку, %;

ПЗ – положення засувки, %.

Приклад №2. Рівень води в баці Б1– Б1\_В\_РВ на кожному кроці розрахунку моделі реалізується набором формул (2.3, 2.4):

$$B1\_V\_РВ = (B1\_V\_РВ + V\_PC1 - B1\_V\_ЗБ)
 \tag{2.3}$$

$$B1\_V\_РВ = B1\_V\_РВ * (B1\_V\_РВ > 0),
 \tag{2.4}$$

де B1\_В\_РВ – рівень води в баці Б1;

V\_PC1 – розхід води, яка поступає у бак Б1;

B1\_В\_ЗБ – забір води з баку Б1.

**13.** На основі визначених формул на попередньому кроці та причинно-наслідкових зв'язків представлених на рис. 2.9 розроблена **імітаційна модель об'єкта управління** для тренажерного заняття.

**14.** Проведено перевірку та **відлагодження** зібраної моделі в електронних таблицях Microsoft Excel. Питання використання електронних таблиць для побудови прикладних структур для формульного розрахунку та причинно-наслідкового моделювання розглянуто в [14].

**15.** На основі технологічних схем та опису робочої діяльності розроблена **сцена графічної обстановки** для учня.

**16.** В середовищі графічної розробки Adobe Flash створене **тренажерне заняття**. Для кожного елемента та параметра використанні компоненти із Бібліотеки типових компонентів та моделей. В разі відсутності необхідного компонента такий був розроблений програмістом.

Побудова додатків з використанням середовища графічної розробки розглянута в п.2.6.

## **2.6 Побудова тренажерних занять з використанням графічних редакторів додатків**

Побудова тренажерів та сценарних навчальних програмних можлива з використанням графічних редакторів додатків. До таких програмних продуктів відносяться, для прикладу, Unity та Adobe Flash Professional. Програмні середовища такого типу дозволяють створювати додатки за допомогою вбудованих редакторів без необхідності прямого програмування.

Значні можливості для побудови мультимедійних додатків забезпечує пакет Adobe Flash Professional фірми Adobe.

Реалізація додатків в середовищі Flash здійснюється в середовищі самого пакету за допомогою вбудованого програвача.

Багато в чому ефективність використання технології Flash полягає в розширених можливостях роботи з шарами при редагуванні графічного контенту: накладенні шарів один на одного, зміні рівня їх прозорості і таке інше. Шари можна зробити закритими для редагування і перегляду, переглядати вміст кожного шару або усіх шарів одночасно. Для управління шарами використовується набір опцій пакету і Часова Шкала (ЧШ).

Основні характеристики Flash: мова інтерфейсу – російська, формат малюнків – растровий і векторний, присутня можливість реалізації ієрархічних структур, можливість поєднання реального виду сцени, графічної специфікації

навігаційної структури і реалізації процесу навігації по структурі сценарію додатка, наявність російськомовної допомоги.

Одними із недоліків технології Flash є те, що вона не була розрахована для класу споживачів, які представляють собою експлуатаційний персонал енергопідприємств, не була орієнтована на створення тренажерних систем (наявність розробок даної тематики або систем-прототипів відсутні), а також не використовувалась для побудови графічних моделей означеного класу об'єктів.

Але ці недоліки можливо подолати шляхом використання в якості графічних елементів нотації існуючі стандарти UML або BPMN, розробки необхідних проблемно-орієнтованих компонент і детальної технології проектування і адаптації додатків силами спеціалістів галузі за допомогою стандартних функцій і меню користувача пакету Adobe Flash.

Реалізація додатків в середовищі пакету Flash здійснюється за допомогою програвача (двигуна), за рахунок використання ЧШ (часової шкали) пакету і переходів між її кадрами.

Розробка тренажерного заняття в середовищі Flash включає: графічну специфікацію всіх складових структури, реалізацію навігаційного процесу по структурі сценарію і реалізацію імітаційних моделей причинно-наслідкових зв'язків між вузлами структури.

Графічне відображення окремих елементів структури сценарію в пакеті Flash можливо розробити за допомогою панелі Інструментів (табл.2.4), або шляхом імпортування окремих елементів в Бібліотеку елементів.

У випадку Тренажерів оперативних перемикачів, для графічної моделі навігаційного процесу графічна модель будь-якого підсценарію (ПСц) складається з графічних моделей сцен, переходів і підсценаріїв. Сцена в графічній моделі може бути представлена як стандартна нотація елементу мови UML – діаграми «станів», а навігаційний перехід як елемент «перехід» цього типу діаграм, які занесені у Бібліотеку елементів [26]. Назва сцени (Сц) вказана на елементі, а ім'я навігаційної кнопки (Кн), при натисненні на яку відбувається перехід за заданим сценарієм – на елементі «перехід».

Таблиця 2.4

Стереотип	Стандартний символ	Опис стереотипу	Графічне представлення
Сцена	Стан	Визначає одну сцену, з якою взаємодіє користувач	
Підсценарій	Складений стан	Визначає набір сцен, пов'язаний переходами	
Перехід	Перехід	Визначає перехід з однієї сцени на другу	
Точка входу	Початковий стан	Визначає точку входу в підсценарій	

В середовищі стандартного пакету Flash реалізовані елементи типу «кнопка». Але для реалізації процесу навігації по сценарію енергетичної структури розроблені авторські кнопки, більш відповідні до елементів керування на енергетичних об'єктах і звичні для користувача.

Графічна модель авторської кнопки це піктограма пакету Flash, а обробник натискання кнопки, розроблений на мові Action Script, однаковий для всіх кнопок цього типу і не потребує корекції при зміні властивостей кнопки. Перехід від однієї сцени до іншої по діям користувача, тобто реалізація процесу навігації по сценарній структурі, здійснюються програвачем пакету за рахунок використання кадрів Часової шкали – одиниць стану на Часовій шкалі, сформованих на основі графічних моделей і забезпечується за допомогою надання сценам і кнопкам певних унікальних імен [27].

Імітаційні моделі вузлів (наприклад, модель комутаційної структури – КС) підстанції можуть бути розроблені і використовуватись в пакеті, як проблемно-орієнтовані блоки.

При розробці моделей комутаційних структур підстанцій важливим є питання досягнення комфортного часу відгуку на дії користувача при натисненні на елементи управління. Час відгуку залежить від часу обчислення моделі, тому для його скорочення модернізовані методи розрахунку напруг і

струмів у вузлах типової комутаційної структури. Детально методи описані і проаналізовані в [28, 29].

Аналізуючи властивості пакету Flash можливо зробити такі зауваження. Враховуючи, що інтерфейс пакету Adobe Flash Professional відносно легкий для освоєння розробниками і зручний для використання, доцільно і економічно обґрунтовано його використання в якості конструктора тренажерів.

Для створення технології проектування для фахівців галузі без допомоги програмістів ефективно розробити невелику структуру з набором типових елементів і завантажувати її до початку проектування нового додатку або корекції існуючого.

Ця структура містить графічну специфікацію типового додатку сценарного типу, структурованого на сцени і підсценарії, з мінімальним набором графічних специфікацій елементів і програмою обробки додатково створених і введених проблемно-орієнтованих елементів (наприклад, навігаційних кнопок), і реалізується програвачем пакету Flash.

Така організація дає змогу працівникам галузі розробляти додатки шляхом простого копіювання і корегування елементів. При проектуванні нового додатку розробник, фахівець галузі, тільки змінює на Часовій шкалі пакету кількість елементів структури і їх властивості. Програвач пакету виконує управління процесом навігації по додатку та управління функціонуванням моделей вузлів.

Таким чином, розробник при проектуванні чи адаптації додатку до нового об'єкта виступає тільки в якості наповнювача контенту та дизайнера і не потребує допомоги програмістів.

Була розроблена детальна технологія побудови навігаційної структури в середовищі пакету Flash.

Пропонується наступний порядок проектування навігаційної структури додатку в середовищі Flash:

- структуризація додатка;
- завантаження шаблону;

- формування графічної моделі додатку на основі елементів шаблону додатку, їх видалення або змінення вигляду і місця знаходження;
- формування ЧШ рівня монтажного кадру сценаріїв графічної моделі і всіх елементів додатку;
- модернізація властивостей елементів ЧШ;
- тестування додатку;
- запуск додатку і його збереження.

В якості прикладу на рис.2.11 наведена Часова шкала (ЧШ) сцени, на якій розташовані три кнопки для переходів по структурі, а на рис.2.12 – навігаційна структура по сценарію підсистеми Учень системи навчання і контролю знань.

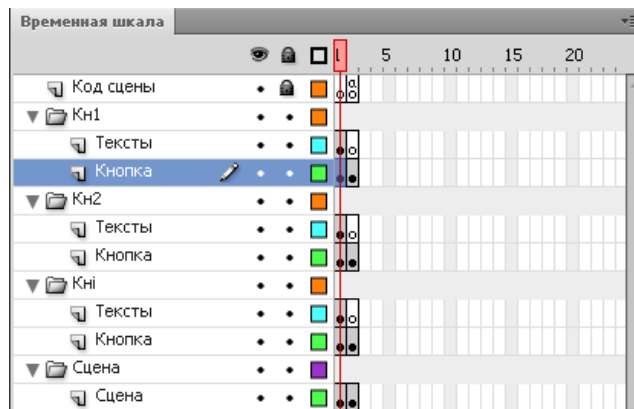


Рис.2.11 Часова шкала символів сцени

На рис. 2.11 на перших кадрах ЧШ (залежно від вибраного рівня) розміщені елементи символів сцени: власне сцени – рівень Сцена, переходів – рівні Кнопка і рівні Тексти, а на інших кадрах – реальні елементи сцен і навігаційних кнопок на сценах.

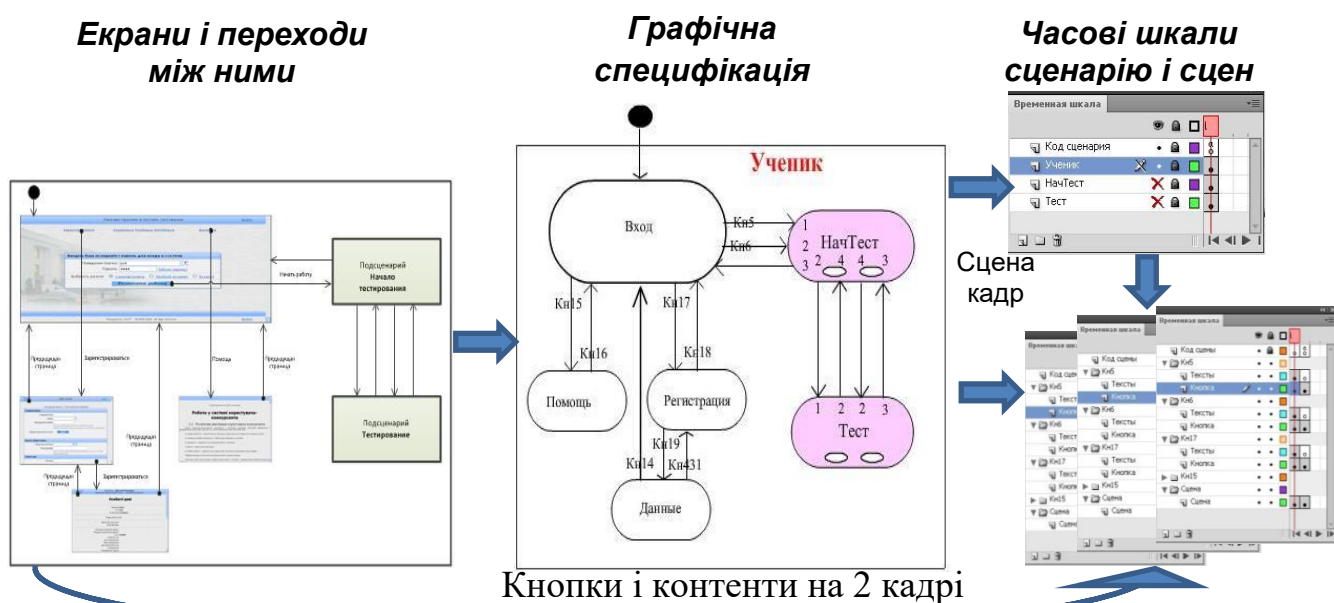


Рис.2.12. Навігаційна структура сценарію

## 2.7 Висновки до Розділу

1. Традиційно для конструювання комп'ютерних тренажерів використовується об'єктно-математичний метод, в основі якого лежить розробка комп'ютерної моделі об'єкту. Конструювання тренажерів таким методом потребує значних фінансових та часових затрат на розробку, до розробки залучається велика кількість висококваліфікованих спеціалістів: математиків, програмістів, технологів. Розроблені комп'ютерної моделі часто є надлишковими для цілей навчання.

2. Представлений імітаційно-технологічний метод конструювання тренажерних занять, в якому основою для побудови є опис процесу робочої діяльності оперативно-диспетчерського персоналу, що формується виходячи з посадових інструкцій та іншої нормативно-технічної документації. Для тренажерного заняття розробляється модель управління об'єктом, а не математична модель об'єкта.

3. Проведено порівняння об'єктно-математичного та імітаційно-технологічного методів конструювання тренажерних занять. Імітаційно-технологічний метод має такі основні переваги:



- менша складність та ресурсоемність розробки;
- доступність конструювання ТрЗ спеціалістами галузі без залучення програмістів;
- можливість використання в якості технічних засобів для проходження ТрЗ звичайних офісних, а не спеціалізованих комп'ютерів.

4. Запропоновано робочий процес конструювання тренажерного заняття у відповідності до імітаційно-технологічного методу, який проілюстровано на прикладі конструювання моделі для ТрЗ «Введення підігрівника в роботу», що підтверджує можливість конструювання ТрЗ із застосуванням імітаційно-технологічного методу. Запропоновано структуру Бібліотеки типових компонентів та моделей для конструювання комп'ютерних тренажерів. Описано технологію побудови тренажерів та сценарних програм з використанням графічних редакторів додатків, на прикладі пакету Adobe Flash.

## РОЗДІЛ 3

У третьому розділі запропоновано і описано реалізацію графічного представлення діяльності персоналу на основі адаптації стандарту опису бізнес процесів BPMN для створення сценаріїв тренажерних занять. Також запропоновано поєднати графічну специфікацію компонентів сценарію тренажерного заняття і власне компонентів предметного середовища, які відображаються на кожній сцені.

### **3.1 Методи представлення діяльності, сценаріїв, тренажерних занять, моделей для галузевих спеціалістів**

Однією із складових частин імітаційно-технологічного методу побудови навчальних систем та тренажерів є графічне відображення діяльності персоналу, яке є відправною точкою для розробки тренажерних занять. Розглянемо можливі методи і підходи до розробки графічних моделей діяльності.

При розробці графічних моделей потрібно враховувати наступні вимоги:

- бажаність вибору стандартизованої системи графічних елементів;
- легке розуміння їх використання усіма учасниками проекту (замовниками, розробниками, користувачами додатку);
- простота освоєння учасниками проекту;
- ієрархічність побудови графічної моделі;
- наявність простих редакторів для розробки моделей.

Були розглянуті такі мови та технології представлення діяльності персоналу та сценаріїв тренажерних занять:

- текстове і табличне представлення, з використанням прийнятих в галузі графічного опису об'єктів управління: мнемосхеми, «картинне» зображення пультів і щитів, органів управління та інші;
- формульно-текстове представлення;

- мови блок-схем;
- системи IDEF0 і IDEF3;
- UML;
- BPMN.

Під час розгляду мов та стандартів графічного опису були визначені недоліки, які ускладнюють їх використання для опису робочої діяльності з ціллю побудови тренажерних занять.

Текстове і табличне представлення та використання галузевих графічних описів не стандартизовані в повній мірі. Питанню створення набору графічних символів для формального опису процесу управління та представлення тренажерних занять присвячена робота [23].

Мова блок-схем, яка успішно використовується багато років, починаючи з другої половини минулого століття, орієнтована на опис структур та функціонування програмного забезпечення, і не надає можливості описувати взаємодію та спілкування декількох учасників тренажерного завдання різного рівня керування енергетичним об'єктом [30, 31, 32].

Методології сімейства систем IDEF не дають змогу моделювати діяльність персоналу в ситуації так званого time-out, тобто коли з'являється затримка процесу на певний час, або до появи відповідної дії користувача. Також, розробка та розвиток IDEF на даний момент припинена [33, 34, 35].

Існують інші системи індустріального призначення, наприклад система ARIS і її мова, але такі системи є складними і поріг входження у використання таких технологій є достатньо високим, через об'ємність методології, великий масив графічних нотацій і правил їх використання, що не дозволяє легко проектувати графічні моделі, і не може бути використана масово.

### 3.2 Використання UML

Для розробки графічних моделей тренажерних занять на початковому етапі досліджень були обрані графічні елементи і методи мови UML (Unified Modeling Language) – мови візуального моделювання, яка призначена для специфікації, візуалізації і документування систем і бізнес-процесів під час їх проектування [36, 37].

Важливі переваги мови UML:

- широка стандартизація мови програмування, як її термінології, так і самих операцій і методів;
- повне документування програм, що дає змогу в разі потреби змінювати їх розробника без значних зусиль і втрати якості продукту;
- наявність єдиної мови спілкування між розробниками, замовниками, системними аналітиками та іншими учасниками розробки проекту.

Зі складу можливих специфікацій мови UML для проектування тренажерних занять та додатків була обрана невелика кількість графічних нотацій, достатньої для здійснення повного опису додатків даного типу.

UML – це мова візуального моделювання, яка призначена для специфікації, візуалізації і документування систем і бізнес-процесів під час їх проектування і розробки. UML відноситься до CASE-концепції автоматизованої розробки програмного забезпечення [27].

У рамках мови UML усі уявлення про модель складної системи фіксуються у вигляді спеціальних графічних конструкцій, що отримали назву діаграм. Один з типів діаграм – діаграми поведінки (Behavior Diagram). Далі для побудови графічних моделей структур, які розглядаються будемо використовувати уніфіковані і стандартизовані графічні нотації діаграм поведінки мови UML.

Основні принципи технології побудови графічних моделей додатків сценарного типу:

- графічна модель – це графічне представлення сценарно-імітаційної

структури (вузлів сценарію і переходів між ними);

- ієрархічність представлення графічної моделі сценарію;
- побудова графічної структури на базі графічних нотацій стандартних елементів.

На етапі швидкого розвитку інформаційних технологій процес створення графічних моделей немислимий без його автоматизації, тому дуже важливим є питання вибору найбільш ефективного і зручного для користувача автоматизованого пакету, адаптованого під вітчизняне мовне середовище.

В процесі досліджень були, як приклад, розглянуті і проаналізовані сучасні пакети візуального проектування, такі як BPWin, Enterprise Architect, Microsoft Visio, Authorware, Adobe Flash, в яких є можливість використання графічних нотацій мови UML.

Пакети дають можливість створити графічні моделі всіх складових систем навчання як сценарно-педагогічних систем – загальних структур систем, сценаріїв тренажерних занять та інше.

Побудова графічних моделей складових систем навчання сценарного типу в пакетах BPWin, Enterprise Architect, Microsoft Visio, Authorware, Adobe Flash детально розглянута в [27, 39, 40].

Були детально розглянуті інтегровані графічні пакети, а саме: Enterprise Architect, Borland Together Designer, Visio. Виявлені їх недоліки і переваги на основі експериментів по побудові графічних моделей усіх складових необхідних для побудови комп'ютерних засобів навчання: діаграм варіантів використання тренажеру оперативних переключень на підстанції; специфікацій індивідуальної і групової діяльності працівників при аварійних вимкненнях обладнання на підстанції; моделі підсистеми Учень для системи навчання і контролю знань, і проведений порівняльний аналіз пакетів.

Зазначені графічні пакети в тій чи іншій мірі придатні до застосування для створення графічних моделей. Але вони мають ряд суттєвих недоліків, зокрема не є придатними для реалізації у своєму середовищі функціонування

додатку в цілому і процесу навігації по сценарній структурі зокрема, функціонують з обмеженим колом графічних форматів, не використовують мультимедійні вставки та інше. Реалізація функціонування додатку здійснюється за допомогою програмних кодів, які створюються кваліфікованими фахівцями-програмістами в вигляді .dll-файлів.

В якості прикладу, на рис. 3.1 представлена діаграма Варіантів використання тренажеру підстанції.

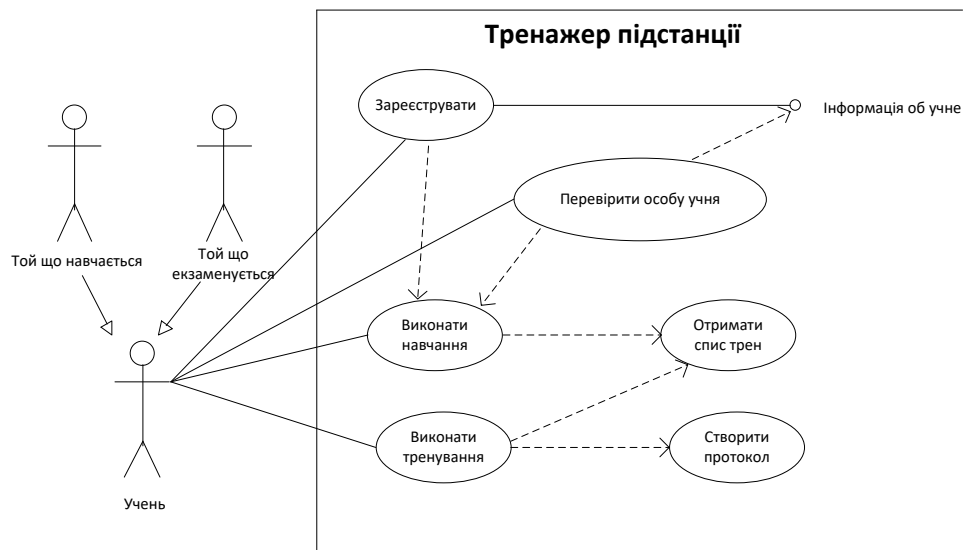


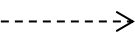




Рис. 3.1 Діаграма варіантів використання

Далі представлені графічні елементи, які використані в діаграмі, і відношення між ними:

-  – варіант використання (use case);
-  – актор (actor) по замовчанню;
-  – використання;
-  – інтерфейс;
-  – асоціація.

В якості суб'єктів використання виступає Учень.

Кожний варіант використання для Учня – це закінчений фрагмент поведінки системи (з точки зору Учня). На рис.3.1 між Учнями і варіантами використання застосоване відношення ненаправленої асоціації для позначення взаємодії між ними.

Відношення використання задає той факт, що якийсь варіант використання вміщує в собі поведінку, яка визначається в іншому варіанті використання. Наприклад, на рис.3.1 Варіант використання «Виконати навчання» вміщує в собі варіант використання «Перевірити особу Учня».

Для зв'язку між суб'єктом «Тренажер підстанції» і зовнішніми суб'єктами, які надають інформацію про Учня, необхідно розробити відповідні інтерфейси.

### **3.3 Стандарт опису процесів BPMN**

Стандарт BPMN (англ. Business Process Model and Notation, нотація і модель бізнес-процесів) – система умовних позначень для моделювання бізнес або робочих процесів. BPMN – це інформаційна технологія, розроблена організацією Object Management Group (OMG), яка забезпечує генерацію моделі додатку безпосередньо з його графічної моделі і орієнтована на нотацію і методологію моделювання бізнес-процесів [42]. Але її можливо пристосувати для опису виробничої діяльності.

BPMN 2.0 – це відкритий індустріальний стандарт, який затверджений загальним рішенням лідерів ІТ-ринку.

Нотація BPMN 2.0 призначена для опису:

- порядку виконання дій;
- потоків даних між операціями процесу;
- потоків повідомлень між процесами.

Переваги нотації BPMN 2.0:

- можливість описувати дії без програмування, що дає змогу технологам енергопідприємств виконувати опис без участі програмістів;
- орієнтованість на технічних спеціалістів;

- цілісність та завершеність стандарту;
- розробка графічної моделі проводиться в термінах предметної області, а не комп'ютерного середовища, яке використовується;
- візуальна графічна модель є «похідним текстом» програми виконання додатку;
- відсутність недоліків, які є при створенні графічних моделей за допомогою блок-схем, нотацій IDEF та інших;
- можливість обрання щільності нотації, тобто кількості графічних елементів, необхідних для опису певного додатку;
- відкритість стандарту і всіх внутрішніх структур, що дає можливість повноцінного використання в програмних засобах.

Недоліком нотації BPMN 2.0 є те, що вона мала як цільову аудиторію фахівців в області бізнес-процесів. Приклади використання нотації BPMN 2.0 для опису додатків в енергетичній галузі в Україні відсутні.

Побудова графічних моделей реалізується за допомогою візуальних діаграм нотації.

З набору доступних в BPMN сутностей, можна виділити 5 основних категорій графічних елементів діаграм [43]: елементи управління, елементи з'єднання, артефакти, дані, зони відповідальності (Рис. 3.2).

Елементи управління – це операції, логічні оператори, події.

Операція (процес) визначає одиницю роботи, в результаті виконання якої змінюється стан об'єкта управління. Логічний оператор відображує роботу, котра не змінює об'єкт, але змінює напрямок подальших дій. Подія визначає момент часу виконання роботи, або час продовження операції, або реакцію на зміну стану зовнішніх по відношенню до процесу об'єктів.

В нотації BPMN позначка з окремим передбаченим маркером операції процесу вказує на один з семи видів задач.

Доступні такі види операцій: інтерактивні (для користувача), ручні, автоматичні, сценарій відправки і одержання повідомлення та інші. Детальний



опис маркерів наведений [42, 43]. Для виконання інтерактивної операції потрібно визначення виконавця операції. З інтерактивною операцією пов'язана екрана форма, котру бачить виконавець. Автоматична операція виконується без участі людей і призначена для виклику зовнішніх інформаційних систем, наприклад, веб-сервісів. Операція «сценарій» вміщує в собі програмний код, який не потребує зовнішніх інформаційних ресурсів і не специфікується BPMN.

Для того, щоб вказати спосіб виконання операцій, використовуються шість видів маркерів – підпроцес, цикл, паралельне і послідовне виконання, компенсація, маркер Ad-Нос (з нагоди). Маркер підпроцесу свідчить про те, що має місце складний процес, який може бути розшифрований на окремі операції. Кількість вкладених складних операцій не обмежується.

Операція для випадку Ad-Нос означає складну дію і складається із набору операцій. Послідовність виконання операцій і кількість їх повторів не регламентується і визначається учасником в ході роботи. Така ситуація можлива при вирішенні задачі, коли заздалегідь відомий спектр операцій, але не можливо прогнозувати послідовність їх виконання. Опис таких задач при побудові тренажерів для диспетчерів електромереж наведений в [24]. Користувач може обрати як послідовний, так і паралельний спосіб виконання. Підпроцес AdНос не може включати такі елементи нотації BPMN, як початкові і кінцеві події, діалоги.

Елементи з'єднання призначені для з'єднання елементів нотації і містять: *потоки управління, направлені і ненаправлені асоціації, потоки повідомлень, повідомлення.*

Потоки управління зв'язують окремі операції, логічні оператори і події і встановлюють порядок їх виконання. Ненаправлені асоціації зв'язують артефакти з елементами управління і потоками управління, але не відображають послідовність виконання роботи. Направлені асоціації використовуються для визначення напрямку передачі даних. Потоки повідомлень відображають обмін інформаційними посиланнями між учасниками процесу, але не відображають структуру посилання.

# BPMN 2.0 – Модель і нотація бізнес-процесів

<http://bpmb.de/poster>

### Дії

**Задача**  
Задача є одиницею роботи. Якщо задача позначена символом [Z], то задача є підпроцесом і може бути деталізована.

**Транзакція**  
Транзакція є набором логічно пов'язаних дій. Для транзакції може бути визначений протокол виконання.

**Подієвий підпроцес**  
Подієвий підпроцес розміщується всередині іншого процесу або підпроцесу. Він починає виконуватися, якщо існує його початкова подія. Подієвий підпроцес може перериватися багатовисхідним (підпроцес) або виконуватися паралельно з ним.

**Викликання дії**  
Викликання дії є аналогом глобально визначеної дії або процесу, що повторно використовується в даному процесі. Виклик глобального процесу позначається символом [G].

**Маркери дії**  
Маркер відображає поведінку дії під час її виконання:

- Маркер підпроцесу
- Маркер циклу
- Маркер паралельних екземплярів
- Маркер послідовних екземплярів
- Маркер ситуативного виконання (ad hoc)
- Маркер компенсації

**Типи задач**  
Тип визначає сутність дії, що буде виконана:

- Задача відправлення повідомлення
- Задача отримання повідомлення
- Задача користувача
- Неавтоматизована задача
- Задача-бізнес-правило
- Задача-сервіс
- Задача-сценарій

**Потік керування**  
визначає порядок виконання дії.

**Потік за замовчуванням**  
визначає потік, що буде виконаний, якщо умови всіх інших потоків розгалуження невірні.

**Умовний потік**  
визначає потік, що буде виконаний, якщо пов'язана з цим потоком умова вірна.

### Діалоги

Інформаційна взаємодія задає послідовність логічно пов'язаних обмінів повідомленнями між учасниками діалогу. Якщо інформаційна взаємодія позначена символом [M], то вона може бути деталізована.

Викликання інформаційної взаємодії з викликом глобально визначеної інформаційної взаємодії. Виклик деталізованої інформаційної взаємодії позначається символом [M].

Зв'язок послідовної інформаційної взаємодії з одним учасником.

### Схема діалогу

### Хореографії

**Учасник А**  
Задача хореографії

**Учасник Б**  
Підпроцес хореографії

**Учасник А**  
Викликання хореографії

Задача хореографії відображає взаємодію (обмін повідомленнями) між двома учасниками.

Підпроцес хореографії містить деталізацію хореографії, що вивчає декілька взаємодій.

Викликання хореографії є викликом глобально визначеної задачі або підпроцесу хореографії. Виклик глобального підпроцесу позначається символом [H].

### Схема хореографії

### Події

Проста: неспівзалежна подія, звичайний вказувач на початок, зміну стану, чи завершення процесу.

Повідомлення: Отримання і відправлення повідомлень.

Таймер: циклічні події, моменти часу, часові періоди і тайм-аути.

Еквівалент: перенесення розгляду задачі на більш високій рівні організації ієрархії.

Умова: реакція на зміну бізнес-умов або інтеграція бізнес-транзакції.

Посилання: пара відповідей посилює, що еквівалентно неперервному потоку керування.

Помилка: генерація й обробка помилок заданого типу.

Скасання: обробка скасування транзакції або відхилення скасування.

Компенсація: обробка або відхилення компенсації.

Сигнали: термінологія для процесів та може оброблятися декількома одержувачами одержувачів.

Складена: обробка однієї події та багатьох або генерація всіх визначених подій.

Паралельна складена: обробка всіх визначених паралельних подій.

Зупинення: викликає негати́ве припинення виконання процесу.

Символ	Початкова	Проміжні	Закінченні
Проста	○	○	○
Повідомлення	✉	✉	✉
Таймер	⌚	⌚	⌚
Еквівалент	⬆	⬆	⬆
Умова	⚖	⚖	⚖
Посилання	↔	↔	↔
Помилка	⚠	⚠	⚠
Скасання	✖	✖	✖
Компенсація	⏪	⏪	⏪
Сигнали	⚡	⚡	⚡
Складена	⬆	⬆	⬆
Паралельна складена	⊕	⊕	⊕
Зупинення	⏹	⏹	⏹

### Логічні оператори

**Оператор виключного АБО, що керується даними**  
При розгалуженні оператор активує один із вихідних потоків. При об'єднанні – очікує завершення одного вхідного потоку і активує вихідний потік.

**Оператор виключного АБО, що керується подіями**  
Передус тією обробкою подій або заданим отримання повідомлення. Виконується тільки той потік, де подія сталася раніше.

**Оператор І**  
При розгалуженні оператор активує всі вихідні потоки. При об'єднанні – очікує завершення всіх вхідних потоків і активує вихідний потік.

**Оператор АБО**  
При розгалуженні активує один або більше вихідних потоків. При об'єднанні всі завершені вхідні потоки повинні бути завершені.

**Складний оператор**  
Моделює складні умови розгалуження та злиття.

**Оператор виключного АБО, що керується подіями**  
При розгалуженні оператор активує один із вихідних потоків. При об'єднанні – очікує завершення одного вхідного потоку і активує вихідний потік.

**Оператор І**  
При розгалуженні оператор активує всі вихідні потоки. При об'єднанні – очікує завершення всіх вхідних потоків і активує вихідний потік.

**Оператор АБО**  
При розгалуженні активує один або більше вихідних потоків. При об'єднанні всі завершені вхідні потоки повинні бути завершені.

**Складний оператор**  
Моделює складні умови розгалуження та злиття.

### Ролі

Потік повідомлень описує інформаційний потік між учасниками процесу. Потік повідомлення може приєднуватися до пула, дії чи події-повідомлення.

Порядок обміну повідомленнями може бути заданий за допомогою потоку повідомлень і потоку керування.

### Дані

Вхідні дані – це вхідний параметр процесу. Вихідні дані – результат виконання процесу (вихідний параметр). Під час виконання дії використовуються вхідні дані та продукують вихідні дані.

Об'єкт даних надає інформацію, що обробляється в ході процесу, наприклад документ або лист.

Коллекція об'єктів даних представляє групу об'єктів, що несуть інформацію, наприклад перелік замовлених товарів.

Скюадне даних – це об'єкт, який процес може використовувати для запису та вибору даних, наприклад база даних. Скюадне даних має змогу збирати дані після закінчення життєвого циклу екземпляра процесу.

Повідомлення має змогу явно продримувати передачу інформації в ході спілкування двох учасників. Віле повідомлення надсилається ініціатором спілкування, стрі – іншим учасником.

Рисунок 3.2 Графічні елементи нотації BPMN.

Для моделювання порядку та маршрутів виконання процесу використовуються потоки управління: *безумовний, умовний, по замовчанню*. Умовний потік визначається логічним оператором і дає змогу вибрати напрям передачі управління, або, при виконанні умови по замовчанню, – визначає напрям, якщо умови для всіх інших потоків не виконуються. В нотації BPMN існують такі основні *логічні оператори*: «І», «АБО», «Виключне АБО», яке керується даними, «Виключне АБО», яке керується подіями, комплексна умова та інші [42].

Дані використовують для відображення інформаційних потоків на діаграмі процесу і містять *об'єкти даних, сховища даних, повідомлення*. Об'єкти даних описують внутрішню структуру інформаційних об'єктів, котрі обробляються при виконанні операцій. Сховища даних відображують системи зберігання, наприклад СУБД. Повідомлення описують структуру інформаційного обміну між процесами і відображують на схемі процесу інформаційні посилання, котрими обмінюються учасники процесів.

Артефакти – це графічні елементи, для котрих не визначається семантика виконання. До артефактів відносяться *групи*, які логічно об'єднують декілька операцій з метою не розкривати зайвих деталей процесу, *анотації* для додавання необхідних коментарів.

Зони відповідальності – це *пули і доріжки* для логічного групування операцій процесу. Пул окреслює межі процесу. Назва пулу вказує на власника процесу. Потік управління не може пересікати границю пулу. Потік повідомлень відображається між пулами, але не може з'єднувати операції в середині одного пулу.

Пул розділюється на доріжки, які групують операції. Доріжки мають ім'я, яке визначає виконавця завдання. Доріжки можуть бути ієрархічно вкладеними. Потік управління може пересікати границі доріжок.

Для розуміння можливості використання графічних елементів нотації BPMN 2.0 для побудови графічних моделей діяльності персоналу необхідно взяти до уваги наступне: дії персоналу орієнтовані на процеси з організації

взаємодії користувачів з енергетичним об'єктом і один з одним. Процес описує роботу, яку необхідно виконати, щоб досягти запланованої мети.

Для графічного опису із всього різноманіття візуальних діаграм нотації BPMN (в нотації на даний час використовується майже 250 графічних елементів) можливо і достатньо використати невелику кількість графічних елементів рис 3.2. Так для опису діяльності персоналу можливо застосувати елементи *операція* з різними маркерами і використанням логічних операторів, потоків управління, повідомлень, елементів даних, анотацій.

### **3.4 Графічне представлення робочої діяльності персоналу та сценаріїв тренажерних занять на основі BPMN.**

Відкритість стандарту BPMN та структур, що використовуються для обміну між різними додатками, забезпечили достатньо велику кількість готових програмних продуктів для розробки графічних специфікацій, як пропрієтарних, так і безкоштовних.

Для побудови графічної специфікації діяльності персоналу вибрано пакет Bizagi (безкоштовний), який є одним із лідерів ринку систем BPMS (Business Process Management Suit) і орієнтований не тільки на потреби бізнесу, але і на потреби автоматизації [44].

Пакет Bizagi складається з трьох основних частин: Bizagi Modeler (безкоштовний), Bizagi Studio (безкоштовний) і Bizagi Engine. Bizagi Modeler призначений для розробки графічного опису на основі нотації BPMN 2.0. Підтримує експорт моделей в текстові редактори та інші формати.

Використання нотації BPMN в пакеті Bizagi Modeler для побудови графічних специфікацій дій персоналу енергопідприємств розглянемо на прикладі специфікації дій диспетчера центральної диспетчерської служби (ДЦДС) при ліквідації аварії, при якій на підстанції відбулося аварійне вимкнення трансформатору від дії захистів.

Задіяні робочі місця: ДЦДС, ДОДГ, ЧЕМ ПС «Львів-21», ОВБ-1.

Початкові умови: Схема роботи мережі нормальна. Будній день. 08:00.  
(Файл: ЛьвівОбленерго нормальна схема).

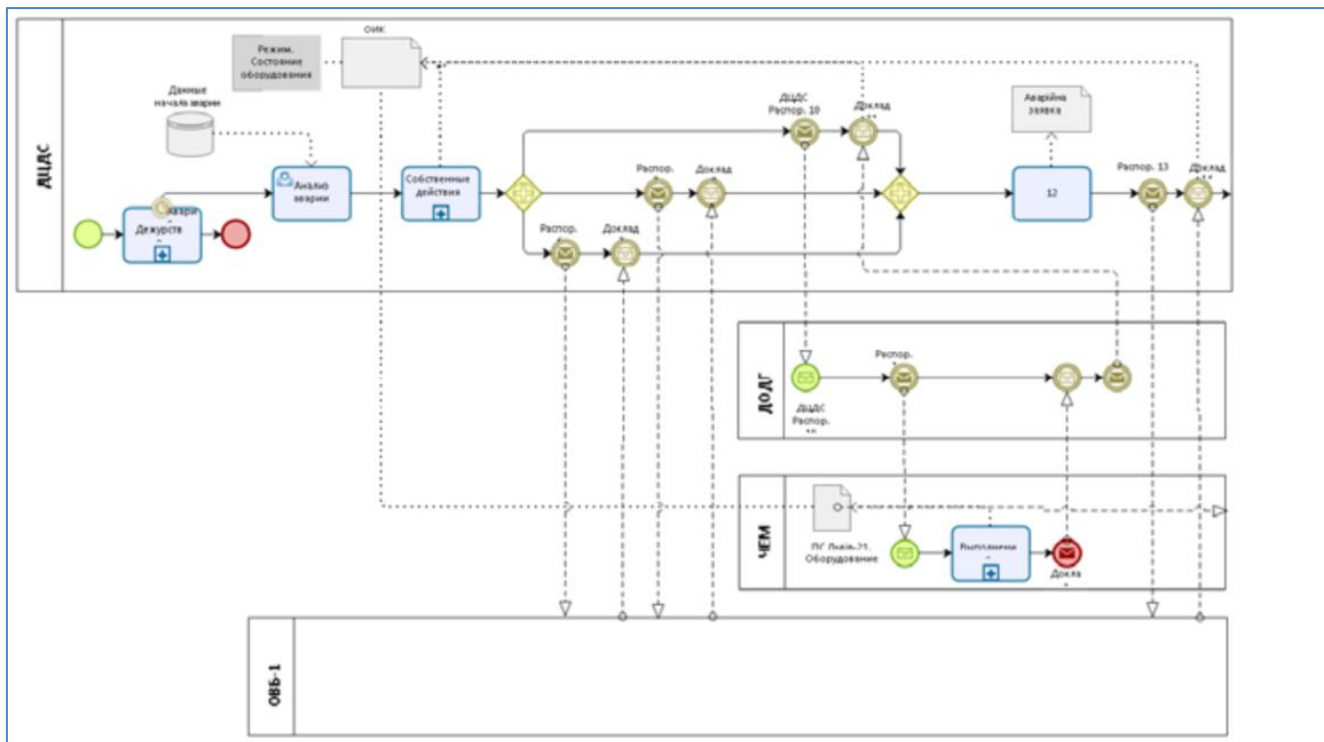


Рис. 3.3. Фрагмент графічної специфікації дій ДЦДС по ліквідації аварії

- ДЦДС – диспетчер центральної диспетчерської служби;
- ДОДГ – диспетчер оперативної диспетчерської групи (підпорядковується диспетчеру ЦДС);
- ЧЕМ – черговий електрик-ремонтник;
- ОВБ-1 – оперативно виїзна бригада;
- ПС – підстанція;
- ОИК – оперативно-інформаційний комплекс.

ДЦДС підпорядковуються ДОДГ, ЧЕМ, ОВБ.

При ліквідації аварії дії ДЦДС складаються з декількох основних груп: зняття показників ОИК, аналіз аварії, власні дії ДЦДС, спілкування з керівниками підпорядкованих підрозділів, відновлення нормальної роботи обладнання, доповіді керівництву.

Власні дії ДЦДС це складна дія, яка вміщує відомі наперед операції, котрі можуть бути виконані в довільній послідовності (наприклад, операції по зняттю невідповідності, вимиканню і контролю після зняття звукової сигналізації на ОІК підстанції) (блок 1, рис. 2).

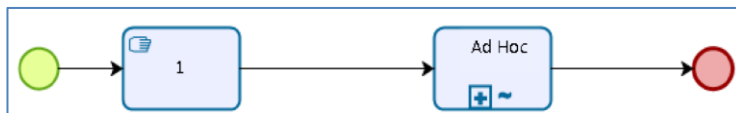


Рис. 3.4 Фрагмент графічної специфікації: Власні дії ДЦДС при виникненні аварії

Розпорядження підпорядкованим фахівцям і доповіді від них про відновлення нормального стану об'єкта відображуються елементами подія з маркером повідомлення.

Таким чином всі дії при ліквідації аварії можливо специфікувати в пакеті Bizagi Modeler за допомогою невеликої кількості графічних елементів, які легко запам'ятовуються і за допомогою яких, фахівець на об'єкті, може самостійно і кваліфіковано розробити специфікацію.

Також, за допомогою Bizagi Modeler з використанням BPMN, було представлено навчальних процес Учня в системі дистанційного навчання «АСКО». Частина навчального процесу, а саме відповіді на питання представлено на рис. 3.5:

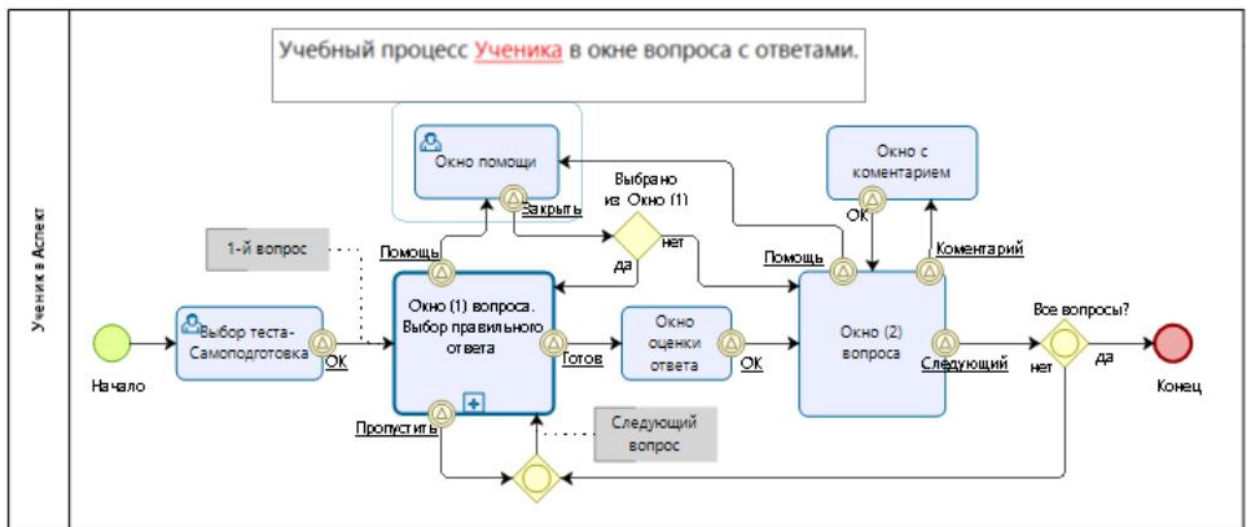


Рис. 3.5 Фрагмент графічної специфікації учбової діяльності Учня в системі «АСКО»

### Використання діаграм BPMN для побудови демонстрацій

Як було зазначено вище, однією з переваг стандарту BPMN є відкритість і повна специфікацію усіх складових частин. Офіційна документація [42] описує в тому числі структури та формати зберігання діаграм для використання програмними засобами. Такий підхід дозволяє вільно використовувати діаграми розроблені в різних системах.

Практичним варіантом такого використання стандарту BPMN є побудова графічного представлення дій персоналу згідно з інструкцією по експлуатації для автоматичного конструювання системи демонстрацій.

Демонстрація – це мультимедійна анімація, яка показує учню правильний порядок робочої діяльності для досягнення якоїсь цілі. Демонстрації використовуються для набуття знань.

Для розробки демонстрацій також використовується розроблена бібліотека типових елементів.

Розробляється статичний фон зі схемою, розставляються компоненти на схемі. Кожному компоненту присвоюється унікальне ім'я. Технолог розробляє діаграму робочої діяльності по стандарту BPMN, рис. 3.6. Потрібно відмітити,

що під час формування діаграми робочої діяльності технолог визначає тільки ім'я компонента, властивість та значення властивості. Наприклад, відкрити засувку ЗС2. Система «зчитує» діаграму (рис. 3.6) та «демонструє» учню правильну послідовність робочої діяльності на технологічній схемі (рис.3.7).

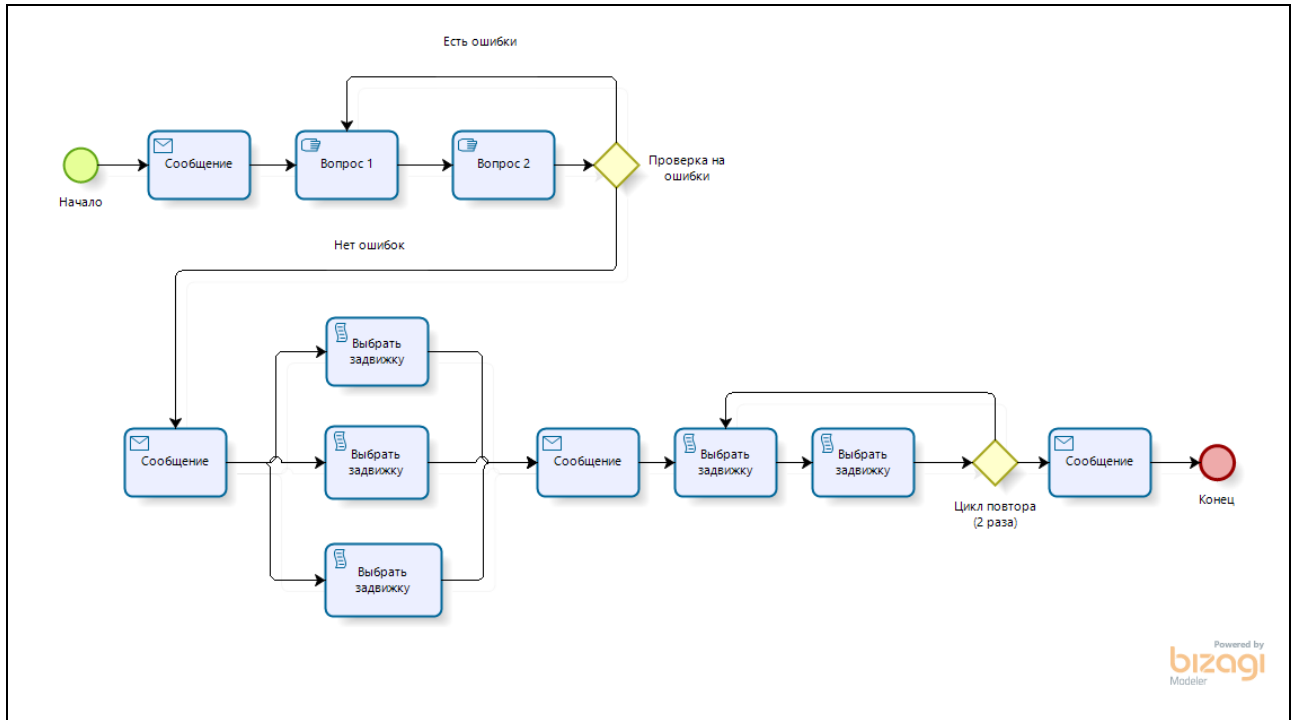


Рис.3.6 Діаграма робочої діяльності по пуску обладнання в роботу

Технолог/Інструктор формуючи діаграми діяльності в середовищі Bizagi може створити набір демонстрацій для конкретної ділянки обладнання.

Такий модуль може бути використаний в навчальних системах для вивчення правильного порядку виконання операцій відповідно до інструкцій по експлуатації.



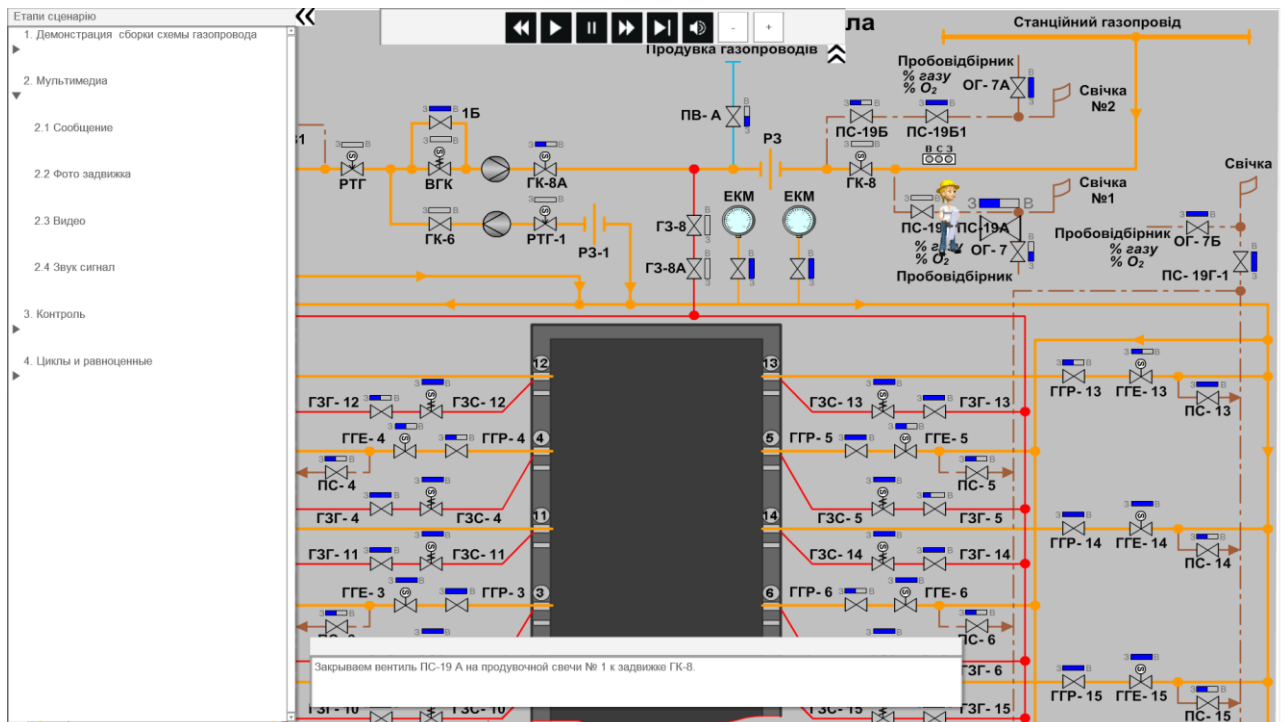


Рис.3.7 Умовне технологічне представлення зони діяльності спеціаліста-обхідника

### 3.5 Висновки до Розділу

1. Для забезпечення імітаційно-технологічного методу побудови навчальних систем та тренажерів необхідні графічні моделі представлення діяльності персоналу та сценаріїв тренажерних занять для галузевих спеціалістів.

2. На основі аналізу мов та технологій графічного представлення, таких як формульно-текстове представлення, блок-схеми, IDEF, UML, запропоновано використовувати стандарт опису бізнес процесів BPMN для формального опису робочої діяльності персоналу енергопідприємств та сценаріїв тренажерних занять.

Основі переваги стандарту BPMN:

- цілісність та завершеність стандарту;
- орієнтованість на технічних спеціалістів;
- можливість обрання щільності нотації;
- відкритість стандарту і всіх внутрішніх структур.

3. Використання стандарту опису BPMN дозволяє залучати до проектування та розробки тренажерів і навчальних систем спеціалістів галузі та зменшити час розробки за рахунок формального графічного опису діяльності персоналу.

4. Практична ефективність використання стандарту BPMN продемонстровано на прикладі опису робочої діяльності персоналу та сценаріїв тренажерних занять.

## РОЗДІЛ 4

**Четвертий розділ** присвячений типовим моделям, які можуть використовуватися в тренажерах оперативних перемикачів.

Запропоновано метод побудови моделей розподільчих мереж та розрахунку режиму, що орієнтовані на режимні тренажери оперативних перемикачів. Метод базується на використанні розробленої бібліотеки типових компонентів управління об'єктом та типовій налаштовуваній моделі об'єкта. Висока швидкодія представленого методу забезпечується за рахунок врахування специфіки структури розподільчих мереж – переважної деревовидності. Представлені результати розрахунку режиму з використанням запропонованого методу, виконано порівняння теоретичної та експериментальної оцінки швидкодії розрахунку режиму електромережі з використанням запропонованого методу.

### **4.1 Методи побудови моделей розподільчих мереж та розрахунку режиму для тренажерних занять**

Тренажери оперативних перемикачів (ТОП) служать вирішенню трьох основних завдань підготовки оперативного персоналу:

- виробленню вміння оцінювати ситуацію на будь-якій комутаційній схемі в частині перевірки можливості виконання команд на перемикачів первинних і вторинних пристроїв;
- формуванню навички визначати правильну послідовність операцій для вирішення поставленого завдання на будь-який комутаційній схемі у відповідності до посадової інструкції та бланків перемикачів;
- відпрацювання автоматизму у виконанні послідовності операцій для вирішення конкретної задачі перемикачів з урахуванням вимог охорони праці та безпечної експлуатації обладнання.

Тренажери оперативних перемикачів базуються на загальних правилах перемикачів в електроустановках, визначених нормативними документами [45].

Основою тренажерів оперативних перемикачів є модель комутаційної структури (КС) енергомережі. Модель повинна реагувати на дії користувачів по перемиканням комутаційних елементів (КЕ) і для кожного стану КС визначати напругу у вузлах мережі і струми через КЕ, на входах (вводах) і виходах (навантаженнях) з неї.

ТОП – статичний тренажер, з незалежною від часу моделлю, тобто його модель відтворює набір станів КС, в кожному з яких модель переходить в залежності від дій користувача. Немає жодних змін між діями користувача (-ів), тобто модель не залежить від часу.

Незважаючи на відсутність технологічних вимог до відображення в моделі процесів по часу, важлива навчально-психологічна вимога – комфортний час реакції моделі на зовнішні впливи. Великий час відклику зменшує навчальний ефект від проходження тренування. Час відгуку моделі повинен не перевищувати 1-2 секунди, що відповідає реальному часу спрацювання обладнання.

Якщо КС містить велику кількість КЕ, які знаходяться на ребрах графа КС, граф структури буде мати велику кількість вузлів, в яких ці КЕ з'єднуються. Тому необхідні такі методи і алгоритми визначення напруг і струмів, які забезпечать комфортний час відгуку моделі.

Узагальнена структура КС підстанції (ПС) в складі енергосистеми (ЕС) показана на рис.4.1. ПС входить до складу ЕС на рівні розподільчих мереж. На вузли введів подається висока напруга (750, 330, 220, 110, 35 кВ), яка перетворюється в нижчу напругу (10, 6 кВ), від якої, в свою чергу, заживляються споживачі (навантаження).

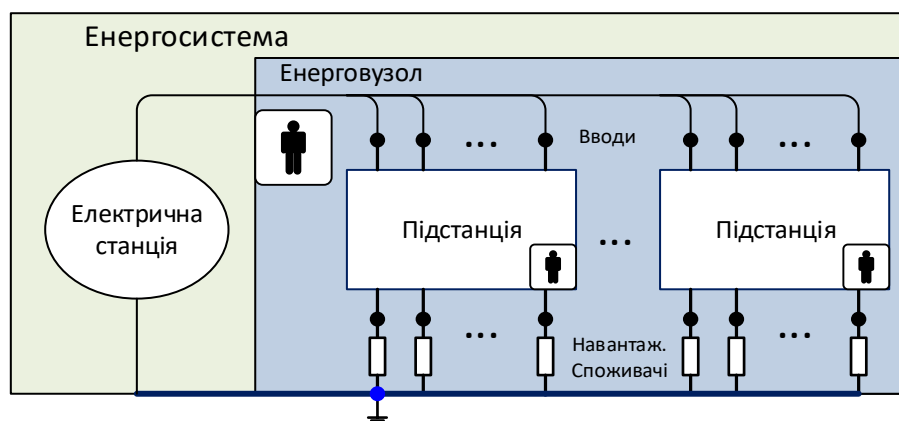


Рис. 4.1. Підстанція в складі енергосистеми

Основне обладнання на підстанції:

- силові трансформатори;
- комутаційне обладнання;
- системи шин і ліній;
- лінії до споживачів (навантаження);
- вимірювальне обладнання;
- допоміжне обладнання (системи дистанційного керування, автоматики, захисту, телемеханіка та телеметрія, власні потреби).

### Модельне представлення об'єкта

Об'єкт розрахунку – це комутаційна структура електричної мережі, комутаційними елементами якої є вимикачі і роз'єднувачі.

Модельне визначення наявності напруги в вузлах КС відносно проста задача, алгоритм вирішення якої розглянуто в [28] на підставі [54]. Ефективність алгоритму визначення вузлів під напругою  $O(V + E)$  лінійно залежить від числа вузлів  $V$  і числа дуг  $E$ .

Складнішою є задача визначення значень напруги у вузлах і струмів через КЕ КС (наявність струмів та їх значень).

Необхідність розрахунку струмів в компонентах КС ПС виникає у зв'язку з вимогою реалізації на моделі наступних завдань:

- модель повинна реагувати на недопустимість проведення операцій з роз'єднувачем, по якому проходить струм (важлива наявність та значення струму);

- реалізація спрацьовування автоматики та захистів при перевищенні допустимих струмів в вимикачах, трансформаторах та іншому обладнанні;

- вивід значень струмів на показуючі прилади в різних місцях ПС.

Значення струмів визначаються навантаженнями, які знаходяться поза ПС і на рівні ПС не можуть бути визначені, але можуть бути додані до моделі конкретного ТрЗ з бази даних.

Необхідно відмітити, що задача визначення струмів є нелінійною, так як в реальній ситуації навантаження задаються не струмами, а потужностями. Для вирішення цієї задачі потрібен ітераційний цикл, на кожній ітерації якого відбувається розрахунок лінійного електричного кола [47].

Виходячи із вищезазначеного було сформульовано вимоги та умови до моделей і алгоритмів розрахунку режиму розподільчих мереж для тренажерів оперативних перемикачів:

- Кількість вузлів сети для розрахунку – до 3 000 шт.
- Комфортний час відклику моделі, допустимий час розрахунку – 1 с.
- В нормальному режимі роботи – деревовидна структура.
- Під час перемикачів максимальна кількість контурів – 1-3 шт.

Деревовидність структури енергомережі в нормальному режимі і обмеження по кількості контурів визначені в «Правилах виконання оперативних перемикачів в електроустановках» [45].

Цитата з правил:

*«III. Виконання операцій комутаційними апаратами*

*9. Перемикачів у розподільчих мережах*

*16. Під час виконання перемикачів в електрично зв'язаній розподільчій мережі паралельне увімкнення і замикання в кільце ліній, що працюють роздільно в нормальному режимі, допускається винятково на час, необхідний для переведення навантаження*

*споживачів або виконання невідкладних ремонтних робіт. За цих умов режим кільцевого увімкнення лінії має бути попередньо перевірений.»*

### **Методи розрахунку моделей режимів розподільчих мереж**

В найпростішому випадку значення режиму розподільчої мережі для тренажерного заняття може не розраховуватися, а отримуватися з наперед створеної БД на основі реальних даних, наприклад з оперативно-інформаційного комплексу (ОІК), або розрахунків в системах розрахунку ustalених режимів енергосистем, таких як «Дакар» [19]. Але такий підхід не є універсальним, так як потребує отримання даних для всіх станів комутаційної структури для кожного тренажерного заняття.

Методика формульного визначення наявності напруг у вузлах та струмів в компонентах комутаційної структури з використанням теорії графів на основі робіт [48, 49] представлена в [22, 46]. Дана методика є трудозатратною для реалізації та не передбачає можливості автоматичного формування моделі для розрахунку режиму електричної розподільчої мережі (ЕРМ).

Розрахунок моделей режимів розподільчих мереж за допомогою побудови системи лінійних алгебраїчних рівнянь на основі методу вузлових потенціалів або контурних струмів та їх розв'язку представлений в [28, 56]. При такому підході електрична розподільча мережа розглядається як лінійні електричні кола, в яких відомі опори (або провідності) навантажень і елементів ланцюга. Тоді задача визначення струмів дуг і напруг зводиться до вирішення СЛАР, що формуються відповідно до законів Кірхгофа.

Слід зауважити, що немає необхідності будувати матрицю і вирішувати СЛАР для всіх вузлів комутаційної структури. Вузли, недоступні по напрузі з витоків, можна ігнорувати. Тому, на підготовчому етапі, за допомогою алгоритмів пошуку в ширину або в глибину на графі [50], визначаються вузли, доступні за напругою, і тільки для них формується матриця.

Також, матриця електричних ланцюгів, еквівалентна різним станам КС, симетрична та є розрідженою, це слід враховувати при виборі методу розв'язку СЛАР.

Оцінка продуктивності рішення СЛАР прямими методами наступна [51, 52, 53]:

1. Метод Гауса:  $0,8n^3 + 1,8n^2 + 4n$ ;
2. Метод Гауса-Жордана:  $1,15n^3 + 0,65n^2 + 2,4n$ ;
3. Метод Краута:  $1,43n^3 + 2,8n^2 + 6,36n$ ;
4. Метод LU:  $0,93n^3 + 3,8n^2 + 7,1n$ ;
5. Метод Холецкого для розріджених матриць:  $0,4n^3 + 3n^2 + 2n$ .

Складність рішення СЛАР класичними прямими методами становить  $O(n^3)$ , де  $n$  – число вузлів.

Для розрахунку поточкорозподілу в електричних системах розроблені ітераційні [54] методи і програмні бібліотеки, в яких враховані особливості структури матриць СЛАР. Час роботи даних алгоритмів може досягати  $O(n^{3/2})$ , [55]. Слід відзначити, що при використанні ітераційних методів необхідно враховувати умови і швидкість збіжності ітераційного процесу.

Використання відомих методів розв'язку СЛАР дозволяє використовувати загальний алгоритм для різних структур і конфігурацій мережі, скорочуючи час і витрати на розробку тренажера.

Часові затрати на визначення доступності вузлів по напрузі та побудови СЛАР є лінійними відносно кількості вузлів [28], тому загальна ефективність алгоритму розрахунку режиму розподільчих мереж для тренажерних занять методом побудови і рішення СЛАР складає  $O(n^3)$  або  $O(n^{3/2})$ , в залежності від використовуваного методу рішення СЛАР.



## 4.2 Метод підйому струмів для розрахунку моделі режиму розподільчих мереж для ТОП

Розрахунок струмів дуг і напруги у вузлах комутаційної структури, характерною для електричних розподільчих мереж, рис.4.2, можна виконувати більш ефективно, якщо враховувати деревовидність, яка повинна зберігатися при нормальному режимі роботи мережі [45].

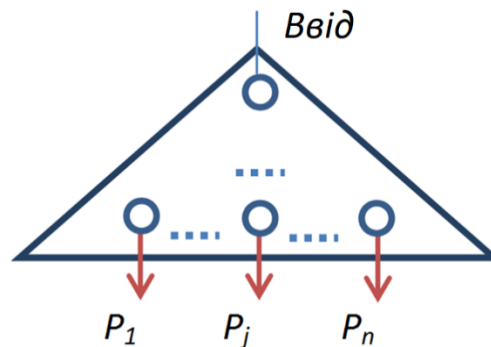


Рис. 4.2. Деревовидна структура розподільчої мережі

Для такої КС зв'язки будь-якого  $j$ -го вузла мають вигляд, представлений на рис.4.3, де  $I_j$  – єдина вхідна дуга підводу струму до вузла  $j$ ,  $I_{ji}$  – набір дуг, які відводять струм із цього вузла;  $P_j$  – навантаження вузла;  $U_j$  – напруга у вузлі. Згідно правила Кірхгофа отримуємо:

$$I_j = \sum_i I_{ji} + \frac{P_j}{U_j}; I_{ji} (i \in 1 \div n) \quad (4.1)$$

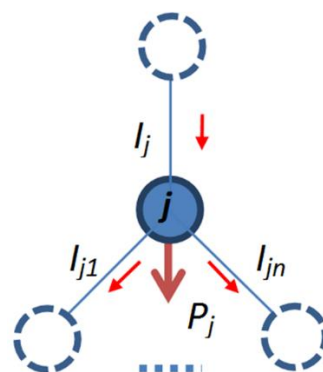


Рис. 4.3. Зв'язки вузлів в деревовидній структурі розподільчої мережі

## Метод підйому струмів

Виділимо в деревовидній КС вузол кореня дерева (Витік) і вузли з навантаженнями (Стоки). У вузлі Витік задано напругу вводу, у вузлах навантажень задані їхні потужності. За допомогою алгоритму пошуку в глибину (або в ширину) по заданому списку суміжності для кожного з вузлів можна визначити вузол-предок.

### Алгоритм

1. Визначення напруг у вузлах навантажень за відомим початковим наближення для струмів дуг.
2. Формування струмів навантажень по відомій потужності навантажень з урахуванням ітераційного значення напруг у вузлах навантажень.
3. Визначення струмів дуг по струмам навантажень відповідно з першим правилом Кірхгофа.
4. Визначення напруг у вузлах навантажень.
5. Розрахунок ітераційного значення потужності у вузлах навантажень і максимальної відносної помилки їх визначення.
6. Якщо максимальна відносна помилка перевищує допустиму величину, перейти до кроку 2, інакше – завершити розрахунок.

Одна ітерація розрахунку деревовидної КС виконується в два етапи:

1. Підйом до Витоку струмів, заданих вузлами з навантаженнями.
2. Послідовне визначення напруги у всіх пов'язаних з Витоком вузлах: починаючи від Витоку з врахуванням отриманих значень струмів дуг і заданої напруги Витоку.

Визначивши на другому етапі ітерації вектор  $U$  напруги в навантажених вузлах, розрахуємо потужності в цих вузлах  $P_j^{i+1} = U_j I_j$ , на  $i + 1$  ітерації і визначимо максимальну помилку відносно заданих потужностей:

$$\Delta P = \max_j \text{abs}\left(\frac{P_j^3 - P_j^{i+1}}{P_j^3}\right) \quad (4.2)$$

На наступній ітерації для визначення струмів навантажень використовується новий вектор напруги  $U^{i+1}$ .

Реалізація алгоритму методу підйому струмів у вигляді псевдокоду наведена в Додатку 2.

### **Оцінка часової складності алгоритму на одній ітерації.**

Нехай  $V$  – кількість вершин, а  $E$  – кількість дуг в графі. Для деревовидних графів  $E = V - 1$ . Тому при оцінці складності будемо використовувати тільки кількість вузлів мережі. Ітераційному процесу передуює робота алгоритму пошуку в глибину, складність якого оцінюється величиною  $O(E + V)$ , а для деревовидних графів –  $O(V)$ .

На кроці 1 по відомому початковому наближенню для струмів дуг (прийняті рівними нулю) визначаються напруги у всіх вузлах мережі, включаючи вузли навантажень. За час реалізації алгоритму кожен вузол аналізується один раз. Тому часова складність кроку 1 складає  $O(V)$ .

На кроці 2 визначення струму навантаження займає не більше  $V$  підкроків, тобто його часова складність не вища  $O(V)$ .

На кроках 3 і 4 процедури визначення струмів і напруг організовані так, що кожен вузол і кожна гілка обробляються не більше одного разу, тому їх часова складність становить  $O(V)$ .

На кроці 5 виконується розрахунок ітераційних значень потужності і максимальної відносної помилки для вузлів навантажень, число яких менше числа всіх вузлів графа. При цьому для кожного з вузлів виконуються наступні операції: одне множення, одне віднімання, одне ділення і одне порівняння. Тому часова складність кроку 5 також становить  $O(V)$ .

Отже, повна часова складність алгоритму підйому струмів оцінюється величиною  $O(V)$ .

## Метод підйому струмів з урахуванням контурів.

Правила [45] визначають, що структура електричної розподільчої мережі повинна бути деревовидна в нормальному режимі роботи, але для забезпечення безперебійного живлення споживачів та в аварійних режимах можливе паралельне включення. Для розрахунку режиму такої комутаційної структури пропонується розширити алгоритм додавши на етапі підйому до Витоку струмів побудову СЛАР для визначення струмів і напруги контурів. Розмірність СЛАР буде дорівнювати кількості контурів. СЛАР для контурів розв'язується будь яким з відомих методів.

Часова складність алгоритму підйому струмів з урахуванням контурів буде становити  $O(V + K^3)$ , де  $V$  – кількість вузлів,  $K$  – кількість контурів.

### 4.3 Експериментальна оцінка швидкодії методів розрахунку моделей режиму розподільчих мереж для ТОП

Для перевірки ефективності роботи алгоритму була проведена експериментальна оцінка швидкодії розрахунку режимів ЕРМ з використанням різних методів. Для використання в якості контрольного прикладу побудовано комутаційну структуру (рис.4.4), кількість вузлів – 39.

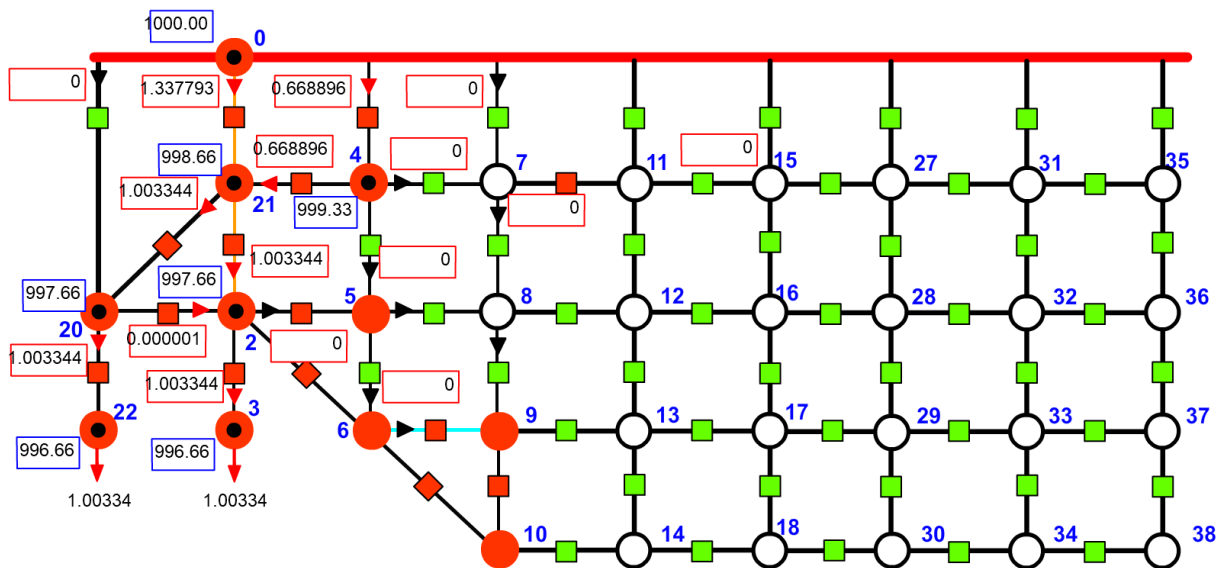


Рис. 4.4. Комутаційна структура для експерименту по ефективності методів

Проводилися серії по 100 або 1000 експериментів для кожної кількості вузлів з подальшим визначенням середнього часу виконання для наступних методів:

- Метод розв'язку СЛАР по вузлам контрольного прикладу;
- Метод підйому токів без контурів і з обмеженням по кількості контурів [1-5].

Результати експериментів представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Кількість вузлів, кількість контурів $K=5$	Час розрахунку, мс	
	Метод підйому струмів з контурами	Метод СЛАР по вузлам
8	0,355	0,307
10	0,446	0,423
12	0,553	0,574
14	0,669	0,769
16	0,75	0,916
18	0,842	1,136
20	0,937	1,373
22	1,01	1,618
24	1,107	1,908
26	1,199	2,204
28	1,298	2,543
30	1,389	2,912

На основі отриманих результатів в Microsoft Excel виконана апроксимація та побудовані графіки залежності часу розрахунку від кількості вузлів, рис. 4.5:

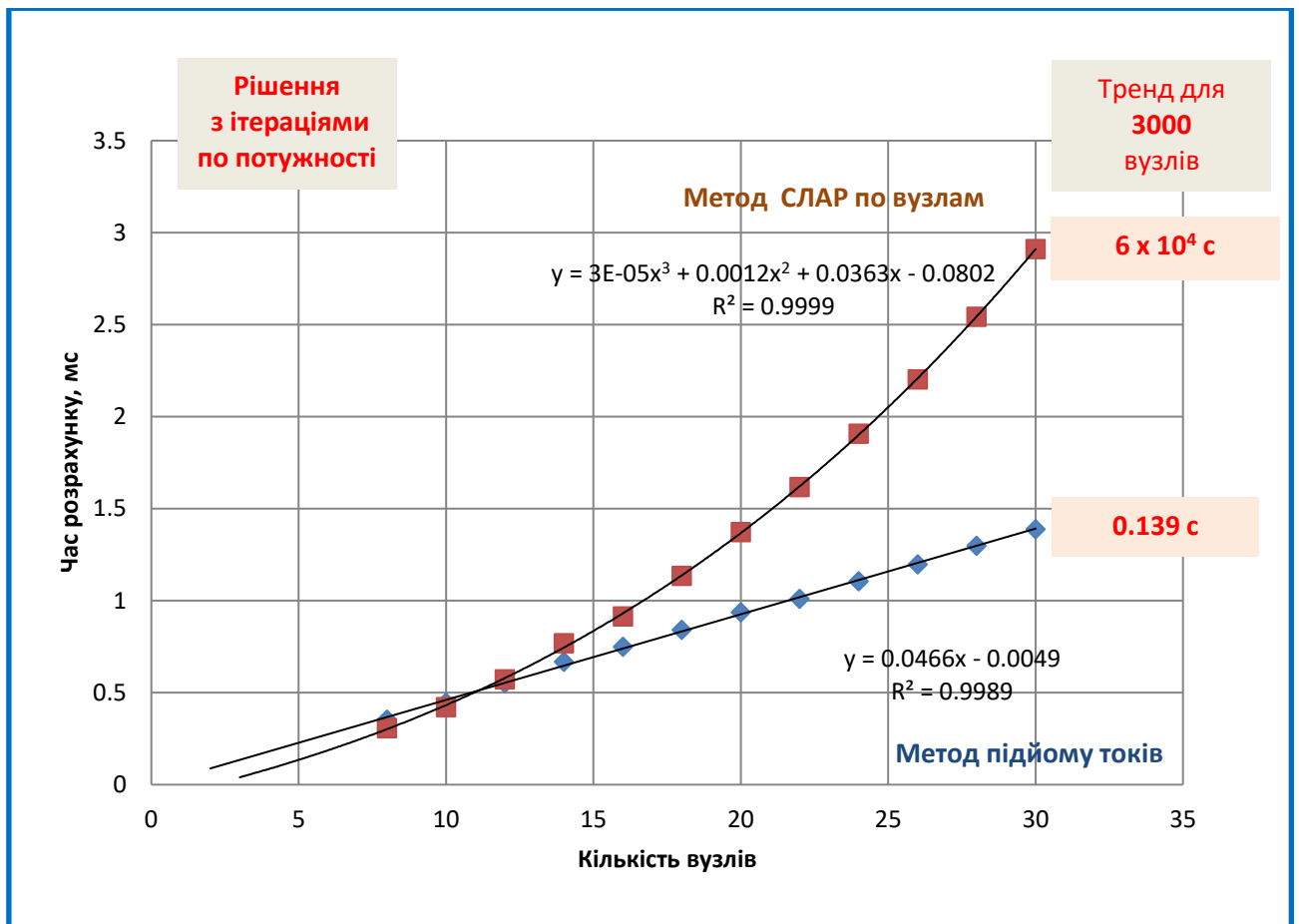


Рис. 4.5 Порівняння методів

Для більшої кількості вузлів по отриманим в Excel апроксимуючим формулам розраховується значення тренду, рис. 6. Так, для комутаційної структури з 3000 вузлами час розрахунку:

- Методом СЛАР по вузлам – 22,5 год;
- Методом підйому токів – 140 мс.

Експериментальні апроксимуючі криві описуються формулами (4.3) для методу СЛАР по вузлам, (4.4) для методу підйому токів:

$$y = 3e - 05x^3 + 0,0012x^2 + 0,0363x - 0,0802 \quad (4.3)$$

$$y = 0,0466x - 0,0049, \quad (4.4)$$

де  $x$  – кількість вузлів;

$y$  – час розрахунку, мс.

Величина вірогідності апроксимації  $R^2$  становить відповідно  $R^2 = 0,9999$  та  $R^2 = 0,9996$ . Час розрахунку режиму КС методом контурних струмів з різною кількістю контурів зображений на рис. 4.6:

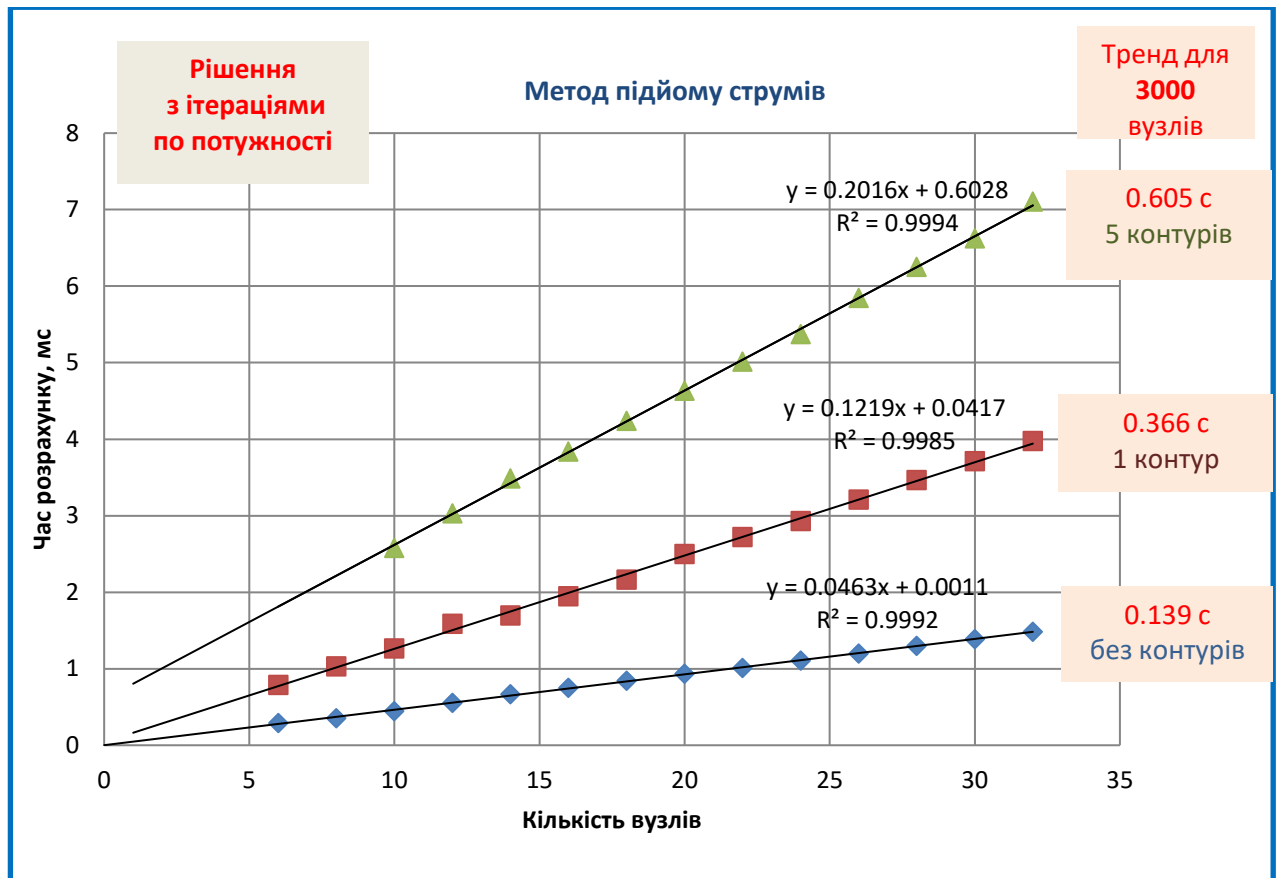


Рис. 4.6 Час розрахунку методом підйому струмів з різною кількістю контурів

Результати експерименту підтверджують, що часова складність запропонованого методу підйому струмів має вигляд  $O(V + K^3)$ , де  $V$  – кількість вузлів,  $K$  – кількість контурів. Потрібно відмітити, що при великій кількості контурів ефективність методу підйому струмів стає аналогічною до методів рішенням СЛАР по вузлам.

Для комутаційних структур отриманих з реальних схем реалізована проста ітерація забезпечувала збіжність за 2-3 кроки при значенні  $\Delta P < 10^3$ .

#### **4.4 Етапи розробки тренажерів оперативних перемикачів**

При практичній розробці пропонується виділити в процесі конструювання тренажерів оперативних перемикачів спеціалістами технологів наступні етапи:

- збір і обробка вихідних даних;
- розробка сценаріїв тренажерних занять;
- визначення об'ємів моделювання;
- розробка моделі комутаційної структури;
- розробка сцен;
- розробка моделі навігації;
- розробка моделі автоматизації;
- комплексне тестування та налагодження.

На кожному із запропонованих етапів виконуються наступні роботи:

##### **1. Збір і обробка вихідних даних**

На даному етапі збираються і систематизуються вихідні дані, які будуть використовуватися при розробці тренажера. До таких даних належать: посадові інструкції персоналу, оперативні схеми, плани підстанцій, бланки перемикачів, паспорта обладнання, карти уставок РЗА, фотографії реального обладнання за місцем, параметри роботи обладнання, можливі сценарії тренувань і ін.

##### **2. Розробка сценаріїв тренажерних занять**

Розробляються та узгоджуються детальній сценарії тренажерних занять в нормальних та аварійних режимах. Після цього виконується остаточна систематизація вихідних даних, оцінка обсягів моделювання, формуються списки задіяного обладнання, приміщень, інструментів, елементів РЗА і т.п. Проводиться додатковий збір матеріалів.

##### **3. Розробка моделі комутаційної структури**

Модель комутації включає список елементів тренажера з відповідними характеристиками. Список елементів формується за оперативними схемами і мнемосхеми підстанцій. Елементами моделі є джерела, вимикачі, роз'єднувачі,



шини, трансформатори, навантаження і т.п. Крім того, модель комутаційної структури включає зв'язки між елементами, вузлами моделі.

Виконується перевірка і налагодження моделі комутаційної структури в тренажері на відповідність реальним параметрам.

#### **4. Розробка моделі автоматики**

Паралельно з розробкою моделі комутаційної структури (п.3) розробляється модель автоматики. Модель автоматики включає набір елементів, правил та алгоритмів автоматики різних типів та їхніх властивостей.

#### **5. Розробка сцен**

На основі інформації зібраної на етапі 2 затверджується перелік сцен, які необхідні в тренажері і починається формування цих сцен. Кожна сцена є окремим об'єктом, який буде викликатися головною програмою під час роботи тренажера. На сцені встановлюється статична графічна підкладка – фон сцени, і над фоном розміщуються елементи вводу-виводу, які копіюються з готової Бібліотеки елементів. Для кожного елемента вводу-виводу вказується ідентифікатор елемента моделі та ім'я необхідної властивості елемента. Елемент вводу-виведення буде пов'язаний з заданим елементом моделі і властивістю під час виконання.

#### **6. Розробка моделі навігації**

Модель навігації забезпечує переходи та взаємодію між складовими частинами тренажера і включає сцени, переходи між сценами і правила за якими ці переходи здійснюються.

#### **7. Комплексне тестування**

Комплексне тестування та налагодження тренажера – це внесення правок і корективів в усі складові. Під час виконання комплексного налагодження можливе повернення на будь-який з попередніх етапів для усунення всіх можливих неточностей та помилок.

Технологічний процес розробки тренажера можна представити у вигляді блок-схеми зображеної на рис. 4.7.

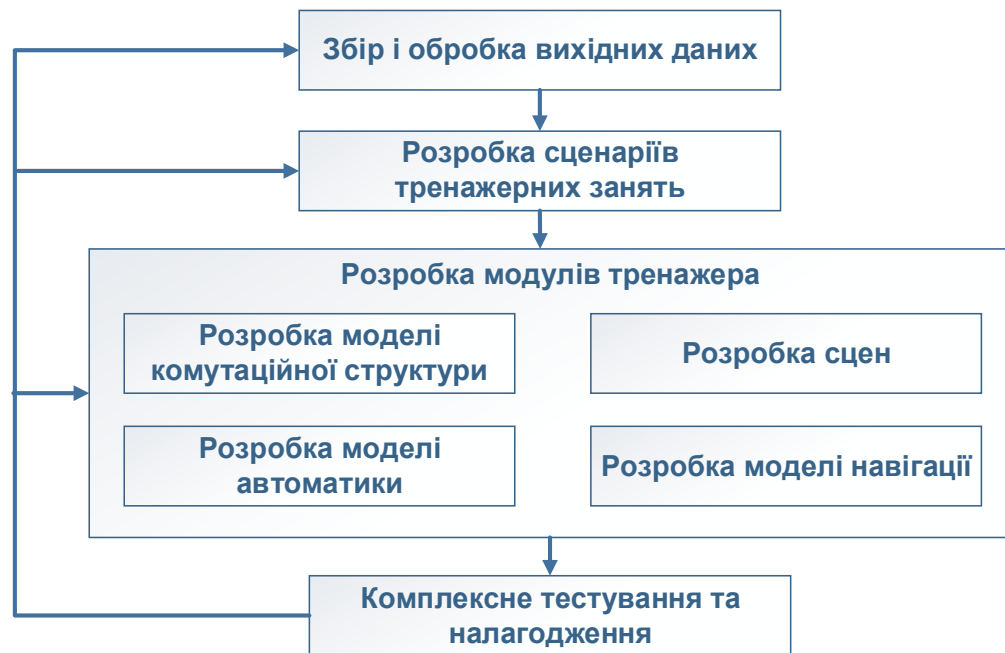


Рис. 4.7. Блок-схема технологічного процесу розробки тренажера

Передбачається, що роботи будуть виконувати не програмісти, а технологи зі знаннями в сфері експлуатації енергетичного обладнання. Для прискорення процесу розробки необхідна можливість колективної роботи, що забезпечується поділом загальної моделі тренажера та відображення на складові частини, наприклад, по окремим підстанціям для тренажера енерговузла. Також прискорити розробку може розпаралелювання деяких етапів, наприклад розробки моделі комутаційної структури, сцен і моделі навігації.

#### 4.5 Висновки до Розділу

1. Основою тренажерів оперативних перемикачів є модель комутаційної структури енергомережі. Модель комутаційної структури енергомережі повинна забезпечувати розрахунок напруг у вузлах та перетоків потужності – струмів. Розроблені та використовуються різні прямі та ітераційні методи розрахунку режиму мережі на основі побудови СЛАР по вузлах комутаційної структури. Часова складність таких методів  $O(n^3)$ .

2. Розрахунок струмів дуг і напруг у вузлах комутаційних структурах, характерних для електричних розподільчих мереж, можна виконувати більш ефективно, якщо враховувати специфіку структури таких мереж, а саме деревовидність та невелику кількість контурів. Деревовидність електричних розподільчих мереж визначена галузевими нормативними документами. Запропоновано метод розрахунку режиму для тренажерів оперативних перемикачів електричних розподільчих мереж, який враховує таку специфіку структури розподільчих мереж. Часова складність запропонованого методу підйому струмів становить  $O(V+K^3)$ , де  $V$  – кількість вузлів,  $K$  – кількість контурів.

3. Проведено експериментальну оцінку швидкодії розрахунку режиму з використанням методу підйому струмів та методу розв'язку СЛАР по вузлах комутаційної структури. Підтверджено ефективність розрахунку режиму методом підйому струму при великій кількості вузлів комутаційної структури та невеликій кількості контурів. Так, для комутаційної структури, що містить 3000 вузлів та 5 контурів, час розрахунку режиму методом підйому струмів складає 0,605 с, а методом побудови СЛАР по вузлам –  $6 \times 10^4$  с.

4. Запропоновано порядок робочого процесу при практичній розробці тренажерів оперативних перемикачів.

## РОЗДІЛ 5

В п'ятому розділі розглянуті методи та моделі оцінювання компетентності персоналу, що використовуються в начальних та тренувальних заняттях. Відомі з педагогіки методи оцінювання представлені у вигляді формульних моделей. Описано реалізований новий метод інтегрального оцінювання учнів та навчальних занять з використанням формул і структур розрахунку шахового рейтингу.

### **5.1 Методи та моделі оцінки успішності проходження навчання персоналом з використанням в комп'ютерних засобів підготовки**

Методи оцінки елементів компетентності персоналу – це сукупність підходів, що використовуються для отримання інформації про рівень знань, вмінь та навиків по завершенню етапу підготовки або підготовки в цілому. В якості етапу виступає оцінка за навчальне заняття або результат проходження тренажерного заняття.

За способом реалізації методи оцінювання в комп'ютерних системах поділяються на:

- Експертне оцінювання по протоколу проходження заняття, яке проводить інструктор;
- Автоматичне оцінювання на основі розроблених моделей.

Всі сучасні комп'ютерні засоби підготовки забезпечують в більшій чи меншій мірі автоматичне оцінювання, а не просто фіксацію дій та відповідей учня.

Потрібно відмінити, що у більшості випадків автоматична комп'ютерна оцінка має рекомендаційний характер, тобто остаточне рішення все одно приймає людина: інструктор або комісія, які можуть або погодитися з автоматичною оцінкою, або продовжити оцінювання за допомогою інших методів.

Методи оцінювання повинні бути реалізовані у вигляді готових типових моделей в Бібліотеці типових компонентів та моделей, і відповідним чином налаштовуватися інструктором або педагогом для конкретного заняття з метою досягнення учнем мети та цілей заняття.

## 5.2 Моделі оцінки успішності проходження навчальних занять

На сьогоднішній розроблено та використовується велика кількість (більше 400) систем комп'ютерного навчання та контролю знань [57], в міжнародній термінології Learning Management System (LMS). Розглянувши реалізацію моделей оцінювання в зазначених системах, в тому числі, в таких програмних пакетах як Moodle [58], Sakai [59], BlackBoard [60], Автоекзаменатор Протек [61], системи Аспект і АСКО [62] та інших, можна зробити висновок, що вони використовують загальноприйняті системи оцінювання, які базуються на розроблених педагогічних методиках і взяті з системи освіти.

Розглянемо моделі та варіанти оцінювання навчальних занять, які використовуються в системах комп'ютерного навчання та контролю знань:

1. **100-бальна оцінка [0 – 100]**, яка визначається формулою:

$$Оц_{100} = 100 \times \frac{\sum_{i=1}^n ПрВ_i}{n}, \quad (5.1)$$

де  $ПрВ_i$  – відповідь на  $i$ -те запитання;

$n$  – кількість запитань в навчальному занятті.

2. **Бали за правильну відповідь.** В найпростішому випадку  $ПрВ = 1$ , якщо відповідь правильна,  $ПрВ = 0$ , якщо відповідь неправильна. Також використовуються варіанти розрахунку балів, коли за вибір неправильних відповідей у запитаннях знімаються додаткові бали, таким чином робиться не вигідним вгадування правильних відповідей. Тоді для запитань на множинний вибір  $ПрВ$  визначається за формулою:

$$ПрВ_i = \frac{КВП_i}{ЗКП_i \times КВН_i}, \quad (5.2)$$

де  $ПрВ_i$  – бали за відповідь на  $i$ -те запитання;

$КВП_i$  – кількість вибраних правильних в  $i$ -ому запитанні;

$ЗКП_i$  – загальна кількість правильних відповідей в  $i$ -ому запитанні;

$КВН_i$  – кількість вибраних неправильних в  $i$ -ому запитанні.

3. **Складність запитань.** Досить часто в комп'ютерних навчальних системах для запитань може бути задана складність, тоді формула (5.1) для визначення оцінки набуває вигляду:

$$Оц_{100} = 100 \times \frac{\sum_{i=1}^n С_{кЗ}_i \times ПрВ_i}{\sum_{i=1}^n С_{кЗ}_i}, \quad (5.3)$$

де  $ПрВ_i$  – правильна відповідь на  $i$ -те запитання;

$С_{кЗ}_i$  – складність  $i$ -го запитання;

$n$  – кількість запитань в навчальному занятті.

Складність запитань може бути визначена Інструктор – автором запитання, або системою автоматично на основі певного правила. Наприклад, для запитань на множинний вибір складність запитання може визначатися по кількості правильних відповідей у запитанні.

4. **Зараховано/не зараховано [1, 0]**, визначається формулою:

$$Оц_2 = \text{ЯКЩО } (Оц_{100} > Пр) \text{ ТО "Зарах." ІНАКШЕ "Не зарах."}, \quad (5.4)$$

де  $Оц_{100}$  – стобальна оцінка отримана по формулі (5.3);

$Пр$  – поріг для зарахування, який визначається інструктором.

Тут і в подальшому ЯКЩО-ТО, ІНАКШЕ, І – логічні операції.

5. **4-бальна система** («відмінно»-«5», «добре»-«4», «задовільно»-«3», «незадовільно»-«2»), запропонована спеціалістами по педагогіці і використовується в вищій школі. Формула для 4-бальної системи оцінювання наступна:

$$Оц_2 = \text{ЯКЩО } (Оц_{100} > Пр_5) \text{ ТО "5" ІНАКШЕ} \\ \text{ЯКЩО } (Оц_{100} > Пр_4) \text{ ТО "4" ІНАКШЕ}, \quad (5.5) \\ \text{ЯКЩО } (Оц_{100} > Пр_3) \text{ ТО "3" ІНАКШЕ "2"}$$

де  $O_{c100}$  – стобальна оцінка отримана по формулі (5.3);  
 $Pr_5, Pr_4, Pr_3$  – пороги для відповідних оцінок, які визначаються інструктором.

Для вищої школи загальноприйняті наступні пороги для оцінок:

$$Pr_5 = 88 \%, Pr_4 = 71 \%, Pr_3 = 51 \%.$$

Додатково слід відмітити, що можуть використовуватися інші системи оцінювання, оснований на такому самому принципі, наприклад прийнята у вищих навчальних закладах країн європейського союзу система ECTS (European Credit Transfer and Accumulation System), яка поступово поширюється в Україні. ECTS використовує 7 балів: A(90-100), B(82-89), C(75-81), D(67-74), E(60-66), FX(35-59), F(1-34) [63].

**6. Критерій успішності [1, 0].** У деяких випадках використовуються інші моделі оцінювання, для проходження перевірки знань з питань ядерної та радіаційної безпеки в Україні використовуються наступна методика оцінювання [64]:

А) Розраховується відсоток правильних, неповних правильних та неправильних відповідей:

$$\begin{aligned} \text{Від}_{\text{прав}} &= 100 \times \frac{\sum_{i=1}^n \text{Прав}V_i}{n} \\ \text{Від}_{\text{непов}} &= 100 \times \frac{\sum_{i=1}^n \text{Непов}V_i}{n} \\ \text{Від}_{\text{непр}} &= 100 \times \frac{\sum_{i=1}^n \text{Непр}V_i}{n}, \end{aligned} \quad (5.6)$$

де  $\text{Прав}V_i$  – правильна відповідь на  $i$ -те запитання;

$\text{Від}_{\text{прав}}$  – відсоток правильних відповідей;

$\text{Непов}V_i$  – неповна правильна відповідь на  $i$ -те запитання;

$\text{Від}_{\text{непов}}$  – відсоток неповних правильних відповідей;

$\text{Непр}V_i$  – неправильна відповідь на  $i$ -те запитання;

$\text{Від}_{\text{непр}}$  – відсоток неправильних відповідей;

$n$  – кількість запитань в навчальному занятті.

Б) З урахуванням значень отриманих на попередньому кроці (5.6) визначається результат навчального заняття:

$$O_{ц_{кр}} = \text{ЯКЩО} \left( (Від_{прав} > Пр_{прав}) \text{ І } (Від_{непов} < Пр_{непов}) \text{ І } (Від_{непр} < Пр_{непр}) \right) \text{ ТО "Зарах." ІНАКШЕ "Не зарах." }, \quad (5.7)$$

де  $Від_{прав}$ ,  $Від_{непов}$ ,  $Від_{непр}$  – відсотки отримані по формулі (5.6);

$Пр_{прав}$ ,  $Пр_{непов}$ ,  $Пр_{непр}$  – пороги для відповідних кількостей, які визначаються інструктором.

**7. Додаткові умови.** Під час оцінювання можуть бути додаткові умови, наприклад відповідно до [64], при проходженні перевірки знань для ряду нормативних документів не допускаються неправильні відповіді, у разі надання неправильної відповіді на запитання, зараховується негативна оцінка за екзамен, незалежно від результатів відповідей на інші запитання.

**8. Часові обмеження в моделях оцінювання.** Навчальне заняття може проводитися як без часових обмежень, так і з обмеженнями по часу проходження. У випадку встановлення часових обмежень, після закінчення виділеного часу тренування вважається завершеним, а запитання, на які не було дані відповіді, вважаються неправильними:

$$ПрВ_j = \text{ЯКЩО} (T > T_{кз}) \text{ ТО "0"}, \quad (5.8)$$

де  $ПрВ_j$  – бали за відповідь на  $j$ -те запитання;

$T$  – час затрачений на контрольне заняття;

$T_{кз}$  – час виділений на контрольне заняття.

Часові обмеження можуть задаватися для в загальному для навчального заняття або для відповіді на одне запитання. В такому випадку навчальна система визначить загальний час на заняття з урахуванням часу відповіді на одне запитання та кількістю запитань в занятті.



Доцільно з точки зору педагогіки передбачити можливість для Інструктора визначати, чи буде відображатися витрачений час та час, що залишився, для Учня.

Представлені системи оцінювання та налаштування часових обмежень для навчальних занять можуть бути реалізовані у вигляді типових формульних моделей в Бібліотеці типових компонентів для використання Інструкторами і Технологами з можливістю їх корекції.

### 5.3 Моделі оцінки успішності проходження тренажерних занять

Тренажер як засіб підготовки персоналу повинен забезпечувати контроль та оцінку дій учня під час проходження тренажерного заняття.

Наприклад, для оцінювання тренажерного заняття виділяються стани чи події в моделі об'єкта або моделі управління об'єктом ТрЗ і правильні дії в кожному з них для досягнення кінцевої цілі. Розраховується максимальна кількість балів, які можна отримати за ТрЗ:

$$\text{Бал}_{max} = \sum_{i=1}^n \text{ПрД}_i \times V_i, \quad (5.9)$$

де  $\text{ПрД}_i$  – правильна дія в  $i$ -ому стані;

$V_i$  – вага  $\text{ПрД}_i$ ;

$n$  – кількість станів.

Виходячи з максимальної кількості балів за ТрЗ (5.9) та результатів проходження ТрЗ розраховується стобальна оцінка за ТрЗ:

$$\text{ОцТрЗ}_{100} = 100 \times \frac{\sum_{i=1}^n (\text{ПрД}_i \times V_i - \text{НпД}_i \times V_{\text{НпД}_i} - t_i \times V_t)}{\text{Бал}_{max}}, \quad (5.10)$$

де  $\text{ПрД}_i$  – правильна дія в  $i$ -ому стані;

$\text{НпД}_i$  – неправильна дія в  $i$ -ому стані;

$t_i$  – час затрачений на дію  $i$ -ого стану;

$V_i, V_{\text{НпД}_i}, V_t$  – ваги  $\text{ПрД}_i, \text{НпД}_i, t_i$ ;

$n$  – кількість станів;

$\text{Бал}_{max}$  – максимальний бал для ТрЗ (5.9).

Успішність проходження тренажерного завдання визначається по формулі:  
$$\text{ОцТрЗ}_2 = \text{ЯКЩО } (\text{ОцТрЗ}_{100} > \text{Пр}_{\text{ТрЗ}}) \text{ ТО "Успіш." ІНАКШЕ "Не успіш."},$$
 (5.11)

де  $\text{ОцТрЗ}_{100}$  – стобальна оцінка отримана по формулі (5.10);

$\text{Пр}_{\text{ТрЗ}}$  – поріг, який визначається інструктором.

Потрібно відмітити, що неправильні дії – помилки, потрібно розділити на дві групи:

- негрубі помилки, після яких можливе продовження тренування;
- критичні помилки, вчинення яких припиняє тренажерне заняття з негативним результатом. До таких помилок відносяться дії, що спричинили нещасний випадок або пошкодження обладнання.

Аналогічно з навчальними заняттями системи оцінювання для тренажерних занять повинні бути реалізовані у вигляді типових моделей в Бібліотеці типових компонентів для використання Інструкторами і Технологами.

#### **5.4 Ранжирування за рівнем компетентності фахівців**

Рейтинг – це числовий чи порядковий показник успішності, популярності, який відображає важливість і вплив певного об'єкта або явища; показник оцінки діяльності, популярності, авторитету якоїсь особи, організації, групи, яке вони посідають серед собі подібних.

Також рейтинг можна розглядати як інтегральну оцінку в якійсь сфері. Для прикладу, у вищих навчальних закладах використовуються системи рейтингів студентів, які формуються на основі оцінок за певні предмети з урахуванням коефіцієнтів для кожного предмету.

Пропонується для ранжування за рівнем компетентності фахівців в енергетиці використовувати формули та структури розрахунку шахового

рейтингу Ело. Система рейтингів Ело – це метод розрахунку відносної сили гравців, в іграх, в яких приймають участь двоє, наприклад, го чи шахи. Найбільше поширення система Ело отримала в шахах, починаючи з 1970 року вона офіційна рейтингова система в FIDE [65].

Система Ело основана на імовірнісному розрахунку результату матчу, в залежності від поточного рейтингу гравців. Тобто, імовірність виграшу гравця з більшим рейтингом (сильнішого гравця) є більшою, ніж гравця з меншим рейтингом, і навпаки. Після завершення матчу, по реальних результатах гри та прогнозованому результату, проводиться перерахунок рейтингів.

При використанні рейтингу Ело в шахах гравці зустрічаються між собою і в результаті ігор формується рейтинг. При проходженні професійного навчання та тестування конкурсанти безпосередньо між собою не зустрічаються, вони ніби змагаються із контрольними заняттями (КЗ): навчальними або тренажерними заняттями. Тому будемо виділяти дві окремі групи рейтингів: рейтинг персоналу (конкурсантів) та складність контрольних занять.

Слід відзначити, порівнювати можна тільки тих людей, для яких збігаються вимоги відповідно до посадових інструкцій, тобто тих які працюють на одній посаді.

Початковий рейтинг людей та складність контрольних занять, згідно системи Ело, становить 1000. Після проходження КЗ рейтинг людини та складність КЗ перераховується, згідно формул системи рейтингів Ело.

### **Рейтинг персоналу**

При введенні нового користувача в систему або при зміні посади, визначається початковий рейтинг – 1000. Для персоналу, який не відноситься до жодного підрозділу/посади рейтинг є невизначеним, і такий конкурсант не може приймати участь в рейтинговій оцінці.

Після того, як конкурсант пройшов КЗ, відбувається перерахунок його рейтингу та складності КЗ. Зміна рейтингу конкурсанта розраховується згідно

його рейтингу до екзамену та складності КЗ, яке він проходив. Порядок перерахунку рейтингу конкурсанта наступний.

Згідно формул системи Ело, розраховується імовірність успішного проходження конкурсантом КЗ:

$$\text{ІУП} = \frac{1}{1 + 10^{\frac{\text{СКЗ} - \text{РК}}{400}}}, \quad (5.12)$$

де ІУП – імовірність успішного проходження КЗ;

СКЗ – складність КЗ;

РК – рейтинг конкурсанта.

Помноживши величину отриману в попередній формулі (5.12) на 100%, отримаємо прогнозовану стобальну оцінку за проходження КЗ:

$$\text{ОцПрог}_{100} = \text{ІУП} \times 100\%, \quad (5.13)$$

де ОцПрог<sub>100</sub> – прогнозована стобальна оцінка за проходження КЗ.

Величину ОцПрог<sub>100</sub> отриману у (5.13) можна трактувати як оцінку за проходження КЗ, яка не змінює рейтинг конкурсанта.

На основі отриманої в (5.13) прогнозованої оцінки та дійсної оцінки за проходження КЗ визначається зміна рейтингу конкурсанта:

$$\text{ЗР} = \text{К}_p \times \frac{\text{ОцПрог}_{100} - \text{ОцДійс}_{100}}{100} \quad (5.14)$$

де ЗР – зміна рейтингу;

К<sub>p</sub> – коефіцієнт зміни рейтингу;

ОцПрог<sub>100</sub> – оцінка прогнозована, отримана по (5.13);

ОцДійс<sub>100</sub> – дійсна оцінка за проходження КЗ, розрахована по одній з формул (5.1), (5.3), (5.9).

Коефіцієнт зміни рейтингу К<sub>p</sub> в рейтингу міжнародної федерації шахів FIDE приймає значення [10, 15, 20, 30, 40] в залежності від рейтингу гравця,

кількості зіграних ігор та віку гравця [66]. Для рейтингу фахівців пропонується прийняти значення  $K_p = 20$ .

Значення зміни рейтингу (ЗР) може приймати як додатні, так і від'ємні значення, тобто рейтинг конкурсанта може як збільшуватися, так і зменшуватися.

Останній крок – це визначення нового рейтингу:

$$НРК = РК + ЗР \quad (5.15)$$

де НРК – новий рейтинг конкурсанта;

РК – рейтинг конкурсанта, перед проходженням КЗ;

ЗР – зміна рейтингу.

Отже, підсумовуючи вище викладене, перерахунок рейтингу персоналу відбувається за таким алгоритмом:

1. Розраховується імовірність успішного проходження КЗ.
2. Визначається прогнозована оцінка за КЗ.
3. На основі прогнозованої та дійсної оцінок за КЗ обчислюється зміна рейтингу конкурсанта.
4. Розраховується нове значення рейтингу конкурсанта.

На основі (5.12), (5.13), (5.14), (5.15) перерахунок рейтингу персоналу можна записати у вигляді загальної формули:

$$НРК = РК + K_p \times \left( \frac{1}{1 + 10^{(СКЗ-РК)/400}} \times 100\% - ОцДійс_{100} \right) / 100 \quad (5.16)$$

де НРК – новий рейтинг конкурсанта;

РК – рейтинг конкурсанта перед проходженням КЗ;

$K_p$  – коефіцієнт зміни рейтингу;

СКЗ – складність КЗ;

$ОцДійс_{100}$  – дійсна оцінка за проходження КЗ, розрахована по одній з формул (5.1), (5.3), (5.9).

### **Складність контрольних занять**

По аналогії з початковим рейтингом користувачів, при створенні нового КЗ, початкове значення складності становить – 1000.

Алгоритм перерахунку складності контрольного заняття аналогічний до алгоритму розрахунку рейтингу персоналу, але розглядається обернений випадок, що КЗ «перемагає» конкурсанта.

На першому кроці розраховується імовірність неуспішного проходження конкурсантом КЗ:

$$ІНП = \frac{1}{1+10^{\frac{РК-СКЗ}{400}}}, \quad (5.17)$$

де  $ІНП$  – імовірність неуспішного проходження КЗ;

$РК$  – рейтинг конкурсанта;

$СКЗ$  – складність КЗ.

Визначається прогнозована оцінка за проходження КЗ:

$$ОцПрог_{100} = ІНП \times 100\%, \quad (5.18)$$

де  $ОцПрог_{100}$  – прогнозована стобальну оцінка за проходження КЗ.

На основі отриманої в (5.18) прогнозованої оцінки та дійсної оцінки за проходження контрольного заняття визначається зміна складності КЗ:

$$ЗС = К_C \times \frac{ОцПрог_{100} - ОцДійс_{100}}{100}, \quad (5.19)$$

де  $ЗС$  – зміна складності;

$К_C$  – коефіцієнт зміни складності;

$ОцПрог_{100}$  – оцінка прогнозована, отримана по (5.18);

ОцДійс<sub>100</sub> – дійсна оцінка за проходження КЗ, розрахована по одній з формул (5.1), (5.3), (5.9).

Аналогічно  $K_p$  для зміни рейтингу персоналу пропонується прийняти коефіцієнт  $K_c = 20$ , проте в загальному випадку  $K_c$  може бути відмінним від  $K_p$ .

Значення зміни складності КЗ може приймати як додатні, так і від’ємні значення.

Останній крок, це визначення нової складності КЗ:

$$НСКЗ = СКЗ + ЗС \quad (5.20)$$

де НСКЗ – нова складність КЗ;

СКЗ – складність КЗ, перед проходженням конкурсантом КЗ;

ЗС – зміна складності.

На основі (5.17), (5.18), (5.19), (5.20) перерахунок складності контрольних занять можна записати у вигляді загальної формули:

$$НРК = РК + K_c \times \left( \frac{1}{1 + 10^{(РК-СКЗ)/400}} \times 100\% - \text{ОцДійс}_{100} \right) / 100 \quad (5.21)$$

де НСКЗ – нова складність КЗ;

СКЗ – складність КЗ перед проходженням конкурсантом КЗ;

$K_c$  – коефіцієнт зміни складності;

РК – рейтинг конкурсанта;

ОцДійс<sub>100</sub> – дійсна оцінка за проходження КЗ, розрахована по одній з формул (5.1), (5.3), (5.9).

Значення рейтингів персоналу та складностей КЗ фіксуються в БД. Перерахунок рейтингу персоналу та складностей КЗ відбувається автоматично

по формулам (5.16), (5.21) після проходження персоналом КЗ. При переведенні людини на іншу посаду, тобто при зміні вимог до знань та навиків відповідно до посадової інструкції, рейтингу персоналу повинно присвоюватися початкове значення – 1000. Якщо КЗ редагується, вносяться якісь зміни, Інструктор приймає рішення чи потрібно присвоювати значенню складності початкове значення чи залишити без змін.

Слід відзначити, що рейтинг стає актуальним при достатній кількості оцінок виконання занять визначених ПІ. Доцільно визначати рейтинг з деякою періодичністю, коли конкурсанти на певній посаді пройшли КЗ по всім напрямкам підготовки.

Структурна схема розрахунку рейтингу персоналу ( $P$ ) і складності контрольних занять ( $C$ ) представлена на рис. 5.1,  $Kp_{ik}$  –  $i$ -тий конкурсант на  $k$ -тій посаді ( $ПІ_k$ ),  $P$  – Рейтинг персоналу – рівень компетентності на  $k$ -тій посаді ( $ПІ_k$ ), КЗ – набір Контрольних занять,  $O_{ij}$  – Оцінка  $i$ -того Конкурсанта за  $j$ -те КЗ,  $C$  – складність КЗ в об'ємі ПІ.

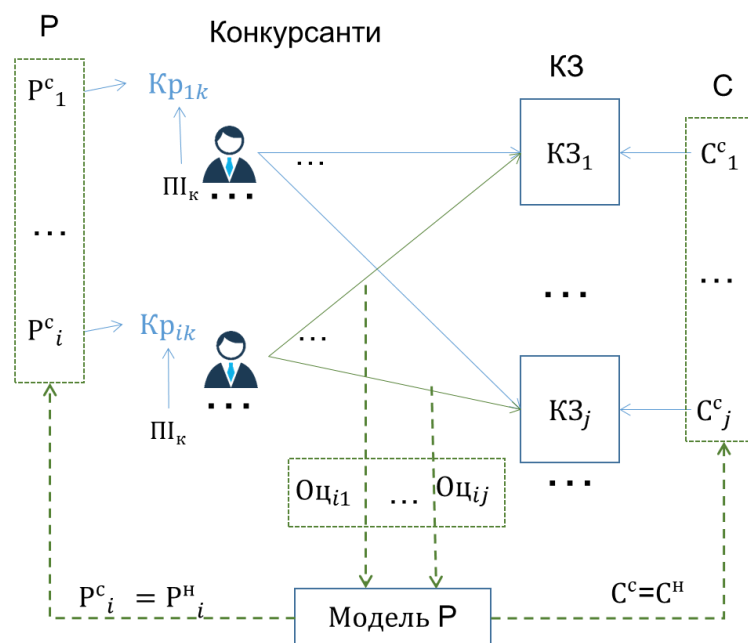


Рис. 5.1. Структурна схема розрахунку рейтингу персоналу ( $P$ ) і складності контрольних занять ( $C$ )



## Можливість педагогічних експериментів

Впровадження системи рейтингів дозволяє ввести ще одну додаткову функцію – динамічне формування оцінки. Суть динамічного оцінювання полягає в тому, що можна формувати оцінку в залежності від рейтингу конкурсанта та складності контрольного заняття, яке він проходить.

При виборі динамічної системи оцінювання, після проходження КЗ, пороги для оцінок динамічно розраховуються виходячи з дійсної оцінки за КЗ, рейтингу конкурсанта та складності КЗ, яке він проходив. Оцінка виставляється за наступними правилами:

а) при системі оцінювання «Зараховано/не зараховано», формула (5.4), за поріг  $Pr$  для «Зараховано» береться значення прогнозованої стобальної оцінки  $ОцПрог_{100}$  згідно формули (5.13);

б) при 4-ти бальній системі оцінювання, формула (5.5), за пороги оцінок беруться наступні значення:

$$\begin{aligned} Pr_5 &= ОцПрог_{100} + \frac{100 - ОцПрог_{100}}{2}, \\ Pr_4 &= ОцПрог_{100}, \\ Pr_3 &= ОцПрог_{100} - \frac{100 - ОцПрог_{100}}{2}, \end{aligned} \quad (5.22)$$

де  $Pr_5, Pr_4, Pr_3$  – пороги для відповідних оцінок;

$ОцПрог_{100}$  – прогнозована стобальна оцінка.

## 5.5 Висновки до Розділу

1. В системах комп'ютерного навчання та контролю знань використовуються різні методи і моделі оцінювання контрольних занять, які застосовуються інструкторами для конкретних ситуацій. Необхідно забезпечити можливість для інструкторів визначати та налаштовувати метод оцінювання для контрольних занять.

2. Представлені моделі оцінки успішності проходження навчальних та тренувальних занять, які можуть бути реалізовані у вигляді типових моделей

оцінювання та використовуватися технологіями при конструюванні засобів підготовки персоналу в енергетиці.

3. Запропоновано для ранжирування за рівнем компетентності персоналу використовувати формули і структуру розрахунку шахового рейтингу, які ґрунтовані на порівнянні імовірності очікуваного результату пари конкурсант-контрольне заняття і реального результату.

4. Моделі оцінки успішності проходження навчальних та тренувальних занять та розрахунку рейтингу представлені у формульному вигляді, що дозволяє реалізувати їх у вигляді типових бібліотечних компонентів.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена науково-практична задача покращення ефективності інструментального забезпечення інформаційних технологій, а саме технологій побудови комп'ютерних систем підготовки персоналу за рахунок пошуку нових методів та засобів конструювання комп'ютерних тренажерів і систем навчання, які дозволяють залучати до процесу розробки спеціалістів галузі.

Основні наукові і практичні результати полягають у наступному:

1. Представлений ефективний метод розрахунку режиму для комп'ютерних тренажерів оперативних перемикань, який розроблений з врахуванням специфіки структури розподільчих мереж – переважна деревовидність і обмежена кількість контурів, що визначається галузевими нормативними документами. Використання запропонованого методу в тренажерах оперативних перемикань уможливило використання для проведення навчання типових комп'ютерів та забезпечує комфортний час відгуку на управляючі дії при великій кількості вузлів в моделі.

2. Удосконалено імітаційно-технологічний метод конструювання комп'ютерних тренажерних занять, в якому основою для побудови є опис процесу робочої діяльності оперативно-диспетчерського персоналу, що формується виходячи з посадових інструкцій та іншої нормативно-технічної документації. Згідно імітаційно-технологічного методу для тренажерного заняття необхідно розробляти модель управління об'єктом, а не математичну модель об'єкта. Використання методу дозволяє зменшити час та витрати на розробку тренажерних занять.

3. Запропоновано для графічного представлення робочої діяльності персоналу та сценаріїв тренажерних і навчальних занять використовувати адаптацію стандарту опису бізнес процесів BPMN. Використання BPMN, як засобу формального графічного опису діяльності персоналу, дозволяє залучати до проектування та розробки тренажерів і навчальних систем спеціалістів

галузі, покращити взаємодію між учасниками процесу побудови навчальних систем і зменшити загальний час розробки.

4. Для ранжирування за рівнем компетентності фахівців запропоновано використовувати формули і структуру розрахунку шахового рейтингу, які ґрунтуються на порівнянні ймовірності очікуваного результату пари конкурсант – контрольне заняття і реального результату. Представлений метод розрахунку рейтингу може бути використаний в комп'ютерних системах контролю знань для формування рейтингу персоналу та для проведення професійних змагань.

5. Представлені моделі розрахунку запропонованого рейтингу та оцінювання контрольних занять на основі відомих педагогічних підходів у вигляді типових формульних бібліотечних компонентів, що забезпечує можливість налаштування та використання моделей для оцінювання контрольних занять. Моделі оцінювання реалізовані в комп'ютерних системах дистанційного навчання та використовуються інструкторами при проведенні контролю знань персоналу.

6. Для створення засобів конструювання тренажерних занять запропоновано та описано використання стандартних програмних пакетів-редакторів, які відомі спеціалістам галузі та є простими у освоєнні. Для цього з усього набору функцій програмних пакетів виділені необхідні та проведена їх адаптація. Такий підхід дозволяє розробляти та модернізувати тренажерні заняття в режимі редагування фахівцями галузі без залучення програмістів.

7. Описані в дисертаційній роботі підходи, методи та засоби використовувалися при розробці систем дистанційного навчання та контролю знань АСПЕКТ/КОНКУРС/АСКО та тренажерів оперативних перемикань для підприємств розподільчих мереж.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Либерман А. Н. Техногенная безопасность: человеческий фактор. – Санкт-Петербург, 2006 – 101 с.
2. Ачаповская А.М., Мыцких В.А., Яркова И.В. Диагностика профессиональной пригодности и формирования профессионально важных качеств как метод повышения надежности оперативного персонала. // Эл.станции, №11, 1983, с.6-8.
3. Правила проведення протиаварійних тренувань персоналу електричних станцій та мереж // Міністерство енергетики та вугільної промисловості України.
4. Нефінансовий звіт НАЕК «Енергоатом» за 2018 рік [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
<https://www.slideshare.net/energoatom/2018-169280568>
5. Академії ДТЕК [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
<https://dtekkademy.com/>
6. ГКД 34.20.507-2003. Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила.
7. ГСТУ 95.1.07.04.047-2000 Галузевий стандарт України. Система підготовки персоналу атомних електростанцій України.
8. НП 306.2.103-2004. Правила ліцензування діяльності персоналу з безпосереднього управління реакторною установкою АЕС.
9. СОУ НАЕК 101:2015. Управління кваліфікацією персоналу. Підготовка персоналу ДП НАЕК «Енергоатом». Терміни та визначення.
10. Положення про спеціальну підготовку і навчання з питань технічної експлуатації об'єктів електроенергетики // Міністерство палива та енергетики України.
11. РД 34.12.302-86. Указания по построению комплекса обучающих и тренажерных систем для подготовки эксплуатационного персонала

энергоблоков ТЭС, АЭС, предприятий электросетей, энергосистем и объединений.

12. Башмаков А.И., Башмаков И.А. Разработка компьютерных учебников и обучающих систем. – М.: Информационно-издательский дом Филинь, 2003. – 616 с.

13. Селезнев В.Е., Алешин В.В., Прялов С.Н. Современные компьютерные тренажеры в трубопроводном транспорте: математические методы моделирования и практическое применение М.: Макс Пресс, 2007. — 200 с.

14. Самойлов В.Д., Модельное конструирование компьютерных приложений //Киев:Наукова думка, 2007. – 198 с.

15. Компания «Модус» [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.swman.ru/>

16. Щербнев В.С., Ильченко А.Г., Токов А. Ю. и др. Компьютерные технологии в системе подготовки оперативного персонала ТЭС и АЭС//Вестник ИГЭУ. 2007 Вып. 2, С.10-14.

17. Самойлов В.Д., Нетлюх О.П. Построение ситуационных тренажеров средствами AUTHORWARE. // Збірник наукових праць ІПМЕ ім. Г.Е.Пухова. К. - 2012 рік. Випуск 62, С. 109-117.

18. Western Service Corporation – Innovation Simulation Solutions [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.ws-corp.com/>

19. Програмный комплекс «Дакар» [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://dakar.eleks.com>

20. RTDS Technologies [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.rtds.com/>

21. PS CAD [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://hvdc.ca/>

22. Нетлюх О.П. Компьютерные технологии построения ситуационных тренажеров для персонала энергопредприятий: дис. канд. техн. наук: 05.13.06 / Інформаційні технології. – Київ, 2016. – 142 с.

23. Переверзев И.П. Противоаварийный тренажер для диспетчеров электрических сетей с автоматизированной адаптацией к

- электроэнергетическим объектам: дис. канд. техн. наук: 05.14.02 / Електричні станції, мережі і системи. – Київ, 1988. – 159 с.
24. Сметана С.И. Автоматизированная система построения тренажеров для диспетчеров электрических сетей: дис. канд. техн. наук: 05.14.02 / Електричні станції, мережі і системи. – Київ, 1985. – 198 с.
25. Писаренко А.П., Самойлов В.Д., Стеценко О.Я. Компьютерные технологии моделирования для динамических тренажеров – Київ, Наукова думка, 1992. – 165 с.
26. Абрамович Р.П., Бальва А.А., В Самойлов.Д.. Построение модели навигации для компьютерных тренажеров и приложений сценарного типа. //Электронное моделирование. 2014. – Т. 36 - № 1. С. 97-103
27. Бальва А.А., Самойлов В.Д., Максименко Е.А. Структура и технология построения графической модели приложения сценарного типа. //Збірник наукових праць ІПМЕ ім.Г.Є.Пухова НАН України. К.:2013. – Вип.68. - С.3-11
28. Винничук С. Д., Самойлов В.Д.. Определение токов в коммутационных структурах электроэнергетических сетей с древовидной структурой графа //Электронное моделирование. 2015 – Т. 37. – № 5. – С. 89-104.
29. Самойлов В.Д., Винничук С. Д., Абрамович Р.П.. Метод подъема токов нагрузок к узлу ввода для расчета энергетических распределительных сетей//Электронное моделирование. 2015. – Т. 37 – № 6.
30. Мала гірнича енциклопедія: у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. – Д. : Східний видавничий дім, 2004–2013.
31. ISO 5807:1985. Information processing – Documentation symbols and conventions for data, program and system flowcharts, program network charts and system resources charts. International Organization for Standardization.
32. ДСТУ ISO 5807:2016 Обробляння інформації. Символи та угоди щодо документації стосовно даних, програм та системних блок-схем, схем мережевих програм та схем системних ресурсів.

33. Черемных С.В., Семенов И.О., Ручкин В.С. Моделирование и анализ систем. IDEF-технологии: практикум, Учебник-практикум. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 188 с.
34. Robert P. Hanrahan «The IDEF Process Modeling Methodology».
35. Бальва А.О. Графічна модель системи навчання і контролю знань для користувача на базі IDEF-технологій// Збірник наукових праць ІПМЕ ім.Г.Є. Пухова НАН України. К. 2011. Вип.59 – С.3-11.
36. Мартин Фаулер UML. Основы. Краткое руководство по стандартному языку объектного моделирования – Символ-Плюс, 2011 – 192 с.
37. Дж. Рамбо, М. Блаха UML 2.0. Объектно-ориентированное моделирование и разработка – Питер, 2007 – 544 с.
38. Грейди Буч, Джеймс Рамбо, Айвар Джекобсон Язык UML. Руководство пользователя – ДМК Пресс, 2007 – 496 с.
39. Бальва А.А., Самойлов В.Д. Формализация описания компьютерных приложений на базе графических нотаций//Электронное моделирование.-2011.- Т.33, №5 С.43-56.
40. Самойлов В.Д., Бальва А.А., Максименко Е.А. Структура и технология построения графической модели приложения сценарного типа//Збірник наукових праць ІПМЕ ім.Г.Є.Пухова НАН України. К.:2013.
41. Леоненков А. Самоучитель UML2.-СПб.: БХВ-Петербург, 2007.– 576 с.
42. Офіційна специфікація стандарту BPMN [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.omg.org/spec/BPMN/>
43. Федоров И.Г. Моделирование бизнес-процессов в нотации BPMN 2.0: Монография, Москва, 2013, МЭСИ-255 с.
44. Офіційний сайт Bizagi [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.bizagi.com/>
45. Правила виконання оперативних перемикачів в електроустановках [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0211-18>



46. Самойлов В.Д. Определение напряжений и токов коммутационной структуры поиском на графе // Зб. наук. праць ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАНУ. Спец. вип. «Моделювання та інформаційні технології: Матеріали конференції «Моделювання – 2010». Т.3. – Київ : ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАНУ, 2010. – С. 131-139.
47. Пухов Г.Е. Методы анализа и синтеза квазианалоговых электронных цепей. – К.: Наукова думка, 1967. – 568 с
48. Мэзон С. Электронные цепи, сигналы и системы / С. Мэзон, Г. Цимерман. – М., 1963. – 375 с.
49. Абрахамс Дж. Анализ электрических цепей методом графов / Дж. Абрахамс, Дж. Каверли. – М. : Мир, 1967. – 427 с.
50. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р., Штайн К. Алгоритмы: построение и анализ. 2-е изд. :Пер. с англ. — М. : Изд. дом «Вильямс», 2007. – 1296 с.
51. Набор программ малой электронной цифровой вычислительной машины «МИР». Т.1. Методы вычислений. Кн. 1. — Киев : Наук. думка, 1970. — 236 с.
52. Писсанецки С. Технология разреженных матриц. — М. : Мир, 1988. — 410 с.
53. Davis T. A. Direct Methods for Sparse Linear Systems (Fundamentals of Algorithms).— Society for Industrial and Applied Mathematics, 2006. — 218 p.
54. Saad Y. Iterative Methods for Sparse Linear Systems. Second Edition.— Society for Industrial and Applied Mathematics, 2003.— 527 p.
55. Bangerth W., Rannacher R. Adaptive Finite Element Methods for Differential Equations.— Springer Science & Business Media, 2003.— 207 p.
56. Самойлов В.Д. Поиск токов в коммутационных структурах электрических подстанций для моделей тренажеров оперативных переключений / В.Д. Самойлов, Р.П. Абрамович // Электронное моделирование. – 2013 – Т. 35, № 1. – С. 95-107.
57. «LMS Software» [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.capterra.com/learning-management-system-software/>

58. «Moodle» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
<https://moodle.org>
59. «Sakai» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
<https://www.sakailms.org/>
60. «BlackBoard» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
<https://www.blackboard.com/>
61. «Автоекзаменатор Протек» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://protec.kiev.ua/>
62. «АСОТ» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
<https://www.asot.com.ua/>
63. «European Credit Transfer and Accumulation System (ECTS)» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [http://ec.europa.eu/education/lifelong-learning-policy/ects\\_en.htm/](http://ec.europa.eu/education/lifelong-learning-policy/ects_en.htm/)
64. Порядок проведення навчання і перевірки знань з питань ядерної та радіаційної безпеки – Режим доступу до ресурсу:  
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1549-14?lang=ua>
65. Elo Arpad E. The Rating of Chess Players, Past and Present. – Ishi Press, 2008. – 224 p.
66. FIDE [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
<https://www.fide.com/>

## **ДОДАТОК 1 Список публікацій за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації**

### **Список публікацій за темою дисертації**

1. Самойлов В.Д., Абрамович Р.П. Поиск токов в коммутационных структурах электрических подстанций для моделей тренажеров оперативных переключений. *Электронное моделирование*. – 2013 – Т. 35, № 1. – С. 95-107.
2. Самойлов В.Д., Винничук С.Д., Абрамович Р.П. Метод подъема токов нагрузок к узлу ввода для расчета энергетических распределительных сетей. *Электронное моделирование*. – 2015. – Т. 37, № 6. – С. 83-97.
3. Абрамович Р.П. Використання професійного рейтингу в системі тестування держслужбовців. *Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України* – К.: ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2009. – Вип. 50. – С. 28-36.
4. Абрамович Р.П., Бальва А.О., Самойлов В.Д. Інтегрована технологія проектування комп'ютерних засобів сценарного типу підготовки фахівців для енергопідприємств. *Электронное моделирование*. – 2018. – Т. 40, № 2. – С. 27-42.
5. Абрамович Р.П., Бальва А.А., Самойлов В.Д. Построение модели навигации для компьютерных тренажеров и приложений сценарного типа. *Электронное моделирование*. – 2014 – Т. 36, № 1. – С. 97-105.
6. Абрамович Р.П. Структуры данных для модели тренажера оперативных переключений. *Моделювання та інформаційні технології*. – 2016. – Вип. 76. – С. 10-17.
7. Бальва А.О., Абрамович Р.П., Максименко О.О. Технологія візуального проектування систем підтримки компетентності персоналу енергопідприємств. *Моделювання та інформаційні технології*. – 2016. – Вип. 76. – С. 70-77.
8. Бальва А.О., Самойлов В.Д., Абрамович Р.П. До вибору графічної специфікації діяльності персоналу енергопідприємств. *Моделювання та інформаційні технології*. – 2018. – Вип. 85. – С. 45-52.

9. Абрамович Р.П. Метод графічної специфікації діяльності користувачів системи контролю знань. *XXIX Науково-технічна конференції «Моделювання» ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 12-13 січня 2010 р. – тези доп. – м. Київ – С. 20.

10. Абрамович Р.П. Імітаційно-технологічний метод конструювання моделей для комп'ютерних тренажерів. *II Міжнародна науково-практична конференція «Priority directions of science development»*. 25-26 листопада 2019 р. – тези доп. – м. Львів – С. 152-155.

11. Абрамович Р.П. Використання комп'ютерних тренажерів та комп'ютерних навчальних систем для підготовки та перепідготовки фахівців в енергетиці. *III Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція «Перспективи розвитку управлінських систем у соціальній та економічних сферах України: теорія і практика»*. 28 листопада 2019 р. – тези доп. – м. Київ – С. 236-238.

12. Абрамович Р.П. Використання нотації BPMN для графічного представлення робочої діяльності персоналу та сценаріїв тренажерних занять. *Міжнародна науково-практична конференція «Пріоритетні напрямки досліджень в науковій та освітній діяльності»*. 05-06 грудня 2019 р. – тези доп. – м. Львів – С. 29-30.

13. Абрамович Р.П. Методи побудови моделей розподільчих мереж та розрахунку режиму для тренажерів оперативних перемикачів. *Міжнародна науково конференція «Наука та інновації – 2019: теорія, методологія та практика»*. 06 грудня 2019 р. – тези доп. – м. Запоріжжя – С. 119-121.

14. Бальва А.О., Абрамович Р.П., Максименко О.О. Питання розробки імітатора людино-машинної системи для проектування інтерфейсу автоматизованих робочих місць (АРМ). *Моделювання та інформаційні технології*. – 2016. – Вип. 77. – С. 12-20.

15. Соляник С.М., Абрамович Р.П., Лемчик Р.О., Шалай Д.Б., Збінський К.В., Шемечко Я.П. Комп'ютерна програма «Комп'ютерна система

дистанційного навчання та контролю знань «АСКО». *Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 85005, дата реєстрації 29.01.2019 р.*

16. Соляник С.М., Абрамович Р.П., Лемчик Р.О., Шалай Д.Б., Збінський К.В., Шемечко Я.П. Комп'ютерна програма «Автоматизована система проведення навчання, контролю знань та тренажу «АСПЕКТ». *Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 85006, дата реєстрації 29.01.2019 р.*

### **Відомості про апробацію результатів дисертації**

- щорічна ХХІХ науково-технічна конференція молодих вчених та спеціалістів Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова, м. Київ, 2010 р.

- семінар «Використання сучасних систем дистанційного навчання для підготовки, перепідготовки і тестування персоналу підприємств енергетики», с. Славське, 2010 р.

- семінар «Проблеми впровадження і використання систем дистанційного навчання та тренажерної підготовки працівників енергетики та інших галузей промисловості з питань технічної експлуатації, охорони праці та пожежної безпеки», с. Славське, 2011 р.

- семінар-практикум «Принципи розробки, впровадження та використання сучасних комп'ютерних мультимедійних систем підготовки та тренажу персоналу енергопідприємств та об'єктів промисловості», с. Славське, 2013 р.

- науково-практична конференція «Сучасні методи аналізу усталених режимів електричних мереж та стійкості електроенергетичних систем. Новітні досягнення у проведенні тренажерної підготовки оперативно-диспетчерського персоналу», с. Славське, 2016 р.

- семінар «Сучасні комп'ютерні та інформаційні системи навчання і тренажерної підготовки персоналу та системи підтримки управління підприємством для енергетики та інших об'єктів промисловості», с. Славське, 2018 р.

- II Міжнародна науково-практична конференція «Priority directions of science development», м. Львів, 2019 р.

- III Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція «Перспективи розвитку управлінських систем у соціальній та економічних сферах України: теорія і практика», м. Київ, 2019 р.
- Міжнародна науково-практична конференція «Пріоритетні напрямки досліджень в науковій та освітній діяльності», м. Львів, 2019 р.
- Міжнародна науково конференція «Наука та інновації – 2019: теорія, методологія та практика», м. Запоріжжя, 2019 р.

## ДОДАТОК 2 Алгоритм методу підйому струмів

**Алгоритмы поиска токов и напряжений в древовидных КС.** Определение токов в дугах неориентированного графа КС реализуется на основе алгоритма поиска в глубину узлов, достижимых из узла Исток. Граф задан в виде списка смежности (*СписСмеж*). Спецификация алгоритмов выполнена в виде псевдокода с использованием метода модельного программирования для формульного логико-алгебраического представления кода. Формульное представление оператора «Если <условие> То <оператор или список операторов 1> Иначе <оператор или список операторов 2>» может быть реализовано в виде «<условие> ? <оператор или список операторов 1> : <оператор или список операторов 2>» или в правой части формулы <переменная> = <условие> ? <выражение 1> : <выражение 2>. Комментарий к строке псевдокода начинается после знака //.

**Метод поиска в глубину (ПоискГлуб(*u*))** узлов, достижимых из Истока. Узлы обработаны, начиная с заданного начального узла (Исток). Граф КС сохраняется в списке смежности (*СписСмеж*), где каждому узлу графа соответствует набор узлов, с которыми данный узел связан ветвями:

**ПоискГлуб(*u*, СписСмеж)**

1.  $Цвет[u] \leftarrow \text{СЕРЫЙ}$
2. Цикл для всех ( $v \in \text{СписСмеж}[u]$ ) > просмотр смежных с *u* узлов
3.  $(\text{Дуга}[\text{Индекс}] = \text{ЕСТЬ}) \text{ И } (Цвет[v] = \text{БЕЛЫЙ}) \text{ И ПоискГлуб}(v)$
4.  $Цвет[u] \leftarrow \text{ЧЕРНЫЙ}$  // выход из текущей рекурсии

Узлы графа КС заданы неповторяющимися числами (номера узлов). В общем случае КС содержит включенные и отключенные ветви. При поиске просматриваются только включенные ветви.

Для стандартного поиска в глубину необходим массив цветов узлов графа (*Цвет*). Перед началом поиска массив *Цвет* пуст. Элементы массива *Цвет* обеспечивают раскраску узлов графа в БЕЛЫЙ, СЕРЫЙ и ЧЕРНЫЙ цвета. Каждому достигнутому в процессе поиска узлу *u* соответствует процедура обработки этого узла. В начале этой процедуры  $Цвет[u] \leftarrow \text{СЕРЫЙ}$  (строка 1).

Процедура обеспечивает просмотр всех узлов  $v_i$ , связанных с узлом *u* дугами ветвей, представленных в *СписСмеж* парой (*u*, *v*) (строка 2). Если цвет *v* БЕЛЫЙ, то выполняется переход на этот узел вследствие рекурсивного запуска процедуры **ПоискГлуб(*v*)** (строка 4). Если просмотр узла *u* закончен и нет переходов на белые узлы, то  $Цвет[u] \leftarrow \text{ЧЕРНЫЙ}$  и завершение процедуры обработки узла *u*, а именно происходит возврат к процедуре, из которой рекурсивно была вызвана данная процедура, а именно обработки предка данного узла.

Таким образом, любой переход из данного узла *u* на белый цвет *v* приводит к возврату из *v* в *u*. В процессе поиска в глубину происходит построение дерева поиска, так как на основании древовидности КС каждому доступному из Истока узлу соответствует единственный предок.

**Алгоритм определения токов в дугах и напряжений в узлах** КС содержит две последовательно выполняемые процедуры поиска в глубину: токов, — **ПоискГлубТоки(Исток)**, и напряжений — **ПоискГлубНапр(Исток)**.

**ТокиНапр (СписСмеж)**

1. Итерация  $\leftarrow 0$
2. НапрУз  $\leftarrow []$
3. Цикл Пока (*ОшибкаМощ* > Доп*ОшибкаМощ*)
4.  $ТокДуг \leftarrow []$
5.  $Цвет \leftarrow []$
6.  $Предок \leftarrow []$
7. **ПоискГлубТоки(Исток)**
8.  $Цвет \leftarrow []$

9.  $Предок \leftarrow []$
10. **ПоискГлубНапр(Исток)**
11.  $Итерация \leftarrow Итерация+1$

**Алгоритм подъема токов к Истоку (этап 1).** Псевдокод алгоритма поиска в глубину токов в дугах дерева имеет следующий вид.

**ПоискГлубТоки( $u$ , СписСмеж)**

1.  $Цвет[u] \leftarrow$  СЕРЫЙ
2.  $ИндексПр \leftarrow (Предок [u], u)$  // индекс дуги от  $Предок[u]$  к  $u$
3. ( $НагрУз[u] =$ ЕСТЬ) И **НагрУзлов( $u$ , ИндексПр)** // токи нагруженных узлов
4. ЦиклДляВсех(  $v \in$  СписСмеж [ $u$ ])
5.  $Индекс \leftarrow (u, v)$
6. ( $Дуга[Индекс] =$ ЕСТЬ) И ( $Цвет[v] =$ БЕЛЫЙ) И ( $Предок [v] \leftarrow u$ , **ПоискГлубТоки( $v$ )**)
7. ( $ОтмУзТок[v] =$ ЕСТЬ) И ( $Предок [v] = u$ ) И **ПодъемТока( $u, v$ , Индекс, ИндексПр)**
8.  $Цвет[u] \leftarrow$  ЧЕРНЫЙ

**НагрУзлов( $u$ , ИндексПр)**

1.  $ОтмУзТок[u] \leftarrow$  ЕСТЬ // отметка узла  $u$  как токового
2. ( $Итерация=0$ ) И ( $ТокДуги[ИндексПр] \leftarrow 0$ ) // итерация с нулевыми токами
3. ( $Итерация>0$ ) И ( $ТокДуги[ИндексПр] \leftarrow$   $МоцУз[u]/НапрУз[u]$ ) // токи нагруженных узлов по  $НапрУз[u]$  из ( $Итерация=0$ )

**ПодъемТока( $u, v$ , Индекс, ИндексПредка)**

1.  $ОтмУзТок[u] \leftarrow$  ЕСТЬ // отметка узла  $u$  как токового
2.  $ТокДуги[ИндексПр] \leftarrow$   $ТокДуги[ИндексПр] + ТокДуги[Индекс]$  // подъем тока из дуги ( $u, v$ ) в дугу-предок

Любое переключение в КС приводит к древовидной структуре графа, узлам которого соответствуют значения напряжений (массив *НапрУз*), а ветвям (дугам) — значения токов (массив *ТокДуги*). Токи в ветвях между узлами образуются вследствие нагрузок в некоторых узлах. Заданная мощность нагрузки  $P_i$  в узле  $u_i$  обеспечивает ток  $I_i = P_i / U_i$  в случае, если узел  $u_i$  доступен из узла Исток. В эквивалентной графу электрической цепи узел цепи  $u_i$  связан проводимостью  $g_i = I_i / U_i$  с общим узлом цепи («землей»). Если между узлом Исток и «землей» приложено напряжение  $E$ , а между узлом с нагрузкой  $v_i$  и узлом Исток есть связь, то от  $v_i$  к «земле» протекает ток.

Узел  $u_i$  с нагрузкой, достигнутый в процессе поиска отметим как токовый в массиве *ОтмУзТок*. Такая отметка означает, что из этого узла протекают токи к другим узлам, т. е. он является предком токовых узлов, и к нему протекает входной ток от единственного предка. Ток от предка к  $u_i$  для древовидных структур равен сумме токов, направленных от узла, а узел предка  $u_i$  должен быть отмечен как токовый. Таким образом, все узлы цепочки по предкам от нагруженного узла к Истоку будут отмечены как токовые.

Используем метод поиска токов, который расширяет стандартную процедуру поиска в глубину применением двух расчетных схем:

1. определение токов от нагруженных узлов - **НагрУзлов( $u$ , ИндексПредка)**;
2. подъем суммы токов выходящих из узла  $u_i$  в дугу-предок - **ПодъемТока( $u, v$ , Индекс, ИндексПредка)**.

Схема 1 в процедуре **ПоискГлубТоки** выполняется при достижении узла с нагрузкой (строка 3). На начальной итерации ( $Итерация=0$ ) выполняется расчет КС при нулевых токах нагрузок (строка 2). На последующих итерациях используются токи нагрузок, определяемые в каждом узле как отношение мощности нагрузки к напряжению в узле, найденное на предыдущей итерации. Ток нагрузки сохраняется в массиве *ТокУзНагр* (строка 4).



Схема 2 выполняется, если для дуги  $(u, v)$   $v$  является токовым узлом, но не предком  $u$  (строка 8). При этом узел отмечается как токовый и формируется ток в дуге-предке. Токи, передаваемые от дуг  $(u, v)$  в дугу-предок, корректируются с учетом коэффициента трансформации, если узел  $u$  является входным узлом трансформатора (строка 2). В строке 3 ток дуги  $(u, v)$  добавляется к току дуги-предка.

### Алгоритм определения напряжений в узлах КС (2 этап решения)

Псевдокод алгоритма определения напряжений в представлен ниже. Основан, как и для 1 этапа, на процедуре поиска в глубину доступных из узла Исток узлах дерева КС.

#### ПоискГлубНапр( $u$ , СписСмеж)

1.  $Цвет[u] \leftarrow$  СЕРЫЙ
2. ЦиклДляВсех(  $v \in$  СписСмеж [ $u$ ])
3.      $Индекс \leftarrow (u, v)$
4.     (Дуга[Индекс] =ЕСТЬ) И (Цвет[ $v$ ]=БЕЛЫЙ) И
5.         (НапрУзла( $u, v$ , Индекс), ПоискГлубНапр( $v$ ))
6.         //расчет напряжения в узле  $v$  и рекурсивный переход в  $v$
7.     (НагрУз[ $v$ ] =ЕСТЬ) И ОшибкаМощн [ $v$ ]  $\triangleright$  если ЕСТЬ нагрузка в узле  $v$ ,
8.     // то расчет ошибки полученной мощности нагрузки относительно заданной
9.  $Цвет[u] \leftarrow$  ЧЕРНЫЙ

#### НапрУзла( $u, v$ , Индекс)

1.  $НапрУз[v] \leftarrow$   $НапрУз[u] - ТокДуг[Индекс]/Пров [Индекс]$

Здесь стандартная процедура поиска в глубину дополнена расчетом напряжений в узлах  $v$  дуг  $(u, v)$  (процедура **НапрУзла**( $u, v$ , Индекс)) по известному напряжению в  $u$  и проводимости дуги ( $Пров [Индекс]$ ). Если  $ТокДуг[Индекс]=0$ , то  $НапрУз[v] = НапрУз[u]$ . Поиск в глубину обеспечивает требуемую последовательность расчета, начиная с Истока, в котором напряжение задано ( $E$ ).

Для расчета критерия (1) остановки итерационного процесса используем процедуру **ОшибкаМощн**[ $v$ ]. В ней для каждого нагруженного узла определяется ошибка полученной на итерации мощности относительно заданной величины. Затем определяется и запоминается в переменной *ОшибкаМощ* максимальная из относительных ошибок для всех нагруженных узлов. Выполняется итерационное уточнение мощностей узлов, пока величина этой ошибки остается больше заданной.

## ДОДАТОК 3 Копії відгуків та акту впровадження

Акт впровадження результатів дисертаційної роботи в розробках  
ТОВ НВП «АСОТ»



**Товариство з обмеженою відповідальністю  
«Науково-виробниче підприємство «АСОТ»**  
вул. Навроцького, буд. 33, м. Львів, 79034, Україна  
тел. +38 098 895 82 65 email: asot@asot.com.ua  
ЄДРПОУ 23267585, Інд. № 232675813040

**АКТ №53  
від 03.12.2019 р.**

**про використання результатів дисертаційної роботи  
Абрамовича Романа Петровича  
на тему «Методи та засоби конструювання комп'ютерних систем підготовки  
оперативно-диспетчерського персоналу нижчих рівнів в енергетиці»**

Ми, що нижче підписалися, технічний директор Шемечко Я.П., головний програміст Шалай Д.Б. склали цей акт у тому, що матеріали дисертаційної роботи «Методи та засоби конструювання комп'ютерних систем підготовки оперативно-диспетчерського персоналу нижчих рівнів в енергетиці» були використанні під час реалізації наступних проектів:

- тренажер оперативних перемикачів та ліквідації аварійних ситуацій в розподільчих мережах;
- локальні тренажери та демонстрації по правильному порядку виконанню операцій для обхідників по теплотехнічному обладнанню;
- системи дистанційного комп'ютерного навчання та контролю знань АСПЕКТ/КОНКУРС/АСКО.

Технічний директор

Я.П. Шемечко

Головний програміст

Д.Б. Шалай

# Відгук про використання системи дистанційного навчання «АСКО» від ВП «Хмельницька АЕС» НАЕК «Енергоатом»

Міністерство енергетики та вугільної промисловості України  
НАЦІОНАЛЬНА АТОМНА ЕНЕРГОГЕНЕРУЮЧА КОМПАНІЯ

**ENERGOATOM**



Відокремлений підрозділ  
**ХМЕЛЬНИЦЬКА  
АТОМНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ**

Україна, 30100, Нетішин, Хмельницька область

Р/р 26003019114136 Філія АТ Укресімбанк м. Хмельницький МФО 315609

Р/р 260037421 ХОД АТ Райффайзен Банк Аваль м. Хмельницький МФО 315966

Тел. (03848) 3-33-50, факс 3-33-60. Комутатор 4-04-00

E-mail: office@khnp.atom.gov.ua

Код ЄДРПОУ 21313677

18.11.2019 № 59-05-2205

На № \_\_\_\_\_

Про використання «АСКО»

Технічному директору ТОВ НВП «АСОТ»  
Шемечко Я.П.

79034, м. Львів,  
вул. Навроцького, буд.33  
asot@asot.com.ua

Шановний Ярославе Петровичу!

З 2017 р. навчально-тренувальний центр ВП «Хмельницька АЕС» використовує в процесі підготовки персоналу «Автоматизовану систему комп'ютерного навчання і контролю знань «АСКО». Напрямки, за якими використовується система «АСКО»:

- навчання персоналу АЕС;
- проведення вихідного контролю знань після завершення теоретичного навчання циклу підтримання кваліфікації;
- проведення вихідного контролю по ряду тем після завершення професійної підготовки оперативного персоналу;
- підготовка до перевірки знань в центральній комісії;
- контроль знань по документам ЯРБ перед перевіркою знань в центральній комісії.

Використання системи «АСКО» в процесі підготовки та перевірки знань персоналу показало свою високу ефективність та дозволило підвищити якість підготовки персоналу. З використанням системи досягнуті наступні результати:

- доступ до документів і курсів системи з будь-якого робочого місця АЕС;
- можливість дистанційного навчання в зручний для працівника час;
- об'єктивність перевірки знань, виключення впливу людського фактору;
- відповідність курсів і тестів об'єму знань згідно посадової інструкції;
- спрощення вивчення нормативної документації за рахунок використання пояснюючих рисунків, текстів, анімації і т. п.;
- оптимізація часу роботи комісії по перевірці знань і, як наслідок, збільшення пропускну здатності комісії;
- єдина база курсів і банків запитань по ЯРБ для всіх АЕС з можливістю вільного обміну курсами;
- зменшення трудовитрат інструкторського персоналу на навчання персоналу вимогам нормативно-технічної документації;
- інтеграція з діючою системою управління навчанням персоналу АЕС.

Плани щодо подальшого розвитку системи «АСКО» на ВП «Хмельницька АЕС»:

- розширення складу документів в сфері ЯРБ, додавання документів з правил пожежної безпеки, правил охорони праці, фізичного захисту, правил технічної експлуатації, спеціалізованих курсів по технології, обладнанню АЕС і т. п.;
- використання для підготовки персоналу перед перевіркою знань та перевірки знань в інших комісіях АЕС;
- використання для попереднього відбору персоналу під час прийому на роботу.

ВП «Хмельницька АЕС» планує продовжувати використання системи дистанційного навчання «АСКО» та розраховує і в подальшому співпрацювати з ТОВ НВП «АСОТ».

Заступник головного інженера з підготовки персоналу

 В.І. Ісупов

# Відгук про використання системи дистанційного навчання «АСПЕКТ/АСКО» від ВП «Рівненська АЕС» НАЕК «Енергоатом»



МІНІСТЕРСТВО ЕНЕРГЕТИКИ ТА ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ УКРАЇНИ  
**ЕНЕРГОАТОМ**

НАЦІОНАЛЬНА АТОМНА  
ЕНЕРГОГЕНЕРУЮЧА КОМПАНІЯ  
**ВП «Рівненська АЕС»**



Україна, 34400, м. Вараш, Рівненська обл., код ЄДРПОУ 05425046, тел.: +38 (03636) 64-3-49; факс: 3-12-90;  
комутатор: 64-0-00, e-mail: office@rnpp.atom.gov.ua

National Nuclear Energy Generating Company "Energoatom", SE "RIVNE NPP", EDRPOU code 05425046  
Ukraine, 34400, Varash, Rivne reg., Tel.: +38 (03636) 64-3-49; Fax: 3-12-90; Switcher: 64-0-00, office@rnpp.atom.gov.ua

Про направлення відгуку

Директору технічному  
ТОВ НВП «АСОТ»

Я. ШЕМЕЧКО

м. Львів

asot@asot.com.ua

Шановний Ярославе Петровичу!

У відповідь на Ваш лист (вих. № 52 від 03.12.2019 р.) повідомляємо, на ВП «Рівненська АЕС» система дистанційного навчання СДН «WEB-АСПЕКТ» експлуатується з 2012 року. В 2018 році спільно із спеціалістами ТОВ НВП «АСОТ» програмне забезпечення системи було оновлено до версії «АСКО». На сьогоднішній день програмне забезпечення системи повністю інтегроване з існуючими ІТ-системами на ВП «Рівненська АЕС», такі як: БД «Кадри»; автоматизована система контролю навчального процесу АС КНП; система звернення громадян «Рекрутинг»; автоматизована система управління документообігом АСУД та інші.

Для забезпечення проходженні дистанційного навчання та перевірки знань в системі організований доступ персоналу до системи зі всіх робочих місць в корпоративній мережі ВП «Рівненська АЕС». Додатково, з метою забезпечення процесу навчання на території станції створено комп'ютерний клас та мобільний комп'ютерний, в навчально-тренувальному центрі функціоную два комп'ютерних класи та кабінет психофізіологічного обстеження.

Особливістю системи «АСКО» є можливість самостійної розробки та супроводження навчально-методичних матеріалів та вхідних і вихідних контролів, без залучення сторонніх організацій. Спеціалістами НТЦ ВП «Рівненська АЕС» розроблено понад 70 навчальних курсів, та понад 110 вхідних та вихідних контролів в системі. Перевагою СДН «АСКО» є реалізація можливості обміну навчально-методичними матеріалами з іншими ВП АЕС ДП «НАЕК «Енергоатом».

На ВП «Рівненська АЕС» система «АСКО» використовується за наступними напрямками:

- дистанційне навчання;
- вхідні та вихідні контролі в рамках підтримання та підвищення кваліфікації персоналу;
- вхідний контроль кандидатів на вакантні посади;
- тестова форма перевірки знань;
- психофізіологічне тестування персоналу;
- проведення інтерактивних інструктажів.

Використання системи «АСКО» в процесі професійного навчання персоналу та перевірки знань показало свою високу ефективність та дозволило підвищити якість підготовки персоналу. Статистика навчання персоналу з використанням системи СДН «АСПЕКТ»/«АСКО» за весь період експлуатації – понад 65 тисяч людино/курсів.

Павлюк М.  
НТЦ  
(03636) 62-1-04

ДОКУМЕНТ ПІДПИСАНО ЕЛЕКТРОННИМ ПІДПИСОМ  
Сертифікат 34F39E7B1A6103F60400000461A000012500700  
Підписувач: Вітковський Ігор Вікторович Дата/час 19.12.2019 11:47  
Посада заступник генерального директора з персоналу

вих. від 19.12.2019 р. № 19396/052



2 6 0 8 8 5

ВП «Рівненська АЕС» планує продовжувати використовувати та вдосконалювати систему дистанційного навчання «АСКО» та розраховує на подальшу співпрацю з ТОВ НВП «АСОТ».

З повагою  
Заступник генерального директора з  
персоналу

Ігор ВІТКОВСЬКИЙ



# Відгук про використання системи дистанційного навчання «АСПЕКТ» та Тренажера оперативних перемикачів від АТ «Прикарпаттяобленерго»



Приватне акціонерне товариство «Прикарпаттяобленерго»  
Україна, 76014, м. Івано-Франківськ, вул. Індустріальна, 34  
п/р 26003301757 у філії – Івано-Франківське обласне управління АТ «Ощадбанк»  
МФО 338503, код 00131564  
телефон (0342) 52 05 27  
факс (0342) 53 39 38  
факс (0342) 59 44 51  
e-mail: kanc@oe.if.ua  
www.oe.if.ua

№ 93-12 дата 24.12.2019  
На № \_\_\_\_\_ дата \_\_\_\_\_

Директору технічному  
ТОВ НВП «АСОТ»  
Шемечко Я.П.  
79034, м. Львів, вул. Навроцького, 33

Шановний Ярославе Петровичу!

АТ «Прикарпаттяобленерго» з 2012 року використовує для навчання та контролю знань персоналу систему дистанційного навчання «АСПЕКТ». Для забезпечення можливості роботи персоналу з системою організований доступ до системи по мережі Internet та проведено інтеграцію системи «АСПЕКТ» із системою обліку кадрів.

Однією з переваг системи «АСПЕКТ» є можливість розробки навчально-контролюючих матеріалів. Спеціалістами НКК розроблено та використовується в процесі підготовки персоналу більше 100 навчальних курсів та банків екзаменаційних запитань.

Для підготовки диспетчерів, чергового персоналу підстанцій та електромонтерів ОББ також використовується тренажер оперативних перемикачів та ліквідації аварійних ситуацій. Програмне забезпечення тренажера забезпечує моделювання режимів роботи підстанцій прототипів та енерговузла в нормальних та аварійних режимах, та відображення параметрів, що відповідають реальному стану розподільчої енергомережі та підстанцій.

Використання системи «АСПЕКТ» та тренажерів оперативних перемикачів в процесі підготовки та перевірки знань персоналу показало свою високу ефективність та дозволило підвищити якість підготовки персоналу.

АТ «Прикарпаттяобленерго» планує продовжувати використовувати і розвивати комп'ютерні системи підготовки персоналу та розраховує на подальшу співпрацю з ТОВ НВП «АСОТ».

Начальник навчально-курсого комбінату  
АТ «Прикарпаттяобленерго»

Л.Л. Голей

## ДОДАТОК 4 Авторські свідоцтва

Свідоцтво про реєстрацію авторських прав на комп'ютерну програму «АСКО»

УКРАЇНА



**СВІДОЦТВО**  
про реєстрацію авторського права на твір

№ 85005

Комп'ютерна програма "Комп'ютерна система дистанційного навчання та контролю знань "АСКО" ("Computer aided distance training and knowledge control system "ASKO" ("АСКО (ASKO)"))

(вид, назва службового твору)

Автор(и) Соляник Сергій Миколайович, Абрамович Роман Петрович, Лемчик Роман Орестович, Шалай Дмитро Богданович, Збінський Костянтин Вікторович, Шемечко Ярослав Петрович

(повне ім'я, псевдонім (за наявності))

Авторські майнові права належать Товариство з обмеженою відповідальністю "Науково-виробниче підприємство "АСОТ", вул. Навроцького, 33, м. Львів, 79034

(повне ім'я фізичної та/або повне офіційне найменування юридичної особи, адреса)

Дата реєстрації 29.01.2019

  
Державний секретар Міністерства економічного розвитку і торгівлі України О. Ю. Перевезенцев

Свідоцтво про реєстрацію авторських прав на комп'ютерну програму  
«АСПЕКТ»

УКРАЇНА



СВІДОЦТВО  
про реєстрацію авторського права на твір

№ 85006

Комп'ютерна програма "Автоматизована система проведення навчання, контролю знань та тренажу "АСПЕКТ" (Automated learning management, knowledge control and training system "ASPECT" ("АСПЕКТ (ASPECT)"))  
(вид, назва службового твору)

Автор(и) Соляник Сергій Миколайович, Абрамович Роман Петрович, Лемчик Роман Орестович, Шалай Дмитро Богданович, Збінський Костянтин Вікторович, Шемечко Ярослав Петрович  
(повне ім'я, псевдонім (за наявності))

Авторські майнові права належать Товариство з обмеженою відповідальністю "Науково-виробниче підприємство "АСОТ", вул. Навроцького, 33, м. Львів, 79034  
(повне ім'я фізичної та/або повне офіційне найменування юридичної особи, адреса)

Дата реєстрації 29.01.2019

  
Державний секретар Міністерства економічного розвитку і торгівлі України О. Ю. Перевезенцев

УКРАЇНА • UKRAINE • УКРАЇНА • UKRAINE • УКРАЇНА • UKRAINE • УКРАЇНА • UKRAINE • УКРАЇНА • UKRAINE • УКРАЇНА • UKRAINE • UKRAINE • UKRAINE • UKRAINE • UKRAINE • UKRAINE • UKRAINE • UKRAINE • UKRAINE • UKRAINE

ПК «Україна». Зам. 18-2001. 2018 р. 1 к.