

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра електротехніки і електроенергетики

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему

Застосування алгоритму тренажерної підготовки оперативного персоналу для
підвищення рівня енергетичної безпеки електростанції
(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 2м курсу, групи ДЕА-ЕБ23мг-1
спеціальності: 141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

_____/ Павло ОКСЕНЧУК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник _____/ Павло БУДАНОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент _____/ Наталія АНТОНЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри _____/ Артем ЧЕРНЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Нормоконтроль _____/ Юлія ОЛІЙНИК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК _____/ Ігор КИРИСОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2024 рік

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА**

Навчально-науковий інститут Українська інженерно-педагогічна академія
Кафедра електротехніки та електроенергетики
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітньо-професійна програма Енергетична безпека

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

(підпис)

к.т.н., доцент Артем ЧЕРНЮК
(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

«___» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

**на кваліфікаційну роботу дипломну роботу
другого (магістерського) рівня вищої освіти**

здобувачу вищої освіти Павло ОКСЕНЧУК

1. Тема «Застосування алгоритму тренажерної підготовки оперативного персоналу для підвищення рівня енергетичної безпеки електростанції»

затверджена наказом по академії № 4801-5/3345 від «12» жовтня 2024 р.

2. Термін здачі закінченої роботи «10» грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи/проекту: Теоретичні та практичні розробки вітчизняних та зарубіжних авторів за темою роботи, періодичні видання

4. Зміст роботи/проекту (перелік питань, які належить розробити):
ВСТУП; РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ
ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛУ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ; РОЗДІЛ 2. УДОСКОНАЛЕННЯ
МОДЕЛІ АВТОМАТИЗОВАНОГО ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ ПІДГОТОВКИ
ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА; ВИСНОВКИ; ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ
ДЖЕРЕЛ

5. Перелік графічного матеріалу (презентаційний матеріал):

Слайди презентації

6. Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	

7. Дата видачі завдання «12» жовтня 2024р.

Керівник

(підпис)

Павло БУДАНОВ

(ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Павло ОКСЕНЧУК

(ім'я, прізвище)

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК
виконання кваліфікаційної дипломної роботи**

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	Визначення актуальності теми дослідження	02.10.24 – 05.10.24	
2	Проведення аналізу наукової літератури	06.10.24 – 15.10.24	
3	Виконання першого розділу дипломної роботи	16.10.24 – 29.10.24	
4	Виконання другого розділу дипломної роботи	30.10.24 – 26.11.24	
5	Оформлення пояснювальної записки	27.11.24 – 07.12.24	

Студент (ка)

(підпис)

Павло ОКСЕНЧУК

(ім'я, прізвище)

Нормоконтроль

(підпис)

Юлія ОЛІЙНИК

(ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Сторінок тексту – _____ ; рисунків – _____; таблиць - _____;
літературних джерел – _____.

Нині дедалі більше ТЕС і АЕС починає впроваджувати як технічні засоби автоматизації програмно-технічні комплекси (ПТК), виконані з урахуванням засобів обчислювальної мікропроцесорної техніки. У цьому випадку система, що включає оперативно-диспетчерський і обслуговуючий персонал енергооб'єкта (ТЕС, АЕС) і зазначений ПТК, утворює автоматизовану систему управління технологічним процесом (АСУ ТП).

Сучасна розподілена мікропроцесорна АСУ ТП має цілу низку переваг у порівнянні з системою управління, виконаною із застосуванням традиційних апаратних засобів контролю та автоматики. Зокрема – ширшими функціональними можливостями, що дозволяє реалізовувати додаткові функції управління, що сприяють полегшенню умов праці персоналу, а також підвищенню надійності енергетичного обладнання. Вона дозволяє також багаторазово використовувати вхідну інформацію в різних підсистемах, представляти інформацію на дисплеях, відмовитися від застосування спеціальної апаратури, нормуючих перетворювачів, блоків регулювання та управління тощо.

На програмному рівні для реалізації протиаварійного управління, особливо в позаштатних ситуаціях необхідно розробляти спеціальну методику підготовки оперативно-диспетчерського персоналу енергооб'єкта та її програмне забезпечення з усіх п'яти рівнів протиаварійних тренувань (тренажів).

Таким чином, вищезазначені обставини підтверджують актуальність обраної теми кваліфікаційної роботи магістра з удосконалення діючих методик підготовки оперативно-диспетчерського персоналу енергооб'єктів – ТЕС та АЕС.

Метою роботи є удосконалення моделі для автоматизованого тренажера для якісної підготовки оперативно-диспетчерського персоналу, на основі удосконалення алгоритму та програмного забезпечення моделі-тренажу енергооб'єкта – прототипу (ТЕС, АЕС), оснащеного сучасною цифровою АСУ ТП.

Об'єкт досліджень – автоматизовані системи та комплекси з підготовки оперативно-диспетчерського персоналу енергооб'єктів (ТЕС, АЕС).

Предмет досліджень – алгоритми та програмне забезпечення моделі-тренажу об'єкта-прототипу, оснащених сучасними цифровими АСУ ТП.

ABSTRACT

Pages of text – ____; pictures – ____; tables – ____;
literary sources – ____.

Nowadays, more and more TPPs and NPPs are starting to introduce software and hardware complexes (PTC) as technical means of automation, made taking into account the means of microprocessor computing. In this case, the system, which includes the operational dispatching and maintenance personnel of the power facility (TPP, NPP) and the specified PTC, forms an automated process control system (ACS TP).

Modern distributed microprocessor-based ACS TP has a number of advantages compared to a control system made using traditional hardware control and automation. In particular, wider functionality, which allows implementing additional control functions that facilitate the working conditions of personnel, as well as increasing the reliability of power equipment. It also allows multiple use of input information in different subsystems, presenting information on displays, abandoning the use of special equipment, normalizing converters, regulation and control units, etc.

At the program level, to implement emergency management, especially in emergency situations, it is necessary to develop a special methodology for training operational dispatch personnel of a power facility and its software for all five levels of emergency training (training).

Thus, the above circumstances confirm the relevance of the selected topic of the master's qualification work on improving the current methods of training operational dispatch personnel of power facilities - TPPs and NPPs.

The purpose of the work is to improve the model for an automated simulator for high-quality training of operational dispatch personnel, based on improving the algorithm and software of the training model of a power facility - a prototype (TPP, NPP), equipped with a modern digital ACS TP.

The object of research is automated systems and complexes for training operational dispatch personnel of power facilities (TPP, NPP).

The subject of research is algorithms and software for a prototype object simulation model equipped with modern digital process control systems.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ.....	11
1.1 Аналіз сучасного стану навчальних автоматизованих систем з підготовки оперативно-диспетчерського персоналу АЕС.....	
1.2 Аналіз вимог до основних характеристик сучасних навчальних методик та систем підготовки оперативно – диспетчерського персоналу ОЕС.....	24
1.3 Основні вимоги та підходи до розробки адекватної математичної моделі тренажу.....	28
1.4 Постановка завдань дослідження.....	32
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1.....	34
РОЗДІЛ 2. УДОСКОНАЛЕННЯ МОДЕЛІ АВТОМАТИЗОВАНОГО ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА	36
2.1 Розробка комплексної моделі – тренажера.....	36
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2.....	51
РОЗДІЛ 3. УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ПІДГОТОВКИ ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО ПЕРСОНАЛУ АЕС.....	52
3.1 Розробка вимог до характеристик навчальних систем.....	52
3.2 Розробка структурно-функціональної схеми автоматизованого тренажера.....	56
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3.....	69
ВИСНОВКИ.....	70
СПИСОК ПОСИЛАНЬ.....	72

ВСТУП

Актуальність теми. Нині дедалі більше ТЕС і АЕС починає впроваджувати як технічні засоби автоматизації програмно-технічні комплекси (ПТК), виконані з урахуванням засобів обчислювальної мікропроцесорної техніки. У цьому випадку система, що включає оперативно-диспетчерський і обслуговуючий персонал енергооб'єкта (ТЕС, АЕС) і зазначений ПТК, утворює автоматизовану систему управління технологічним процесом (АСУ ТП) [1].

Сучасна розподілена мікропроцесорна АСУ ТП має цілу низку переваг у порівнянні з системою управління, виконаною із застосуванням традиційних апаратних засобів контролю та автоматики. Зокрема – ширшими функціональними можливостями, що дозволяє реалізовувати додаткові функції управління, що сприяють полегшенню умов праці персоналу, а також підвищенню надійності енергетичного обладнання. Вона дозволяє також багаторазово використовувати вхідну інформацію в різних підсистемах, представляти інформацію на дисплеях, відмовитися від застосування спеціальної апаратури, нормуючих перетворювачів, блоків регулювання та управління тощо.

І, тим щонайменше, яким би досконалыми були сучасні АСУ ТП, людина-оператор, зрештою, завжди «залишається найбільш універсальним, найбільш пластичним, найбільш відповідальним ланкою будь-якої системи управління» [2].

Кожна АСУ ТП незалежно від виду технологічного процесу, яким вона управляє, є системою «людина-машина», що виконує збір та переробку інформації для вироблення та реалізації керуючих впливів на технологічний об'єкт управління відповідно до прийнятого критерію управління. Оперативне управління енергообладнанням та контроль за найбільш відповідальними параметрами в АСУ ТП залишаються за оперативно-диспетчерським персоналом, підготовка якого та його професійні знання, навички та вміння

повинні відповідати новим методам управління для того, щоб ефективно використовувати сучасні технічні засоби автоматизації.

З урахуванням сказаного питання підготовки оперативно-диспетчерського персоналу ТЕС та АЕС, незважаючи на новий рівень автоматизації, залишаються, як і раніше, надзвичайно актуальними. Тим не менш, в даний час у питаннях тренажеробудування для оперативно-диспетчерського персоналу з'являються нові, причому негативні тенденції, викликані усуненням пріоритетів та розмиванням дидактичних принципів навчання при моделюванні тренажерів для підготовки різних груп оперативно-диспетчерського персоналу ТЕС та АЕС.

Так нині робляться спроби впровадження на електростанціях України та зарубіжжя деякими вітчизняними та зарубіжними фірмами разом із мікропроцесорною АСУ ТП, так званих, «універсальних» тренажерів («тренажерів-полігонів», «тренажерів-емуляторів»), призначених, за твердженням авторів, для «підготовки широкого спектра категорій персоналу блоку», а також для «випробування та налагодження різних інноваційних технологій» [3].

Необхідно відзначити, що вартість подібного тренажера, що включає повномасштабне фізичне копіювання комплексу всіх технічних засобів АСУ ТП, зростає в порівнянні зі звичайними тренажерами в десятки разів і порівнянна з вартістю реальної АСУ ТП (наприклад, повномасштабні тренажери, що виробляються в США та Німеччині, оцінюються у 30 ÷ 50 млн. дол., а термін виготовлення 2 ÷ 3 роки).

У зв'язку з цим, доречно поставити запитання: наскільки необхідні та обґрунтовані подібні «інновації» у сучасному тренажеробудуванні, основне призначення якого – якісна підготовка оперативно-диспетчерського персоналу не лише безпосередньо на електростанціях, а й у навчальних центрах?

Крім того, впровадження на українських ТЕС та АЕС імпортних «універсальних» тренажерів призводить, як правило, до значного зниження

вимог до точності та повномасштабності математичних моделей об'єктів-прототипів, викликаного низкою суб'єктивних та об'єктивних причин.

Як показав аналіз науково-технічної літератури [1-6], фахівцями на сьогоднішній день велика увага приділяється питанням підготовки та тренажу оперативно-диспетчерського персоналу з метою підвищення надійності його дій з управління технологічними об'єктами ТЕС та АЕС у позаштатних та аварійних ситуаціях.

Аварійний стан на енергооб'єктах характеризується, у нашому уявленні, великим ступенем недетермінованості, тобто різкою зміною його статичних та динамічних характеристик. Тут входять у дію, звані, заборонні операції системи автоматичного управління (захисту і блокування). Однак, до спрацьовування захистів, або при їхньому неспрацьовуванні, необхідне інтенсивне управління з метою забезпечення безпеки оперативно-диспетчерського персоналу та технологічного обладнання.

Ось це управління енергооб'єктом у стані різкої зміни його статичних та динамічних характеристик, тобто управління у передаварійному чи аварійному стані об'єкта фахівцями визначено як протиаварійне управління (ПАУ).

Таким чином, під терміном «протиаварійне управління» необхідно розуміти такий спосіб синтезу оптимальних та цілеспрямованих впливів на недетермінований об'єкт управління, що знаходиться в стані різкої зміни статичних і динамічних характеристик, який забезпечує виконання цілей управління енергооб'єктом з необхідним рівнем гарантій його безпеки.

Для реалізації протиаварійного управління енергооб'єктом в умовах дестабілізації з антропогенних, техногенних або природних причин методика тренажу оперативно-диспетчерського персоналу повинна відповідати таким вимогам:

- мати всережимну математичну модель об'єкта, що адекватно реагує на зовнішні та внутрішні обурення, а також на відмови механізмів та арматури;

- мати додаткові математичні моделі, що реалізують аварії з вибухами, займаннями, розривами трубопроводів, руйнуванням конструкцій, а також із зміною впливу зовнішнього середовища;

- реалізації у тренажних моделях методів профілактики аварійних штатних та позаштатних ситуацій, прийнятих на реальному енергооб'єкті;

- наявність механізмів введення дестабілізуючих факторів, що викликають аварійну ситуацію на ТЕС та АЕС;

- мати систему контролю та оцінки дій оператора-диспетчера енергооб'єкта в аварійній ситуації.

На програмному рівні для реалізації протиаварійного управління, особливо в позаштатних ситуаціях необхідно розробляти спеціальну методику підготовки оперативно-диспетчерського персоналу енергооб'єкта та її програмне забезпечення з усіх п'яти рівнів протиаварійних тренувань (тренажів).

Таким чином, вищезазначені обставини підтверджують актуальність обраної теми кваліфікаційної роботи магістра з удосконалення діючих методик підготовки оперативно-диспетчерського персоналу енергооб'єктів – ТЕС та АЕС.

Метою роботи є удосконалення моделі для автоматизованого тренажера для якісної підготовки оперативно-диспетчерського персоналу, на основі удосконалення алгоритму та програмного забезпечення моделі-тренажу енергооб'єкта – прототипу (ТЕС, АЕС), оснащеного сучасною цифровою АСУ ТП.

Об'єкт досліджень – автоматизовані системи та комплекси з підготовки оперативно-диспетчерського персоналу енергооб'єктів (ТЕС, АЕС).

Предмет досліджень – алгоритми та програмне забезпечення моделі-тренажу об'єкта-прототипу, оснащених сучасними цифровими АСУ ТП.

Дослідження виконані на основі методів:

- системного аналізу при розробці методології побудови АСУ ТП;

- методів математичного моделювання при аналізі та оптимізації алгоритмів та програмного забезпечення АСУ ТП.

Практичні реалізації результатів досліджень. Запропонований підхід до методології розробки методики підготовки оперативно-диспетчерського персоналу може бути використаний під час створення моделей-тренажів окремих енергооб'єктів для різного рівня професійної підготовки.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

1.1 Аналіз сучасного стану навчальних автоматизованих систем з підготовки оперативно-диспетчерського персоналу АЕС

Як навчальні автоматизовані системи з підготовки оперативно – диспетчерського персоналу електростанцій України, розглянемо тренажери, як засіб забезпечення надійної роботи оперативного персоналу.

Надійність роботи об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України значною мірою залежить від професійних знань та навички оперативного персоналу всіх рівнів ієрархії оперативного управління.

Діяльність оперативно-диспетчерського персоналу (ОДП) спрямована на управління ОЕС у нормальних експлуатаційних режимах та аномальних (аварійних та післяаварійних) режимах, у яких вирішуються особливі завдання щодо запобігання розвитку аварій, відновленню та ліквідації наслідків аварійних відключень обладнання.

В останніх, від ОДП вимагається не лише високий рівень професійної підготовки, а й натренованість дій в умовах, близьких до стресових. Аварійна ситуація характеризується високою динамікою процесів, накладенням безлічі подій, що з дефіциті часу, нестачі (чи надлишку) інформації та свідомості відповідальності за неправильні події створює гостру психологічну напруженість у роботі ОДП [1].

Сучасні енергосистеми та енергооб'єднання характеризуються складними, напруженими, високо динамічними та різноманітними режимами роботи, великою кількістю різнотипного обладнання та засобів автоматики.

Електроенергетика — одна з найбільш автоматизованих галузей народного

господарства з широким та ієрархічно пов'язаним багаторівневим представництвом професій, в основі яких лежить оперативна робота.

Управління складними енергетичними системами висуває високі вимоги до організації оперативного управління, зокрема до відбору, підготовки та перепідготовки ОДП.

Керівний оперативний персонал ОЕС є центральною фігурою системи диспетчерського управління та від його здатності виконувати завдання управління у будь-яких, у тому числі екстремальних оперативних станах об'єкта управління у чималій, а часом і вирішальній мірі залежить надійність функціонування енергосистеми в цілому.

Функціональні обов'язки

ОДП характеризується високою нервовою, а іноді і фізичною напругою.

Це зумовлено підвищеною відповідальністю за нормальний режим роботи енергосистеми, енергооб'єднання, енергетичного обладнання, різноманітням та інтенсивністю інформації, що надходить для переробки, необхідністю прийняття рішень та дій в умовах дефіциту часу.

До ОДП енергосистем та енергооб'єднань пред'являються не лише загальні підвищені вимоги щодо ділових якостей, але ще й специфічні вимоги, пов'язані з необхідністю приймати швидкі та правильні оперативні рішення, що враховують сукупність багатьох і складних обставин.

Це потребує повної компетентності як у сфері розуміння цільових установок своєї роботи, і у питаннях використання можливостей системи, і навіть високої принциповості й об'єктивності у рішеннях.

Найбільш відповідальною є робота у ОДП під час раптових аварій. Аварія – це надзвичайна в психологічному та фізіологічному відношенні стресова ситуація. Її інтенсивність визначається раптовістю і тим впливом, який може зробити аварія на якість та надійність енергопостачання споживачів, тобто величиною її комерційної шкоди.

Успішність ліквідації аварійних ситуацій великою мірою залежить лише від індивідуальних особливостей оперативного персоналу, а й його здатність до спільним цілеспрямованим діям.

Найважливішими якостями є, зокрема, здатність до швидкого орієнтування, вміння розрізняти головні причини аварії, внутрішню зібраність і холонокровність фахівця. Для розвитку цих якостей у ОДП передбачаються періодичні протиаварійні тренувальні навчання з використанням різноманітних методик, у яких кожен оператор – диспетчер зобов'язаний упевнено діяти при аваріях у штатних та позаштатних ситуаціях.

Всі ці особливості діяльності оперативного персоналу зумовлюють високу роль людського фактора у сучасному енергетичному виробництві. Під людським чинником у сенсі розуміється коло психологічних і психофізіологічних властивостей, якими мають і які, однак, виявляються у праці, впливаючи її якість, ефективність і надійність.

Аналіз порушень у роботі енергетичного обладнання показує, що з безлічі причин, через які ОДП виявляється нездатним успішно ліквідувати аварійні ситуації, основними є професійна непридатність (людський фактор) та низький рівень підготовленості до дій в аварійних ситуаціях, тобто натренованість.

Статистика впливу людського фактора показує, що 20...25% усіх порушень режиму роботи блочного обладнання електростанцій та 30% усіх порушень в енергетиці допускається з вини обслуговуючого персоналу. При цьому близько 90% з числа аварії мали хороші професійні знання.

Вітчизняний та зарубіжний досвід психофізіологічного відбору та визначення тих функцій (якостей) ОДП, які потребують і піддаються подальшому розвитку в регулярному тренуванні, дозволяє збільшити надійність роботи систем управління на 10...5%, скоротити аварійність на 40...70% і зменшити вартість підготовки фахівців на 30...40%. Розробка методики та автоматизованих засобів проведення подібних тренажів ОДП дозволить

підтримувати на високому рівні необхідні оперативні якості ОДП [2].

Основними методами навчання ОДП енергосистеми мають стати методи програмованого та проблемного навчання при підготовці оперативного персоналу та метод проблемного навчання при перепідготовці. Необхідність розробки методики підбору, навчання та перепідготовки ОДП, використання нових технічних засобів (тренажерів, імітаторів, навчальних систем) потребує створення сучасних моделей – тренажів.

Активне підвищення кваліфікації базується на широкому застосуванні диспетчерських тренажерів та автоматизованих систем навчання та перевірки знань. Диспетчерські тренажери створюються на базі сучасних засобів комп'ютерної техніки, на основі розвиненої системи засобів відображення інформації та управління об'єктом, що імітується, режимом його роботи.

Ускладнення режимів сучасних енергосистем, що збільшилася в усьому світі, кількість важких системних аварій зумовила останнім часом посилення роботи з навчання та перевірки знань ОДП.

Питання підвищення ефективності підготовки та тренування ОДП енергосистем доцільно вирішувати з використанням спеціальних тренажів диспетчера, що є складними людино-машинними системами, що адекватно відображають як поведінку енергосистеми в різних режимах роботи, так і основний характер діяльності диспетчера і включають комплекс технічних засобів високої продуктивності, розвинене інформаційне, математичне та програмне забезпечення.

Під час навчання та перевірки знань ОДП тренажери забезпечують освоєння наступних функцій [3, 4]:

- виробництво оперативних перемикачів на устаткуванні електростанцій та підстанцій;
- ведення нормального режиму енергосистеми (об'єднання енергосистем) з підтримкою встановлених значень частоти та перетікання потужності;

- аналіз аварійних ситуацій, що виникають в основній мережі енергосистем та їх об'єднань, прийняття рішень щодо запобігання розвитку аварії, відновлення нормального режиму.

Використання сучасних обчислювальних мікропроцесорних засобів (комп'ютерів) для навчання ОДП забезпечує низку переваг та нових можливостей у порівнянні з традиційними способами навчання:

- можливість використання різних об'єктах навчальних тренувальних комплексів, розроблених фахівцями високої кваліфікації, відсутність необхідності залучати фахівців на кожен об'єкт;

- можливість використовувати для ефективного навчання будь-яких відрізків вільного часу, зокрема, наприклад, нічних змін, під час яких персонал менш завантажений;

- можливість використання для навчання та тренажу комп'ютерів, встановлених у складі діючих систем АСДУ, АСУ ТП без створення спеціального комплексу технічних засобів;

- індивідуальність навчання, темп навчання може змінюватись в залежності від рівня підготовки та сприйнятливості учня;

- підвищення ефективності навчання завдяки активній участі учня в процесі навчання;

- Можливість порівняно швидкого оновлення навчального матеріалу тощо.

Крім цього, наявність комп'ютерного тренажера з розвиненою імітаційною моделлю енергооб'єкта дозволяє досліджувати та налагоджувати на ньому нові технічні рішення у сфері модернізації автоматизованої системи управління енергосистемою [5-7].

За видом оперативної діяльності диспетчерські тренажери можуть бути поділені на дві основні групи [8-10]:

- режимні тренажери (РТ), призначені для набуття персоналом навичок щодо підтримки режиму роботи об'єкта управління у заданій області;

- логічні тренажери, призначені для придбання персоналом навичкою з управління конкретним комутаційним обладнанням у розподільчих пристроях електростанцій та підстанцій (тренажери оперативних перемикачів – ТОП).

Крім того, як РТ, так і ТОП можна класифікувати за такими функціональними ознаками:

1. По використанню: навчання - формування знань та умінь управлінської діяльності; тренування - формування практичних навичок у роботі;

2. За принципами реалізації операторської діяльності: безпосередня – зі зміною стану керованого об'єкта (КО) та опосередкована – лише формування наказів підпорядкованому оперативному персоналу.

При безпосередньому характері діяльності основний обсяг інформації про стан КО оператор отримує візуально за показаннями приладів та мнемосхеми щита та пультів, а керуючі впливи реалізує, використовуючи органи управління, розташовані безпосередньо на робочому полі пульта, щита.

Це зумовлює необхідність тренування моторних дій оперативного персоналу та застосування для цих цілей у складі тренажерів макетів, або всього пункту управління, або окремих планшетів, пультів управління, що повторюють пульти діючих КО.

При цьому розташування та зовнішній вигляд органів управління на навчальних пультах повинні збігатися з відповідними елементами робочих пультів.

Основу «опосередкованого» характеру діяльності становить формування оперативного образу ситуації, вироблення рішення з оперативному управлінню об'єктом і передача відповідних команд підпорядкованому оперативному персоналу.

При цьому джерелом інформації про стан КО можуть бути поточні показання приладів, щитів та пультів, архівів даних, відомості з оперативних переговорів, виробничі інструкції.

У умовах основним завданням навчання ОДП є відпрацювання навичок оперативного мислення, навичок використання засобів відображення інформації диспетчерського пункту (ДП) на формування оперативного образу КО [11].

Тренажери цієї групи ОДП повинні включати макети ДП. У цьому виді тренажерів важливо забезпечити збіг обсягу та форми подання оперативної інформації робочих та навчальних пультів, щитів управління.

Необхідно зауважити при цьому, що в енергосистемі є група ОДП, яка щодо завдань управління потрапляє в категорію з «безпосереднім» характером діяльності, а по решті завдань — з «опосередкованим» характером діяльності.

До цієї групи входять начальники змін електростанцій, чергові електрики електростанцій та низка інших професій.

3. За особливостями взаємодії учня та тренажера: понятійні — що дають загальне відтворення ситуації та педагогічно орієнтовані та поведінкові — з досить докладною деталізацією моделюваних ситуацій та педагогічно нейтральні.

4. За видом моделей об'єктів та відображуваних процесів:

- тренажер оперативних перемикань (ТОП) - що дозволяють формувати навички виробництва оперативних перемикань у схемах КО;

- статичні режимні тренажери - дозволяють представити кінцеві результати того чи іншого впливу на УО (серія режимів, що встановилися);

- псевдо - динамічні режимні тренажери — у яких імітації перехідного процесу між кінцевими станами використовуються заздалегідь розраховані чи гранично спрощені закономірності зміни режимних параметрів;

- динамічні режимні тренажери — які використовують спрощені чи повні математичні моделі елементів системи разом із чисельним розв'язанням диференціальних рівнянь рухів у часі.

5. За способом технічного забезпечення: - використовують спеціальний комплекс технічних засобів (комп'ютери, щити, пульти) для тренажера

диспетчера або комплекс технічних засобів, на якому функціонує АСДУ, АСУ ТП оперативно-диспетчерського центру, відповідного рівня оперативно-диспетчерського управління.

За кордоном найбільшого поширення набув останній варіант побудови тренажерів. Енергетичні компанії замовляють SCADA – системи з включеними до їхнього складу тренажерами оператора – диспетчера.

6. За технічними засобами діалогу з диспетчерським персоналом, що використовують технічні засоби диспетчерських пунктів (щит, пульт, телефонний зв'язок); відеостіни, що являють собою модель оперативно-диспетчерського пункту; дисплеї.

Поняття першого пункту класифікації застосовуються при розробці тренажерів операторів енергоблоків електростанцій та можуть бути корисними під час створення тренажерів диспетчера енергосистеми. Другий та третій пункти традиційні та вже використані при розробці тренажерів для диспетчерського персоналу енергосистем. Пункти чотири та п'ять запропоновані для уточнення умов та особливостей експлуатації тренажерів.

Режимні тренажери призначені для придбання ОДП енергосистем та їх об'єднань навичок щодо підтримки параметрів режиму енергосистеми у заданій області у процесі управління нормальними режимами та в аварійних ситуаціях, пов'язаних із раптовими порушеннями балансу активної потужності та змінами схеми мережі.

Основою режимного тренажера (РТ) є моделі енергосистеми та її системи автоматичного управління (АРЧМ, протиаварійної автоматики), що реалізуються програмним шляхом на базі сучасних комп'ютерів.

Для контролю, керування та реєстрації ходу та результатів тренування використовуються дисплеї, що друкують пристрої.

При створенні режимних тренажерів для ОДП до них пред'являються ряд вимог.

Режимний тренажер повинен забезпечувати моделювання режимів:

- нормального - тренований вирішує завдання підтримки встановлених значень частоти та напруги з контролем допустимості потоків потужності за окремими елементами мережі;
- аварійного - пошук місця, не відключеного короткого замикання та відокремлення його від основної непошкодженої частини енергосистеми;
- обтяженого - зазвичай післяаварійного;
- ліквідації небезпечного навантаження елементів мережі, відновлення нормальних значень частоти і напруг, синхронізації частин енергосистеми, що розділилися, відновлення повністю погашеної (підйом з нуля) енергосистеми, ділянки мережі.

До складу РТ входять такі моделі:

- електричної мережі енергосистеми з поданням навантажень у вузлах статичними характеристиками, що відображають залежність електроспоживання від напруги та частоти;
- трансформаторів та автотрансформаторів з урахуванням зміни їх коефіцієнтів трансформації під дією автоматики регулювання коефіцієнта трансформації;
- генераторів з урахуванням зміни їх потужності під дією автоматичних регуляторів частоти обертання, а агрегатів ТЕС та АЕС – з урахуванням перехідних процесів у котлах та реакторах, має враховуватися також зміна потужності агрегатів під дією АРЧМ;
- протиаварійної та лінійної автоматики (АПНУ, АЛАР, АЧР, АПВ, АВСН та інших), що здійснює відключення та включення відповідних елементів мережі, розвантаження електростанцій та відключення навантаження.

Математична модель режимного тренажера являє собою зазвичай набір диференціальних рівнянь, що характеризують перехідні процеси (зміна потужності генераторів ТЕС і АЕС, регульованих автоматично або вручну

коефіцієнтів трансформації автотрансформаторів) і систем нелінійних алгебраїчних рівнянь, що характеризують головним чином електричну мережу, з можливістю відтворення програмою тренування порушення — короткі замикання, відмови вимикачів, помилкові та зайві спрацьовування релейного захисту, дії АПВ та АВР) та вимушених подій, обумовлених ходом розвитку аварійного порушення (спрацьовування пристроїв ПА та РЗ, викликані їх дією керуючого впливу — розвантаження електростанцій, відключення елементів мережі та навантаження).

З метою прискорення розрахунків динамічних процесів та застосування комп'ютерів меншої продуктивності може передбачатися низка спрощень:

- не враховуються малі постійні часи, що дозволяє збільшувати крок інтегрування;
- не враховується явно полюсність синхронних машин, нелінійність навантаження та опору елементів мережі, що призводить до лінійності системи рівнянь алгебри, що описують електричну мережу;
- не вимкнене коротке замикання моделюється у схемі мережі шунтом з високою провідністю.

Основною вимогою, що пред'являються до алгоритмів моделювання енергосистем режимного тренажера, є надійна якість відображення послідовності подій, що відбуваються в енергосистемі, що моделюється, в результаті виникнення аварійного порушення і після його усунення. Точність представлення параметрів режиму має другорядне значення.

Режимні тренажери активно використовуються у найбільших енергетичних компаніях США, Канади, Західної Європи та Японії для підготовки ОДП.

Так описані в [12,13] диспетчерські тренажери дозволяють тренувати ОДП ведення режиму енергосистеми в нормальних та післяаварійних оперативних станах

Тренування проводяться на спеціальних навчально-тренувальних пунктах, де велике значення надається формуванню обстановки близької до реальної, включаючи деталі оснащення диспетчерського пункту, тимчасові затримки в отриманні інформації, виконання наказів та багато іншого.

У режимному тренажері, описаному в [14] модель енергосистеми дозволяє імітувати електричний режим з урахуванням зміни частоти. Режим розподілу потужності по мережі розраховується на матричному процесорі AP 120 для мережі 200 вузлів і 254 гілки кожні 2 сек. Обчислення відхилень частоти та обчислення режиму мережі поєднується наступним чином. Частота генератора виражається через такі рівняння:

$$\frac{M_k}{f_k} f_k = P_{mk} - P_k \quad (1.1)$$

$$\text{де } f_k = f_0 - \Delta f_k \text{ та } \Delta f_k \gg f_0$$

таким чином:

$$\frac{M_k}{f_0} \Delta f_k = P_{mk} - P_k \quad (1.2)$$

Прирівнявши $\Delta f_1 = \Delta f_2 = \dots = \Delta f_k$ рівняння (1.2) набуде вигляду:

$$\frac{1}{f_0} M_k \Delta f_k = P_a \quad (1.3)$$

де P_a – сумарний небаланс активної потужності системи.

Якщо Δf_k обчислити з виразу (1.3), то отримаємо:

$$P_{mk} - P_{ek} - \frac{M_k}{P_s} P_a = 0 \quad (1.4)$$

Небаланс вироблення та споживання розподіляється серед генераторів відповідно до їх інерційних постійних.

Як видно з наведеного вище, досить проста модель енергосистеми дозволяє побудувати ефективний тренажер диспетчера.

Для спрощення швидкі перехідні процеси (порушення стійкості, короткі замикання) зазвичай не моделюються, імітований процес представляється як набір послідовних квазіустановлених режимів, а частота виходить інтегруванням.

У літературі зустрічаються описи [6, 15] і динамічних тренажерів, які дозволяють моделювати швидкі перехідні процеси, в яких важливим для тренуючого може бути виявлення асинхронного ходу зв'язків і робота автоматики ліквідації асинхронного ходу (АЛАР).

Так з [14] при кроці інтегрування dt рівним 0.1 секунд у процедурі моделювання обчислювальний час необхідний моделі системи в 186 вузлів і 144 генератора дорівнює приблизно 15% реального часу при розрахунку на комп'ютері в 10 мільйонів операцій в секунду.

Так потужні комп'ютери є не на всіх диспетчерських пунктах і тому фахівці пропонують варіант цього тренажера на комп'ютері Hitachi 90/50 у комплекті з векторним процесором, спеціально орієнтованим на обробку розріджених матриць та накопичення індексів.

Також судячи з [5], ведеться успішна розробка динамічного тренажера. Динамічна інтерактивна модель енергосистеми забезпечує моделювання в темпі реального часу режиму частота — активна потужність, як в однорівневій, так і в двохрівневій моделі енергосистеми або їх об'єднання.

При моделюванні динамічних режимів модель енергосистеми якісно чітко відображає основні перехідні процеси в еквівалентній турбіні - генераторі і котельній автоматичі теплової електростанції.

Тренажер був виконаний на міні-комп'ютері з продуктивністю 1 мільйон операцій на секунду, тому розмірність схеми не перевищувала 50 вузлів.

Функції режимного тренажера реалізуються:

- на одному з комп'ютерів ОВК, виведеного на час тренування з режиму реального часу та що знаходиться в резерві;
- на спеціальному комп'ютері, призначеному для тренування персоналу.

У [7] наведено принципи побудови та описано математичний апарат режимного диспетчерського тренажера (названого авторами універсальним режимним тренажером - УРТ), який використовується для підготовки диспетчерського персоналу енергосистем та їх об'єднань.

Собенністю цього тренажера є можливість його стикування з оперативно-інформаційними комплексами диспетчерських центрів енергосистем.

Велику увагу при розробці цього тренажера було приділено формуванню імітаційної математичної моделі об'єкта управління (енергосистеми), для того, щоб у ході тренувального заняття була можливість моделювання всіх або основних оперативних станів енергосистеми, таких як нормальні режими, що встановилися, режими з відхиленням основних параметрів режиму за межі допустимих значень, режими з неномінальною частотою мережі, перехідні режими, пов'язані з порушенням стійкості.

Крім цього модель тренажера дозволяє виконувати імітаційне моделювання розділеної мережі, коли мережа розбивається на кілька ізольованих районів, що працюють з різною частотою, та процес синхронізації районів, що розділяють окремо.

У режимному тренажері розрізняються два етапи моделювання режиму ОЕС:

- розподіл початкового режиму енергосистеми на етапі ВВОДНОЇ, в якому визначається вихідний встановлений (звичайно нормальний) режим ОЕС, з якого починається тренування;

- визначення оперативного стану та режиму ОЕС в ході тренувального заняття, розвитку або ліквідації аварійної ситуації.

На цих двох етапах використовують різні математичні моделі визначення режиму енергосистеми.

На першому етапі — це розрахунок режиму, що встановився.

На другому етапі - розрахунок тривалого перехідного процесу з переходом при необхідності на моделювання електромеханічного перехідного процесу в ОЕС.

Але на кожному етапі, в тому числі і визначенні вихідного режиму ОЕС, працює модель топологічного аналізу схеми енергосистеми (оскільки схема енергосистеми в тренажері представлена в поняттях комутаційної схеми), виходом якої є режимна схема заміщення ОЕС.

1.2 Аналіз вимог до основних характеристик сучасних навчальних методик та систем підготовки оперативно – диспетчерського персоналу ОЕС

Аналіз науково-технічної та спеціальної літератури [1-12] показав, що на сьогоднішній день існують такі системи підготовки оперативного персоналу АЕС:

1. Всережимні комплексні тренажери з різними видами подання інформації та систем управління, а саме:

- тренажери зі щитовими мнемосхемами, що показують та реєструють приладами та пультом управління (повномасштабні);

- тренажери з дисплейними мнемосхемами та комп'ютерним керуванням (у тому числі мережевий варіант);

- комбіновані тренажери – повномасштабні з дублюючим комп'ютерним керуванням;

- тренажери з комп'ютерним моделюванням реальної сучасної АСУТП АЕС (Квінт, Siemens, ABB та ін.).

2. Автоматизовані комп'ютерні навчальні та тренуючі системи (АВС).

3. Автоматизовані комп'ютерні учбові курси (АУК).

4. Автоматизовані сценарії тренувань з контролем та оцінкою знань (АСТ).

5. Автоматизовані сценарії парирування аварійних ситуацій (ПАС).

Вище перелічені системи повинні відповідати сучасним міжнародним вимогам за такими характеристиками:

- повномасштабність: повна подoba робочого місця оператора (інформаційного та моторного полів) як у разі пультово-щитового, так і у разі комп'ютерного керування енергообладнанням;

- комплексність: передбачається можливість підготовки групи фахівців у повному обсязі їхньої професійної діяльності, або одного фахівця, діяльність якого здійснюється за декількома спеціальностями;

- всережимність: відтворюються всі без винятку режими роботи енергоустаткування (пускові, зупиночні, регулювальні та аварійні);

- адекватність: застосовується запатентована методика кількісної оцінки точності ідентифікації енергооб'єктів АЕС, що моделюються, за ентропійним показником варіації змінних;

- оптимізація: контролюються техніко-економічні показники енергооб'єкта з можливістю роботи з максимальним ККД;

- екологічність: контролюються шкідливі викиди (порівняно з ГДК), передбачена можливість роботи з їх мінімізацією;

- наукова обґрунтованість та юридична захищеність: розроблено та запатентовано всережимні моделі технологічного обладнання реального часу на базі поділу функцій статичного та динамічного моделювання з спрямованою

асиметрією точності розділених функцій, що враховують як властивості енергооб'єкта АЕС, так і властивості людини-оператора;

- акредитація та сертифікація: проведено відповідно до законів України;
- оновлюваність: у зв'язку з постійною міжнародною ротацією програмно-технічних засобів відбувається періодична заміна програмно-апаратної платформи тренажерних пристроїв, що розробляються, та навчальних систем (серія F), оснащених новим програмно-технічним забезпеченням;
- внутрішня та зовнішня пам'ять, графопобудова: проводиться запам'ятовування всіх дій оператора, режимів енергооб'єкта АЕС, положення регулюючої та запірної арматури, механізмів та параметрів, їх графічне відображення, повернення ситуацій;
- масштаб часу: є можливість прискорення та уповільнення масштабу часу (до 100 разів), тобто. прискорення повільних процесів (пуски, зупинки) та уповільнення швидкоплинних процесів (аварійні ситуації);
- обсяг дисплейної інформації: на один монітор виводиться до 20 мнемосхем, розташованих у вигляді «вікон» зі збільшенням або зменшенням масштабу;
- можливості мережі: у разі мережного варіанта є можливість підключати основний монітор (сервер) до мережі (до 10-ти комп'ютерних станцій або робочих місць) і, таким чином, формувати комп'ютерний клас або електростанцію повністю з усіма робочими місцями, що дозволяє, у свою чергу, проводити протиаварійні тренування або навчання з запобігання аваріям, або інцидентам, що мають (або мали) місце на електростанціях, або на інших об'єктах енергосистем;
- пульт інструктора: має можливості (вручну та автоматично) формування робочого завдання на тренування, завдання внутрішніх збурень (аварій та відмов у роботі технологічного обладнання, арматури, систем автоматики та ін.) та зовнішніх збурень (зміни кількісних та якісних характеристик палива,

температури навколишнього) повітря, охолоджуючої води тощо), зміни масштабу часу, зупинення процесу, повернення до вихідного стану, фіксацію часу, кількості та типу помилок, спрацьовування захистів та блокувань, фіксацію відхилень та графіків основних параметрів;

- автоматичний контроль роботи оператора: програма, що дозволяє оцінювати виконані завдання людиною-оператором; оцінка ведеться за відхиленнями від допустимих значень поточних параметрів за умови правильного (або неправильного) виконання певних операцій за відведений інтервал часу;

- система підтримки оператора: у процесі виконання завдання оператор може звернутися до зазначеної системи за підказкою;

- кількість завдань для тренування та аварійних ситуацій: тренажери забезпечуються стандартним набором завдань та аварійних ситуацій при серійній комплектації, збільшення кількості завдань та аварійних ситуацій досягається за погодженням із Замовником;

- Комплектація та програмно-технічне забезпечення: процесор Pentium IV з частотою не менше 2 ГГц, оперативна пам'ять (ОЗУ) – не менше 512 МБ, жорсткий диск не менше 40 Гб, відеокарта з пам'яттю не менше 64 Мб, звукова карта (будь-яка) та колонки, монітор 17", миша, клавіатура - на одне робоче місце; додатково для мережного режиму – мережна карта та станції для окремих робочих місць (див. вище);

- Програмне забезпечення: ексклюзивні авторські програми в операційній системі Windows XX;

- щитове виконання: у разі щитового виконання виготовляються та комплектуються будь-які види щитів та пультів відповідно до проектних рішень Замовника;

- автоматизовані навчальні системи (АНС): програми для персональних ЕОМ, що дозволяють реалізувати принцип понятійного освоєння основного та

допоміжного обладнання енергооб'єктів АЕС, відпрацьовувати основні прийоми ведення стаціонарних та нестаціонарних режимів, деталізувати знання оперативних схем та функціональних можливостей обладнання; використання АОС можливе у режимах: самопідготовки, програмованого навчання, контролю знань;

- супровідна документація тренажерів та АОС: інструкція з експлуатації тренажера, що включає посібник для інструктора, посібник для учня, опис об'єкта управління; інструкція з тестування, інструкція з експлуатації АОС.

1.3 Основні вимоги та підходи до розробки адекватної математичної моделі тренажу

Узагальним основні положення сучасного підходу до розробки адекватних математичних моделей, які є найважливішою складовою методики - тренажу, які повинні розроблятися відповідно до системно-ергономічних принципів.

Сучасна, прийнята у всьому світі класифікація [11], поділяє моделі на два класи:

- дескриптивні (description models);
- прескриптивні (prescription models, normative models).

Дескриптивні моделі призначені для: осмислення дійсності - пояснення та описи спостережуваних фактів, спілкування, навчання людини, реалізації експерименту, інструменту прогнозування.

Прескриптивні моделі призначені для знаходження бажаного стану об'єкта, наприклад оптимального: техніко-економічні та конструктивні розрахунки при проектуванні (нормативні методики розрахунку).

Характеристики системи дескриптивних моделей визначаються з накопиченого досвіду, що передуює процесу управління, і на основі основних законів фізики.

Причому дескриптивні моделі розвиваються нині (у тому числі й у деяких українських розробках) у бік адаптування та контролю адекватності.

Адаптивність означає здатність пристосування до нових умов середовища, і таким чином виділяються дескриптивні моделі з адаптивним тест-керуванням (adaptive test-control):

- самоналаштовуються тест-моделі;
- Самоорганізовані тест-моделі.

У самоналаштовуються тест-моделей за зміни внутрішніх властивостей об'єкта змінюються математичні характеристики моделей, тобто. провадиться валідація або перевірка статистики моделі з коригуванням параметрів моделі.

У тест-моделей, що самоорганізуються, при зміні зовнішніх (структурних) властивостей об'єкта змінюється структура моделі, тобто проводиться верифікація, або перевірка і коригування структури моделі.

Таким чином, в енергетичному тренажеробудуванні, на думку автора, відповідно до сучасної наукової класифікації повинні застосовуватися дескриптивні, самоналаштовуються і самоорганізуються параметричні багатовимірні динамічні моделі, що володіють властивостями безперервності, лінійності за параметрами та нелінійності за змінними, стаціонарності та стохастичності.

Виходячи з викладеного, математична модель енергооб'єкта повинна складатися з диференціальних рівнянь, що ґрунтуються на розгляді фізичної природи процесів, тобто стандартних балансових рівнянь, а кількісні залежності та спрямованість процесів повинні визначатися законами термодинаміки, гідродинаміки, аеродинаміки тощо.

Залежності між параметрами зв'язків повинні однозначно і однаково описуватись рівняннями енергетичного, витратного та гідравлічного балансів в елементах обладнання, а також рівняннями зміни ентальпії кожного з видів теплоносія.

Статичні моделі, таким чином, є одним із підвидів прескриптивних моделей, призначених суто для конструктивних розрахунків під час проектування енергооб'єктів.

І, як вже було вище розглянуто, будь-які спроби використання кількісних оцінок на основі кінцевої сукупності постійних у часі критеріїв, параметрів або інших величин, що визначаються за середньостатистичними даними, або статичними розрахунками та поширюваних на кінцеві відрізки часу функціонування не можуть призвести до адекватних математичних моделей, що забезпечує прогнозування роботи як енергооб'єкта, так і операторів, що навчаються.

Стосовно моделювання енергооб'єктів в основу математичного моделювання повинен бути покладений метод опису динаміки процесів диференціальними рівняннями, що базуються на законах збереження маси, кількості руху та енергії для теплообмінного та тепломеханічного обладнання, законах Кірхгофа для електричних ланцюгів та рівняннях Парка-Гор.

Принцип системного підходу про необхідність та достатність у застосованій методології дозволяє відобразити всі технологічні особливості обладнання, його топологічну повноту та одночасно досягти прийнятної швидкості рахунку.

Пропонується розглянути три основні етапи моделювання (рис.1.1), які визначають рівень адекватності:

Етап I. Вихідні «грубі» моделі технологічних процесів в обладнанні базуються на нормативних методиках та коефіцієнтах рівнянь, взятих також із нормативних матеріалів (рис.1.1).

Етап II. Відповідно до прийнятої світової практики моделювання та тренажеробудування проводиться синтез «тонких» моделей, тобто верифікація «грубих» моделей за наявними в розпорядженні розробника експериментальними даними, отриманими за результатами науково-дослідних

робіт (НДР).

Етап III. На даному етапі моделювання проводиться адаптація (валідація) «тонких» моделей до об'єкта-прототипу за експериментальними даними реального енергооб'єкта та тестування їх спільно з оперативним та експлуатаційним персоналом.

Таким чином, зазначені етапи визначають рівень адекватності математичної моделі для вдосконалення методик – тренажів та розробки з їхньої основи моделей – тренажерів.

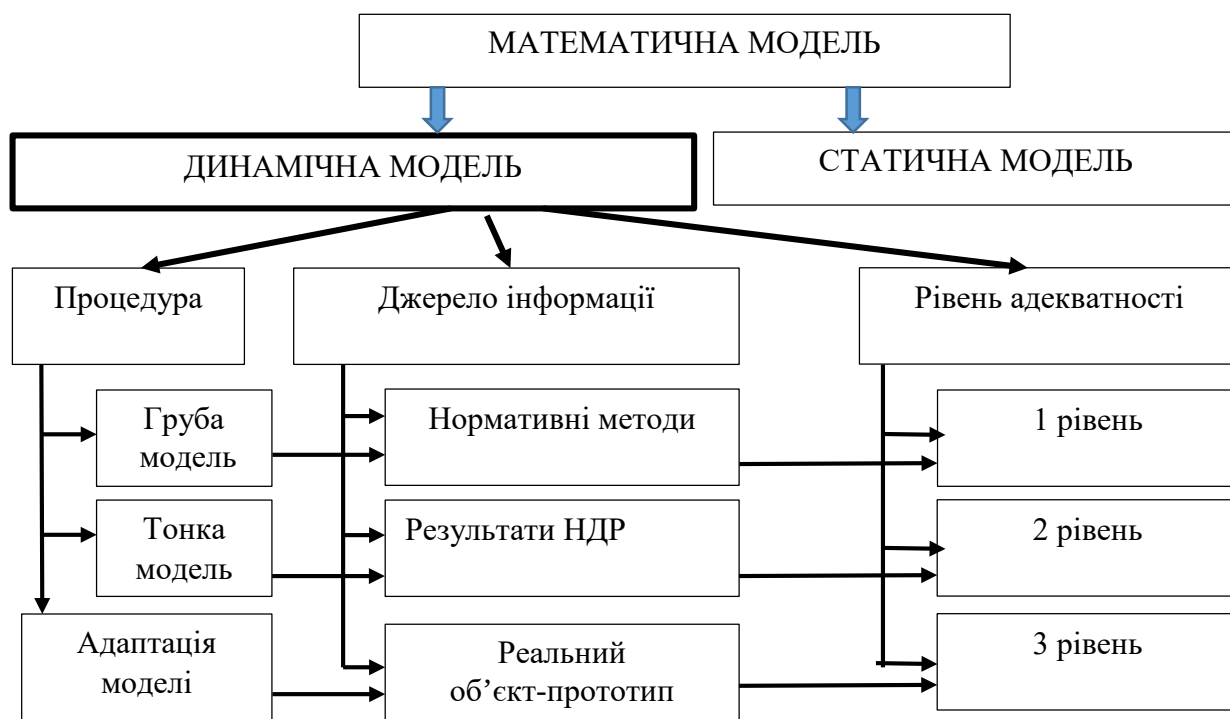


Рисунок 1.1 – Класифікація процедур моделювання за рівнями адекватності

Подальший розвиток і вдосконалення тренажеробудування, що розглядається на правління, на нашу думку, необхідно проводити в наступних напрямках:

- розробка та впровадження комплексної оцінки адекватності тренажера об'єкту-прототипу, що відповідає системно-ергономічному підходу при

моделюванні розподілених ергатичних систем з урахуванням стохастичної природи аналізованих процесів;

- розширення навчально-методичного забезпечення з метою реалізації у тренажерній підготовці принципу обліку попереднього досвіду навчання, тобто досягнення, таким чином, достатньої дидактичної ефективності при впровадженні диференційованих програм навчання для номенклатурних категорій персоналу з різними рівнями знань та навичок та, до того ж, з розподіленими завданнями на етапах підготовки;

- розробка та впровадження сучасних програмних методів адаптації моделей об'єкта регулювання за зміни структури або характеристик прототипу об'єкта моделювання, тобто впровадження дескриптивних моделей з адаптивним тест-управлінням;

- розробка та впровадження повномасштабних, всережимних тренажерів з інтерфейсом та системою регулювання сучасної просторово-розподіленої АСУ ТП енергооб'єктів;

- етап тестування тренажера в процесі приймальних випробувань слід проводити з урахуванням технологічних та програмних характеристик: ідентифікації, функціонального призначення, функції обробки даних, адекватності моделі енергоустановки, інформаційної сумісності, цілісності та збереження програм і даних, інтерфейсу користувача та системних характеристик.

1.4. Постановка завдань дослідження

В результаті проведеного аналізу сучасного науково-методологічного підходу щодо удосконалення моделі автоматизованого тренажера для методики підготовки оперативно-диспетчерського складу у кваліфікаційній роботі магістра необхідно вирішити такі науково-технічні завдання:

- удосконалити математичну модель з оцінки адекватності моделі-тренажера з підготовки оперативно-диспетчерського персоналу енергооб'єктів оснащених сучасними АСУ ТП;
- розробити варіант структурної та функціональної схеми моделі – тренажера з підготовки оперативно – диспетчерського персоналу енергооб'єктів оснащених сучасними АСУ ТП;
- розробити варіант архітектури та складу моделі – тренажера з підготовки оперативно – диспетчерського персоналу енергооб'єктів, оснащених сучасними АСУ ТП;
- розробити розрахунковий алгоритм функціонування моделі – тренажера з підготовки оперативно – диспетчерського персоналу енергооб'єктів, оснащених сучасними АСУ ТП;
- розробити варіанти програмного забезпечення з виконання розрахункового алгоритму функціонування моделі - тренажера з підготовки оперативно - диспетчерського персоналу енергооб'єктів оснащених сучасними АСУ ТП.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1:

Одним із основних елементів підвищення надійності функціонування електроенергетичних систем є високий рівень підготовки оперативного диспетчерського персоналу. Найбільш ефективним засобом підготовки та тренування оперативного диспетчерського персоналу енергосистем є диспетчерські тренажери, які дозволяють відпрацьовувати навички управління енергетичними об'єктами у різних оперативних станах, включаючи аварійні та післяаварійні режими.

Диспетчерські тренажери діляться за видом диспетчерської діяльності на режимні тренажери (РТ) та логічні тренажери (тренажери оперативних перемикачів ТОП), а за функціями: на навчальні та тренуючі, орієнтовані на безпосередню та опосередковану оперативну діяльність, понятійні та поведінкові.

Тренажери оперативних перемикачів призначені для набуття навичок з управління комутаційним обладнанням у розподільчих пристроях електростанцій та підстанцій оперативним персоналом енергосистем. Режимні тренажери допомагають диспетчерам опановувати навички підтримки параметрів режиму енергосистеми в заданій області при раптових і аварійних порушеннях балансу активної потужності, а також при зміні схеми мережі.

Стосовно розробок математичного та програмного опису енергетичних систем тренажерної підготовки оперативного персоналу енергооб'єктів проблема пошуку відповідного кількісного апарату, здатного до адекватного відображення найбільш істотних сторін взаємопов'язаного функціонування оператора та машинної частини тренажерного комплексу, що визначають надійність оперативного персоналу, в період реформування електроенергії, стає особливо гострою.

Програмне забезпечення, що розробляється, повинно бути придатним для

кількісного опису функцій і людини і машини незалежно від змісту виконуваних ними завдань, умов роботи та всіх інших факторів, що характеризують їхню взаємодію.

У зв'язку з вимогами до обов'язкової здатності моделі до розширення модель енергооб'єкта для тренажера повинна мати можливість постійного уточнення та доповнення уявлень про енергооб'єкт-прототип протягом усього періоду його експлуатації.

Необхідно відзначити появу на ринку навчальних засобів некваліфікованих виробників математичного та програмного забезпечення тренажерів. Неадекватні, спрощені математичні моделі енергооб'єктів не лише не дозволяють якісно навчати оперативний персонал, але дезорієнтують його та завдають шкоди його вмінням та навичкам.

Аварія, що сталася на японській АЕС “Фокусіма”, ще раз продемонструвала всьому світу, яке значення має у наш час надійність оперативного персоналу АЕС, у тому числі його тренажерна підготовка на повністю адекватних тренажерах. І автори тренажерів-міражів, які впроваджують свою продукцію в електроенергетику, повинні нести таку саму відповідальність перед суспільством за зниження надійності енергопостачання, що й інші учасники цього процесу.

Сучасні методології та методики, що застосовуються при розробці тренажерів для оперативного персоналу, засновані на системно-ергономічному підході, що визначає аналіз та синтез структур тренажера як програмно-технічного комплексу та практичне розв'язання задач моделювання енергооб'єкта-прототипу, дозволяє зробити оптимістичний прогноз у забезпеченні української електроенергетики необхідними технічними характеристиками. пристроями на навчання оперативного персоналу.

РОЗДІЛ 2. УДОСКОНАЛЕННЯ МОДЕЛІ АВТОМАТИЗОВАНОГО ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА

2.1 Розробка комплексної моделі – тренажера

Підвищення ролі операторів енергооб'єктів пов'язано в даний час:

- з необхідністю управління дедалі більш ускладнюються динамічними об'єктами, що працюють в умовах нерівномірного графіка електричних навантажень;
- зі збільшенням рівня і частоти неорганізованих обурень, пов'язаних із надходженням на електростанції палива сильно різниться якості;
- із суттєвими змінами у характері діяльності операторів у зв'язку з впровадженням в АСУТП розподілених мікропроцесорних програмно-технічних засобів, що передбачають значне скорочення традиційних засобів контролю та управління, і, як наслідок, додаткові вимоги до збільшення готовності оператора до прийняття рішень в умовах неповної поінформованості [1]];
- із зношеністю основного обладнання електричних станцій та мереж до 60%, що значно підвищує вплив кожної аварії з вини персоналу на загальну безпеку енергосистем [1,2].

Зазначені фактори гостро ставлять проблему вдосконалення методичних та технічних засобів професійного відбору та підготовки операторів. Одним із найбільш ефективних засобів формування та розвитку знань та професійних навичок, необхідних оператору в реальних умовах діяльності є методики з використанням автоматизованих тренажерів для підготовки оперативного персоналу.

Тренажером називається навчально-тренувальний пристрій для вироблення навичок та вдосконалення техніки керування різними машинами механізмами.

Під навичкою розуміється дія, сформована шляхом повторення, що характеризується високим ступенем освоєння та відсутністю поелементної свідомої регуляції та контролю.

В електроенергетиці тренажери почали входити у практику підготовки оперативного персоналу в 60-ті та 70-ті роки, спочатку в атомній енергетиці, а потім і в традиційній енергетиці.

В Україні роботи зі створення тренажерів розпочалися на початку 70-х років. Необхідно було створити методологію та методику моделювання енергооб'єктів, причому таку, щоб моделювання могли проводити самі технології-енергетики.

Справа в тому, що в той час, як і зараз, розробкою моделей технологічного обладнання для тренажерів займаються математики, фахівці з електроніки, автоматики, програмісти, системотехніки, психологи і т.п. Має місце парадоксальна ситуація - люди, які не мають професійних технологічних знань, створюють технічні засоби для перепідготовки та підвищення кваліфікації технологів.

У сучасному тренажері, призначеному для підготовки та перепідготовки оперативного персоналу електричних станцій і мереж, передбачається пред'явлення спеціалізованого комплексу технічних засобів, що навчається, які забезпечують штучне відтворення умов і факторів, аналогічних тим, які мають місце в процесі роботи оператора з управління реальним об'єктом [3].

Таким чином, у сучасному енергетичному тренажері імітація умов роботи оператора здійснюється на основі використання робочого місця оператора, а саме копії блочного щита управління, інтер'єр якої максимально точно має відповідати інтер'єру реального об'єкта. Динаміка та логіка функціонування його підсистем моделюється обчислювальним пристроєм. Це дозволяє імітувати у необхідному обсязі весь процес діяльності людини-оператора і, отже, виробляти у людини

необхідні навички з управління об'єктом загалом, і навіть його окремими підсистемами.

Отже, в електроенергетичному тренажері повинна реалізовуватися (імітуватися) інтер'єрні та математичні моделі технічної та фізичної сутності ергатичної системи "енергооб'єкт-середовище-оператор", а також всі необхідні взаємозв'язки в цій системі.

Оскільки тренажер є високоорганізованим імітаційним навчальним засобом, важливо встановити наскільки близько до функціонування реального енергооб'єкта повинні бути відтворені в тренажері характеристики та умови.

При цьому необхідно мати на увазі, що йдеться не про якісь одиничні показники, а про інтегральний комплексний показник адекватності взаємопов'язаних характеристик та умов, що імітуються в тренажері.

Саме цього вимагає системно-ергономічний підхід до створення сучасного енергетичного тренажера, для якого питання відповідності (адекватності) реальному об'єкту є ключовим.

Крім того, повинна забезпечуватися достатня точність моделі - коли відхилення в поведінці параметрів, що моделюються, від поведінки реальних параметрів настільки мало, що практично не відрізняється учнями і допускається експертами при прийманні тренажера.

Цілком очевидно, що недостатня відповідність, особливо тих характеристик, які відіграють вирішальну роль у здійсненні управління енергооб'єктом, а значить і формуванні навичок при навчанні, може стати причиною прийняття в процесі експлуатації реального енергообладнання неправильних рішень або виконання неправильних процедур.

Зрештою, будуть навіть сформовані невірні навички, і можуть виникнути помилки у керуванні реальним процесом, отже, знизитися надійність енергооб'єкта загалом, зокрема і з вини персоналу.

Таким чином, автором наголошується, що основний шлях підвищення навчальної ефективності тренажерів полягає у досягненні максимально необхідної точності та повноти імітації умов керування реальним енергооб'єктом, а також у використанні засобів автоматизації навчання. Кінцевим завданням має вважатися забезпечення достатньої близькості навичок та умінь, що формуються у процесі навчання операторів на тренажері, до того рівня, що реалізується в умовах експлуатації енергообладнання

У математиці та теорії імітаційного моделювання існує ряд термінів, що описують різні ступені подібності між оригіналом та його моделлю: тотожність, еквівалентність, ізоморфізм, гомоморфізм, подоба та адекватність.

Всі перелічені поняття можуть розглядатися як вирази деякої різної міри подібності або близькості об'єктів, отже, кожен із перелічених заходів характеризується своєю системою допусків. Детально зазначені ступеня подібності розглянуті у [2].

У роботі пропонується розглянути лише перший і останній ступінь подібності, що мають безпосереднє відношення до енергетичних тренажерів.

Тотожність передбачає повний чи практично повний збіг всіх характеристик. Воно відноситься до об'єктів не тільки однієї і тієї ж фізичної природи, але й деталей, що повторюють один одного. Допуски у разі є мінімальними; доклади, що накладаються на ряд важливих характеристик, близькі до нуля.

Зі сказаного ясно, що в енергетичному тренажері цей термін може відноситься тільки до натурних елементів, наприклад, до блочного щита управління та його інтер'єру.

Таким чином можна випускати щити та пульти для тренажерів, що повністю імітують реальне робоче місце оператора (причому по тому самому проекту як для енергоблока-прототипу, так і для тренажера).

Стосовно інших завдань і методів математичного імітаційного моделювання для тренажерів найбільш відповідним поняттям, що оцінює схожість прототипу та імітаційної моделі, слід вважати адекватність.

Адекватність означає відтворення в об'єкті, що імітується, результуючих функцій, а також зовнішніх і внутрішніх зв'язків, що відповідають вихідному об'єкту з такою точністю, яка достатня для вирішення поставлених завдань у необхідному обсязі, при цьому відмінність результату від необхідного допуску повинна лежати в полі призначеного допуску.

Теоретично моделювання [3] прийнято вважати, що адекватна модель повинна математично і логічно відбивати із заданим ступенем наближення певні якості досліджуваної системи. Істотно, що гарантується еквівалентність певних кінцевих результатів (характеристик). Поняття адекватності може бути з успіхом застосовано і до визначення відповідності між розмитим безліччю реальних характеристик, що має стохастичну природу і областю характеристик, що імітує, і умов, що відтворюються за допомогою моделюючого пристрою.

Можна виділити такі основні компоненти загальної адекватності тренажерів:

- Адекватність цілей та умов;
- Адекватність інтер'єру (робочих місць операторів енергооб'єктів);
- Адекватність інформаційних потоків;
- Адекватність математичного моделювання:
- Ергономічну адекватність;
- Психологічну адекватність.

Зазначені компоненти адекватності не є незалежними, а явно кореловані між собою.

Так, адекватність інтер'єру, математична та інформаційна адекватність можуть до певної міри розглядатися як складові ергономічної адекватності.

Адекватність цілей та умов є важливою передумовою інформаційної, математичної та ергономічної адекватності.

Структура адекватності цілей та умов охоплює адекватність цілей, адекватність станів та адекватність умов.

Перша їх передбачає можливість постановки однакових цілей експлуатації як у енергооб'єкті, і на тренажері. При цьому має забезпечуватись однакова можливість досягнення цілей. Адекватність станів потребує відтворення як нормальних (штатних) режимів роботи - пускових (з усіх теплових станів), регулювальних та зупинних, так і інших (наприклад, аварійних) станів енергооб'єкта. У цьому має забезпечуватись як імітація у тренажері тих самих змін відмов, як і реальному енергооб'єкті, а й адекватне зміна показників устаткування й процесів (витратних, механічних, термодинамічних, електричних та інших.), які відбуваються при аварії на енергооб'єкті.

Аналогічно цьому адекватність умов вимагає відтворення не тільки тих самих зовнішніх збурень з боку середовища по відношенню до енергооб'єкта (наприклад, температури навколишнього повітря, кількісних та якісних характеристик палива, температури охолоджуючої води тощо), але й адекватної реакції на них обладнання та процесів.

Адекватність інтер'єру вимагає, щоб параметри робочого місця оператора (розміри, колір, освітленість, наявність мнемосхем, приладів, ключів індивідуального управління, їх взаємне розташування, наявність сигналізації, захистів, блокувань, систем автоматики із задатчиками, систем дистанційного керування тощо) були строго однаковими на тренажері та енергооб'єкті.

Для розкриття поняття інформаційної адекватності слід зіставити взаємодію оператора з системами управління енергооб'єктом у реальній діяльності та в імпровізованих умовах на тренажері. Ця взаємодія здійснюється по інформаційних та виконавчих каналах.

Інформаційними каналами інформація про функціонування систем енергооб'єкта надходить до оператора.

Причому відомо, що близько 80% помилкових дій операторів пов'язано або з неправильним сприйняттям поточної інформації або її помилковою оцінкою.

В результаті обробки інформації, що надійшла до оператора від приладів, систем сигналізації та ін, оператор формує узагальнену інформаційну модель стану енергооб'єкта.

Цю модель він зіставляє із власною концептуальною моделлю, сформованою на основі інструктивних знань, особистого досвіду та навичок оперативної роботи. Через війну зіставлення формується інтегральна оцінка, з якої виробляються рішення різного рівня, за якими оператор здійснює необхідні процедури управління.

На виконання перерахованих операцій від сприйняття інформації до процедури управління досвідчений оператор витрачає від десятих часток секунди до кількох секунд. При цьому окремі кроки, функції або дії можуть виконуватися одночасно з іншими.

Звідси видно, що інформаційна адекватність тренажера є дуже важливою у наведеному вище переліку складових інтегральної оцінки адекватності тренажера. Причому інформаційна адекватність може бути застосована до кожної з цих складових. У цьому випадку вона оцінює відповідність імітованих інформаційних потоків, що відтворюються в тренажері, їх прототипу.

Інформаційна адекватність передбачає не тільки достатню точну імітацію кожної окремої складової, але й певну високу якість відтворення, точний облік динаміки її зміни, а також синхронізацію інформації, що надходять від різних джерел, один з одним, і з динамічними компонентами роботи енергооб'єкта.

Адекватність математичного моделювання (динамічних моделей) у тренажері є домінуючою. Від того, з якою точністю відтворюються параметри

теплових та електричних процесів, безпосередньо залежить якість всього тренажера та його дидактична цінність.

При розробці підходу до оцінки точності динамічних моделей автором висунули такі вимоги:

- облік стохастичної природи змінних об'єктів моделювання та моделі;
- контроль якості моделі на всіх етапах проектування, розробки, виготовлення та впровадження;
- інваріантність щодо фізичної сутності аналізованих процесів;
- можливість опису будь-яких (статичних та динамічних) відмінностей процесів об'єкта та моделі.

При спільності зазначених ознак робочі критерії адекватності на різних етапах розробки та створення моделі можуть бути різними та відповідати конкретній сутності та цілям даного етапу.

З погляду оцінки якості процес створення моделі можна умовно поділити на три етапи (табл. 2.1). Кожному відповідає спеціальний (індивідуальний) критерій оцінки якості:

Таблиця 2.1 – Етапи створення моделі-тренажера

Етап	Задача	Критерій
Ідентифікація	Розробка математичних модулів функціональних зв'язків	Максимальна правдоподібність
Імітація	Розробка та регресивний аналіз окремих імітаторів	Критерій Стюдента та Фішера
Реалізація	Реалізація окремих підсистем та моделі в цілому	Інформаційно-експертний

Запропоновано розглянути кількісні відносини, що впливають з теорії інформації та застосовні до імовірісно-статистичного підходу при комплексній оцінці якості такої складної системи, як модель енергооб'єкта.

Теоретично інформації наводиться інтегральна характеристика невизначеності – ентропія, тобто. безперервний розподіл ймовірнісних змінних: $x_1, x_2, \dots, x_n$ визначається як функціонал закону розподілу ймовірностей, що враховує особливості цього закону (2.1):

$$H = - \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} p(x_1, x_2, \dots, x_n) \cdot \ln p(x_1, x_2, \dots, x_n) dx_1 dx_2, \dots, dx_n \quad (2.1)$$

Таку ентропію зазвичай називають інформаційною. Приріст ентропії стану процесу обумовлено розкидом змінних цього процесу ($\pm\Delta$), тобто. варіацією змінних.

Кількість інформації, що отримується в результаті вимірювання змінних процесу, дорівнює втраті невизначеності (2.2):

$$I = H(x) - H(x / x_n) \quad (2.2)$$

де $H(x)$ – початкова ентропія;

$H(x / x_n)$ – умовна ентропія, що залишилася після отримання інформації.

Умовна ентропія дорівнює ентропії розподілу густини ймовірностей змінних процесу, обумовленого варіацією змінних та похибкою їх виміру.

Вона може бути знайдена на підставі статистики розподілу варіації змінних, безвідносно закону розподілу ймовірностей самих змінних.

Однозначної відповідності між потужністю перешкоди (її дисперсією) і дезінформацією, що нею вноситься, не існує, так як при одній і тій же потужності

перешкоди вноситься нею дезінформації різна і залежить від виду закону розподілу ймовірностей цієї перешкоди.

У зв'язку з цим варіацію змінних процесу необхідно характеризувати їх дійсної потужністю, обумовленої середньоквадратичним значенням, а ентропійної потужністю, тобто. тією частиною потужності, що викликає втрату інформації.

Ентропія (дезінформаційна дія) розкиду змінних при заданому середньоквадратичному значенні (заданої потужності варіації змінних) та при нормальному законі розподілу ймовірності варіації параметрів (2.3):

$$H(x/x_n) = \ln \sigma \sqrt{2\pi e} \quad (2.3)$$

У разі розподілу ймовірностей розкиду змінних, близького до рівномірного, значення інтервалу невизначеності визначається виразом (2.4):

$$H(x/x_n) = \int_{-\Delta}^{+\Delta} \frac{1}{2\Delta} \ln \frac{1}{2\Delta} dx = \ln 2\Delta \quad (2.4)$$

де Δ – половина ширини інтервалу невизначеності.

Таким чином, розподіл ймовірностей розкиду змінних з нормальним законом розподілу має таку саму дезінформаційну дію, як і різко обмежений рівномірний розподіл, якщо ширина інтервалу невизначеності (2.5):

$$2\Delta = \sigma \sqrt{2\pi e} \quad (2.5)$$

З аналізу виразів (2.3) – (2.5) слід, що й розкид змінних з довільним законом розподілу ймовірностей має умовну ентропію $H(x/x_n)$, то ентропійний інтервал

варіації змінних незалежно від виду закону розподілу визначатиметься виразом $2 = \exp[H(x/x_n)]$.

Звідси випливає, що ентропійне значення розкиду (варіації) змінних обчислюється половина ширини еквівалентного за ентропією інтервалу варіації змінних з рівномірним законом розподілу ймовірностей (2.6):

$$\Delta = \pm(1/2)\exp\left[H(x/x_n)\right] \quad (2.6)$$

Таким чином, ентропійне значення варіації змінних дає можливість варіацію змінних з будь-яким законом розподілу ймовірностей замінити варіацією змінних з різко обмеженим рівномірним законом розподілу ймовірностей, але з тим самим значенням ентропії.

Це дозволяє замінити реальну смугу розкиду змінних різко обмеженою смугою з рівномірним законом розподілу ймовірностей, повністю еквівалентною реальній інформаційному сенсі.

На підставі цього можуть бути отримані об'єктивні оцінки варіації змінних об'єкта моделювання та об'єктивно встановлені похибки моделі за всіма змінними.

Зі сказаного можна дійти невтішного висновку, що ентропійні оцінки розкиду змінних процесу, тобто. застосування методів інформаційної теорії дозволяє виявити більш повноцінні та стійкі критерії оцінки якості моделі, ніж згадувані, оскільки він відображають більш глибокі властивості варіації змінних як випадкових величин.

Процес і модель еквіваленти за кількістю інформації, що передається у разі, якщо фазова координата процесу і моделі відрізняються на 2 відповідно до виразу(2.7):

$$\max n_k - m_k \leq 2\Delta m_k - \min n_k \leq 2A(k=1,2,\dots,l) \quad (2.7)$$

а также выполняется условие (2.8):

$$H_n(n/n_i) = H_m(m/m_i) \quad (2.8)$$

де n_i та m_i – підмножина змінних процесу та моделі.

Зводячи нерівності (2.7) до одного, можна отримати необхідну та достатню умову еквівалентності процесу та моделі за змінною k для тренажера (2.9):

$$|n_i - m_i| < 2\Delta k(k=1,2,\dots,L_i) \dots H_n(n/n_i) = H_m(m/m_i) \quad (2.9)$$

Ентропійний критерій еквівалентності процесу та моделі дозволяє вирішити низку важливих питань моделювання, а саме визначення допустимої глибини спрощення моделі; ширини допустимих значень змінної для побудови статистичної чи квазістатичної моделі; закінчення переходів.

Узагальнений показник якості моделі складається з одиничних інформаційних показників якості по кожній змінній, значимість якої в системі, що моделюється, визначається методом рангової кореляції.

Оцінка інформаційної якості моделі за ентропійним значенням варіації змінних проводилася за показником якості (2.10):

$$y_i = 1 - \left| \frac{\Delta_{in} - \Delta_{im}}{\Delta_{in}} \right| \quad (2.10)$$

где Δ_{in} – ширина ентропійного інтервалу варіації i -ї змінної реального процесу, обчислена з урахуванням допустимих відхилень цієї змінної від номінального значення;

Δ_{im} – ширина ентропійного інтервалу варіації i змінної моделі.

Допустимі відхилення для змінних, що входять до системи захисту, приймаються рівними $\pm 2 \%$, для всіх інших змінних $\pm 5 \%$.

Узагальнений показник якості моделі енергооб'єкта знаходився з виразу (2.11):

$$K = \sum_{i=1}^n \frac{\ln(g_i y_i + 1)}{0,7} \quad (2.10)$$

Етап перевірки адекватності та комплексного налагодження моделі складається з наступних частин:

- попередня перевірка логічної, статичної та динамічної складових цифрової моделі з визначенням відхилень від проектної документації;
- налагодження окремих імітаторів (частин програми) з усуненням різноманітних помилок (логічних, методичних, технічних тощо);
- комплексне налагодження підсистем цифрової моделі з перевіркою правильності взаємодії їх між собою, а також із приладами БЦУ, ІСУ, СЦКУ, пультом оператора, САР, системами сигналізації, захисту та блокування;
- приймальні випробування моделі за спеціальною програмою.

Таким чином, адекватність математичного моделювання передбачає необхідну близькість характеристик керованих процесів тренажера, тобто його динамічні властивості, до характеристик енергооб'єкта-прототипу при однакових збуреннях і близьких впливах, що управляють.

Ергономічна адекватність означає близьку відповідність між усіма елементами, що характеризують взаємодію оператора з енергооб'єктом через систему керування.

Зокрема, повинна мати місце адекватність реакції енергооб'єкта на керуючі впливи від будь-якого органу управління на тренажері та реальному енергооб'єкті.

Необхідне також адекватне сприйняття оператором цих реакцій. З іншого боку, ергономічна адекватність передбачає так само близьке (за точністю та часом) сприйняття оператором відмов та обурень, що діють на енергооб'єкті та на тренажері.

Сенс психологічної адекватності можна визначити з розгляду тренажера як агрегований комплекс імітаторів окремих параметрів (імітується лише те, що вимірюється).

Кожен окремий імітатор створює згідно з інженерною психологією адекватний "стимул", керуючий оперативно-мисленнєвої та іншої діяльності. Поєднання необхідної кількості таких імітаторів у єдину структуру утворює ефективний з позиції психологічної адекватності тренажер. Спирається зазначена посилка на відому в інженерній технології схему "стимул-управління-динамічна реакція". Реалізація її у тренажері та забезпечує правильне формування навичок та умінь в оперативній діяльності.

Таким чином, на комплексному рівні загальна адекватність тренажера може бути визначена згідно з виразом (2.12):

$$P_{\text{заг.}} = P_{\text{ц.у.}} \cdot P_{\text{інт.}} \cdot P_{\text{інф.}} \cdot P_{\text{мат.}} \cdot P_{\text{ерг.}} \cdot P_{\text{псих.}}, \quad (2.12)$$

де $P_{\text{ц.у.}}$ - адекватність цілей та умов;

$P_{\text{інт.}}$ - адекватність інтер'єру;

$P_{\text{інф.}}$ - інформаційна адекватність;

$P_{\text{мат.}}$ - адекватність математичного моделювання;

$P_{\text{ерг.}}$ - ергономічна адекватність;

$P_{\text{псих.}}$ - психологічна адекватність

Область визначення кожної складової адекватності P_i тренажера $0 \leq P_i \leq 1$.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2:

Встановлено, що адекватність математичного моделювання передбачає необхідну близькість характеристик керованих процесів тренажера, тобто його динамічні властивості, до характеристик енергооб'єкта-прототипу за однакових збурень та близьких керуючих впливів.

Ергономічна адекватність означає близьку відповідність між усіма елементами, що характеризують взаємодію оператора з енергооб'єктом через систему керування.

Обґрунтовано, що лише математичне наближення окремих складових до одиниці дозволить сконструювати дидактично досконалий тренажер, який забезпечує правильне формування в оператора навичок та умінь.

Показано, що зменшення будь-якої складової загальної адекватності може призвести до невідповідності між інформацією, що отримується на тренажері, та її справжнім змістом на реальному енергооб'єкті, створенню помилкових ілюзій та неадекватним реакціям.

Виявлено, що ентропійний критерій еквівалентності процесу та моделі дозволяє вирішити низку важливих питань моделювання, а саме визначення допустимої глибини спрощення моделі; ширини допустимих значень змінної для побудови статистичної чи квазістатичної моделі; закінчення переходів.

Встановлено, що узагальнений показник якості моделі складається з одиничних інформаційних показників якості за кожною змінною, значимість якої в системі, що моделюється, визначається методом рангової кореляції.

РОЗДІЛ 3. УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ПІДГОТОВКИ ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО ПЕРСОНАЛУ АЕС

3.1 Розробка вимог до характеристик навчальних систем

Аналіз науково-технічної та спеціальної літератури [1-12] показав, що на сьогоднішній день необхідно виділити такі методики на основі навчальних систем, які можуть бути застосовані для підготовки оперативного персоналу АЕС:

1. Всережимні комплексні тренажери з різними видами подання інформації та систем управління, а саме:

- тренажери зі щитовими мнемосхемами, що показують та реєструють приладами та пультом управління (повномасштабні);
- тренажери з дисплейними мнемосхемами та комп'ютерним керуванням (у тому числі мережевий варіант);
- комбіновані тренажери – повномасштабні з дублюючим комп'ютерним керуванням;
- тренажери з комп'ютерним моделюванням реальної сучасної АСУТП АЕС (Квінт, Siemens, ABB та ін.).

2. Автоматизовані комп'ютерні навчальні та тренуючі системи (АВС).

3. Автоматизовані комп'ютерні учбові курси (АУК).

4. Автоматизовані сценарії тренувань з контролем та оцінкою знань (АСТ).

5. Автоматизовані сценарії паримування аварійних ситуацій (ПАС).

Вище перелічені навчальні системи повинні відповідати сучасним міжнародним вимогам за такими характеристиками:

- повномасштабність: повна подoba робочого місця оператора (інформаційного та моторного полів) як у разі пультово-щитового, так і у разі комп'ютерного керування енергообладнанням;

- комплексність: передбачається можливість підготовки групи фахівців у повному обсязі їхньої професійної діяльності, або одного фахівця, діяльність якого здійснюється за декількома спеціальностями;
- всережимність: відтворюються всі без винятку режими роботи енергоустаткування (пускові, зупиночні, регулювальні та аварійні);
- адекватність: застосовується запатентована методика кількісної оцінки точності ідентифікації енергооб'єктів АЕС, що моделюються, за ентропійним показником варіації змінних;
- оптимізація: контролюються техніко-економічні показники енергооб'єкта з можливістю роботи з максимальним ККД;
- екологічність: контролюються шкідливі викиди (порівняно з ГДК), передбачена можливість роботи з їх мінімізацією;
- наукова обґрунтованість та юридична захищеність: розроблено та запатентовано всережимні моделі технологічного обладнання реального часу на базі поділу функцій статичного та динамічного моделювання з спрямованою асиметрією точності розділених функцій, що враховують як властивості енергооб'єкта АЕС, так і властивості людини-оператора;
- акредитація та сертифікація: проведено відповідно до законів України.
- оновлюваність: у зв'язку з постійною міжнародною ротацією програмно-технічних засобів відбувається періодична заміна програмно-апаратної платформи тренажерних пристроїв, що розробляються, та навчальних систем (серія F), оснащених новим програмно-технічним забезпеченням.;
- внутрішня та зовнішня пам'ять, графопобудова: проводиться запам'ятовування всіх дій оператора, режимів енергооб'єкта АЕС, положення регулюючої та запірної арматури, механізмів та параметрів, їх графічне відображення, повернення ситуацій;
- масштаб часу: є можливість прискорення та уповільнення масштабу часу (до 100 разів), тобто. прискорення повільних процесів (пуски, зупинки) та

уповільнення швидкоплинних процесів (аварійні ситуації);

- обсяг дисплейної інформації: на один монітор виводиться до 20 мнемосхем, розташованих у вигляді «вікон» зі збільшенням або зменшенням масштабу;

- можливості мережі: у разі мережного варіанта є можливість підключати основний монітор (сервер) до мережі (до 10-ти комп'ютерних станцій або робочих місць) і, таким чином, формувати комп'ютерний клас або електростанцію повністю з усіма робочими місцями, що дозволяє, у свою чергу, проводити протиаварійні тренування або навчання з запобігання аваріям, або інцидентам, що мають (або мали) місце на електростанціях, або на інших об'єктах енергосистем;

- пульт інструктора: має можливості (вручну та автоматично) формування робочого завдання на тренування, завдання внутрішніх збурень (аварій та відмов у роботі технологічного обладнання, арматури, систем автоматики та ін.) та зовнішніх збурень (зміни кількісних та якісних характеристик палива, температури навколишнього) повітря, охолоджуючої води і т.п.), зміни масштабу часу, зупинення процесу, повернення до вихідного стану, фіксацію часу, кількості та типу помилок, спрацьовування захистів та блокувань, фіксацію відхилень та графіків основних параметрів.

- автоматичний контроль роботи оператора: програма, що дозволяє оцінювати виконані завдання людиною-оператором; оцінка ведеться за відхиленнями від допустимих значень поточних параметрів за умови правильного (або неправильного) виконання певних операцій за відведений інтервал часу;

- система підтримки оператора: у процесі виконання завдання оператор може звернутися до зазначеної системи за підказкою;

- кількість завдань для тренування та аварійних ситуацій: тренажери забезпечуються стандартним набором завдань та аварійних ситуацій під час

серійної комплектації, збільшення кількості завдань та аварійних ситуацій досягається за погодженням із Замовником;

- комплектація та програмно-технічне забезпечення: процесор Pentium IV з частотою не менше 2 ГГц, оперативна пам'ять (ОЗУ) – не менше 512 МБ, жорсткий диск не менше 40 Гб, відеокарта з пам'яттю не менше 64 Мб, звукова карта (будь-яка) та колонки, монітор 17", миша, клавіатура - на одне робоче місце; додатково для мережного режиму – мережна карта та станції для окремих робочих місць (див. вище).

- програмне забезпечення: ексклюзивні авторські програми в операційній системі Windows XX;

- щитове виконання: у разі щитового виконання виготовляються та комплектуються будь-які види щитів та пультів відповідно до проектних рішень Замовника;

- автоматизовані навчальні системи (АВС): програми для персональних ЕОМ, що дозволяють реалізувати принцип понятійного освоєння основного та допоміжного обладнання енергооб'єктів АЕС, відпрацьовувати основні прийоми ведення стаціонарних та нестаціонарних режимів, деталізувати знання оперативних схем та функціональних можливостей обладнання; використання АОС можливе у режимах: самопідготовки, програмованого навчання, контролю знань;

- супровідна документація тренажерів та АОС: інструкція з експлуатації тренажера, що включає посібник для інструктора, посібник для учня, опис об'єкта управління; інструкція з тестування, інструкція з експлуатації АОС.

3.2 Розробка структурно-функціональної схеми автоматизованого тренажера

Сучасний електроенергетичний інформаційний модель-тренажер має бути розроблений за принципами інформаційних технологій, відповідати нормативам міжнародних стандартів якості та задовольняти цим вимогам.

Для удосконалення методики підготовки оперативно-диспетчерського складу АЕС пропонується тренажер як систему розділити на п'ять основних підсистем (рис. 3.1):

- засоби навчання оперативного персоналу АЕС;
- засоби контролю та аналізу процесу навчання;
- засоби підтримки учнів та інструктора;
- модель енергооб'єкта АЕС;
- службові засоби;

Засоби навчання включають:

- набір завдань на тренування (дозволяє проводити навчання управлінню енергооб'єктом АЕС у штатних ситуаціях);
- набір аварійних ситуацій (служить для підготовки оперативного персоналу до парування аварійних ситуацій);
- обоче місце оператора (адекватно імітує реальне робоче місце, на якому працюватиме оператор при управлінні обладнанням, з урахуванням його фізичного та психологічного навантаження).

Для якісного навчання необхідно, щоб робоче місце оператора мало точні копії засобів керування енергооб'єктом та системи відображення інформації. Засоби обміну даними забезпечують взаємодію робочого місця оператора, що навчається, із засобами імітації роботи технологічного обладнання – моделлю енергооб'єкта АЕС.

Засоби контролю дозволяють інструктору стежити за процесом навчання, аналізувати причини помилок оператора та давати відповідні настанови та рекомендації. Засоби контролю включають:

- систему протоколювання дій оператора, його помилок та повідомлень аварійної та попереджувальної сигналізації; систему відстеження змін параметрів об'єкта з можливістю представлення цих змін як графіків залежностей параметрів від часу;
- програму автоматичної оцінки дій оператора;
- пульт інструктора для спостереження за ходом тренування та введення впливів, що обурюють, для імітації аварійних ситуацій.

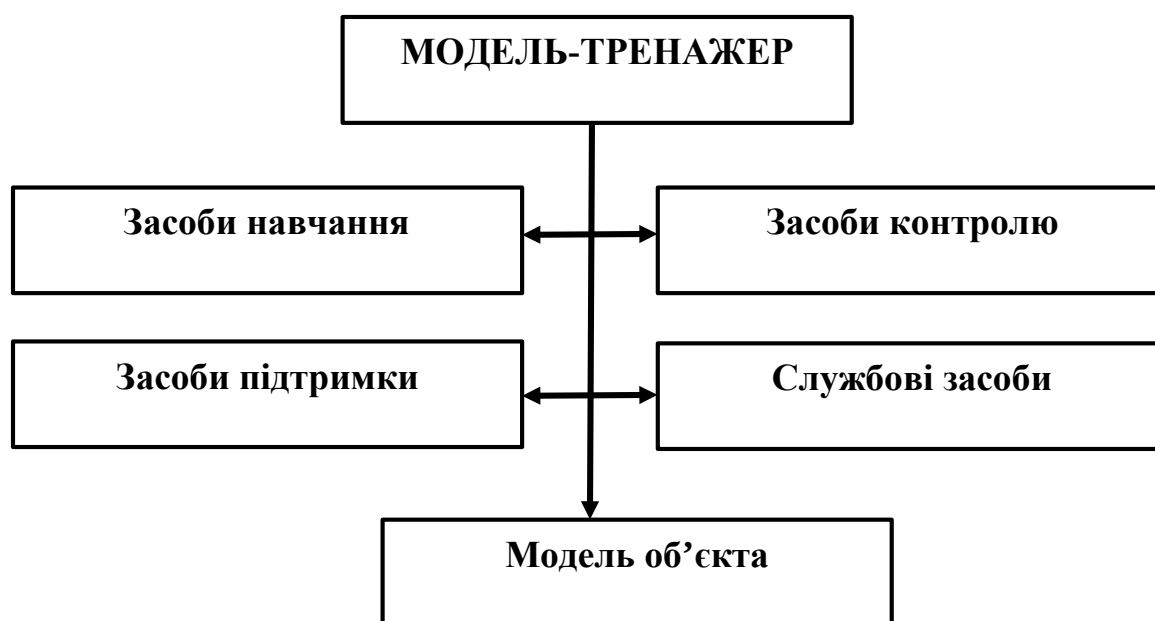


Рисунок 3.1 – Структурно-функціональна схема моделі-тренажу

Інтерактивна контекстна довідкова система, система підказок, система діагностичних повідомлень, спеціальні довідники та експлуатаційна документація є засобами підтримки користувачів тренажера. Вони дозволяють не тільки освоїти та легко експлуатувати тренажер, але, насамперед, допомагають оператору та інструктору приймати рішення у складних ситуаціях.

Енергооб'єкт-прототип, як правило, складається із системи управління, інформаційної системи, з якими безпосередньо взаємодіє оператор, та технологічного обладнання, роботу якого він контролює. Відповідно модель - тренажера складається з трьох частин: моделі системи управління, моделі системи відображення інформації та математичної моделі технологічних процесів.

Взаємодіючи між собою та з робочим місцем оператора, вони здійснюють прийом та обробку команд оператора, розрахунок параметрів нового стану об'єкта та генерацію сигналів для відображення цього стану.

Службові засоби вирішують численні завдання забезпечення безпеки, сумісності та інших вимог, які висуваються сучасним програмно-технічним комплексам, яким є ІТ-тренажер енергооб'єкта.

Розробку варіанта впровадження (організаційна структура системи тренажерної підготовки персоналу) пропонується проводити залежно від обсягу технологічного обладнання, кількості оперативного персоналу, а також наявності матеріально-технічних ресурсів, можливі різні варіанти організації системи тренажерної підготовки на АЕС (ТЕЦ, ДРЕС, теплових, кабельних та електричних мережах): центр підготовки персоналу, пункт підготовки персоналу, цехове та індивідуальне навчання.

Виходячи з аналізу вітчизняних розробок тренажерних комплексів широко освітлених у відомчій технічній літературі [10,11] та вимог до моделей тренажерів, розроблених у розділі II, автором пропонується варіант структурної схеми моделі-тренажера для підготовки оперативно-диспетчерського персоналу оснащених сучасними АСУ.

Варіант структурної схеми моделі-тренажера, розроблений відповідно до нормативних вимог за принципами інформаційних технологій, наведено на рис. 3.2. і може включати до складу такі елементи:

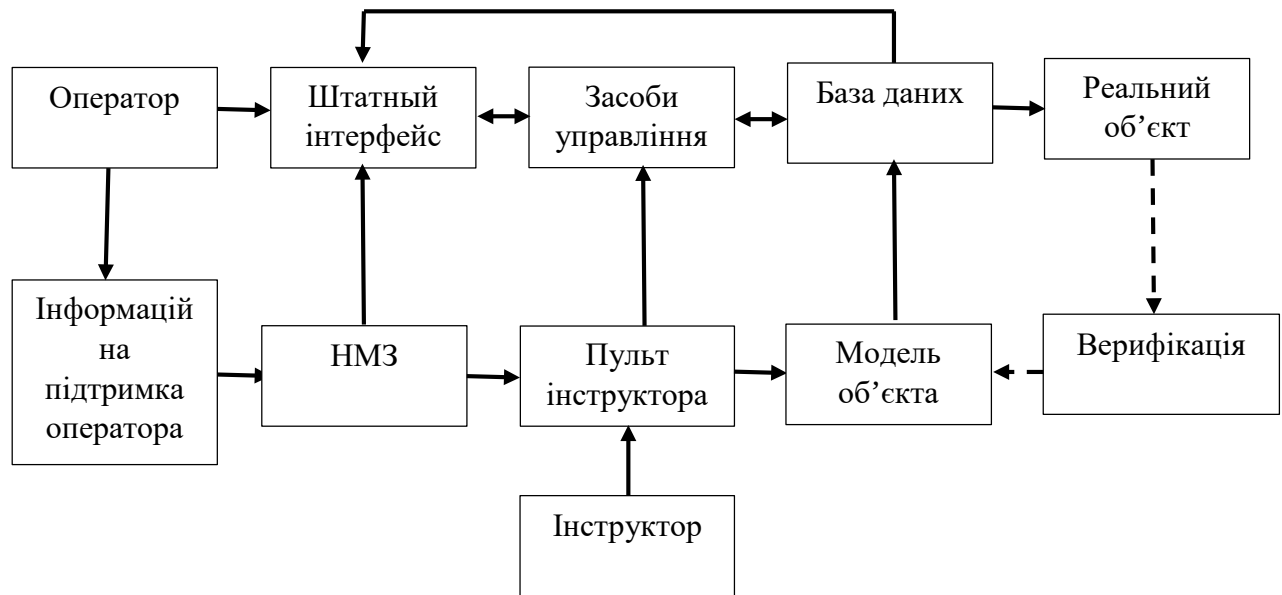


Рисунок 3.2 – Структурна схема моделі-тренажера

РМО – робоче місце оператора;

РМІ – робоче місце інструктора;

МО – моделі об'єкта;

М АСУТП – моделі АСУТП, що включає в себе штатний інтерфейс, засоби управління та базу даних;

БНМО – блоку навчально-методичного забезпечення;

БПО – блок інформаційної підтримки оператора;

БПО – блоку ПЗ коригуючої ідентифікації (верифікації, валідації).

Ця структура відповідає, насамперед, загальній цільовій функції тренажера, а саме:

- забезпечення людині-оператору адекватної інформаційної моделі прототипу об'єкта управління;
- забезпечення можливості якісного та кількісного аналізу інформації та прийняття рішень;
- забезпечення по цілеспрямованому формуванню та вдосконаленню в оператора професійних навичок та умінь у штатних та позаштатних станах

об'єкта управління.

Дана структура за своїм складом дозволяє "відтворювати характеристики об'єкта управління та штатний людино-машинний інтерфейс".

Відтворення характеристик об'єкта управління означає імітацію в тренажері результуючих функцій, а також зовнішніх та внутрішніх зв'язків, що відповідають вихідному об'єкту з такою точністю, яка достатня для вирішення поставлених завдань з навчання людини-оператора у необхідному обсязі та повинна забезпечувати:

- адекватність імітованих інформаційних потоків з точною імітацією кожної складової, точний облік динаміки її зміни та синхронізацію інформації, що надходять від різних джерел один з одним і з динамічними компонентами роботи енергооб'єкта;

- реалізацію як нормальних (штатних) режимів роботи, пускових (з усіх теплових станів адаптуючої ідентифікації (верифікація, валідація), регулювальних та зупинкових, так і інших (наприклад, аварійних) станів енергооб'єкта;

- адекватність математичного моделювання, пов'язану з всережимністю, повномасштабністю, сполученістю та нормативною точністю.

Відтворення штатного людино-машинного інтерфейсу означає, що крім адекватності інформаційних потоків інші параметри робочого місця оператора (розміри, колір, освітленість, наявність мнемосхем, приладів, ключів індивідуального та групового управління, їх взаємне розташування, наявність сигналізації, захистів, блокувань, систем автоматики з датчиками, систем дистанційного керування тощо) були строго однакові на тренажері та на енергооб'єкті.

Необхідність адекватного відтворення штатного людино-машинного інтерфейсу обумовлюється тим, що найважливішими складовими навичок, що формуються на тренажері, є не тільки навички прийняття оперативних рішень,

але і реалізації моторних функцій.

Причому за висновками психологів діяльність оператора з управління будь-яким об'єктом регулювання сприймається як складний поведінковий акт, що включає процеси сприйняття та переробки інформації, формування та виконання на цій основі рухових дій.

У структурі сенсомоторного навички управління об'єктом регулювання руховий компонент є інтегральним показником, що відображає повноту та якість переробки оператором інформації, що надходить каналами різних аналізаторів. Зрештою, майже вся інформація, сприйнята оператором, реалізується в керуючих рухах.

З цих причин відсутність у тренажері адекватного відтворення штатного людино-машинного інтерфейсу, позбавлення людини-оператора можливості отримання та розвитку орієнтаційних моторних навичок, позбавлення його можливості реалізації підсумкової, інтегральної рухової функції переробки інформації, що надходить, з точки зору дидактики у боротьбі з аварійністю з вини персоналу абсолютно неприпустимо.

Крім того, дана структура моделі-тренажера дозволяє виконувати всі вимоги (розроблені в розділі II) при моделюванні процесу навчання оперативно-диспетчерського персоналу АСУ ТП ЕС.

Вимоги до пульта інструктора моделі-тренажера наступні: пульт інструктора дозволяє мати можливості (вручну та автоматично) формування робочого завдання на тренування, завдання внутрішніх збурень (аварій та відмов у роботі технологічного обладнання, арматури, систем автоматики та ін.) та зовнішніх збурень (зміни кількісних та якісних характеристик палива, температури навколишнього повітря, охолоджуючої води тощо), зміни масштабу часу, зупинення процесу, повернення до вихідного стану, ведення протоколів з фіксацією часу, кількості та типу помилок, спрацьовування захистів та блокувань, фіксацію відхилень та графіків основних параметрів

Вимоги до моделі об'єкта управління: адекватність моделі тренажера дозволяє забезпечити в об'єкті, що імітується, результуючі функції, а також зовнішні та внутрішні зв'язки, що відповідають вихідному об'єкту з такою точністю, яка достатня для вирішення поставлених завдань у необхідному обсязі, при цьому відмінність результату від необхідного допуску повинна лежати у полі призначеного допуску. Адекватність моделі тренажера дозволяє визначатися наступними її властивостями, а саме: всережимністю, повномасштабністю та сполученістю. Всережимність математичної моделі означає адекватність цілей, адекватність станів та адекватність умов. Адекватність цілей дає можливість роботи тренажера відповідно до вимог експлуатаційних інструкцій, призначених для організації економічної та безаварійної роботи енергооб'єкта.

Адекватність станів дозволяє відтворення як нормальних (штатних) режимів роботи - пускових (з усіх теплових станів), регулювальних та зупинних, так і інших (наприклад, аварійних) станів енергооб'єкта. При цьому забезпечується не тільки імітація в тренажері тих самих змін відмов, що і на реальному енергооб'єкті, а й адекватна зміна характеристик обладнання та процесів (витратних, механічних, термодинамічних, електричних та ін), що відбуваються при аварії на енергооб'єкті. Адекватність умов дозволяє відтворення не тільки тих самих внутрішніх, а й зовнішніх збурень з боку середовища по відношенню до енергооб'єкта (наприклад, температури навколишнього повітря, кількісних та якісних характеристик палива, температури охолоджувальної води тощо) та адекватної реакції на них обладнання та процесів.

Повномасштабність моделі дозволяє проводити облік практично всіх взаємозв'язків між усіма підсистемами, що моделюються, і елементами енергооб'єкта.

Розглянемо принцип функціонування моделі-тренажера обміну інформацією між елементами схеми (рис. 3.3.). Насамперед, необхідно зазначити,

що у запропонованій моделі-тренажері виконано вимогу роботи моделі у прискореному, реальному та уповільненому масштабах часу. Сполученість моделі стосується її зв'язків зі щитом управління або багатопроцесорної інтерфейсом АСУ ТП. Кожному органу управління зіставлено окремий вхід моделі, кожній точці контролю, сигналізації та захисту її вихід. Забезпечена достатня точність моделі – відносна похибка моделювання статичних режимів вибирається у $\pm 2,5\%$, динамічних $\pm 10\%$.

Необхідно звернути увагу на те, що у запропонованому варіанті моделі-тренажера обов'язково виконується вимога щодо подання результатів зіставлення статичних та динамічних характеристик, отриманих на реальному об'єкті та на моделі.

З метою забезпечення дидактичних можливостей тренажера, забезпечена реалізація як прискореного (до 100 разів), так і уповільненого (до 10 разів) масштабу часу всіх процесів енергооб'єкта, що моделюється.

Модель АСУТП, що включає штатний інтерфейс, засоби управління і базу даних, забезпечує наступні

- інформаційні та керуючі функції:
- контроль за станом моделей енергетичного обладнання;
- автоматичне регулювання технологічних параметрів;
- автоматичний захист моделей технологічного обладнання;
- автоматичне керування моделями обладнання за заданими (проектними) алгоритмами;
- технологічну та аварійну сигналізацію;
- дистанційне керування моделями регулюючої та запірної арматури.

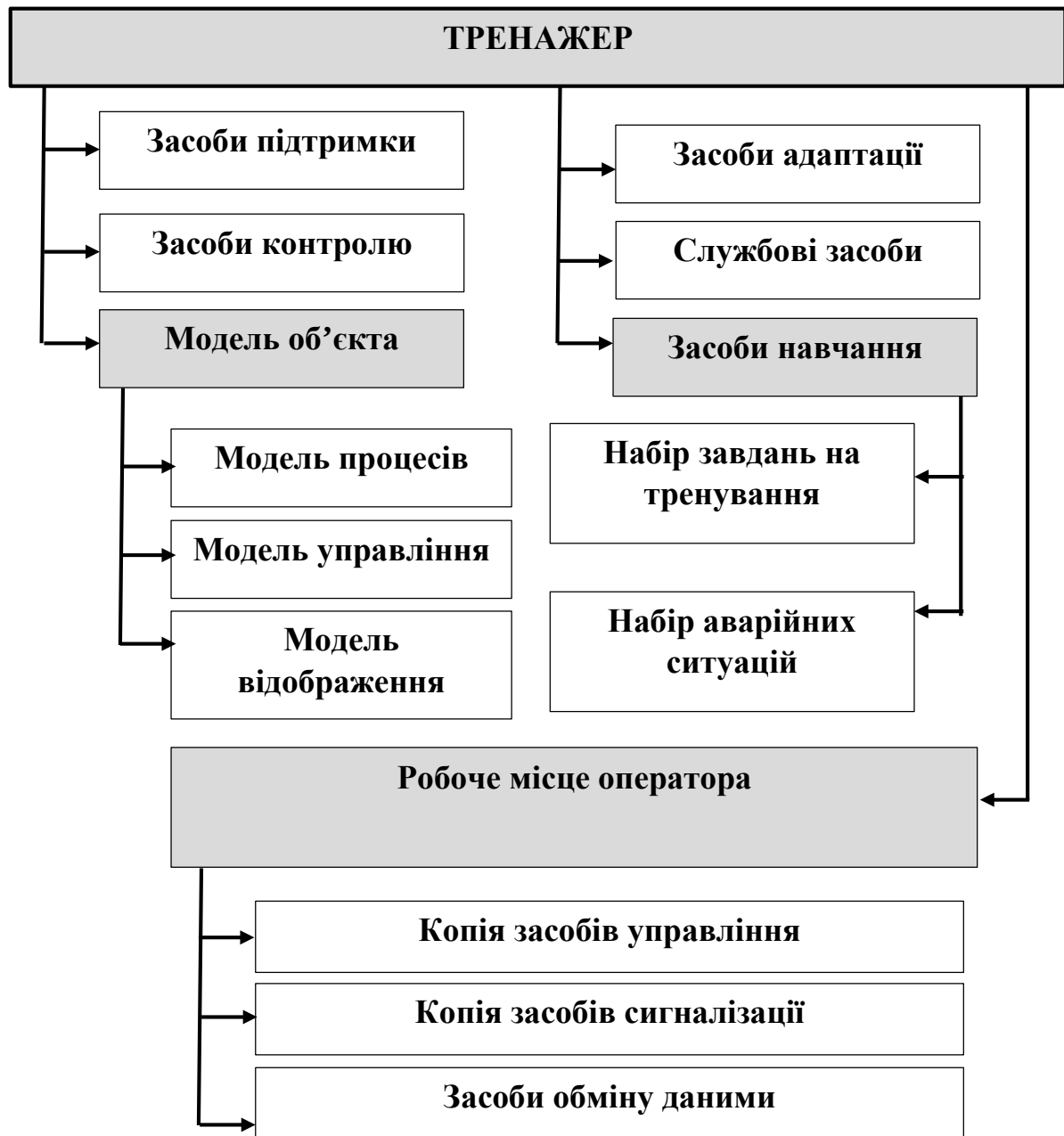


Рисунок 3.3 – Функціональна схема моделі-тренажера

Блок (ПЗ) адаптуючої ідентифікації моделі об'єкта управління та його АСУТП забезпечує комплексну оцінку адекватності моделі тренажера, що відповідає системно-ергономічному підходу при моделюванні розподілених ергатичних систем з урахуванням стохастичної природи аналізованих процесів, та виробляє:

- при зміні внутрішніх властивостей об'єкта - перевірку статистики моделі з коригуванням параметрів математичної моделі (валідацію моделі);
- при зміні зовнішніх властивостей об'єкта – перевірку та коригування структури моделі (верифікацію моделі);
- при зміні інтерфейсу, інформаційного та програмного забезпечення та систем функціонально-групового управління АСУТП об'єкта управління – коригування відповідних підсистем АСУТП тренажера.

Автором, запропонованим для поєднання з АСУ ТП, модель-тренажер функціонально розділити на шість основних підсистем (див. рис. 3.3.):

1. засоби навчання оперативного персоналу;
2. засоби контролю та аналізу процесу навчання;
3. засоби підтримки учнів та інструктора;
4. модель енергооб'єкта;
5. засоби адаптації;
6. службові засоби.

Підсистема засобу навчання включають:

- набір завдань на тренування (дозволяє проводити навчання управлінню енергооб'єктом у штатних ситуаціях);
- Набір аварійних ситуацій (служить для підготовки оперативного персоналу до парування аварійних ситуацій);
- робоче місце оператора (адекватно імітує реальне робоче місце, на якому працюватиме оператор при управлінні обладнанням, з урахуванням його фізичного та психологічного навантаження).

Для якісного навчання необхідно, щоб робоче місце оператора мало: точні копії засобів керування енергооб'єктом; системи відображення інформації та сигналізації; засоби обміну даними.

Засоби обміну даними забезпечують взаємодію робочого місця оператора, що навчається, із засобами імітації роботи технологічного обладнання – моделлю

енергооб'єкта електростанції.

Підсистема засобу контролю дозволяють інструктору стежити за процесом навчання, аналізувати причини помилок оператора та давати відповідні настанови та рекомендації.

Засоби контролю включають: систему протоколювання дій оператора, його помилок і повідомлень аварійної та попереджувальної сигналізації; систему відстеження змін параметрів об'єкта з можливістю представлення цих змін як графіків залежностей параметрів від часу;

- програму автоматичної оцінки дій оператора;
- пульт інструктора для спостереження за ходом тренування та введення впливів, що обурюють, для імітації аварійних ситуацій.

Підсистема засобів підтримки користувачів включає:

- інтерактивна контекстна довідкова система;
- система підказок;
- система діагностичних повідомлень;
- спеціальні довідники та експлуатаційна документація

Засоби підтримки дозволяють не тільки освоїти та легко експлуатувати тренажер, але насамперед допомагають оператору та інструктору приймати рішення у складних ситуаціях.

Енергооб'єкт-прототип, як правило, складається із системи управління, інформаційної системи, з якими безпосередньо взаємодіє оператор, та технологічного обладнання, роботу якого він контролює.

Тому підсистема модель-об'єкта на думку автора повинна складатися відповідно з трьох частин:

- моделі системи керування
- моделі системи відображення інформації
- математичну модель технологічних процесів.

Взаємодіючи між собою та з робочим місцем оператора, вони здійснюють

прийом та обробку команд оператора, розрахунок параметрів нового стану об'єкта та генерацію сигналів для відображення цього стану.

Підсистема засобів адаптації дозволяють коригувати інтерфейс, інформаційне програмне забезпечення тренажера, а також функціонально-групове регулювання за зміни їх на реальній АСУТП енергооб'єкта.

Підсистема службових засобів вирішує численні завдання забезпечення безпеки, сумісності та інших вимог, які висуваються сучасним програмно-технічним комплексам, яким є модель-тренажер енергооб'єкта.

Модель - тренажер може використовуватись на всіх етапах підготовки:

- початкова підготовка, самостійна підготовка
- підготовка на оперативну посаду
- спеціальна підготовка (підтримка кваліфікації оперативного та оперативно-ремонтного персоналу),
- перепідготовка на нову посаду
- кваліфікаційні перевірки знань
- протиаварійні тренування зміни з метою вироблення навичок колективних дій
- Для проведення міжрівневих тренувань.

Ці тренування можуть ставити перед собою такі цілі:

- прищеплення навичок управління у типових ситуаціях;
- вироблення тактики поведінки в аварійних ситуаціях;
- вивчення поведінки ЕЕС у конкретній ситуації для аналізу режимів, опрацювання заявок на виведення у ремонт основного обладнання, вибору та перевірки алгоритмів протиаварійної автоматики, оцінки надійності прогнозних режимів тощо;
- атестація оперативного персоналу.

Модель - тренажер може використовуватись і як режимний імітатор щодо поведінки системи у конкретних аварійних ситуаціях, наприклад, в оцінці якості

дій диспетчерів у конкретних аварійних ситуаціях.

Він може бути використаний для:

- виявлення причинно-наслідкових зв'язків ланцюга подій;
- оцінки обґрунтованості та оперативності дій оператора-диспетчера АСУ ТП ЕС;
- визначення ефективності дії багатьох видів автоматик (правильність вибору уставок, що дозують впливів).

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3:

Розглянуто принцип функціонування моделі-тренажера щодо обміну інформацією між елементами схеми.

Показано, що у запропонованій моделі-тренажері виконано вимогу роботи моделі у прискореному, реальному та уповільненому масштабах часу. Сполученість моделі стосується її зв'язків зі щитом управління або багатопроцесорної інтерфейсом АСУ ТП. Кожному органу управління зіставлено окремий вхід моделі, кожній точці контролю, сигналізації та захисту її вихід. Забезпечена достатня точність моделі – відносна похибка моделювання статичних режимів вбирається у $\pm 2,5\%$, динамічних $\pm 10\%$.

Звернено увагу на те, що у запропонованому варіанті моделі-тренажера обов'язково виконується вимога щодо подання результатів зіставлення статичних та динамічних характеристик, отриманих на реальному об'єкті та на моделі.

Передбачено, з метою забезпечення дидактичних можливостей тренажера, забезпечення реалізації як прискореного (до 100 разів), так і уповільненого (до 10 разів) масштабу часу всіх процесів енергооб'єкта, що моделюється.

ВИСНОВКИ

Нині у тренажеробудуванні для електроенергетики з'явилися нові, причому негативні тенденції, спричинені усуненням пріоритетів та розмиванням дидактичних принципів навчання при проектуванні тренажерів для підготовки різних груп оперативного та обслуговуючого персоналу основних цехів ТЕС.

Структурно сучасний ІТ-тренажер повинен складатися з: робочого місця оператора, що включає штатний інтерфейс; робочого місця інструктора; адекватної моделі об'єкта керування; моделі АСУТП, що включає штатний інтерфейс, моделі засобів управління і базу даних; блоку навчально-методичного забезпечення; блок інформаційної підтримки оператора; блоку програмного забезпечення адаптуючої ідентифікації (верифікації, валідації)

Відтворення характеристик об'єкта управління означає імітацію в тренажері результуючих функцій, а також зовнішніх та внутрішніх зв'язків, що відповідають вихідному об'єкту з такою точністю, яка достатня для вирішення поставлених завдань з навчання людини-оператора у необхідному обсязі та повинна забезпечувати: адекватність імітованих інформаційних потоків з точною імітацією кожної складової, точний облік динаміки її зміни та синхронізацію інформації, що надходять від різних джерел один з одним і з динамічними компонентами роботи енергооб'єкта; реалізацію як нормальних (штатних) режимів роботи, пускових (з усіх теплових станів), регулювальних та зупинних, так і інших (наприклад, аварійних) станів енергооб'єкта; адекватність математичного моделювання, пов'язану з всережимністю, повномасштабністю, сполученістю та нормативною точністю.

Відтворення штатного людино-машинного інтерфейсу означає, що крім адекватності інформаційних потоків інші параметри робочого місця оператора (розміри, колір, освітленість, наявність мнемосхем, приладів, ключів індивідуального та групового управління, їх взаємне розташування, наявність

сигналізації, захистів, блокувань, систем автоматики з датчиками, систем дистанційного керування тощо) були строго однакові на тренажері та на енергооб'єкті.

Перехід на ринкову економіку в електроенергетиці України призвів до появи на ринку освітніх послуг нових тренажеробудівних фірм, які не мають ні технологічних, ні математичних, ні програмних можливостей для розробки якісних тренажерів, що дозволяють організувати навчання персоналу відповідно до вимог галузевих та міжнародних регламентів, норм і стандартів .

Впровадження проектів тренажерів з реальними (фізичними) АСУТП за тимчасовими та фінансовими показниками призведе до ліквідації системи підготовки персоналу на електростанціях та у навчальних центрах.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Станіславчук, О. В.; Чернявка, В. С. Якісна підготовка персоналу АЕС—один з напрямів мінімізації ризиків. 2020.
2. Плетяний, І.; Самойлов, В. Проектування локальних тренажерів на основі сценарно-імітаційного моделювання. Ядерна та радіаційна безпека, 2023, 4 (100): 49-56.
3. Яцишин, А. В. (2021). Психологічна підтримка працівників потенційно небезпечних об'єктів.
4. Харченко, В. П., Шмельова, Т. Ф., Сікірда, Ю. В. (2012). Прийняття рішень оператором аеронавігаційної системи.
5. Плетяний, І. (2022). Моделювання робочих процесів управління технічними об'єктами та системами при розробці тренажерів. Scientific Collection «InterConf», (128), 262-268.
6. Лєпатьєв, А. О., Самойлов, В. Д. (2021). Тренажерна підготовка персоналу та галузева комп'ютерна технологія побудови занять. ББК 31 Б-39, 85.
7. Яцишин, А. В., Яцишин, А. В., Куцан, Ю. Г., Гурєєв, В. О. (2020). Віртуальний науково-навчальний центр для підготовки оперативно-диспетчерського персоналу в енергетиці України. Інформаційні технології і засоби навчання, 5(79), 90-108.
8. Гурєєв В.О., Сангінова О. В., Аветісян О. В., Методи моделювання та засоби побудови і функціонування віртуальних науково-навчальних центрів в енергетиці. Монографія. Київ, Україна: ВП «Едельвейс», 2019.
9. Попов О. О., та ін., «Аналіз можливих причин виникнення надзвичайних ситуацій на АЕС з метою мінімізації ризику їх виникнення», Ядерна та радіаційна безпека, т. 81, № 1, с. 75-80, 2019. Доступно: [https://doi.org/10.32918/nrs.2019.1\(81\).13](https://doi.org/10.32918/nrs.2019.1(81).13). Дата перегляду: Грудень 25, 2019.
10. Попов О. О., та ін., «Концептуальні підходи створення інформаційно-

аналітичної експертної системи для оцінки впливу АЕС на довкілля», Ядерна та радіаційна безпека, т. 79, № 3, с. 56-65, 2018. [Електронний ресурс]. Доступно: [https://doi.org/10.32918/nrs.2018.3\(79\).09](https://doi.org/10.32918/nrs.2018.3(79).09) Дата перегляду: Грудень 25, 2019.

11. Гуреев В. А., Сангинова О. В., «Распределенная среда моделирования режимов в полнофункциональном режимном тренажере (ПОРТ) для энергосистем Украины», Технічна електродинаміка, №5, с. 67–69, 2016. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://doi.org/10.15407/techned2016.05.067> Дата перегляду: Грудень 25, 2019.

12. Gurieiev, and O. Sanginova, «Simulation and study of modes for full-scale mode simulator for Ukrainian energy systems». Intelligent Energy and Power Systems (IEPS). IEEE Xplore Digital Library. p. 1–4, 2016. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/IEPS.2016.7521848> Accessed on: December 25, 2019.

13. R. Heradio, et al., «Virtual and remote labs in education: A bibliometric analysis». Computers & Education, Vol. 98, p.14–38, 2016. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.03.010> Дата перегляду: Грудень 25, 2019.

14. J. Grodotzki, T.R. Ortelt, and A.E. Tekkaya, «Remote and Virtual Labs for Engineering Education 4.0.» Procedia Manufacturing, Vol. 26, p. 1349–1360, 2018. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.07.126> Дата перегляду: Грудень 25, 2019.

15. R. Morales-Menendez, R. A.Ramírez-Mendoza, and A.Jr. Vallejo Guevara, «Virtual/Remote Labs for Automation Teaching: a Cost Effective Approach». IFAC-PapersOnLine, Volume 52, Issue 9, p. 266-271, 2019. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.08.219> Дата перегляду: Грудень 25, 2019.

16. M. Barker, et al., «The global impact of science gateways, virtual research environments and virtual laboratories». Future Generation Computer Systems, Vol. 55, p.240-248, 2019. [Електронний ресурс]. Доступно:

<https://doi.org/10.1016/j.future.2018.12.026> Дата перегляду: Грудень 25, 2019.

17. Краснянский М. Н., «Разработка школьных виртуальных лабораторий на базе среды программирования LabVIEW», 2007. [Електронний ресурс]. Доступно: <http://clubedu.tambov.ru/methodic/2007/virt/> Дата перегляду: Грудень 25, 2019.

18. Zaporozhets A.O., V.S. Eremenko, R.V. Serhiienko, and S.A. Ivanov, «Development of an intelligent system for diagnosing the technical condition of the heat power equipment», XIII International Scientific and Technical Conference “Computer Sciences and Information Technologies” (CSIT 2018), Lviv, p. 48- 51, 2018. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://doi.org/10.1109/STC-CSIT.2018.8526742>. Дата перегляду: Грудень 25, 2019.

19. A. Zaporozhets, V. Eremenko, R. Serhiienko, and S. Ivanov, «Methods and Hardware for Diagnosing Thermal Power Equipment Based on Smart Grid Technology», Advances in Intelligent Systems and Computing III, vol. 871, p. 476-489, 2019. [Електронний ресурс]. Доступно: https://doi.org/10.1007/978-3-030-01069-0_34. Дата перегляду: Грудень 25, 2019.

20. Артемчук В.О. та ін., Теоретичні та прикладні основи економічного, екологічного та технологічного функціонування об'єктів енергетики. Київ, Україна: ТОВ «Наш формат», 2017.