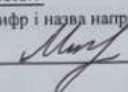


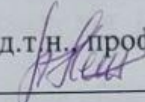
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій і систем

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему:
**«Аналіз стану використання тренажерів керування нормальними
режимами електроенергетичної системи з відновлювальними джерелами
енергії»**

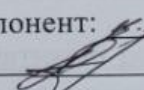
Виконав: студент 2-го курсу, групи ЕСМ-21м
спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
освітня програма «Електричні системи і мережі»

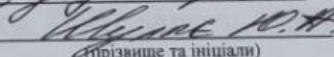
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)


Мовчанюк М. І.
(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., професор каф. ЕСС

Лежнюк П. Д.
(прізвище та ініціали)

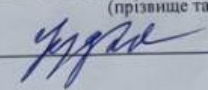
« 19 » 12 2022 р.

Опонент:  д.т.н., доц. каф. ЕСС ЕН


Комар В. О.
(прізвище та ініціали)

« 19 » 12 2022 р.

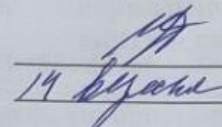
Допущено до захисту
Завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., проф. Комар В. О.
(прізвище та ініціали)

« 18 »  2022 р.

Вінниця ВНТУ - 2022 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій та систем
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 14 «Електрична інженерія»
Спеціальність – 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітньо-професійна програма – Електричні системи і мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕЕС
д.т.н., професор Комар В. О.

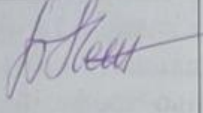
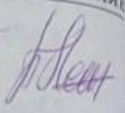
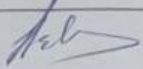

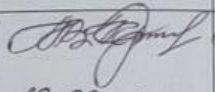
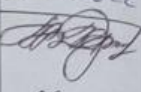

14 грудня 2022 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Мовчанюку Максиму Ігоровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)








- Тема роботи. «Аналіз стану використання тренажерів керування нормальними режимами електроенергетичної системи з відновлювальними джерелами енергії»
керівник роботи д.т.н., професор. каф. ЕЕС Лежнюк П.Д.
затверджена наказом вищого навчального закладу від 14.09.2022 року № 203.
- Строк подання студентом роботи 30 листопада 2022 року.
- Вихідні дані до роботи: Перелік літературних джерел за тематикою роботи. Посилання на періодичні видання.
Перелік літературних джерел за тематикою роботи. Посилання на періодичні видання. Вихідні дані для проведення обчислювальних експериментів..
- Зміст текстової частини: Вступ. 1. Аналіз стану та проблеми використання оперативних диспетчерських тренажерів управління нормальними режимами ЕЕС. 2. Дослідження математичного моделювання процесу оптимального керування режимами ЕЕС. 3. Економічна частина. 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

6. Консультанти розділів роботи

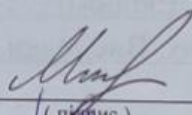
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Спеціальна частина	Керівник роботи Лежнюк П. Д., д.т.н., проф., професор каф. ЕЕС		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Рубаненко О. Є. д.т.н., проф., професор каф. ЕЕС	 16.09.2022	 04.12.2022
Економічна частина	Остра Н. В., к.т.н., доц., доцент кафедри ЕЕС	 16.09.2022	 14.12.22

7. Дата видачі завдання 15 вересня 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

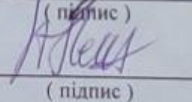
№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи		Пр. мір.
		початок	кінець	
1	Розроблення технічного завдання	02.09.22	06.09.22	
2	Аналіз стану та проблеми використання оперативних диспетчерських тренажерів управління нормальними режимами ЕЕС	07.09.22	12.09.22	
3	Дослідження математичного моделювання процесу оптимального керування режимами ЕЕС.	13.09.22	05.10.22	
4	Техніко-економічна частина	06.10.22	20.10.22	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Оформлення пояснювальної записки.	17.11.22	25.11.22	
6	Виконання графічної/ілюстративної частини та оформлення презентації	26.12.22	30.11.22	
	Перевірка МКР на плагіат. Попередній захист МКР	01.12.22	04.12.22	

Студент


(підпис)

М. І. Мовчанюк

Керівник роботи


(підпис)

П. Д. Лежнюк

АНОТАЦІЯ

Мовчанюк Максим Ігорович «Аналіз стану використання тренажерів керування нормальними режимами електроенергетичної системи з відновлювальними джерелами енергії».

Магістерська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ. – 2022. – с. Бібліогр.41: . Рис. : 13. Табл. : 2.

В магістерській кваліфікаційній роботі було проведено аналіз стану використання тренажерів керування нормальними режимами електроенергетичної системи з відновлювальними джерелами енергії. Представлено класифікацію, стан розроблення та використання диспетчерських тренажерів. Виділено модель тренажера оперативно-диспетчерського персоналу з урахуванням ринкових умов. Представлено дослідження сучасних методів і засобів побудови комп'ютерних тренажерних і навчальних систем. Розглянуто проблеми розроблення тренажера оперативного управління диспетчерського персоналу. Досліджено модель математичного моделювання процесу оптимального керування режимами еес та принципи побудови оперативного режимного тренажера на базі натурно-імітаційної моделі ЕЕС.

Ключові слова. Відновлювані джерела енергії, оперативно-інформаційний комплекс, автоматизована система обліку електроенергії, автоматизована система диспетчерського управління.

ANNOTATION

Movchaniuk Maksym Ihorovych "Analysis of the state of use of simulators for controlling normal modes of the electric power system with renewable energy sources".

Master's qualification work. - Vinnytsia: VNTU. - 2022. - p. Bibliogr.41: . Fig. 13. Table: 2.

In the master's qualification work, an analysis of the state of use of simulators for controlling normal modes of an electric power system with renewable energy sources was carried out. The classification, state of development and use of dispatching simulators is presented. The model of the simulator of operational and dispatching personnel is allocated taking into account market conditions. The research of modern methods and means of construction of computer simulators and training systems is presented. The problems of development of the simulator of operational control of dispatching personnel are considered. The model of mathematical modeling of the process of optimal control of the UPS modes and the principles of construction of the operational mode simulator on the basis of the full-scale simulation model of the UPS are investigated.

Keywords. Renewable energy sources, operational information complex, automated electricity metering system, automated dispatch control system

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	6
ANNOTATION.....	7
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ТА ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ОПЕРАТИВНИХ ДИСПЕТЧЕРСЬКИХ ТРЕНАЖЕРІВ УПРАВЛІННЯ НОРМАЛЬНИМИ РЕЖИМАМИ ЕЕС.....	13
1.1. Класифікація, стан розроблення та використання диспетчерських тренажерів.....	13
1.1.1 Класифікація тренажерів оперативного персоналу.....	14
1.1.2 Основні компоненти тренажера оперативно диспетчерського персоналу...	17
1.1.3 Модель тренажера оперативно-диспетчерського персоналу з урахуванням ринкових умов.....	19
1.2 Дослідження сучасних методів і засобів побудови комп'ютерних тренажерних і навчальних систем.....	23
1.3. Проблеми розроблення тренажера оперативного управління диспетчерського персоналу. Постановка задачі дослідження.....	29
Висновок до першого розділу.....	31
РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ ЕЕС.....	33
2.1. Принципи побудови оперативного режимного тренажера на базі натурно- імітаційної моделі ЕЕС.....	34
2.1.1. Структура тренажера підготовки оперативного персоналу з функцією енергоринку на базі натурно імітаційної моделі.....	34
2.1.2. Аналіз натурно імітаційної моделі ЕЕС.....	36
2.2 Математична модель інтегрального показника якості тренування.....	39

2.2.1 Аналіз наявного способу оцінювання якості тренування.....	39
2.3. Математична модель якості функціонування електричних систем.....	42
2.4. Оцінка втрат потужності від адресних перетікань.....	43
2.4.1. Втрати потужності в вітках схеми ЕЕС, параметри якої наведено до однієї напруги.....	43
2.4.2. Втрати потужності в вітках схеми ЕЕС без приведення до однієї напруги.....	45
2.5 Балансування електроенергії в електроенергетичній системі з відновлювальними джерелами енергії.....	48
Висновок до другого розділу.....	54
РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	55
3.1 Розрахунок кошторису витрат на розробку програмного продукту.....	55
3.2 Розрахунок експлуатаційних витрат при використанні нового програмного продукту.....	57
3.3 Розрахунок річного економічного ефекту для споживача при використанні нового програмного продукту.....	60
3.4 Розрахунок терміну окупності витрат для споживача-замовника.....	61
Висновок до 3 розділу.....	61
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	62
4.1 Аналіз умов праці при виконанні робіт, пов'язаних з ремонтом та експлуатацією електричних мереж 110 кВ.....	62
4.2 Організаційно-технічні рішення з охорони праці для електротехнічного персоналу при ремонті та експлуатації реле.....	62
4.3 Основні заходи протипожежного захисту при виконанні робіт на лінії.....	70
ВИСНОВКИ.....	77

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	78
Додаток А Антиплагіат.....	83
Додаток Б Технічне завдання.....	84
Додаток В Презентаційні матеріали.....	85

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ОЕС - об'єднана енергетична система

ВДЕ - відновлювальні джерела енергії

КО - керований об'єкт

ТОП - тренажер оперативних перемикань

ЦДС - центральна диспетчерська служба

ОДУ - об'єднане диспетчерське управління

ЦДУ - центральне диспетчерське управління

ПА - протиаварійна автоматика

АРЧП - автоматичного регулювання частоти і потужності

МЕС - модель електроенергетичної системи

МЦУ - модель центрального управління

ТП - тренування персоналу

СІМ - спільна інформаційна модель

ОІК - оперативно-інформаційний комплекс

АСКОЕ - автоматизована система обліку електроенергії

НСО - незалежний системний оператор

НІМ - натурно-імітаційна модель

БД - база даних

ВЕУ - вітроенергетичні установки

ВЕС - вітрова електростанція

АСУ – автоматизована система управління

АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом

РЗА - релейний захист і автоматика

КГП - керівник гасіння пожежі

ОВБ - оперативно-виїзна бригада

ВСТУП

Актуальність теми. Основою сучасних об'єднаних електроенергетичних систем (ОЕС) є системоутворюючі мережі, що з'єднують між собою територіально та адміністративно електроенергетичні системи (ЕЕС), які є окремими суб'єктами енергетичного ринку. Історично, призначенням цих мереж був обмін навантажувальним, ремонтним або аварійним резервом потужності для забезпечення балансу потужності ОЕС. З появою енергетичних ринків погляд на системоутворюючі мережі дещо змінився. Вони додатково отримали значення транзитних коридорів для об'єднання децентралізованих (регіональних) систем вироблення електроенергії з великою технологічною різноманітністю джерел енергії в ЕЕС. [1, 2].

Перерозподіл потужностей між перевантаженими лініями електропередачі та лініями з резервом потужності дасть змогу підвищити транспортні можливості та поліпшити ефективність роботи енергопостачальних компаній за рахунок збільшення обсягів поставок електроенергії. Однак критерії оптимальності такого перерозподілу різні (залежно від поставлених завдань і зацікавленості учасників енергообміну). Для ЕЕС одним із таких критеріїв є втрати потужності від власних і транзитних перетікань, оптимальне управління якими впливає на всіх учасників ОЕС.

Керування паралельною роботою ЕЕС, беручи до уваги системні обмеження та обмеження міжсистемних зв'язків, є складним диспетчерським завданням, розв'язання якого можливе завдяки формуванню інтегральної системи управління з розосередженням частини функцій на основі технологій Smart Grid [3]. Розвиток нових технологій і впровадження двостороннього обміну інформацією між енергооб'єктами згідно зі стандартами та підходами концепції Smart Grid передбачає поступовий перехід до автоматичних систем оптимального управління нормальними режимами ЕЕС.

Робота з такою інтегрованою системою передбачає здобуття певних умінь і навичок, що в концепції інтелектуальних мереж вирішується шляхом навчання, перевірки знань та оцінки діяльності оперативно-диспетчерського персоналу тренажерами оперативного та протиаварійного управління [4].

Визначальним для забезпечення умов адекватності керуючих впливів і якості оперативного управління ЕЕС у цілому є систематичне збільшення рівня кваліфікації оперативного диспетчерського персоналу на базі технічних систем і засобів обчислювальної техніки. Однією з основних форм підвищення рівня кваліфікації персоналу є протиаварійні тренування в диспетчерських центрах енергогенеруючих та енергопостачальних компаній. Однак такі тренування не передбачають розвиток навичок у диспетчера щодо оптимізації нормальних режимів енергосистеми, а призначені тільки для відпрацювання, закріплення та перевірки навичок з оперативної ліквідації аварійних ситуацій, а також навчанню найкращим способам їх попередження.

Ефективним способом розв'язання цієї проблеми є створення комп'ютерних тренажерів для підготовки оперативного персоналу у сфері моделювання нормальних режимів енергосистем та оптимального управління ними. Такі системи, використовуючи сучасні апаратні та програмні засоби, забезпечують високу адекватність імітації процесів передавання і розподілу електроенергії в ЕЕС та управління ними.

Нині в нашій країні і за кордоном проводяться інтенсивні науково-дослідні та пошукові роботи зі створення ефективних навчальних і тренажерних систем на базі сучасних засобів обчислювальної техніки. Незважаючи на це, досвід розроблення і дослідження повнофункціональних тренажерів для персоналу атомних і теплових електростанцій, а також для оперативно-диспетчерського персоналу енергосистем за кордоном свідчить, що такі тренажери характеризуються високою вартістю (5...10 млн. доларів), великими термінами розроблення (2...4 роки) і орієнтовані на фахівців, які мають достатній досвід роботи з обчислювальною технікою.

Залишається широкий клас задач досліджуваної предметної області тренувань оптимального керування, які наразі не розв'язано, що потребує продовження досліджень з метою знаходження найефективніших методів і способів організації процесів навчання і тренажу персоналу.

Актуальним науковим завданням є дослідження нових ефективних методів моделювання оперативних тренувань на базі недорогих спеціалізованих локальних тренажерів з використанням бібліотеки базових режимів роботи енергосистем, розгляд принципів побудови тренажерів оперативного управління та способів оцінювання дій персоналу.

Мета та завдання наукового дослідження. Метою магістерської роботи є дослідження математичних моделей процесу оптимального керування потоками потужності для використання в режимних тренажерах.

Поставлена мета визначила необхідність розв'язання наступних завдань, які виникають при оперативних тренуваннях оптимального управління в нових ринкових умовах:

- Аналіз існуючих способів і засобів побудови режимних тренажерів оперативно-диспетчерського персоналу енергосистем;
- Дослідження проблем і задач оптимального управління адресними і транзитними потоками потужності;
- Дослідження можливостей використання натурно-імітаційного моделювання в режимних тренажерах оперативно-диспетчерського персоналу;
- Розгляд алгоритму проведення тренування оптимального управління режимом енергосистем з урахуванням взаємодії всіх учасників енергообміну;
- Розгляд інтегрального показника оцінки якості дій оперативно-диспетчерського персоналу в умовах ринкового середовища.

Об'єктом дослідження магістерської роботи є нормальні режими електроенергетичних систем, а **предметом дослідження** - методи та моделі

формування режимних тренажерів для навчання диспетчерського персоналу електроенергетичних систем.

Методи досліджень. Для аналізу та розв'язання поставлених задач використано узагальнювальні методи теорії подібності та моделювання, методи лінійного та нелінійного програмування. Усталені режими моделюються та аналізуються на базі методу вузлових напружень. Для розроблення дослідження алгоритмів і програм роботи тренажера оптимального керування ЕЕС використовували матричну алгебру, теорію графів, декомпозицію та об'єктно-орієнтований аналіз.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ТА ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ОПЕРАТИВНИХ ДИСПЕТЧЕРСЬКИХ ТРЕНАЖЕРІВ УПРАВЛІННЯ НОРМАЛЬНИМИ РЕЖИМАМИ ЕЕС

1.1. Класифікація, стан розроблення та використання диспетчерських тренажерів

Ускладнення режимів сучасних ЕЕС, децентралізація енергопостачання, збільшення частки розподіленого виробництва електроенергії за допомогою відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), призводять до ускладнення планування режимів ЕЕС та оперативного управління ними. Таким чином, ведення режиму диспетчерським персоналом вимагає не тільки високого рівня кваліфікації та професійної підготовки, а й навичок в умовах, близьких до реальних, що дасть змогу зменшити вплив "людського фактора" на загальну надійність енергозабезпечення.

На сьогоднішній день необхідна кваліфікація оперативно-диспетчерського персоналу в Україні та ряді країн забезпечується системою його підготовки, яка включає [5]:

- підвищення рівня технічних знань і професійних навичок диспетчерів на спеціальних курсах в інституті підвищення кваліфікації, навчальних комбінатах ЕЕС, на робочих місцях;
- перевірку знань і професійних навичок фахівців під час вступу їх на роботу і періодично 1 раз на 2-3 роки;
- стажування диспетчерів на робочих місцях під час вступу на роботу і після тривалих перерв у роботі;
- регулярні тренування, що передбачають перевірку і підвищення професійних знань.

Питання підвищення ефективності підготовки та тренування оперативного персоналу ЕЕС доцільно вирішувати з використанням

спеціальних тренажерів диспетчера. Під час навчання і перевірки знань оперативного персоналу тренажери забезпечують освоєння таких функцій:

- виробництво оперативних перемикачів на обладнанні електростанцій і підстанцій;

- аналіз аварійних ситуацій, що виникають в основній мережі ЕЕС і ОЕС, ухвалення рішень щодо запобігання розвитку аварій, відновлення нормального режиму;

- ведення нормального режиму ЕЕС і ОЕС з підтриманням установлених значень параметрів режиму.

Децентралізація енергопостачання, впровадження Smart Grid технологій, і, як наслідок, розшарування функцій управління між учасниками енергообміну в низці країн зумовили розробку великої кількості тренажерів, які використовують моделі з різною структурою і математичним забезпеченням.

З метою визначення моделей, найбільш пристосованих для підготовки та перепідготовки оперативного та диспетчерського персоналу, виникає необхідність їхнього детальнішого аналізу та розгляду.

1.1.1 Класифікація тренажерів оперативного персоналу.

Тренажери оперативного персоналу ЕЕС є складними людино-машинними системами, що адекватно відображають основний характер діяльності диспетчера і включають комплекс технічних засобів високої продуктивності, розвинене інформаційне, математичне та програмне забезпечення. Залежно від виконуваних завдань вони можуть бути класифіковані за такими ознаками:

1. За використанням: навчання – формування знань і вмінь управлінської діяльності; тренування – формування практичних навичок роботи.

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

3. За особливостями взаємодії того, кого навчають, і тренажера: понятійні – дають узагальнене відтворення ситуації та педагогічно орієнтовані і поведінкові – з доволі детальною деталізацією модельованих ситуацій і педагогічно нейтральні.

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

- тренажери оперативних перемикань (ТОП) – призначені для набуття персоналом навичок з управління конкретним комутаційним обладнанням у розподільних пристроях електростанцій і підстанцій;

- статичні режимні тренажери – призначені для набуття персоналом навичок з підтримання і введення режиму роботи об'єкта управління в задану область. Дають змогу уявити кінцеві результати того чи іншого впливу на КО (серія сталих режимів);

- псевдодинамічні режимні тренажери – у яких для імітації перехідного процесу між кінцевими станами використовують заздалегідь розраховані або гранично спрощені закономірності зміни режимних параметрів;

- динамічні режимні тренажери – використовують спрощені математичні моделі елементів системи в поєднанні з чисельним розв'язанням диференціальних рівнянь руху в реальному часі.

Крім того, тренажери можна класифікувати за низкою додаткових ознак:

- за способом моделювання: "жорсткі", що використовують незмінні для даного об'єкта алгоритми управління, і адаптивні, не пов'язані з конкретним об'єктом управління та його станом; логічні, побудовані на логічних зв'язках між станами об'єкта управління, і розрахункові, виконані на базі математичної моделі об'єкта;

- за способом технічної реалізації: апаратні або програмовані; автономні, які використовують у спеціальних навчальних центрах, або інтегровані з ОІК.

Функціональні відмінності визначаються прагненням забезпечити адекватність функцій тренажера з функціями диспетчерського управління

відповідного рівня: енергооб'єкта (електростанції, підстанції, підприємства електричних мереж), ЕЕС, ОЕС.

Тренажер для диспетчерського персоналу вищих рівнів управління (ЦДС, ОДУ, ЦДУ) значною мірою має бути орієнтований на управління режимом ЕЕС: ведення економічного режиму, регулювання частоти й активної потужності, введення параметрів обтяженого режиму в допустиму сферу, запобігання спрацьовуванню систем протиаварійної автоматики та порушенню стійкості, відновлення паралельної роботи частин ЕЕС, які розділилися після аварії, і т. ін. Комутаційні перемикання в мережі можуть здійснюватися в досить узагальненому вигляді, проте з'являються функції, пов'язані з контролем і управлінням системами автоматичного управління (ПА, АРЧП). У тренажерах цього рівня доцільно моделювати динаміку зміни режиму (в основному повільну).

Таким чином, для розв'язання поставлених у роботі завдань створення тренажера оперативного ведення економічного режиму ЕЕС, необхідно використовувати підходи, що застосовуються для створення розрахункових динамічних режимних тренажерів на базі математичної моделі енергосистеми, що дасть змогу виконувати врахування впливу динаміки зміни режиму на системи автоматичного керування.

Розроблений режимний тренажер повинен дозволяти вирішувати завдання:

- підтримання нормативних значень частоти планових значень перетікань активної потужності, рівнів напруги в контрольних точках мережі при природних (порівняно невеликих) коливаннях навантаження споживачів та зміні потужності електростанцій;

- підготовки режиму для планових чи позапланових ремонтів генеруючого чи електромережевого обладнання;

- ведення оптимального режиму активної (реактивної) потужності з використанням систем оперативної або автоматичної корекції режиму.

- регулювання параметрів режиму, що поступово ускладнюється, з метою запобігання виходу їх за допустимі межі та подальшого спрацьовування систем ПА;

- введення в допустиму область параметрів обтяженого режиму, що виник через аварійне відключення основного генеруючого або електромережевого обладнання, запобігання подальшому розвитку аварії, відновлення нормального режиму та схеми мережі;

- управління режимом у енергорайоні, що виділився, та включення його на паралельну роботу з ОЕС;

- відновлення електропостачання у повністю погашеному енерго-районі.

1.1.2 Основні компоненти тренажера оперативно-диспетчерського персоналу.

Аналіз досвіду незалежних системних операторів (НСО) (Independent System Operator - ISO), послугами оперативного управління яких користується низка західних країн, показує, що для навчання, диспетчерських тренувань і сертифікації персоналу використовуються тренажери підготовки операторів (ТПО) (Operator Training Simulators - OTS), які вміщують два основних компоненти - модель електроенергетичної системи (МЕС) (Power System Model - PSM) і модель центру управління (МЦУ) (Control Center Model - CCM) [6-12] (рис. 1.1).

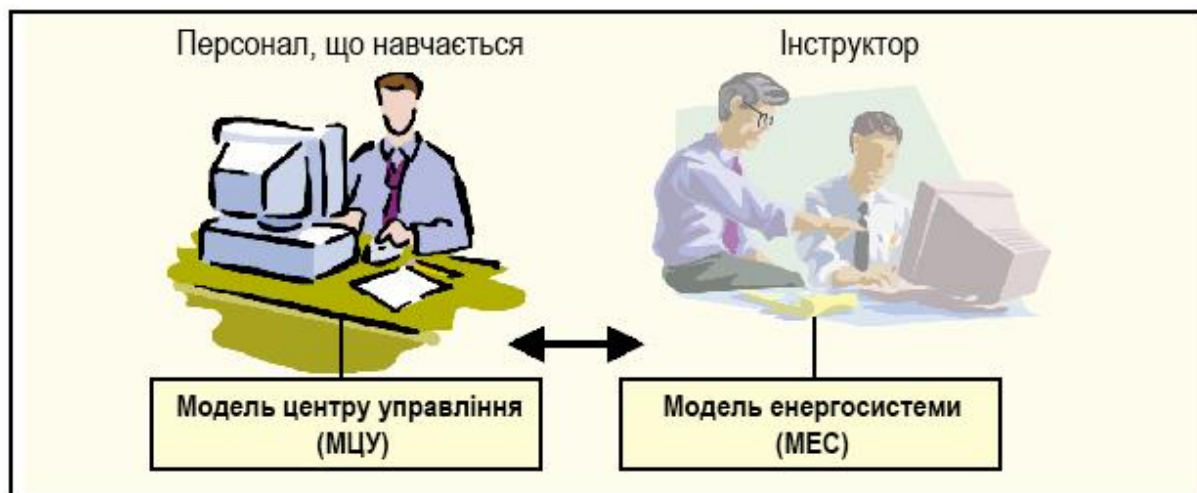


Рис. 1.1. Основні компоненти інтегрованого тренажера підготовки оперативного персоналу

Модель електроенергетичної системи є основою тренажера, моделюючи зазначену ЕЕС у реальному часі, включно з параметрами, що контролюються центром управління, а також зв'язками із зовнішніми енергосистемами. У деяких тренажерах МЕС так само імітує збір інформації та передачу керуючих впливів за допомогою SCADA-систем в центр управління – МЦУ.

Параметри МЕС контролюються засобами управління інструктора, що дає можливість проводити тренування за певним сценарієм. Також передбачено режим роботи, що імітує ручне керування, коли учень передає команди на місце інструктора для виконання. У цьому режимі імітується робота диспетчера підстанції.

Модель центру управління імітує дії розглянутого диспетчерського центру. У цьому випадку центр управління тренажера є точною копією реально діючої диспетчерської, що дає змогу аналізувати різні ситуації, тестувати нове програмне забезпечення або проводити огляд післяаварійних режимів.

Недоліком такої структури тренажера є неможливість точного представлення зовнішніх засобів керування. Такі кошти враховуються за допомогою узагальнених моделей.

Враховуючи специфіку роботи об'єднаних електроенергетичних систем (ОЕС), у реальному часі паралельно функціонують кілька центрів диспетчерського управління. Таким чином тренажер підготовки оперативного персоналу ОЕС повинен вміщувати кількість моделей центрів управління, яка дорівнює кількості енергосистем в енергооб'єднанні з відповідною кількістю тренувального персоналу (ТП) (рис. 1.2) та модель об'єднаної електроенергетичної системи. Такий підхід необхідний для імітування ситуації, коли різні центри диспетчерського управління використовують різні підходи для оптимізації поточкорозподілу, або підтримують режим ЕС у допустимих межах. Таким чином, критерії оптимального управління для окремих енергосистем можуть відрізнятися від загальносистемних.

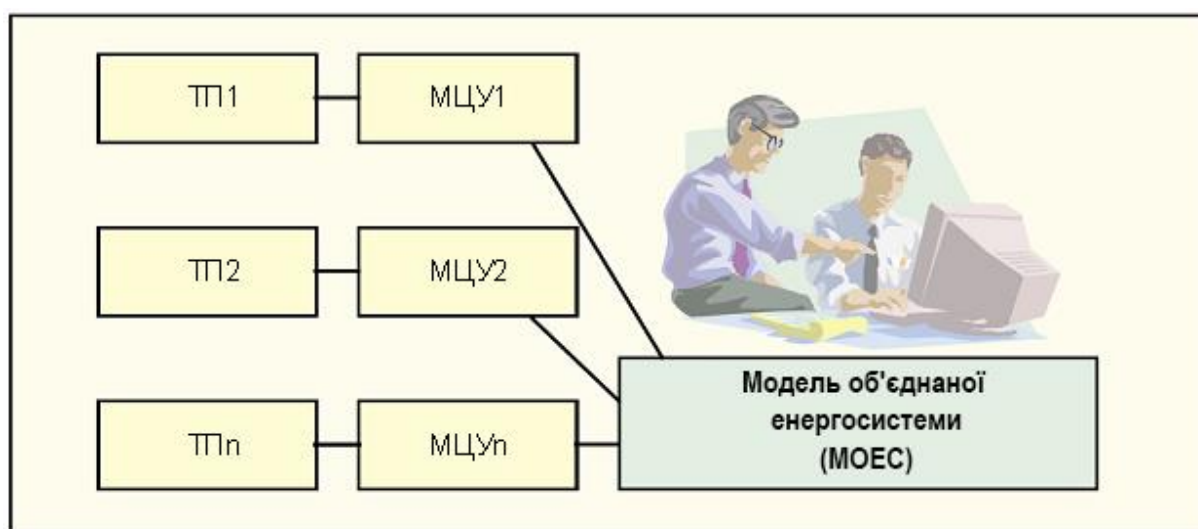


Рис. 1.2. Інтегрований тренажер підготовки оперативного персоналу ОЕС

Однак такі моделі не враховують специфіки роботи енергосистем, пов'язаної з більшою кількістю зацікавлених сторін, якими є енергогенерувальні компанії, оператори енергоринку, транспортні енергокомпанії, споживачі електроенергії, інтереси яких мають урахуватися в процесі диспетчерського управління та оптимізації поточкорозподілу.

1.1.3 Модель тренажера оперативно-диспетчерського персоналу з урахуванням ринкових умов.

В умовах енергоринку функції центру управління виконуються кількома суб'єктами, такими як:

- незалежний системний оператор (центр диспетчерського управління) з можливістю планування і контролю енергосистеми в режимі реального часу, на основі даних енергоринку та інших учасників енергообміну.

- оператор енергоринку, функцією якого є укладання двосторонніх договорів між учасниками ринку. В Україні функцією енергоринку є так само планування розподілу навантаження між енергогенеруючими джерелами на наступний період. Таким чином функції різних суб'єктів можуть варіюватися залежно від моделі використання ринкової моделі;

- генеруючі компанії;

- транспортні енергокомпанії. В Україні, на даний момент, незалежний системний оператор є одночасно і транспортною енергокомпанією;

- споживачі електроенергії.

Залежно від ринкової моделі учасники енергообміну можуть укласти прямі двосторонні договори на постачання електроенергії, і передавати їх для виконання системному оператору або оператору енергоринку.

Таким чином, модель центру управління з урахуванням ринкових умов буде враховувати особливості роботи, і містити функціональні можливості всіх суб'єктів енергоринку (рис. 1.3).

Для адекватної роботи тренажера моделі кожного суб'єкта енергоринку змінюються залежно від конкретних умов роботи, суб'єкта енергообміну, який використовує тренажер, а також від ринкової моделі, що використовується в країні.

Структура тренажера, наведена вище, є базовою для багатьох західних країн [6], а основні принципи використання такої структури тренажера розроблено в [12].

Для кожного суб'єкта енергообміну, який використовує тренажер підготовки оперативного персоналу, моделі уточнюються або адаптуються для умов роботи оперативного персоналу. Основною проблемою в цьому випадку є сумісність даних різних моделей.

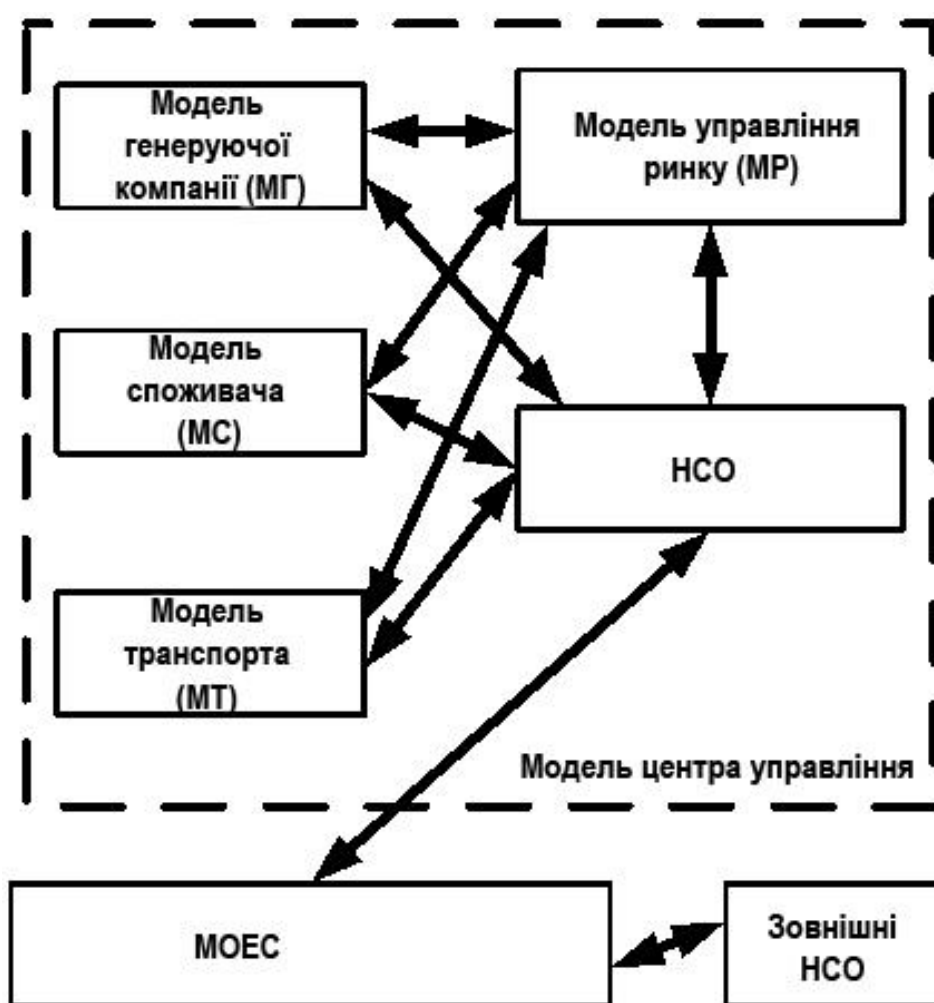


Рис. 1.3. Структура тренажера підготовки оперативного персоналу з функцією енергоринку

Використання спільної інформаційної моделі (СІМ) (common information model - СІМ) для всіх суб'єктів дає змогу використовувати таку структуру тренажера не тільки для навчання персоналу оператора енергоринку або диспетчерського управління, а й для підготовки диспетчерів генерувальних і транспортних енергокомпаній. Реалізацію узагальненої структури обміну інформацією тренажера суб'єкта енергообміну з урахуванням зв'язків між енергосистемами наведено на рис. 1.4.

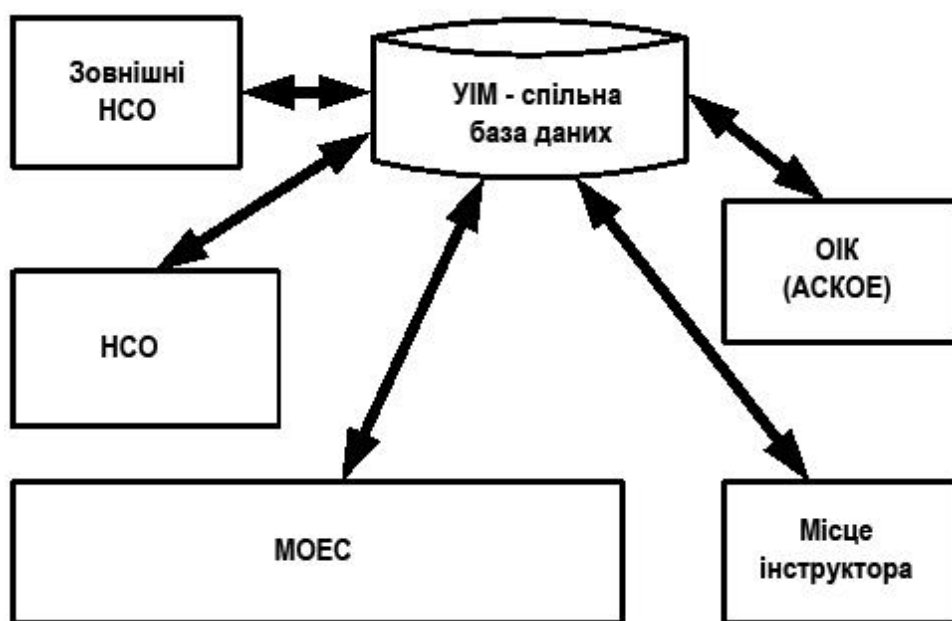


Рис 1.4. Структура обміну інформацією тренажера підготовки оперативного персоналу

Узагальнена інформаційна модель - являє собою деяку концептуальну модель для опису різних предметів (суб'єктів) навколишнього світу, використовуючи об'єктно-орієнтовану термінологію. Якщо до останніх років поняття об'єктно-орієнтованої технології стосувалися мов програмування (C++, Java та ін.), то УІМ розширює ці поняття до опису даних, свідомо використовуючи таку термінологію об'єктно-орієнтованого програмування, як класи, властивості, методи та асоціації. По суті, УІМ є інформаційною

моделлю, завданням якої є єдине уніфіковане представлення структур даних, незалежно від джерела походження даних і цілей їх використання.

Використання зв'язку з БД оперативно-інформаційного комплексу (ОІК) ОЕС або БД автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) дає змогу виконувати відтворення сталих режимів з використанням натурних даних. Оптимізація режимів передбачає натурне моделювання стійких режимів ОЕС на підставі сформованого вектора незалежних параметрів електроенергетичної системи [11, 12].

Таким чином, проведений аналіз моделей структур тренажерів підготовки оперативного персоналу, що використовуються у світовій практиці, дає змогу дійти висновку, що найбільш використовуваною є структура, наведена на мал. 1.3. Основною перевагою такої структури є її модульність і можливість використання на будь-якому рівні виробничого процесу, як у генеруючих енергокомпаніях, так і на рівні центру диспетчерського управління об'єднаною енергосистемою.

1.2 Дослідження сучасних методів і засобів побудови комп'ютерних тренажерних і навчальних систем

Розглянемо два найвідоміші підходи до побудови тренажерних і навчальних систем: створення спеціалізованих і універсальних тренажерів. На рис. 1.5 подано структурну схему спеціалізованого тренажера.

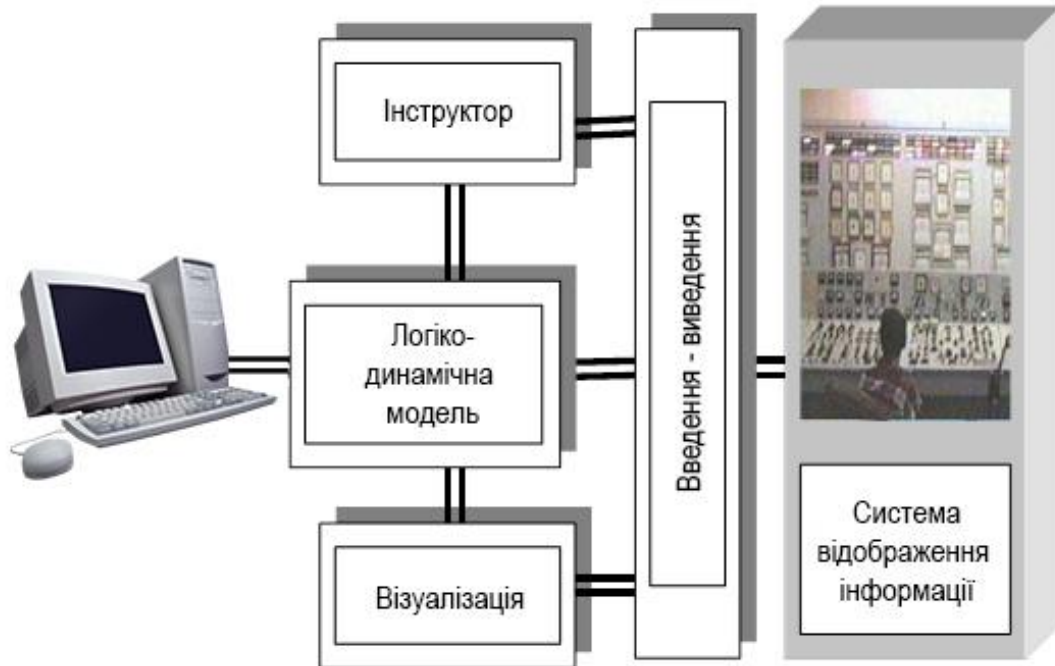


Рис. 1.5. Загальна структура спеціалізованого тренажера

Розглянемо докладніше призначення функціональних підсистем комплексу програмних засобів спеціалізованих тренажерів.

Підсистема "Інструктор" забезпечує:

- запуск і початкову ініціалізацію тренажера;
- вибір необхідного режиму роботи тренажера;
- установку початкових значень параметрів моделі та стан модельованого обладнання;
- запуск логіко-динамічної моделі;
- можливість внесення позаштатних і аварійних ситуацій;
- фіксацію поточного стану тренажера в довільний момент часу;
- видачу повідомлень про відхилення дій того, хто навчається, від заданої послідовності технологічних операцій і оцінку діяльності того, хто навчається;
- видачу протоколу роботи учня після закінчення сеансу роботи;

- визначення ступеня підготовленості оператора.

Підсистема "Логіко-динамічна модель" забезпечує:

- введення необхідних технологічних режимів і технологічних операцій;
- контроль повноти і несуперечливості моделі;
- безперервну видачу параметрів моделі за заданим технологічним режимом з урахуванням динамічних характеристик у заданому масштабі часу;
- отримання та обробку керуючих впливів, введених тим, кого навчають;
- отримання та обробку уставок параметрів, а також позаштатних і аварійних ситуацій, що вводяться інструктором під час сеансу навчання.

Підсистема "Візуалізація" забезпечує:

- генерацію і виведення на екран відеотерміналу графічної інформації як у статиці, так і в динаміці;
- видачу графічних зображень, а також будь-якої іншої додаткової інформації в окремі вікна на екрані відеотерміналу.

Підсистема "Введення - виведення" забезпечує:

- приймання керівних впливів від того, кого навчають, через органи управління моторного поля;
- первинне опрацювання керуючих впливів;
- перетворення значень параметрів для виведення.

Розроблене програмне забезпечення спеціалізованих тренажерів дає змогу розв'язати задачі, пов'язані з роботою в змінюваному масштабі часу, реалізацією мультизадачного режиму роботи, використанням засобів машинної графіки, веденням бази даних, модульною побудовою архітектури програмного забезпечення.

Ефективність навчання за допомогою спеціалізованих тренажерів істотно залежить від форми організації та проведення навчальних занять. Кожне

навчальне заняття планується як активний процес і проводиться за індивідуальним планом з урахуванням успішності виконання попередніх завдань згідно з програмою підготовки. Навчання за допомогою розглянутих спеціалізованих тренажерів ґрунтується насамперед на виробленні навичок ухвалення та реалізації правильних рішень, які визначаються умінням того, хто навчається, орієнтуватися в межах своєї професійної діяльності. Орієнтування формується і функціонує в умовах реалізації на трьох рівнях: смислового, тобто на рівні основних цілей, що реалізуються в процесі конкретної діяльності; функціональному, тобто на рівні усвідомлення ситуації та вибору способів зміни режимів функціонування технічної системи; операційному, тобто на рівні умов виконання ухваленого рішення (власне оперативної діяльності).

Система підготовки персоналу за допомогою спеціалізованих тренажерів забезпечує формування у людей, які навчаються:

- повного орієнтування в цілях, умовах вибору та виконання професійної діяльності;
- здатності регуляції функціональних станів;
- мотиваційної спрямованості практичної діяльності.

Тому, хто навчається, пропонується гранично зрозуміла і чітка інструкція, що визначає мету кожного заняття і способи роботи з тренажером для досягнення цієї мети. Для початкового знайомства того, хто навчається, з можливостями спеціалізованого тренажера передбачена демонстрація декількох режимів, найбільш характерних для розглянутої технологічної системи з автоматичним введенням керуючих впливів.

Демонстрація супроводжується видачею текстових повідомлень, що пояснюють перебіг протікання навчальної задачі, на екрані відеотерміналу. Для засвоєння текстів повідомлень учень або інструктор можуть призупинити всі розрахункові процедури в логіко-динамічній моделі. Оцінка діяльності учня здійснюється автоматично після завершення навчального заняття. Протокол

навчального заняття видається за запитом. Індивідуальний протокол навчального заняття є підставою для інструктора під час підготовки наступного заняття або ж циклу занять. Існує можливість використання тренажера в режимі самопідготовки. При цьому тому, хто навчається, надають довідкову текстову інформацію (підказку) щодо відпрацьованого режиму. Описані вище принципи побудови нового покоління спеціалізованих тренажерів пройшли в основному апробацію під час розроблення тренажера перевантаження палива атомного реактора та під час розроблення тренажера з управління вузлами регенерації енергоблока ТЕС.

На сьогодні, у форматі спеціалізованого тренажера, успішно реалізовано тренажер з оперативних перемикачів Модус [13-19]. Як тренажер рівня МЕМ використовується мережевий варіант тренажера Модус, що працює узгоджено з тренажером Фенікс, який виконує функції розрахунку режиму і синхронізації моделі мережі на декількох робочих місцях. Для тренажера рівня ЦДС використовується тренажер Фенікс із моделлю ОЕС [19].

Режимний тренажер диспетчера енергосистеми "ФЕНІКС" призначений для проведення протиаварійних тренувальних навчань оперативного персоналу диспетчерських пунктів об'єднань енергосистем, енергосистем та електричних мереж.

В універсальних тренажерах, на відміну від спеціалізованих, засобом відображення інформації є екран дисплея комп'ютера (або, як варіанти, екран дисплейного проектора, газорозрядне табло чи інші електронні засоби відображення). Крім цього, доцільно оснастити тренажер засобами мультимедіа для введення-виведення звукових повідомлень. Наявність таких засобів забезпечує гнучкість налаштування зовнішнього вигляду робочого місця і незалежність від предметної області тренувань.

Для формування вигляду та налаштування робочого місця до складу підсистем універсального тренажера, окрім перелічених вище підсистем для

спеціалізованих тренажерів, входить також підсистема конструктора робочих місць і сценаріїв тренувань.

На рис. 1.6 представлено структурну схему універсального тренажера.

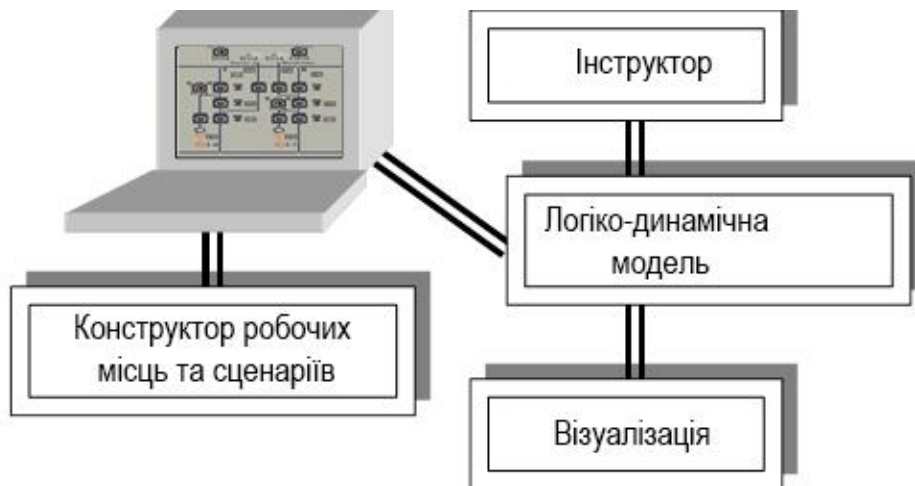


Рис. 1.6. Загальна схема універсального тренажера

Універсальні тренажери можуть створюватися для індивідуальних і групових тренувань. Для індивідуальних тренувань весь тренажер може бути зосереджений на одному ПК.

Для відпрацювання взаємодії оперативного персоналу різних рівнів і служб створюються універсальні тренажери на базі локальних мереж ПК.

Розрізняють універсальні тренажери двох видів: ситуаційні та повнофункціональні. Ситуаційні тренажери використовують для відпрацювання ухвалення рішень у типових ситуаціях, які можна заздалегідь передбачити та задокументувати, наприклад, для відпрацювання проведення оперативних перемикань в електричних мережах, проведення планових ремонтів тощо. У таких тренажерах у підсистемі логіко-динамічної моделі може бути відсутнім математичний розрахунок параметрів режиму роботи обладнання.

Для моделювання складних технологічних процесів, що відбуваються в електричних мережах, а також у тепловому, газовому, хімічному та іншому

технологічному обладнанні енергопідприємств, створюють повнофункціональні (повномасштабні) тренажери, що мають у складі підсистеми логіко-динамічної моделі математичний розрахунок фізичних параметрів технологічних процесів.

На рис. 1.7 показано схему обміну повідомленнями та впливами в локальній мережі між робочими місцями на ПК у складі повномасштабного тренажера для колективних тренувань.

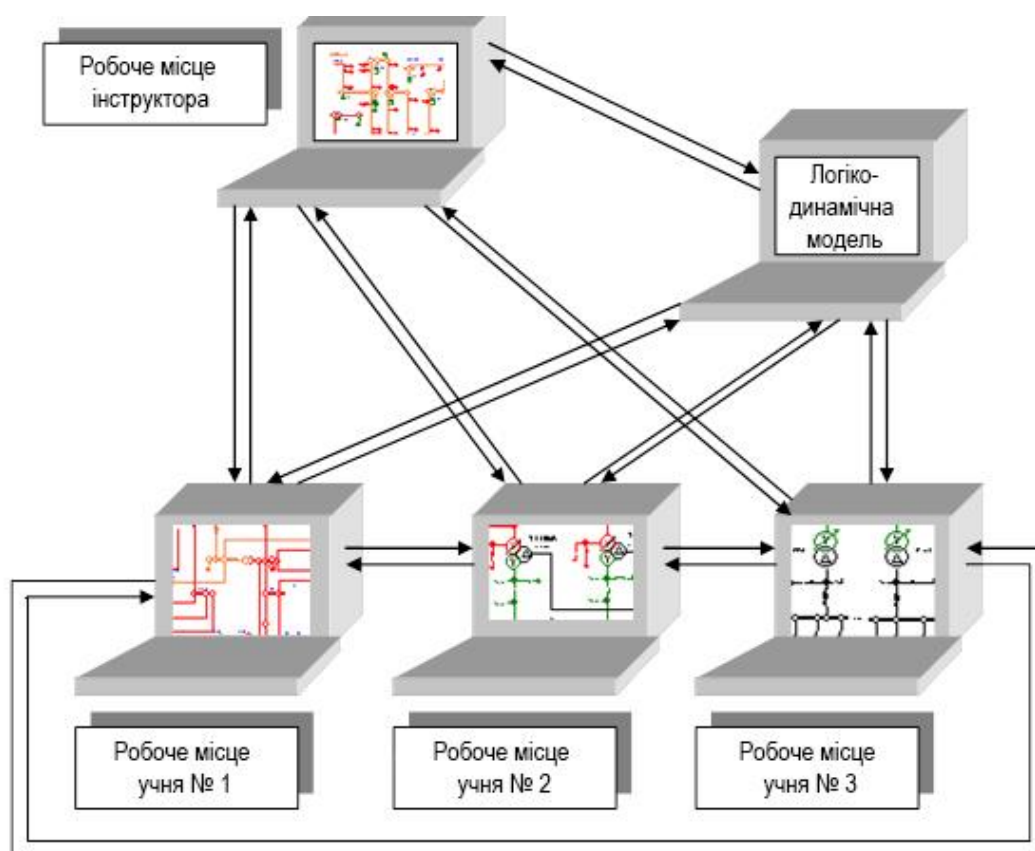


Рис. 1.7. Схема обміну повідомленнями в режимному тренажері

Прикладом універсального тренажера є комплекс КАСКАД-НТ, що являє собою набір програм, які називаються конструкторами, для побудови автоматизованої системи управління технологічними об'єктами [20, 21]. Комплекс КАСКАД-НТ призначений для створення і модернізації систем

моніторингу, оперативного управління та інформаційної підтримки оперативно-диспетчерського персоналу енергооб'єктів, служб режимів, РЗ і ПА та низки інших, у галузі електроенергетики, нафтогазової промисловості, у системах зв'язку.

На базі системи конструкторів КАСКАД, реалізовано тренажерний комплекс РЕТРЕН. У тренажерному комплексі функціонує динамічна інтерактивна модель енергооб'єднання реального часу і вся система відображення прив'язана до інформації цієї моделі. Модель динаміки ЕЕС враховує електромеханічні та тривалі перехідні процеси, системи вторинного регулювання та протиаварійної автоматики.

1.3. Проблеми розроблення тренажера оперативного управління диспетчерського персоналу. Постановка задачі дослідження

Особливу роль в управлінні сучасною ЕЕС відіграє оперативно-диспетчерський персонал, який відповідає за її цілісність і безперебійне функціонування. За статистичними даними 30% аварій виникають з вини оперативного персоналу [22]. Оперативне управління режимами ЕЕС, особливо в умовах передаварійних ситуацій, вимагає високого рівня кваліфікації обслуговуючого персоналу. Найбільш ефективним вирішенням цієї проблеми є багаторазові та якісні тренування з використанням сучасних режимних навчально-тренувальних комплексів на базі персональних комп'ютерів.

На сьогоднішній час залежно від виконуваних завдань такі навчально-тренувальні комплекси класифікуються головним чином за видом моделей об'єктів і процесів, що відображаються, серед яких найбільш точно відображають процес виробництва електричної енергії динамічні режимні тренажери. Їх використання дає змогу виконувати врахування впливу динаміки зміни режиму на системи автоматичного керування.

Зважаючи на складність урахування динаміки зміни режиму і взаємозв'язків усіх елементів ЕЕС, у світовій практиці використовують тренажери підготовки операторів, що містять модель ЕЕС і МЦУ. Модель центру управління різних енергооб'єктів має функціональні відмінності для забезпечення адекватності функцій тренажера з функціями диспетчерського управління відповідного рівня.

Основною проблемою розроблення тренажерів персоналу вищих рівнів управління є складність визначення балансу між необхідністю моделювання динаміки зміни режиму та використанням спрощених математичних моделей елементів ЕЕС для прискорення процесу моделювання.

Крім того, такі тренажери не передбачають розвитку навичок диспетчера щодо оптимізації нормальних режимів енергосистеми, а призначені лише для відпрацювання, закріплення та перевірки навичок з оперативної ліквідації аварійних ситуацій, а також навчання найкращим способам їх попередження.

Перехід до нових ринкових умов і формування концепції балансуючого ринку створюють передумови створення тренажерів оптимального управління режимами енергосистем для оперативних тренувань диспетчерського персоналу. Зазначені тренажери, окрім виконання основних функцій режимних тренажерів, мають давати змогу набуття навичок ведення економічного режиму з урахуванням нових ринкових умов, а саме можливістю укладення двосторонніх договорів між споживачем та енергогенеруючою компанією, при цьому забезпечуючи максимальну ефективність транспортної енергокомпанії.

Не менш важливою, але досить складно реалізованою функцією тренажера є оцінювання дій оперативного персоналу під час проведення тренування. Повністю формалізована кількісна оцінка результатів тренування (особливо протиаварійного) практично неможлива внаслідок його багатofакторності та ймовірності введення інструктором різних збурень. Тому оцінка кожного окремого сеансу тренування, зазвичай, має експертний характер, що враховує низку кількісних чинників. Порівняння цих чинників, оцінюваних у результаті

конкретного сеансу, і максимально ефективної траєкторії, дає змогу зробити експертну оцінку. Такий підхід не виключає суб'єктивного ставлення експерта.

Висновок до першого розділу

Для забезпечення необхідного професійного освітнього рівня в кожній енергетичній організації об'єкти підготовки персоналу мають бути оснащені високоякісними сучасними програмними засобами навчання і тренажерами.

Нормативні документи, що регламентують вимоги до програмних засобів навчання і тренажерів, повинні визначати принципові вимоги до навчальних програм і тренажерів і кількісні вимоги до якості математичних моделей об'єктів управління.

З метою впорядкування та підвищення рівня роботи із впровадження навчальних засобів на електростанціях і в мережах назріла об'єктивна необхідність у розробленні та впровадженні "Типового технічного завдання на розроблення тренажерів для підготовки оперативного персоналу".

РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ ЕЕС

З розвитком обчислювальної техніки одним із найефективніших методів дослідження складних систем стало машинне моделювання. Моделювання може дати в руки дослідників інструмент для вивчення модельованих явищ у їхньому системному взаємозв'язку з досить повним урахуванням чинних чинників, що можна використати під час побудови різного типу тренажерів, зокрема й для використання в тренажері оперативного керування нормальними режимами ЕЕС. Використання теорії та методів математичного моделювання з урахуванням вимог системності, дасть змогу не тільки побудувати модель ЕЕС, аналізувати її динаміку і можливості управління, а й судити, певною мірою, про адекватність створеної моделі реальним режимам роботи.

Зазвичай під час дослідження ЕЕС застосовують машинне моделювання, оскільки практично неможливо заздалегідь оцінити наслідки рішень, спрямованих на вдосконалення режиму або управління ним, через дію зовнішніх і внутрішніх випадкових чинників. Воно дає змогу досліджувати механізми явищ, що протікають із великими або малими швидкостями, коли в натурних експериментах важко простежити за змінами, які відбуваються протягом короткого часу, або коли одержання достовірних результатів пов'язане з тривалим експериментом. Машинна модель дає можливість ніби стискати або розтягувати реальний час. З її допомогою можна проводити навчання оперативного персоналу управління ЕЕС.

Моделювання в усій повноті здійснюється за допомогою імітаційної системи – програмного комплексу, що забезпечує як проведення машинного експерименту (програмна реалізація моделі, введення-виведення, процес лічби, діалог тощо), так і формування моделі, постановку машинного експерименту, аналіз властивостей моделі та ухвалення рішення.

Складання моделі та робота з нею є ітеративними процесами, до того ж під час дослідження початкові цілі можуть трансформуватися, у розгляд можуть вступати нові чинники, може зазнавати змін, іноді значних, сам зміст моделі.

2.1. Принципи побудови оперативного режимного тренажера на базі натурно-імітаційної моделі ЕЕС

2.1.1. Структура тренажера підготовки оперативного персоналу з функцією енергоринку на базі натурно-імітаційної моделі.

У п.п. 1.1.3 розглянуто структуру тренажера підготовки оперативного персоналу з функцією енергоринку. Основною перевагою такої структури є її модульність і можливість використання на будь-якому рівні виробничого процесу, як у генеруючих енергокомпаніях, так і на рівні центру диспетчерського управління об'єднаною енергосистемою. Така модель центру управління з урахуванням ринкових умов враховуватиме особливості роботи та міститиме функціональні можливості всіх суб'єктів енергоринку.

Основним недоліком такої структури є необхідність врахування динаміки зміни режиму в математичній моделі, що призведе до її суттєвого ускладнення та неможливості моделювання процесу оперативного управління в тренажері внаслідок тривалості підготовки розрахункової моделі.

Виходом із цієї ситуації є використання натурно-імітаційної моделі та формування великого об'єму бібліотеки базисних режимів, що формується протягом тривалого часу на підставі балансування та достоверизації, що дасть змогу досить повно встановити закономірності між параметрами режиму (рис. 2.1).

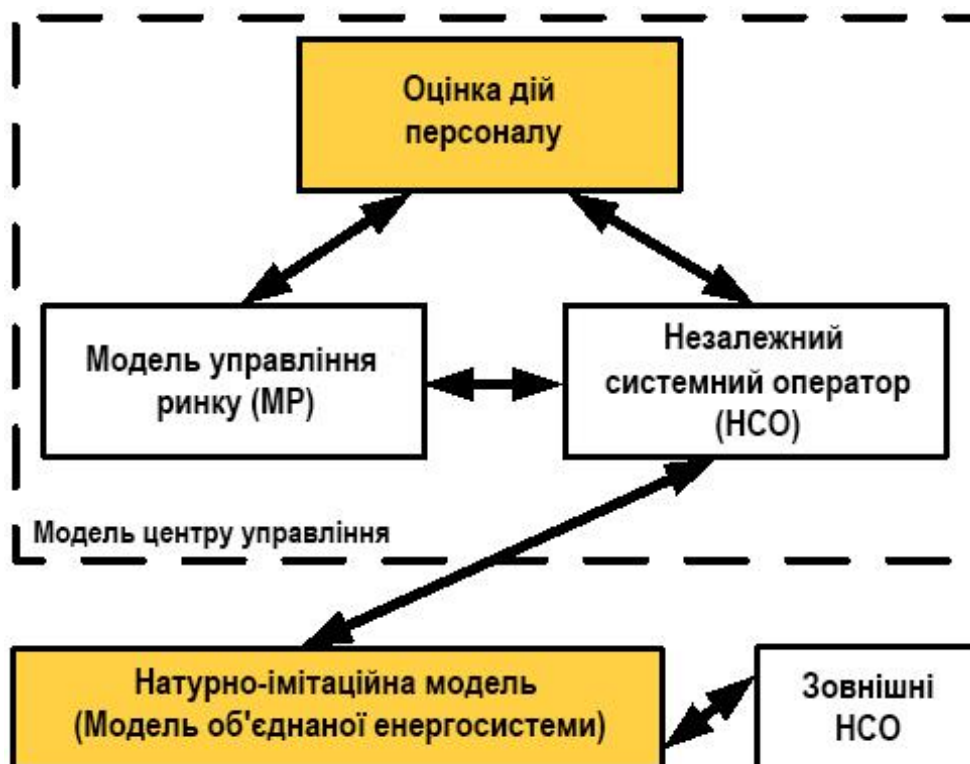


Рис. 2.1. Структура тренажера підготовки оперативного персоналу з функцією енергоринку на базі натурно-імітаційної моделі

Запропонована на рис. 2.1 структура дає змогу позбутися необхідності врахування динаміки зміни режиму в математичній моделі за рахунок використання натурно-імітаційної моделі. Динаміка зміни режиму враховується завдяки використанню великого набору натурних експериментів, отриманих на підставі даних телевимірювань і бази даних ОІК і АСКОЕ. За цими даними в бібліотеці натурних експериментів, отриманій унаслідок збереження ретроспективної інформації, здійснюють підбір режимів ЕЕС, аналогічних параметрам на вході натурно-імітаційної моделі, відповідно до заздалегідь обумовлених чинників. Як порівнювані показники подібності натурального експерименту і поточного режиму приймають сукупність основних параметрів режиму, таких як рівність сумарної потужності генерації і споживання

навантаження на основних об'єктах енергосистеми, рівність потоків потужності основними лініями енергосистеми.

Наявність моделі ринку управління і зв'язку з нею дає змогу одержувати інформацію про укладені двосторонні договори та обсяги запланованих адресних перетоків, що дає змогу формувати оцінку дій того, хто тренується, з урахуванням реальних цін або вагових коефіцієнтів, які враховують особливості укладених договорів.

Використання модуля оцінки дій персоналу в МЦУ дасть змогу формувати інтегральний показник якості дій оперативного персоналу в темпі процесу, що, на відміну від базової моделі, усуває суб'єктивність оцінки інструктора.

Таким чином, персонал, що тренується, виступаючи в ролі НСО, може скористатися інформацією про параметри режиму, одержуваними з НІМ, і укладеними договорами, аналізуючи інформацію, отриману з моделі управління ринку.

2.1.2. Аналіз натурно-імітаційної моделі ЕЕС.

Розглянуті в п. 1.3 загальні принципи використання натурно-імітаційного моделювання в задачах оптимального керування нормальними режимами ЕЕС з використанням даних ЗІК як натурального експерименту потребують детальнішого розгляду методу формування натурно-імітаційної моделі ЕЕС.

На рис. 2.2 запропоновано структурну схему натурно-імітаційної моделі, розроблену для використання в оперативному тренажері ЕЕС.

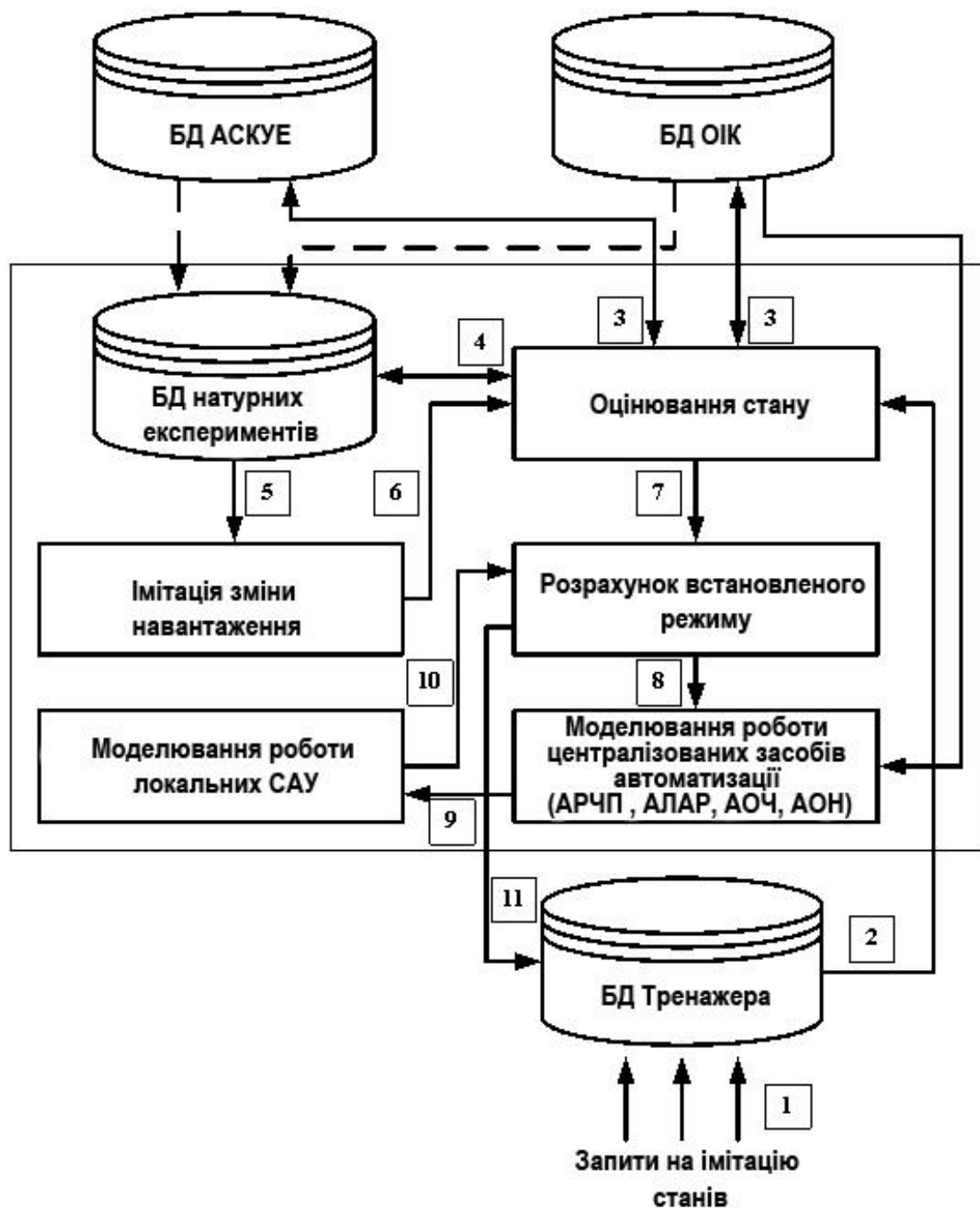


Рис. 2.2. Структурна схема натурно-імітаційної моделі оперативного тренажера ЕЕС

Така схема передбачає використання бази даних тренажера як інтерфейсу управління між центром управління і натурно-імітаційною моделлю. На відміну від моделі тренажера, запропонованої вище (див. рис. 2.1), така натурно-імітаційна модель містить модуль розрахунку режиму ЕЕС, у такий спосіб будучи одночасно і моделлю ЕЕС.

Процес звернення до НІМ та її функціонування відбувається відповідно до нумерації, зазначеної на рис. 2.2. Навчання може відбуватися у двох режимах: згідно з планом тренування, складеним Інструктором, або паралельно режиму роботи ЕЕС.

Використовуючи графічний інтерфейс тренажера, персонал, що навчається, може вносити зміни в схему мережі, впливаючи на комутаційні апарати та засоби управління поточкорозподілом. У результаті зміни схеми або навантаження, залежно від режиму тренування, інформація, що зберігається в базі тренажера, автоматично оновлюється. Блок "Оцінювання стану" відповідно до темпу, заданого інструктором, виконує запит до бази даних, і в разі наявності будь-яких змін відбувається запит інформації з БД ОІК і БД АСКОЕ для поновлення даних телеметрії або запит до блоку "Імітація зміни навантаження", якщо тренування відбувається відповідно до плану Інструктора.

Інформацію, якої бракує, підбирають із БД натурних експериментів, і уточнений вектор стану ЕЕС передають через блок "Імітація зміни навантаження" назад у блок "Оцінювання стану", де виконують ідентифікацію розрахункової схеми й оцінювання поточкорозподілу на основі наявної інформації. Заповнений вектор стану передається в блок "Розрахунок сталого режиму", де за допомогою методів, розглянутих у п.п. 1.3.3 виконується розрахунок вузлових напруг мережі. Розрахований режим перевіряється і коригується блоками "Моделювання роботи централізованих засобів автоматизації" і "Моделювання роботи локальних САУ". За необхідності розрахунок повторюється із зазначенням можливості поділу схеми або вимкнення споживачів в ЕЕС.

Отримані результати натурального моделювання передаються в БД Тренажера для подальшого відображення в графічному інтерфейсі центру управління.

До числа переваг цієї моделі слід віднести такі:

- 1) модель є досить повною, щоб представляти тому, хто тренується, різні набори характеристик;
- 2) модель є досить гнучкою, тому є можливість відтворення різних ситуацій;
- 3) тривалість створення моделі суттєво менша за інтервали отримання даних телевимірювань ОІК та АСКОЕ;
- 4) модель є блоковою, тобто допускає можливості заміни, додавання і виключення деяких частин без переробки моделі;
- 5) модель допускає можливість вибору необхідної точності завдання її параметрів;
- 6) забезпечується постійний зв'язок моделі з базою даних тренажера, натурних експериментів, ОІК і АСКОЕ;
- 7) можливість використання мережевої моделі забезпечує ефективно (за швидкістю і пам'яттю) функціонування програми моделі, зручність спілкування з нею;
- 8) забезпечується можливість проведення цілеспрямованих обчислювальних експериментів з використанням аналітичних результатів шляхом оперативного коригування інформації бази даних тренажера.

2.2 Математична модель інтегрального показника якості тренування

2.2.1 Аналіз наявного способу оцінювання якості тренування

Сучасний тренажер являє собою автоматизоване робоче місце інструктора (АРМІ) (того, хто контролює) і диспетчера (того, кого контролюють). З цього місця інструктор задає події, контролює темп тренування, керує перебігом тренування і має можливість відтворювати певні моменти тренування для їхнього аналізу та обговорення (рис. 2.3).

В АРМІ важливим і досить складно реалізованим є блок оцінювання дій диспетчера. Повністю формалізована кількісна оцінка результатів тренування (особливо протиаварійного) практично неможлива внаслідок його

багатофакторності та ймовірності введення інструктором різних збурень [23]. Тому оцінка кожного окремого сеансу тренування зазвичай має експертний характер, що враховує низку кількісних чинників, сформованих блоком оцінювання (наприклад, загальний час ліквідації аварії, обсяг вимкненого навантаження, глибина і тривалість зниження частоти, не передбачений сценарієм розподіл ЕЕС на частини, які працюють несинхронно, тощо). Порівняння цих чинників, оцінених у результаті конкретного сеансу, та "ідеальної" траєкторії (підготовленої інструктором у процесі розроблення сценарію), дає змогу зробити експертну оцінку. Така оцінка не виключає суб'єктивного ставлення інструктора.



Рис. 2.3. Складові блоки автоматизованого робочого місця інструктора

Тому блок оцінки дій диспетчера повинен давати змогу не тільки формувати електронну карту дій і давати змогу виконувати проміжне оцінювання, а й формувати інтегральний показник якості тренування. Проміжне (експрес) оцінювання тренування дає змогу дати характеристику дій диспетчера, зважаючи на нормативну документацію і спрацьовування протиаварійної автоматики. Інтегральний показник має враховувати не тільки

перебіг тренування, а й враховувати показники ефективності функціонування системи (надійність, якість електричної енергії тощо). Інтегральні показники, що використовуються в сучасних тренажерах (відхилення режимних параметрів, допущених спрацьовувань ПА з вини оперативного персоналу, допущеного порушення електропостачання споживачів тощо), можуть бути проаналізовані тільки групою експертів, інакше суб'єктивності оцінки не уникнути.

На рис. 2.4 показано приклад результатів впливів двох диспетчерів на підтримання режимного параметра в області оптимальності. Як видно з малюнка, один диспетчер виконав три дії, а другий тільки одну. Оцінка за показником відхилення режимного параметра буде позитивна для першого диспетчера, а за допущеним порушенням електропостачання споживачів для іншого, оскільки інтенсивне використання регулювальних пристроїв збільшує ймовірність їхньої відмови і, як наслідок, недовідпуск електроенергії. У результаті виникає неоднозначність в оцінці кваліфікації диспетчерів.

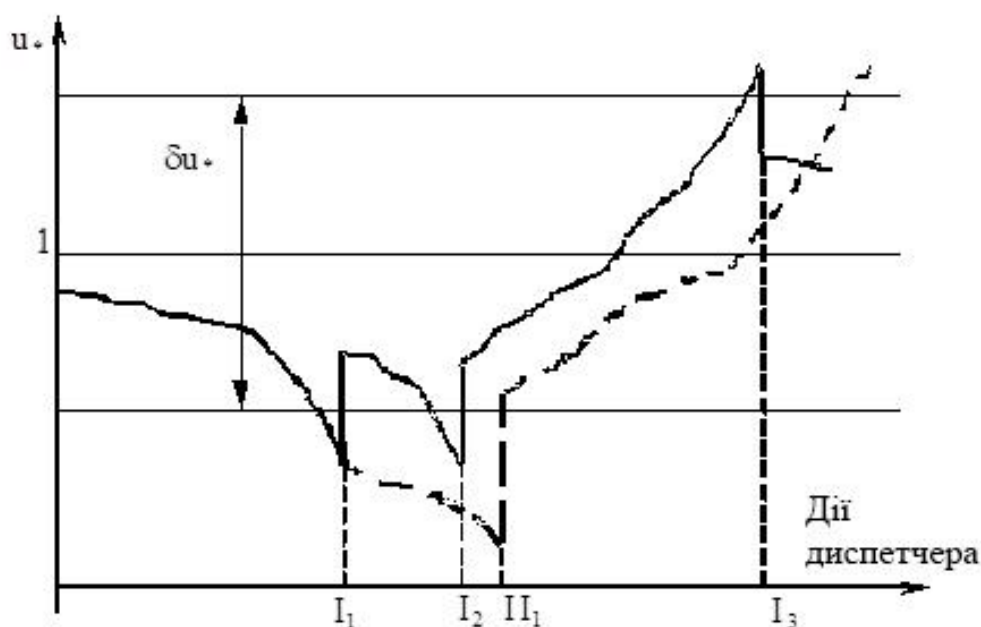


Рис. 2.4. Результати дій двох диспетчерів із підтримання режимного параметра

2.3. Математична модель якості функціонування електричних систем

Електрична система являє собою комплекс електрообладнання і пристроїв, призначених для вироблення передавання і розподілу електричної енергії. Сучасні електричні системи за своєю структурою, організацією експлуатації та принципами управління належать до складних технічних комплексів (систем). Під час ухвалення рішень про управління такою системою важливою є оцінка її функціональної готовності або якості функціонування.

Під якістю функціонування складної системи розуміють безліч властивостей, які визначають здатність системи виконувати завдання, поставлені під час її виготовлення [24-26]. Основним завданням електричної системи є забезпечення надійного постачання якісної електричної енергії приєднаним до неї споживачам.

Певна функціональна надмірність у структурі електричних систем призводить до того, що поява відмов окремих елементів або незначна зміна тих чи інших робочих параметрів можуть призвести не до повної відмови системи, а тільки до певного погіршення якості функціонування та зниження ефективності її в цілому. Тому для оцінки якості функціонування електричної системи доцільним є введення кількісного показника, який би враховував вплив таких відмов.

Очевидно, що вибір відповідного показника якості функціонування в кожному конкретному випадку визначається типом системи, її призначенням, видом виконуваного завдання, характером різноманітних зовнішніх чинників [27]. Для електричної системи показник якості має враховувати надійність електропостачання споживачів енергією відповідної якості.

2.4. Оцінка втрат потужності від адресних перетікань

2.4.1. Втрати потужності в вітках схеми ЕЕС, параметри якої наведено до однієї напруги.

Значення повної потужності на початку або в кінці кожної гілки схеми визначається за формулою [28]:

$$\dot{S}_g = \sqrt{3} \dot{U}_\delta M_\Sigma \hat{I}_\delta, \quad (2.14)$$

де \dot{U}_δ – діагональна матриця напружень, у вузлах включно з тими, що балансують; M_Σ – матриця з'єднань гілок, у вузли, включно з балансуючим; \hat{I}_δ – діагональна матриця струмів у гілках схеми (тут і далі знак \wedge означає, що матриця або вектор спряжені).

Якщо вираз (2.14) помножити зліва на одиничний транспонований вектор $1n$, то в результаті отримаємо транспонований вектор втрат потужності в гілках схеми:

$$\Delta \dot{S}_{et} = \sqrt{3} n_t \dot{U}_\delta M_\Sigma \hat{I}_\delta$$

або з урахуванням того, що

$$\Delta \dot{S}_{et} = \sqrt{3} \dot{U}_t M_\Sigma \hat{I}_\delta, \quad (2.15)$$

де \dot{U}_t – транспонований вектор напруг у вузлах включно з балансувальним.

З (2.15) видно, що втрати в i -й гілці схеми визначаються:

$$\Delta \dot{S}_{ei} = \sqrt{3} (\dot{U}_t M_{\Sigma i}) \hat{I}_i, \quad (2.16)$$

де $M_{\Sigma i}$ – i -й вектор-стовпець матриці з'єднань; \hat{I}_i – струм у i -й гілці, який може бути визначений через струми у вузлах

$$\hat{I}_i = \hat{C}_i \hat{J}, \quad (2.17)$$

где \hat{C}_i – i -й вектор-рядок матриці коефіцієнтів розподілу струмів у вузлах \hat{J} по гілках схеми.

Підставивши останній вираз у (2.16), отримаємо:

$$\Delta \dot{S}_{ei} = \sqrt{3} (\dot{U}_t M_{\Sigma i}) \hat{C}_i \hat{J}. \quad (2.18)$$

З урахуванням того, що

$$\hat{J} = \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{U}_\delta^{-1} \dot{S},$$

(2.18) можна переписати:

$$\Delta \dot{S}_{ei} = (\dot{U}_t M_{\Sigma i}) \hat{C}_i \dot{U}_\delta^{-1} \dot{S}. \quad (2.19)$$

Позначимо в (2.19)

$$\dot{T}_i = (\dot{U}_t M_{\Sigma i}) \hat{C}_i \dot{U}_\delta^{-1}. \quad (2.20)$$

Вектор-рядок \dot{T}_i складається з коефіцієнтів, що показують, яку частину в сумарних втратах i -ї гілки становить потік потужності по ній від навантаження або генерування кожного вузла.

На підставі (2.19) і (2.20) можна записати:

$$\Delta \dot{S}_e = \dot{T} \cdot \dot{S}, \quad (2.21)$$

де $\Delta \dot{S}_g$ – вектор сумарних втрат у гілках схеми; \dot{T} – матриця коефіцієнтів розподілу втрат потужності в гілках схеми залежно від потужності вузлів схеми, кожен рядок якої складається з (2.20).

Зауважимо, що коефіцієнти розподілу втрат залежать від параметрів схеми, які, за певних припущень, можна вважати постійними, а також від значень напруги у вузлах, що визначаються навантаженням і генеруванням у вузлах схеми. Таким чином, нелінійність залежності втрат від параметрів режиму зберігається. Визначення коефіцієнтів матриці \dot{T} через поточні значення вузлових напруг, по суті, означає перехід до подання потужностей вузлів у лінійному вигляді.

Розглянутий метод оцінки впливу однієї мережі на іншу за критерієм додаткових втрат потужності дає точні результати тільки тоді, коли в схемі відсутні е.р.с. у контурах. А це можливо, коли всі коефіцієнти трансформації трансформаторів збалансовані. У більш загальному випадку необхідно враховувати діючу е.р.с. небалансу і розв'язувати поставлену задачу з використанням математичної моделі, в якій коефіцієнти трансформації подано в явному вигляді.

2.4.2. Втрати потужності в вітках схеми ЕЕС без приведення до однієї напруги.

Використовуючи метод урахування трансформаторних зв'язків за допомогою ідеальних трансформаторів, маємо вираз для визначення струморозподілу в ЕЕС [28]:

$$\dot{I} = \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{z}_g^{-1} \dot{M}_{\Sigma kt} \dot{U} , \quad (2.22)$$

де \dot{z}_g – діагональна матриця комплексних опорів гілок схеми електричної мережі; $\dot{M}_{\Sigma kt}$ – транспонована матриця зв'язків, подібна за структурою до

першої матриці сполук, але в якій замість значень “-1” для вузлів кінця гілок з ідеальними трансформаторами знаходяться їхні коефіцієнти трансформації.

Вектор напруги \dot{U} визначається за методом вузлових напружень:

$$\dot{U} = \begin{bmatrix} \sqrt{3}\dot{Y}_k^{-1} \left(J - \frac{1}{\sqrt{3}}\dot{Y}_\sigma \dot{U}_\sigma \right) \\ \dot{U}_\sigma \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

де $\dot{Y}_k = \widehat{M}_k \dot{z}_\sigma^{-1} \dot{M}_{kt}$ – матриця вузлових провідностей, без урахування вузлів, що балансують; $\dot{Y}_\sigma = \widehat{M}_k \dot{z}_\sigma^{-1} \dot{M}_{\sigma kt}$ – фрагмент матриці вузлових провідностей, який враховує тільки вузли, що балансують; \dot{U}_σ – вектор-стовпець напружень у балансувальних вузлах; \widehat{M}_k – матриця зв'язків з урахуванням спряжених коефіцієнтів трансформації, подібна за структурою до першої матриці з'єднань M_Σ (без урахування балансувальних вузлів), але замість значень “-1” для вузлів кінця гілок із трансформаторами містить їхні спряжені коефіцієнти трансформації; \dot{M}_{kt} – транспонована матриця зв'язків, без урахування балансувальних вузлів; $\dot{M}_{\sigma kt}$ – підматриця балансувальних вузлів, виділена з транспонованої матриці зв'язків.

Підставляючи (2.23) в (2.22) після перетворень, отримаємо:

$$\dot{I} = \dot{z}_\sigma^{-1} \dot{M}_{kt} \dot{Y}_k^{-1} \left(J - \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{Y}_\sigma \dot{U}_\sigma \right) + \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{z}_\sigma^{-1} \dot{M}_{\sigma kt} \dot{U}_\sigma, \quad (2.24)$$

Перепишемо вираз (2.24) в такому вигляді:

$$\dot{I} = \dot{z}_\sigma^{-1} \dot{M}_{kt} (\widehat{M}_k \dot{z}_\sigma^{-1} \dot{M}_{kt})^{-1} \left(J - \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{Y}_\sigma \dot{U}_\sigma \right) + \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{z}_\sigma^{-1} \dot{M}_{\sigma kt} \dot{U}_\sigma,$$

або після спрощення:

$$\dot{I} = \dot{C}_k \dot{J} + \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{z}_e^{-1} \left(\dot{M}_{\delta kt} - \dot{M}_{kt} (\widehat{M}_k \dot{z}_e \dot{M}_{kt})^{-1} \dot{Y}_\delta \right) \dot{U}_\delta \quad (2.25)$$

де $\dot{C}_k = \dot{z}_e^{-1} \dot{M}_{kt} (\widehat{M}_k \dot{z}_e^{-1} \dot{M}_{kt})^{-1}$ – матриця коефіцієнтів струморозподілу з урахуванням трансформаторних зв'язків.

Введемо позначення:

$$\dot{D}_\delta = \dot{z}_e^{-1} \left(\dot{M}_{\delta kt} - \dot{M}_{kt} (\widehat{M}_k \dot{z}_e^{-1} \dot{M}_{kt})^{-1} \dot{Y}_\delta \right). \quad (2.26)$$

Матриця \dot{D}_δ має фізичний сенс провідностей, що обмежують зрівняльні струми від незбалансованих коефіцієнтів трансформації в замкнутих контурах ЕС. Можна показати, що в разі розімкнутої електричної мережі, або збалансованих коефіцієнтів трансформації \dot{D}_δ обертається в нуль.

З урахуванням (2.26) вираз (2.27) можна записати як:

$$\dot{I} = \dot{C}_k \dot{J} + \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{D}_\delta \dot{U}_\delta \quad (2.27)$$

Перша складова в останньому виразі - це струми в гілках схеми, які спричинені навантаженням і генеруванням вузлів. Друга - струми, спричинені наявністю незбалансованих коефіцієнтів трансформації в замкнутих контурах схеми ЕС. Це є відображенням принципу накладення, згідно з яким струми в гілках визначаються як сума двох складових, зумовлених дією струмів-задавачів і е.р.с. у гілках.

Підставивши (2.27) у вираз (2.16) для визначення втрат потужності в i -й гілці схеми і замінивши матрицю з'єднань на аналогічну з урахуванням коефіцієнтів трансформації трансформаторів, отримаємо

$$\Delta \dot{S}_{\delta i} = \sqrt{3} (\dot{U}_t \dot{M}_{\Sigma ki}) \left(\widehat{C}_{ki} \widehat{J} + \frac{1}{\sqrt{3}} \widehat{D}_{\delta i} \widehat{U}_\delta \right), \quad (2.28)$$

або за аналогією з (2.19):

$$\Delta \dot{S}_{\sigma i} = (\dot{U}_t \dot{M}_{\Sigma ki}) \widehat{C}_{ki} \dot{U}_\sigma^{-1} \dot{S} + (\dot{U}_t \dot{M}_{\Sigma ki}) \widehat{D}_{\sigma i} \widehat{U}_\sigma, \quad (2.29)$$

де \widehat{C}_{ki} – i -я вектор-рядок матриці розподілу струмів у вузлах \widehat{J} по гілках схеми з урахуванням коефіцієнтів трансформації; $\widehat{D}_{\sigma i}$ – i -я вектор-рядок матриці провідностей \dot{D}_σ .

Уведемо позначення:

$$\begin{aligned} \dot{T}_{ki} &= (\dot{U}_t \dot{M}_{\Sigma ki}) \widehat{C}_{ki} \dot{U}_\sigma^{-1}; \\ \dot{T}_{yp i} &= (\dot{U}_t \dot{M}_{\Sigma ki}) \widehat{D}_{\sigma i} \widehat{U}_\sigma, \end{aligned} \quad (2.30)$$

де \dot{T}_{ki} – вектор-рядок матриці коефіцієнтів розподілу втрат потужності для i -тої гілки схеми від потужності в її вузлах з урахуванням комплексних коефіцієнтів трансформації; $\dot{T}_{зр i}$ – втрати в i -тій гілці від е.р.с. незбалансованих коефіцієнтів трансформації трансформаторів зв'язку.

З урахуванням (2.29) та (2.30) можна записати вираз для визначення втрат потужності у схемі:

$$\Delta \dot{S}_\sigma = \dot{T}_k \dot{S} + \dot{T}_{yp} \quad (2.31)$$

де \dot{T}_k – матриця коефіцієнтів розподілу втрат потужності в гілках електричних мереж залежно від потужностей у їхніх вузлах з урахуванням коефіцієнтів трансформації трансформаторів зв'язку (кожен рядок визначається за (2.30)); \dot{T}_{yp} – вектор-стовпець втрат потужності в гілках схеми від е.р.с. незбалансованих коефіцієнтів трансформації, кожний елемент, якого визначається за (2.30).

Зауважимо, що складова втрат потужності, яка зумовлена незбалансованими коефіцієнтами трансформації трансформаторних зв'язків, може збільшувати або зменшувати сумарні втрати потужності залежно від напрямку е.р.с. небалансу в замкнених контурах схеми.

2.5. Балансування електроенергії в електроенергетичній системі з відновлюваними джерелами енергії

Видача потужності відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в мережу Об'єднаної Енергосистеми (ОЕС) України вперше почала перевищувати виробництво електроенергії від спалювання вугілля [29]. Сонячні та вітрові електростанції в окремі години виробляють більше електроенергії, ніж вугільні ТЕС. Згідно диспетчерським даними «Укренерго», це вперше відбулося 15 березня 2020 року. У цей день завдяки сприятливим погодним умовам впродовж 4-х годин (з 11-00 до 15-00) ВДЕ видавали в мережу ОЕС України вищу потужність, ніж вугільні ТЕС. Рекордний максимум потужності ВДЕ було досягнуто о 13 годині на рівні 2 978 МВт, при цьому потужність ТЕС в експлуатації в цей момент склала 2 294 МВт. Подібна ситуація також повторювалася 18 і 19 березня 2020 року.

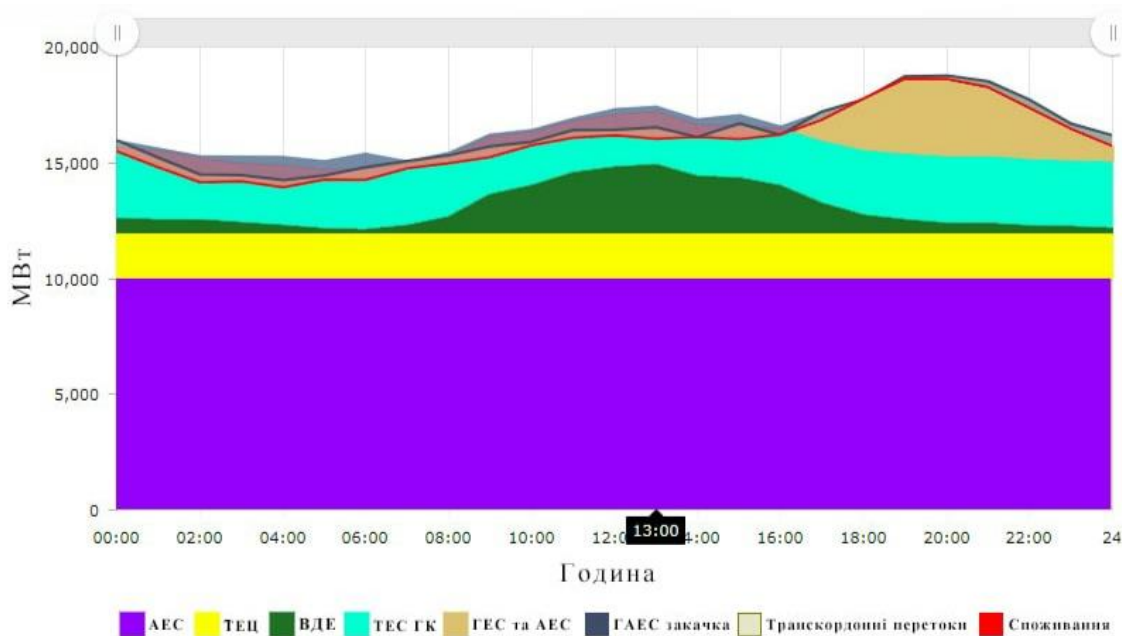


Рис. 2.5 – Добовий графік виробництва та споживання електроенергії за 15.03.2020 року

У 2019 загальна потужність об'єктів відновлюваної енергетики в Україні (включаючи територію острова Бурштинської ТЕС) виросла в три рази - з 2,3 до 6,8 ГВт (на січень 2020 року). Згідно з висновками НЕК «УКРЕНЕРГО» для забезпечення стабільної роботи енергосистеми та інтеграції додаткових потужностей ВДЕ необхідно побудувати 2 ГВт нових високоманеврових піково-резервних генеруючих потужностей і 200 МВт систем акумулювання електричної енергії. Станом на 08 березня 2021 року ситуація наступна (рис. 2.6).

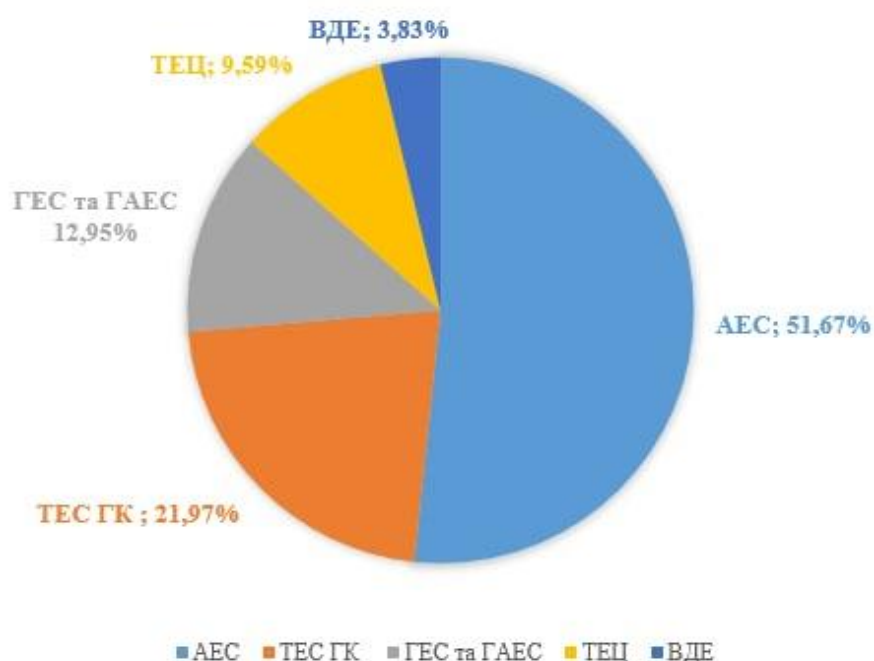


Рис. 2.6 – Структура генерації ОЕС України на максимум електроспоживання станом на 08.03.2021 року за даними НЕК «УКРЕНЕРГО»

Для зменшення можливого негативного впливу відновлюваних джерел енергії на роботу електроенергетичної системи в багатьох країнах окрім вимоги обов'язкового прогнозування потужності вітрових та сонячних електростанцій існують спеціальні вимоги, що регламентують поведінку їх в певних ситуаціях (так звані “Grid code”) [30]. Згідно цих вимог ВЕС та СЕС повинні мати

можливість підтримки балансу активної потужності, постачати реактивну потужність до мережі, та виконувати контроль частоти і напруги в точці приєднання”) [31-34].

Заходи щодо зменшення негативного впливу ВДЕ на надійність роботи енергосистеми можна поділити на такі що не вимагають втручання в існуючу структуру енергосистеми (як електростанцій так і електричних мереж) та такі, що потребують зміни структури ЕЕС.

До перших можна віднести наступні заходи:

Визначення оптимального розподілу потужності вітрових та сонячних електростанцій між окремими площадками з точки зору використання існуючого регулюючого діапазону ОЕС.

Встановлення спеціальних вимог до роботи ВЕС та СЕС в електроенергетичній системі.

Використання моделей ВЕУ при будівництві ВЕС таких, що можуть виконувати функції з підтримки стабільної роботи ЕЕС.

Впровадження служб прогнозування погодинної потужності на добу вперед для вітрових та сонячних електростанцій.

Вибір оптимальної потужності ВЕС та СЕС при приєднанні з точки зору пропускної здатності електричної мережі.

До другої групи можна віднести такі заходи:

Модернізація існуючих електростанцій для збільшення регулюючого діапазону електроенергетичної системи.

Розвиток та підсилення електричних мереж ЕЕС.

Заходи, що відносяться до другої групи, вимагають значних коштів та часу на їх реалізацію.

Реалізація заходів першої група зводиться до проведення відповідних досліджень та розробки нових нормативних документів або, у разі потреби, внесення змін в уже існуючі нормативні документи. Такі заходи не вимагають

значних витрат та дозволяють максимально використати при інтеграції ВДЕ існуючу структуру ЕЕС.

З огляду на плани України щодо розвитку ВДЕ, розглянуті системні функції було введено в ряд нормативних документів, що встановлюють вимоги до роботи вітрових та сонячних електростанцій в ОЕС України [35]. Однак, для повноцінного їх використання диспетчерами необхідно розробити механізм компенсації власникам електростанцій збитків, понесених через недоотриману генерацію електричної енергії.

Для СЕС та ВЕС притаманне нестабільне виробництво електроенергії, так як воно залежить від погодних умов. Це призводить до похибок в прогнозуванні виробництва електроенергії ВДЕ і створює небаланси. Для забезпечення стабільної роботи ОЕС України в разі збільшення виробництва електроенергії з ВДЕ є різні механізми. Зокрема, впровадження більш точних методів прогнозування, встановлення відповідальності за небаланси і використання балансувальних потужностей”) [36].

Для балансування електричної енергії зазвичай використовують такі засоби:

- генерування електроенергії маневровими потужностями;
- використання акумуляційних технологій;
- імпорт електроенергії з інших країн;
- керування попитом.

До балансувальних потужностей з цього переліку можна віднести генерацію електроенергії маневровими потужностями і використання акумуляційних технологій. Такі потужності потрібні для «зрівноваження» потоків електроенергії в реальному часі на балансуєчому ринку [37].

З метою безпечного функціонування ОЕС оператор системи передачі забезпечує балансування енергосистеми. Під цим мається на увазі процес постійного підтримання відповідності між споживанням і обсягом

виробництва електричної енергії на вітчизняних електростанціях, а також її імпорту.

Балансувальна електрична енергія використовується для балансування в реальному часі:

- обсягів виробництва та імпорту електроенергії;
- обсягів споживання і експорту електроенергії; врегулювання системних обмежень.

Резерв генерувальних потужностей для цілей балансування на ринку електричної енергії повинен забезпечувати оператор системи передачі - НЕК «УКРЕНЕРГО». Для цього щорічно компанія розробляє звіт з оцінки відповідності (достатності) генерувальних потужностей. Варто відзначити, що такий звіт потрібен не тільки для визначення резерву таких потужностей.

В 2018 році на сайті «УКРЕНЕРГО» було опубліковано звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей, який містив можливі ризики та заходи щодо їх мінімізації. Зокрема, зазначено було, що розвиток ВДЕ є ризиком, через узгодженість з можливостями забезпечення їх балансування, і передбачені наступні можливі заходи, які актуальні і сьогодні:

- реконструкції вугільних блоків з підвищенням маневрених характеристик;
- впровадження електростанцій з швидким стартом;
- впровадження високоманевреної газової генерації;
- впровадження акумуляційних технологій;
- використання потужностей ТЕС для заміщення АЕС;
- квотування впровадження ВДЕ по системі аукціонів;
- використання відмови в приєднанні електростанції з негарантованою потужністю до електричних мереж.

Квотування ВДЕ і відмови в приєднанні - досить спірні заходи для мінімізації ризику та забезпечення балансування. Втім, всі інші запропоновані

заходи можна розділити на дві основні групи: нові маневрені потужності і потужності для акумулювання електричної енергії.

У випадку, якщо генерувальних потужностей недостатньо, то для забезпечення постачання електричної енергії, законом передбачено:

- будівництво генерувальних потужностей за конкурсом;
- виконання заходів з управління попитом.

Перше передбачає:

- будівництво нової генерувальної потужності;
- реконструкцію (модернізацію) діючої генерувальної потужності;
- продовження терміну експлуатації енергоблоків атомних електростанцій.

Під заходами керування попитом мається на увазі комплекс заходів, спрямованих на підвищення ефективності функціонування енергосистеми за рахунок тимчасової зміни споживання електричної енергії на договірних засадах. Наприклад, різні умови споживання в денні та нічні години.

Висновок до другого розділу

Використання показника якості функціонування дало змогу отримати відносно нескладний спосіб оцінки тренування диспетчерського персоналу. Показник якості тренування дає змогу оцінювати кваліфікацію диспетчера не стосовно можливих дій інструктора (експерта), а стосовно роботи "ідеальної" системи. Це дає змогу уникнути суб'єктивності оцінювання і не потребує наявності групи експертів.

Досліджена математична модель показника якості тренування дає змогу дещо змінити і роль інструктора в процесі постановки завдання. Перед тренуванням інструктор задає параметри, які характеризують надійність елементів системи і режим. Усі параметри задаються в межах, які отримано після аналізу стану реальної системи та найімовірнішого навантаження вузлів

споживання. Такий підхід виключає суб'єктивність на етапі постановки завдання.

РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок кошторису витрат на розробку програмного продукту

Кошторис на розробку програмного продукту передбачає розрахунок таких основних видів витрат.

Основна заробітна плата розробників розраховується за формулою 3.1:

$$Z_0 = \frac{M}{T_p} \cdot t \text{ (грн.)}, \quad (3.1)$$

де M – місячний посадовий оклад конкретного розробника (грн.);

T_p – число робочих днів в місяці, $T_p=22$;

t – число днів роботи розробника.

Зроблені розрахунки заносимо до таблиці 6.1.

Таблиця 3.1 – Витрати на заробітну плату розробників

Найменування Посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.
Науковий керівник	10000	454,55	3	1364
Проектувальник	6700	304,55	10	3046
Всього			4410	

Додаткова заробітна плата Z_d розраховується, як 10 % від основної заробітної плати всіх розробників (формула 3.2):

$$Z_d = Z_o \cdot 0,1 \text{ (грн.)} \quad (3.2)$$

$$Z_d = 4410 \cdot 0,1 = 441 \text{ (грн.)}$$

Нарахування $H_{зв}$ на заробітну плату розробників становить 22% від суми основної та додаткової заробітної плати (формула 3.3):

$$Z_H = (Z_o + Z_d) \cdot 0,22 \text{ (грн.)} \quad (3.3)$$

$$Z_H = (4410 + 441) \cdot 0,22 = 1067 \text{ (грн.)}$$

Амортизація обладнання, комп'ютерів та приміщень, які використовувались при розробці програмного продукту розраховується за формулою 3.4:

$$A = \frac{Ц \cdot T}{T_k \cdot 12} \text{ (грн.),} \quad (3.4)$$

де Ц - балансова вартість персонального комп'ютера (грн.), Ц = грн.;

T - термін використання комп'ютера, T міс;

T_k - термін корисного використання, T_k = роки.

$$A = \frac{12000 \cdot 1}{2 \cdot 12} = 500 \text{ (грн)}$$

В таблиці 3.2 занесено дані по допоміжних матеріалах.

Таблиця 3.2 – Допоміжні матеріали при розробці програмного продукту

Найменування	Ціна, грн.	Витрачено, шт.	Вартість витрачених матеріалів, грн.
1. Папір друкарський	200,0	0,5	100,0
2. Диск	30,0	1	30,0
3. Фарба до принтера	350,0	0,1	35,0
Всього		165,0	

Витрати на силову електроенергію V_e розраховуються за формулою 3.5:

$$V_e = V \cdot \Pi \cdot \Phi \cdot K_n \text{ (грн.)} \quad (3.5)$$

де V – вартість однієї кіловат-години електроенергії, в 2022 році ця вартість становить $V = 1,44$ грн./кВт;

Π – споживана електрична потужність комп'ютера та інших пристроїв при створенні програмного продукту, $\Pi = 0,4$ кВт;

Φ – фактична кількість годин роботи комп'ютера та інших пристроїв при створенні програмного продукту, $\Phi = (10 \cdot 8)$ годин.

K_n – коефіцієнт використання потужності, K_n .

$$V_E = 1.44 \cdot 0.4 \cdot (10 \cdot 8) \cdot 1 = 46.08 \text{ (грн.)}$$

Інші витрати (плата за інтернет, хостинг, кур'єрські послуги тощо) приймаються, як 200% від суми основної заробітної плати розробників нового програмного продукту (формула 3.6):

$$I_e = Z_o \cdot (200 \div 300\%) \text{ (грн.)}, \quad (3.6)$$

$$I_B = 2 \cdot 4410 = 8820 \text{ (грн.)}$$

Сума всіх попередніх витрат складає загальні витрати на розробку нового програмного продукту:

$$B = Z_o + Z_d + H_{3e} + A + M + B_e + I_e \text{ (грн.)}, \quad (3.7)$$

$$B = 4410 + 441 + 1067 + 500 + 165 + 46,08 + 8820 = 15449,08 \text{ (грн.)}$$

3.2 Розрахунок експлуатаційних витрат при використанні нового програмного продукту

Заробітна плата обслуговуючого персоналу ($Z_{обс}$) розраховується за формулою 3.8:

$$Z_{обс} = 12 \cdot M \cdot \beta \left[\frac{\text{грн.}}{\text{рік}} \right], \quad (3.8)$$

де 12 – число місяців;

M – місячний посадовий оклад конкретного інженерно-технічного працівника, M = 8500,00 грн.;

β – доля часу, який витрачає працівник на виконання конкретних робіт з застосуванням даного програмного продукту, в загальному часі своєї роботи, $\beta = 9\%$.

$$Z_{обс} = 12 \cdot 8500,00 \cdot 0,09 = 9180 \left[\frac{\text{грн.}}{\text{рік}} \right].$$

Додаткова заробітна плата обслуговуючого персоналу розраховується як 10÷12 % від основної заробітної плати обслуговуючого персоналу (формула 6.9):

$$Z_{добс} = Z_{обс} \cdot 0,1 \left[\frac{\text{грн.}}{\text{рік}} \right], \quad (3.9)$$

$$Z_{добс} = 9180 \cdot 0,1 = 918 \left[\frac{\text{грн.}}{\text{рік}} \right].$$

Нарахування на заробітну плату обслуговуючого персоналу розраховується, як 22 % від суми основної та додаткової заробітної плати (формула 3.10):

$$H_{зпобс} = (Z_{обс} + Z_{добс}) \cdot 0,22 \left[\frac{\text{грн.}}{\text{рік}} \right], \quad (3.10)$$

$$H_{зпобс} = (9180 + 918) \cdot 0,22 = 2221,56 \left[\frac{\text{грн.}}{\text{рік}} \right].$$

Витрати на електроенергію (формула 3.11)

$$Z_e = Z \cdot П \cdot \Phi \cdot K_{II} \cdot \beta \quad (3.11)$$

де Z – вартість однієї кіловат-години електроенергії; 1,44 грн.;

$П$ – середня потужність, яка споживається комп'ютером;

Φ – фактична кількість часу експлуатації програмного забезпечення, у годинах, $\Phi=120$ год/рік;

β - частка часу, що затрачається на обслуговування продукту щодо загального часу роботи (0,09).

$$Z_e = 1.44 \cdot 0.3 \cdot 120 \cdot 0.09 = 4,66 \text{ грн.}$$

Амортизаційні відрахування розраховуємо за прямолінійним методом за формулою 3.12:

$$A = \frac{\ddot{O}}{\ddot{O}_k} \left[\frac{\text{грн.}}{\text{рік}} \right], \quad (3.12)$$

де, \ddot{O} – балансова вартість програмного забезпечення, грн.; $B = 15449,08$ грн.;

T_k – термін корисного використання програмного забезпечення;

$$A = \frac{15449,08}{3} = 5149,69 \left[\frac{\text{грн.}}{\text{рік}} \right]$$

Інші витрати приймаються як 10% від загальної суми всіх попередніх витрат.

$$I_e = (Z_{обс} + Z_{добс} + H_{зпобс} + A + B_e) \cdot 0,1 \left[\frac{\text{грн.}}{\text{рік}} \right], \quad (3.13)$$

$$I_e = (9180 + 918 + 2221,56 + 4,66 + 5149,69) \cdot 0,05 = 873,696 \left[\frac{\text{грн.}}{\text{рік}} \right].$$

Сума усіх витрат на експлуатацію даного програмного продукту в рік (формула 3.14)

$$E_2 = Z_{обс} + Z_{добс} + H_{зпобс} + A + B_e + I_e \left[\frac{\text{грн.}}{\text{рік}} \right], \quad (3.14)$$

$$E_2 = 9180 + 918 + 2221,56 + 4,66 + 5149,69 + 873,696 = 18347,606 \left[\frac{\text{грн.}}{\text{рік}} \right].$$

3.3 Розрахунок річного економічного ефекту для споживача при використанні нового програмного продукту

Розрахуємо річний економічний ефект для споживача від впровадження нового програмного продукту за формулою (3.15):

$$\Delta E = \left(\frac{E_1}{Q_1} - \frac{E_2}{Q_2} \right) \cdot Q_2 \left[\frac{\text{грн.}}{\text{рік}} \right], \quad (3.15)$$

де E_1 – експлуатаційні витрати без використання програмного продукту;

E_2 – експлуатаційні витрати при використанні програмного продукту;

Q_1 – обсяг робіт, що виконуються за рік без застосування програмного продукту;

Q_2 – обсяг робіт, що виконуються за рік при застосуванні програмного продукту.

Обсяги робіт можна розрахувати за формулами (3.16) та (3.17):

$$Q_1 = \frac{F \cdot 60 \cdot \beta}{t_1} \quad (3.16)$$

$$Q_2 = \frac{F \cdot 60 \cdot \beta}{t_2} \quad (3.17)$$

де Q_1 – обсяг робіт без застосування програмного продукту, функцій/хв;

Q_2 – обсяг робіт при застосуванні нового програмного продукту, функцій/хв.;

F – ефективний фонд часу роботи за рік, $F=120$ годин;

β – доля часу, який витрачає працівник на виконання конкретних робіт з застосуванням даної програми — 0,09;

t_1 – час виконання певної функції без нового програмного забезпечення, 25 хв.;

t_2 – час виконання роботи з новим програмним забезпеченням, 5 хв.

$$Q_1 = \frac{120 \cdot 60 \cdot 0,09}{25} = 25,92 \text{ оп./хв.}$$

$$Q_2 = \frac{120 \cdot 60 \cdot 0,09}{5} = 129,6 \text{ оп./хв.}$$

Отже, річний економічний ефект буде таким:

$$\Delta E = \left(\frac{7610,1}{25,92} - \frac{18347,606}{129,6} \right) \cdot 129,6 = 19702,894 \left[\frac{\text{грн.}}{\text{рік}} \right]$$

3.4 Розрахунок терміну окупності витрат (T_o) для споживача-замовника

Термін окупності витрат T_o розраховується за формулою 6.18:

$$T_o = \frac{B}{\Delta E}, \quad (3.18)$$

де ΔE – економічний ефект при застосуванні програмного забезпечення, який може бути одержаний протягом одного року;

B – загальні витрати на придбання (розробку) програмного продукту.

Оскільки, як вже було розраховано вище, загальні витрати на розробку програмного продукту складають $B = 18347,606$ грн., а річний

економічний ефект $\Delta E = 19702,894$ грн. / рік, то термін окупності буде таким:

$$T_o = \frac{18347,606}{19702,894} = 0,93 \text{ року}$$

Отже, термін окупності складає 0,93 року, а для обчислювальної техніки розробка вважається ефективною при $T_o < 1 \div 3$ років. Як видно з розрахунку розробка є економічно ефективною.

Висновок до 3 розділу

Таким чином, можна зробити висновки: в економічній частині магістерської кваліфікаційної роботи зроблені розрахунки витрат на розробку програмного продукту, експлуатаційних витрат при його використанні та розрахунок річного ефекту для споживача від впровадження даного програмного продукту, що свідчить про економічну доцільність та ефективність нової продукції, яка стане дуже вигідною для споживача і дасть певні прибутки розробнику.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Аналіз умов праці при виконанні робіт, пов'язаних з ремонтом та експлуатацією електричних мереж 110 кВ

На лініях 110 кВ виконується низка робіт, таких як: будівництво, реконструкція ЛЕП, прокладення, заміна проводу тощо.

Відповідно до цих робіт можна перелічити небезпечні та шкідливі фактори, які виникають при цьому.

1.1. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- фізичні;
- психофізіологічні.

1.1.1. Фізичні небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- рухомі частини виробничого обладнання; вироби, що пересуваються, заготівлі, матеріали;
- підвищена чи знижена температура поверхонь обладнання, матеріалів;
- підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може статися через тіло людини;
- підвищений рівень статичної електрики;
- підвищена напруженість електричного поля;
- гострі кромки, задирки та шорсткість на поверхнях заготовок, інструментів та обладнання [38].

4.2 Організаційно-технічні рішення з охорони праці для електротехнічного персоналу при ремонті та експлуатації реле

4.2.1 Період експлуатації або термін служби пристрою до списання визначається моральним чи фізичним зношуванням пристрою до такого стану, коли відновлення його стає нерентабельним. Фізичний знос пристрою не повинен бути причиною відмов. Рішення про заміну пристрою або його відновлення ухвалюється на рівні енергосистеми, енергопідприємства, у віданні яких знаходяться пристрої РЗА або ПА.

У термін служби пристрою, починаючи з перевірки при новому включенні, входять, як правило, кілька міжремонтних періодів, кожен з яких

може бути розбитий на характерні з точки зору надійності етапи: період опрацювання, період нормальної експлуатації та період зносу.

Встановлюються такі види планового технічного обслуговування пристроїв РЗА:

- перевірка при новому включенні (налагодження);
- перший профілактичний контроль;
- профілактичний контроль, профілактичний контроль із заміною ламп;
- профілактичне відновлення (ремонт);
- тестовий контроль;
- випробування;
- технічний огляд.

Крім того, в процесі експлуатації можуть проводитися такі види позапланового технічного обслуговування:

- позачергова перевірка;
- післяаварійна перевірка [39].

4.2.2 Перевірки при новому включенні пристроїв РЗА та ПА, у тому числі вторинних ланцюгів, вимірювальних трансформаторів та елементів приводу комутаційних апаратів, що належать до пристроїв РЗА та ПА, проводяться:

- Перед включенням знову змонтованих пристроїв;
- після реконструкції діючих пристроїв, пов'язаної з встановленням нової додаткової апаратури, переробкою апаратури, що знаходиться в роботі, або після монтажу нових вторинних ланцюгів.

Якщо перевірка при новому включенні проводилася сторонньою організацією налагодження, включення нових і реконструйованих пристроїв без приймання їх службою РЗА забороняється.

4.2.3 Завданням технічного обслуговування в період приробітку з урахуванням особливостей релейного захисту та протиаварійної автоматики є найбільш швидке виявлення припрацьованих відмов та запобігання відмовам функціонування з цієї причини.

Для пристроїв РЗА та ПА приробіткові відмови найбільш характерні у початковий період експлуатації. У решту міжремонтних періодів вони виникають значно рідше.

Період приробітку пристрою релейного захисту та протиаварійної автоматики починається з проведення налагоджувальних робіт перед включенням пристрою в експлуатацію, які при ретельному їх виконанні забезпечують виявлення та усунення більшої частини відмов.

Однак навіть найретельніше налагодження не може гарантувати усунення всіх відмов приробітку. Завжди є ймовірність, що якийсь із дефектів не буде виявлено або з'явиться після налагодження. Крім того, при налагодженні можуть не виявитися приховані дефекти елементів, які виявляться через деякий час після введення пристрою в експлуатацію. До них можуть бути віднесені, наприклад, ослаблена міжвиткова ізоляція обмоток реле і трансформаторів, наявність надломів у дротяних опорах, приховані дефекти радіоелектронної апаратури.

Таким чином, із закінченням налагоджувальних робіт та введенням пристрою в експлуатацію період приробітку не може вважатися закінченим. Необхідно проведення через деякий час після налагодження ще однієї перевірки, після якої з досить великою ймовірністю вважатимуться, що приробіткові відмови виявлені та усунені. Таку перевірку названо першим профілактичним контролем. Термін проведення цього контролю визначається переважно двома суперечливими чинниками.

З одного боку необхідно деякий час для прояву прихованих дефектів і, отже, чим більший цей час, тим вірогідніше їхній прояв. З іншого - зі збільшенням інтервалу між включенням пристрою в експлуатацію та першим профілактичним контролем збільшується ймовірність неправильної роботи пристрою.

Для пристроїв РЗА та ПА на мікроелектронній елементній базі, що мають вбудовані засоби ручного тестового контролю, до першого профілактичного контролю проводиться тестовий контроль.

4.2.4 Завданням технічного обслуговування в період зношування є своєчасне профілактичне відновлення або заміна зношених елементів пристрою з тим, щоб запобігти різкому зростанню параметра потоку відмов. Відповідний вид технічного обслуговування з урахуванням ремонтпридатності переважної більшості елементів пристроїв релейного захисту та протиаварійної автоматики названо профілактичним відновленням.

Періодичність профілактичного відновлення пристрою визначається періодичністю відновлення його елементів, що у свою чергу визначається ресурсом цих елементів. Ресурс різних елементів неоднаковий. Однак, враховуючи специфіку умов експлуатації пристроїв РЗА і ПА, доводиться поєднувати терміни профілактичних відновлення різних елементів, схильних до різних процесів старіння.

Періодичність профілактичного відновлення пристрою РЗА та ПА доцільно визначати ресурсом більшої частини апаратури та елементів цього пристрою.

Для швидкозношуваних реле (мають малий ресурс або велику швидкість вироблення ресурсу) відновлення проводиться також і при проведенні чергового профілактичного контролю.

4.2.5 Завданням технічного обслуговування період нормальної експлуатації, тобто. між двома відновленнями, є виявлення та усунення раптових відмов з метою запобігання переходу цих відмов у відмови функціонування. Відповідні види технічного обслуговування називаються профілактичним контролем та тестовим контролем.

Профілактичний контроль полягає у перевірці працездатності всього пристрою РЗА та ПА.

Тестовий контроль як додатковий вид технічного обслуговування застосовується для пристроїв на мікроелектронній базі, що мають відповідні інтегровані засоби. Під час тестового контролю здійснюється перевірка працездатності частини пристрою.

Періодичність профілактичного та тестового контролю визначається низкою факторів:

- параметром потоку відмов;
- середнім числом вимог спрацьовування в одиницю часу;
- шкодою від відмови функціонування пристрою РЗА та ПА;
- витратами на проведення профілактичного контролю;
- ймовірністю помилок персоналу у процесі проведення профілактичного контролю.

4.2.6 При частковій зміні схем або реконструкції пристроїв РЗА та ПА при відновленні ланцюгів, порушених у зв'язку з ремонтом основного обладнання, при необхідності зміни уставок, характеристик реле та пристроїв та режиму роботи ПА проводяться позачергові перевірки.

Післяаварійні перевірки проводяться для з'ясування причин відмови функціонування або неясних дій пристроїв РЗА та ПА.

Обсяг та програма післяаварійної перевірки пристроїв системного призначення повинні затверджуватись на рівні енергосистеми.

Періодично повинні проводитися зовнішні технічні огляди апаратури та вторинних ланцюгів, перевірка положення перемикаючих пристроїв, випробувальних блоків та ключів [40].

Розрахунок штучного заземлювального пристрою з використанням природних заземлювачів. В-4

Початкові дані

1. Захисту підлягає електрообладнання механічного цеху.

2. Мережа з глухозаземленою нейтраллю. Напруга мережі $U = 380$ В.
3. Вимірний опір розтікання струму в природному заземлювачі $R_{ЛЗ} = 15$ Ом. Тип додаткового штучного заземлення – кутова сталь 45×4 мм довжиною $l_B = 3$ м. Глибина закладання заземлювачів $H_0 = 0,7$ м. З'єднувальна смуга шириною $B_C = 0,04$ м.
4. Ґрунт – пісок; склад однорідний; вологість нормальна. Кліматична зона – III.

Розв'язання

1. Визначаємо допустиме (нормативне) значення опору розтікання струму в заземлювальному пристрої. Згідно з ПУЕ $R_D \leq 4$ Ом.
2. Визначаємо розрахунковий питомий опір ґрунту для III кліматичної зони, вологість нормальна

$$\rho_{РОЗР} = \rho_{ТАБЛ} \cdot K_C,$$

де $\rho_{ТАБЛ} = 300$ Ом \cdot м, (табл. 3.9),

$K_C = 1,3$, (табл. 3.10),

$$\rho_{РОЗР} = 300 \cdot 1,3 = 390 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

3. Визначаємо H – відстань від поверхні землі до середини вертикального заземлювача:

$$H = H_0 + L_B / 2 = 0,7 + 3/2 = 2,2 \text{ м.}$$

4. Визначаємо опір розтікання струму в одному вертикальному заземлювачі:

$$R_B = \frac{\rho_{РОЗР}}{2\pi \cdot L_B} \cdot \left(\ln \frac{2L_B}{d_{ЕКВ}} + \frac{1}{2} \ln \frac{4H + L_B}{4H - L_B} \right);$$

$$d_{ЕКВ} = 0,045 \cdot B_K = 0,045 \cdot 1 = 0,048 \text{ м.}$$

$$R_B = \frac{390}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{0,045} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2,2 + 3}{4 \cdot 2,2 - 3} \right) = 101,6 \text{ Ом}$$

5. Визначаємо опір розтікання струму штучного заземлення, якщо врахувати, що штучні і природні заземлювачі з'єднані паралельно та їх загальний опір не перевищує $R_D = 8$ Ом

$$R_B = \frac{R_{II.3} \cdot R_{III}}{R_{II.3} + R_{III}}$$

$$\text{Тоді } R_{III} = \frac{R_D \cdot R_{II.3}}{R_{II.3} - R_D} = \frac{8 \cdot 15}{15 - 8} = 17,1 \text{ Ом.}$$

6. Визначаємо орієнтовну кількість вертикальних заземлювачів при $\eta_B = 1$

$$\eta_{III} = \frac{R_B}{R_{III} - \eta_{II}} = \frac{101,6}{17,1 - 1} = 6 \text{ шт.}$$

7. Визначаємо коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів η_B з табл. 3.12. Заземлювачі розташовані по контуру; $a/L = 1$. $n=6$. Тоді $\eta_B = 0,56$.

8. Визначаємо необхідну кількість вертикальних заземлювачів з врахуванням η_B

$$n_B = n_{OP} / \eta_B = 6 / 0,56 = 12.$$

Приймаємо $n = 12$ шт.

9. Визначаємо розрахунковий опір розтікання струму у вертикальних заземлювачах при $n = 12$ шт

$$R_{POЗP.B} = \frac{R_B}{n - \eta_B} = \frac{101,6}{6 \cdot 0,56} = 30,2 \text{ Ом.}$$

10. Визначаємо довжину з'єднувальної смуги:

$$L_c = 1,05 a n = 1,05 \cdot 3 \cdot 12 = 37,8 \text{ м.}$$

11. Визначаємо опір розтікання струму в горизонтальному заземлювачі:

$$R_\Gamma = \frac{\rho_{POЗP}}{2\pi \cdot L_B} \ln \frac{2\pi \cdot L_c^2}{H_0 \cdot B_c} = \frac{390}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \ln \frac{2 \cdot (30,2)}{0,7 \cdot 0,04}$$

$$R_\Gamma = 2,1 \text{ Ом}$$

12. Визначаємо коефіцієнт використання горизонтального заземлювача. За табл. 3.14 при $a/l = 1$, $n_B = 12$ отримуємо $\eta_\Gamma = 0,32$.

13. Визначаємо опір розтікання струму в горизонтальному заземлювачі з врахуванням η_Γ :

$$R_{POЗP.\Gamma} = \frac{R_\Gamma}{\eta_\Gamma} = \frac{2,1}{0,32} = 6,6 \text{ Ом.}$$

14. Визначаємо опір розтікання струму в горизонтальних та вертикальних заземлювачах

$$R_{POЗP.P} = \frac{R_{POЗP.B} \cdot R_{POЗP.Г}}{R_{POЗP.B} + R_{POЗP.Г}} = \frac{30,2 \cdot 6,6}{30,2 + 6,6} = 5,4 \text{ Ом.}$$

15. Визначаємо загальний опір розтікання струму в штучному та природному заземлювачах

$$R_{ЗАГ} = \frac{R_{П.З} \cdot R_{POЗP.P}}{R_{П.З} + R_{POЗP.P}} = \frac{15 \cdot 5,4}{15 + 5,4} = 4 \text{ Ом.}$$

$$R_{ЗАГ} < R_{ДОП}$$

Отримане загальнорозрахункове значення опору розтікання струму в природному та штучному заземлювачах відповідає вимогам ПУЕ, ПТЕ та ПТБ [41].

4.3 Основні заходи протипожежного захисту при виконанні робіт на лінії

Гасіння пожеж на енергетичних об'єктах під напругою

Пожежна безпека підприємств паливно-енергетичного комплексу (ПЕК) забезпечується шляхом проведення організаційно-технічних та інших заходів з попередження пожеж, забезпечення безпеки людей, зниження можливих матеріальних збитків, зменшення негативних екологічних наслідків, створення умов для швидкого виклику пожежних підрозділів та успішного гасіння пожеж, а також евакуації з зони виникнення та можливого розповсюдження пожежі людей, документів і матеріальних цінностей.

4.3.1. Підготовка персоналу

1.1. Особовий склад всіх караулів пожежних частин і підрозділів, які прибувають для гасіння пожежі, не рідше одного разу на рік повинен проходити спеціальний інструктаж з особливостей експлуатації енергетичних

установок та техніки безпеки при пожежах. Інструктаж проводиться інженерно-технічним персоналом об'єкта за узгодженою програмою.

1.2. На кожному енергетичному об'єкті повинні регулярно проводитися протипожежні тренування з черговим персоналом, а також спільні з пожежними частинами пожежно-тактичні навчання. Навчання проводяться працівниками пожежної охорони. Графік навчань щороку розробляється начальником гарнізону пожежної охорони спільно з керівником енергетичного підприємства.

4.3.2. Підготовка заземлень і електрозахисних засобів

2.1. Енергетичні об'єкти виготовляють в необхідній кількості пристосування для заземлення пожежних стволів, піногенераторів і насосів пожежних машин з гнучкого мідного голого проводу перерізом не менше 25 мм², які забезпечуються спеціальними струбцинами для з'єднання з заземленими конструкціями (гідрантами водогінної мережі, металевими опорами повітряних ліній електропередач, обсадними трубами артезіанських свердловин тощо). Місця приєднання до заземлених конструкцій визначаються спеціалістами енергетичних об'єктів спільно з представниками гарнізону пожежної охорони, позначаються знаком заземлення та вносяться до графічної частини плану пожежогасіння.

2.2. Для забезпечення безпеки персоналу та пожежників, які беруть участь у гасінні пожежі електроустановок під напругою, застосовуються індивідуальні ізолюючі електрозахисні засоби (діелектричні рукавиці, боти).

2.3. Кількість заземлень та індивідуальних ізолюючих захисних засобів і місця їх зберігання визначаються керівниками енергетичних об'єктів з розрахунку подачі вогнегасних засобів на електроустановки, які знаходяться під напругою.

2.4. Випробування електрозахисних засобів виконується енергетичним об'єктом в установленому порядку.

2.5. Забороняється використання заземлюючих пристосувань і електрозахисних засобів для інших цілей, крім випадків пожеж або проведення спільних з пожежними підрозділами ДПО тренувань (навчань) на об'єкті.

2.6. Автомобілі пожежних частин, які охороняють енергооб'єкти, повинні бути укомплектовані електрозахисними засобами відповідно до чисельності бойового розрахунку, який бере участь у гасінні пожежі.

4.3.3. Дії при виникненні пожежі

3.1. При виникненні пожежі на енергетичному об'єкті особа, яка першою виявила займання, зобов'язана негайно повідомити начальника зміни електростанції (диспетчера або чергового підстанції, підприємства електромереж), старшого зміни та приступити до гасіння пожежі засобами пожежогасіння, дотримуючись при цьому правил техніки безпеки.

3.2. Начальник зміни електростанції (диспетчер підстанції або підприємства електромережі) під час гасіння пожежі повинен забезпечити посилення охорони території об'єкта і не допускати до місця пожежі сторонніх осіб.

3.4. Начальник зміни електростанції (диспетчер або черговий підстанції, підприємства електромереж) про виникнення займання повинен негайно повідомити в пожежну охорону, керівництву енергооб'єкта (за спеціальним списком), а також диспетчеру енергосистеми.

3.5. Старший у зміні особисто або за допомогою чергового персоналу зобов'язаний визначити місце осередку пожежі, можливі шляхи її поширення, загрозу діючому електрообладнанню, яке опинилося в зоні пожежі, можливість виникнення нових осередків горіння на іншому електрообладнанні, а також до прибуття пожежних підрозділів виконати такі роботи:

— особисто або з допомогою чергового персоналу перевірити ввімкнення автоматичної установки пожежогасіння (при її наявності), а у випадку відмови задіяти її в ручному режимі;

- вжити заходів із створення безпечних умов для персоналу і пожежних підрозділів для ліквідації пожежі;

- провести можливі операції на технологічних установках (вимкнення або перемикавання на обладнанні, витіснення водню з генератора, зняття напруги з електроустановок, зливання мастила з мастилобаків турбогенераторів тощо);

- приступити до гасіння пожежі силами та засобами енергетичного об'єкта;

- виділити для зустрічі пожежних підрозділів особу, яка добре знає місця заземлення технічних засобів і розташування під'їзних шляхів та вододжерел;

- при необхідності вжити заходів для охолодження водою металевих ферм, колон будівлі за допомогою пожежних кранів або стаціонарно встановлених лафетних пожежних стволів з урахуванням дотримання заходів техніки безпеки;

- проінформувати керівника гасіння пожежі (КГП) про безпечні маршрути руху пожежних на бойові позиції.

3.6. Вимкнення або перемикавання приєднань в зоні пожежі може проводитись за карткою пожежогасіння начальником зміни станції (диспетчером або черговим підстанції, підприємства електромережі) або за його розпорядженням черговим персоналом, з наступним повідомленням вищого оперативного керівництва (диспетчера енергосистеми) після закінчення операції вимкнення.

3.7. До прибуття першого пожежного підрозділу обов'язки КГП виконує старший зміни енергетичного об'єкта (начальник зміни станції, начальник зміни цеху, черговий диспетчер підстанції) або керівник об'єкта. КГП зобов'язаний в першу чергу вивести з місця пожежі всіх сторонніх осіб і забезпечити виконання вимог безпеки щодо запобігання ураження електричним струмом та інших видів небезпеки осіб, які знаходяться поблизу місця пожежі.

3.8. Старший начальник ДПО, який прибув на місце пожежі, зобов'язаний негайно зв'язатися зі старшим зміни енергетичного об'єкта, отримати від нього дані про обставини пожежі і письмовий допуск на проведення гасіння.

3.9. Для керівництва гасінням пожежі організується оперативний штаб пожежогасіння. До складу штабу повинен входити старший з присутніх інженерно-технічних працівників об'єкта або оперативно-виїзної бригади (ОВБ), який повинен мати на правому рукаві червону пов'язку з нанесеним знаком електричної напруги.

3.10. Зі старшого начальника енергетичного об'єкта або ДПО, які не взяли на себе керівництво гасінням пожежі, не знімається відповідальність за організацію гасіння пожежі.

4.3.4. Ліквідація пожежі

4.1. Пожежні підрозділи розпочинають гасіння пожежі на електроустановках після інструктажу старшим з присутніх технічних працівників або ОВБ.

4.2. Під час гасіння пожежі робота пожежних підрозділів (розміщення сил і засобів пожежогасіння, зміна позицій, перехід від одних засобів пожежогасіння до інших тощо) проводиться з урахуванням вказівок старшої особи з присутніх інженерно-технічних працівників енергетичного об'єкта або ОВБ.

4.3. В свою чергу, старший з присутніх інженерно-технічних працівників або ОВБ погоджує з КГП свою роботу і розпорядження, а також інформує під час гасіння пожежі про зміни в стані роботи електроустановок та іншого обладнання.

4.4. Займання в електроустановках під напругою ліквідуються персоналом енергетичного об'єкта за допомогою ручних і пересувних вогнегасників.

4.5. Гасіння пожежі ручними засобами в дуже задимлених приміщеннях енергетичних об'єктів (з видимістю до 10 метрів), з проникненням в них без зняття напруги з електроустановок і кабельних ліній не допускається.

4.6. Під час гасіння пожежі компактними та розпиленими струменями без зняття напруги з електроустановок ствол повинен бути заземлений, а ствольник має працювати в діелектричних ботах, діелектричних рукавицях і знаходитись на відстані від вогнища пожежі не меншій ніж 4–10 м залежно від рівня напруги.

4.7. Під час гасіння пожежі в електроустановках напругою до 220 кВ включно час перебування пожежників на бойових позиціях не обмежується.

4.8. Бойові позиції пожежників з урахуванням безпечних відстаней до конкретних електроустановок визначаються в ході проведення пожежно-тактичних тренувань (навчань), а потім заносяться в план пожежогасіння.

4.9. Гасіння пожежі в приміщеннях з електроустановками під напругою всіма видами піни, а також водою зі змочувачами за допомогою ручних засобів забороняється.

4.10. При необхідності гасіння пожежі повітряно-механічною піною, з об'ємним заповненням приміщення піною, проводиться попереднє закріплення піногенераторів, їх заземлення, а також заземлення насосів пожежних машин. Водій пожежної машини повинен працювати в діелектричних рукавицях та взутті.

4.11. Особовому складу пожежних підрозділів категорично забороняється проводити будь-які переключення та інші операції з електротехнічним обладнанням на електростанції та підстанції.

4.12. Заходити до розподільчих улаштування та інших приміщень електротехнічних улаштувань з метою гасіння пожежі особовий склад пожежних підрозділів має право лише після одержання допуску та інструктажу персоналу, який обслуговує цей пристрій.

4.13. При виникненні пожежі на енергетичному об'єкті без постійного чергового персоналу гасіння пожежі пожежними підрозділами до прибуття ОВБ або чергового може проводитись самостійно лише за заздалегідь розробленим і погодженим планом пожежогасіння. Разом з тим має бути вжито негайних заходів для виклику експлуатаційного персоналу ОВБ підприємства електромереж.

4.14. Під час гасіння пожеж у приміщеннях з електроустановками під високою напругою, а також у підземних спорудах особовому складу пожежної охорони забороняється самовільно проводити будь-які самостійні дії щодо знеструмлення електроліній, електроустановок та застосування засобів пожежогасіння до отримання у встановленому порядку письмового допуску на гасіння пожежі від адміністрації об'єкта.

4.15. Під час ліквідації пожежі в приміщенні з наявністю великої кількості кабелів і проводів у гумовій або пластмасовій ізоляції КГП зобов'язаний вжити необхідних заходів для попередження отруєння людей газами, які виділяються в процесі горіння ізоляції. Особовий склад зобов'язаний працювати в ізолювальних протигазах, КГП — не допускати скупчення у приміщеннях з електроустановками великої кількості особового складу.

4.16. Основою безпечного гасіння пожежі електроустановок під напругою є суворе дотримання організаційно-технічних заходів, а також усвідомлена дисципліна пожежників, які зобов'язані суворо виконувати всі заходи із забезпечення безпеки гасіння.

4.17. Гасіння пожежі електроустановки під напругою КГП має право розпочати тільки після одержання відповідного письмового допуску та інструктажу персоналом, який обслуговує цю установку.

4.18. Гасіння пожежі електроустановок під напругою здійснюється за виконання таких обов'язкових умов:

- не допускається наближення пожежних до струмопровідних частин електроустановок на відстань менше 4 метрів;
- маршрути руху пожежних на бойові позиції КГП повинен погоджувати з черговим персоналом енергооб'єкта і конкретно вказувати кожному пожежнику під час інструктажу;
- пожежні і водії пожежних автомобілів, які забезпечують подачу вогнегасних речовин, повинні працювати в діелектричних рукавицях і взутті;
- подавання вогнегасних речовин необхідно проводити після заземлення ручних пожежних стволів і пожежних автомобілів;
- перестановку сил і засобів, зміну бойових позицій тощо КГП повинен виконувати після узгодження зі старшою посадовою особою з присутнього інженерно-технічного персоналу енергетичного об'єкта.

4.3.5. Під час гасіння пожежі електроустановок під напругою забороняється:

- використання усіх видів піни;
- проводити будь-які відключення та інші операції з електричним обладнанням особовому складу пожежних підрозділів;
- використовувати воду зі змочувачами при подаванні компактних струменів води, як для гасіння, так і для охолодження електрообладнання та будівельних конструкцій;
- наближатися до машин і механізмів, які застосовуються для подачі води (вогнегасних речовин) на електроустановки під напругою, особам, безпосередньо не зайнятим на гасінні пожежі.

ВИСНОВКИ

Проведено аналіз стану використання тренажерів керування нормальними режимами електроенергетичної системи з відновлювальними джерелами енергії. Представлено класифікацію, стан розроблення та використання диспетчерських тренажерів. Виділено модель тренажера оперативно-диспетчерського персоналу з урахуванням ринкових умов. Представлено дослідження сучасних методів і засобів побудови комп'ютерних тренажерних і навчальних систем. Розглянуто проблеми розроблення тренажера оперативного управління диспетчерського персоналу. Досліджено модель математичного моделювання процесу оптимального керування режимами ЕЕС та принципи побудови оперативного режимного тренажера на базі натурно-імітаційної моделі ЕЕС.

Проаналізувано структуру тренажера підготовки оперативного персоналу з функцією енергоринку на базі натурно-імітаційної моделі ЕЕС. Розглянуто математичну модель якості функціонування електричних систем та втрат потужності від адресних перетікань. Проведено дослідження втрат потужності в гілках схеми ЕЕС, параметри якої наведено до однієї напруги та без приведення до однієї напруги. Отримали методи розв'язання поставлених задач для роботи тренажера оптимального керування ЕЕС.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Стогний Б., Павловский В. Определение транзитных потерь мощности в фрагментированных электрических сетях областных энергоснабжающих компаний // Энергетическая политика Украины. – 2004. – №5. – С. 26–31.

2. Бурикін О. Б. Визначення втрат потужності від транзитного перетікання в електричних мережах [Електронний ресурс] / Бурикін О. Б., Видмиш В. А., Медяний П. П.// Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – № 1. – 2010. Режим доступу до журн.: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2010-1.files/uk/10abbien_ua.pdf.

3. Стогний Б.С., Кириленко О.В., Денисюк С.П. Інтелектуальні електричні мережі електроенергетичних систем та їхнє технологічне забезпечення // Технічна електродинаміка. – 2010. – № 6. – С. 44–50.

4. Комар В. А. Тренажер персонала оперативного управления режимом электроэнергетической системы как элемент Smart Grid-технологий/ В. А. Комар, А. Б. Бурыкин, Надеран Реза // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. — No 3. — 2011. — Режим доступу до журн. : http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2011_3/2011-3_ru.files/ru/11voksgt_ru.pdf

5. Кучеров Ю. Разработка тренажёров для обучения персонала //Электро №4. 2002 с. 46-48

6. Debs, A.; Hansen, C.; Yu-Chi Wu, “Effective electricity market simulators”, Computer Applications in Power, IEEE., 2001. – vol. 14., Issue 1. pp. 29–34.

7. H. Shiota, Y. Tamenaga, T. Tsuji, K. Dan, " Development of training simulator for power system operators " Transactions on Power Apparatus and Systems, IEEE Vol. PAS-102, No. 10, October 1983

8. Max D. Anderson "Power system operator training problems" Transactions on Power Systems, IEEE Vol. PWRS-1, No. 3, August 1986

9. Waight, J.G.; Nodehi, K.; Rafian, M.; Van Meeteren, H.; Bose, A.; Wasley, R.; Stackfleth, E.; Dobrowolski, E.; "An advanced transportable operator training simulator" Power Industry Computer Application Conference, 1991. Conference Proceedings pp. 164 – 170

10. T. E. DyLiacco, M. K. Enns, J. D. Schoeffler, J. J. Quada, D. L. Rosa, C. W. Jurkoshek, M. D. Anderson, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-102, No. 11, November 1983 CONSIDERATIONS IN DEVELOPING AND UTILIZING OPERATOR TRAINING SIMULATORS

11. Subramanian V. Vadari, Mark J. Montstream, Herman B. Ross Jr., "An Online Dispatcher Training Simulator Function for Real-Time Analysis and Training" IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 10, No. 4, November 1995

12. P Sigari, M. Rafian-Naini, and K.J. Sluis "Portable and Affordable Operator Training Simulators" IEEE Computer Applications in Power Volume: 6:3 Pages: 39-44

13. Амелин С.В. Тренажер по оперативным переключениям «Модус». Журнал "Энергетика и электрификация" №8, Киев. 2005.

14. Амелин С.В. Построение тренажеров для электроэнергетики с использованием графической объектно-ориентированной системы. Вестник СамГТУ. Серия "Технические науки". Выпуск 15. – Самара, 2005.

15. Амелин С.В. Программный комплекс Модус как платформа разработки приложений для электроэнергетики с использованием схемной графики. Журнал "Автоматизация в промышленности" №4, Москва. 2005.

16. Амелин С.В. Современные требования к графической системе отображения схем в составе программных комплексов для электроэнергетики Автоматизация в промышленности, 2008г.№8

17. С.В.Амелин, А.Ф.Иванченко Создание компьютерных тренажеров подстанций и МЭС ФСК ЕЭС в комплексе Модус Автоматизация в промышленности, 2008г.№7

18. Использование графической системы Модус 5.10. как средства подготовки ОИМ - модели Амелин С.В. МОРОЗОВ И.И. Автоматизация IT в энергетике 2009, Стр. 16

19. Моделирование режимов электрических объектов с помощью информационно - аналитического комплекса Пегас. Амелин С.В., Гольдштейн В.Г., Кубарьков Ю.П., Степанов Москва Промышленная энергетика, 2010, №9, стр. 31-27

20. М.А. Рабинович. Отображение оперативной информации. Комплекс «КАСКАД-НТ 2.0». М., Из-во НЦ ЭНАС., 2004 г.

21. Л.С. Штейнбок, Ю.Я.Любарский, Ю.И. Моржин, М.А. Рабинович и др. Технология ситуационного отображения данных текущего режима и ее реализация на диспетчерском щите ОДУ Средней Волги. Электрические станции. № 8,2004 г.

22. Сулейманов В. Н. Моделирование интегрального показателя качества тренировки диспетчерского персонала / В. Н. Сулейманов, В. А. Комар, Надеран Реза // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Технічні науки. — 2011. — Вип. 116.— С. 32—3

23. Магид С. И. Нормативно-технические требования и современная реализация тренажеров для обеспечения надежности оперативного персонала электроэнергетических объектов / С. И. Магид, И. Ш. Загретдинов, М. Ю. Львов, С. В. Мищеряков, Л. П. Музыка, Е. Н. Архипова // Оперативное управление в электроэнергетике. Подготовка персонала и поддержание его квалификации. – 2006. – №4. – С. 30 – 43.

24. Надійне та безпечне електропостачання, розвиток електромереж - під контролем Держенергонагляду [Електронний ресурс] 12 липня 2007. Режим доступу:

http://www.ukrenergo.energy.gov.ua/ukrenergo/control/uk/publish/article?art_id=54905&cat_id=35981

25. Оценка надежности работы электрической сети (Трактат) [Электронный ресурс] / В. А. Скопинцев, В. И. Чемоданов, М. И. Чичинский // М.: – 2004. – 37 с. Режим доступа: www.oaoesp.ru/file/b2b72409/pub4.doc

26. Аналіз якості функціонування складних систем за допомогою критеріальних моделей [Електронний ресурс] / Комар В. О., Тептя В. В. // Наукові праці ВНТУ. – 2007. – №1. Режим доступа: <http://www.nbuuv.gov.ua/e-journals/VNTU/2007-1/ukr/07kvoosm.pdf>

27. Надежность технических систем: Справочник / Ю. К. Беляев, В. А. Богатырев, В. В. Болотин и др.; Под ред. И. А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.

28. [5] Мельников н.а. Матричный метод анализа электрических цепей. – М.: Энергия, 1972. – 232 с.

29. Режим доступа: <https://ua.energy/>

30. Балансова надійність електричної мережі з фотоелектричними станціями : монографія / П. Д. Лежнюк, В. О. Комар, С. В. Кравчук [та ін.] ; ВНТУ. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 136 с. – ISBN 978-966-641-751-3.

31. IEA Wind Task 25. Final report, Phase one 2006-08 [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.ieawind.org.

32. Large scale integration of wind energy in the European power supply: analysis, issues and recommendations [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.ewea.org

33. System Requirements for Wind Power Plants [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://sintef.net/upload/Energiforskning/pdf/Vind/TR%20A6586.pdf>

34. Вітроенергетика. Станції електричні вітрові. Приєднання до електроенергетичної системи : ДСТУ 8292:2015. – [Чинний від 01.07.2017] – К.: Мінекономрозвитку України, 2017. – 13 с. – (Національний стандарт України).

35. Правила взаємовідносин між Державним підприємством «Національна енергетична компанія «Укренерго» та суб'єктами

електроенергетики в умовах паралельної роботи в складі Об'єднаної енергетичної системи: редакція від 29.11.2016 / Міністерство палива та енергетики України [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0673-08>

36. В.В. Кулик, О.Б. Бурикін, Ю.В. Малогулко Дослідження ефективності сумісної експлуатації локальних електричних мереж з ВДЕ та систем централізованого електропостачання / Вісник Національного технічного університету України Київський політехнічний інститут. Сер.: Гірництво, 2014. №25. С. 113-120.

37. Renewables.ninja [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.renewables.ninja/>

38. ДБН А.3.2-2-2009 «Охорона праці і промислова безпека в будівництві»

39. Правила улаштування електроустановок.

40. Бондаренко Є. А. Навчальний посібник до розділу «Охорона праці» в магістерських кваліфікаційних роботах для студентів спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка: навч. Посібник / Бондаренко Є. А., Кутін В.М., Лежнюк П.Д. / – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 120 с.

41. ГОСТ 12.0.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к рабочей зоне.

ДОДАТОК А
 ПРОТОКОЛ
 ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
 НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ
 ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Аналіз стану використання тренажерів керування нормальними режимами електроенергетичної системи з відновлюваними джерелами енергії

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
 (БДР, МКР)

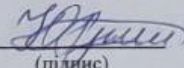
Підрозділ кафедра електричних станій та систем, факультет електроенергетики та електромеханіки
 (кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність 88,6% Схожість 11,4%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

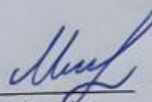
- 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку 
 (підпис)

Гунько І.О.
 (прізвище, ініціали)

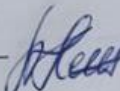
Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи


 (підпис)

Мовчанюк М. І.
 (прізвище, ініціали)

Керівник роботи


 (підпис)

Лежнюк П.Д.
 (прізвище, ініціали)

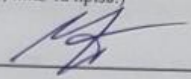
ДОДАТОК Б**Технічне завдання МКР**

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій і систем

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕССд.т.н., професор Комар В. О.

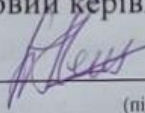
(наук. ст., вч. зв., ініц. та прізви.)



(підпис)" 14 " вересня 20 22 р.**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

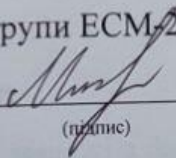
на виконання магістерської кваліфікаційної роботи
**АНАЛІЗ СТАНУ ВИКОРИСТАННЯ ТРЕНАЖЕРІВ КЕРУВАННЯ
НОРМАЛЬНИМИ РЕЖИМАМИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ З
ВІДНОВЛЮВАЛЬНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ**
08-13.МКР.005.00.003 ТЗ

Науковий керівник: д.т.н.



(підпис) Лежнюк П.Д.

Магістр групи ЕСМ-21м



(підпис) Мовчанюк М.І.

Вінниця 2022 р.

1. Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)

- а) На сучасному етапі розвитку електроенергетики у зв'язку з введенням нових засобів контролю і управління, збільшенням спостережуваного і телекерованого сегмента мережі надзвичайно збільшується обсяг інформації, що аналізується диспетчером під час управління режимом енергосистеми. З огляду на те, що в процес управління енергосистемою вводять безліч нових різнопланових обмежень, диспетчерському персоналу доводиться контролювати більшу кількість інформації про енергосистему і спиратися на власний досвід, заснований на спостереженні за поведінкою цієї конкретної енергосистеми. Це підвищує вимоги до швидкості сприйняття диспетчерським персоналом великого потоку інформації, оперативного оцінювання ситуації та якості ухвалюваних на цій основі керівних впливів щодо ведення режиму. Висока якість диспетчерського управління досягається, зокрема, за рахунок тренувань. Вони проводяться на режимних тренажерах диспетчерів (РТД). Більша частина РТД, розроблених наприкінці минулого століття, перестали задовольняти підвищеним вимогам до тренажерних систем з боку диспетчерських центрів, що з'явилися внаслідок кардинальних змін у методах управління і впровадженням нових технологій.
- б) наказ ректора ВНТУ № ____ від _____ р. про затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи.

2. Мета і призначення МКР вступ

- а) Метою є дослідження математичних моделей процесу оптимального керування потоками потужності для використання в режимних тренажерах;
- б) призначення розробки – виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

3. Джерела розробки

Список використаних джерел розробки:

1. Балансова надійність електричної мережі з фотоелектричними станціями : монографія / П. Д. Лежнюк, В. О. Комар, С. В. Кравчук [та ін.] ; ВНТУ. –

Вінниця : ВНТУ, 2018. – 136 с. – ISBN 978-966-641-751-3

2. Комар В. А. Тренажер персонала оперативного управления режимом электроэнергетической системы как элемент Smart Grid-технологий/ В. А. Комар, А. Б. Бурькин, Надеран Реза // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. — No 3. — 2011. — Режим доступу до журн. : http://www.nbuu.gov.ua/e-journals/VNTU/2011_3/2011-3_ru.files/ru/11voksgt_ru.pdf

3. Кучеров Ю. Разработка тренажёров для обучения персонала //Электро №4. 2002 с. 46-48

4. Технічні вимоги до виконання МКР

– технічне завдання: аналіз стану та проблеми використання оперативних диспетчерських тренажерів управління нормальними режимами ЕЕС

– елементна база: ОІК, АСКОЕ, ОЕС, БД, ЦДС, МЕМ, КАСКАД, ПК,

– технічне обслуговування і ремонт: експлуатація, технічне обслуговування та ремонт обладнання буде здійснювати оперативний та ремонтний персонал.

5. Економічні показники

Визначити основні розрахунки витрат на розробку програмного продукту, експлуатаційних витрат при його використанні та розрахунок річного ефекту для споживача від впровадження даного програмного продукту.

6. Етапи МКР та очікувані результати

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	Розроблення технічного завдання	02.09.22	06.09.22	формування технічного завдання
2	Аналіз стану та проблеми використання оперативних диспетчерських тренажерів	07.09.22	12.09.22	аналітичний огляд літературних

	управління нормальними режимами ЕЕС			джерел, розділ 1 ПЗ
3	Дослідження математичного моделювання процесу оптимального керування режимами ЕЕС	13.09.22	05.10.22	розділ 2
4	Техніко-економічна частина	06.10.22	20.10.22	розділ 3
5	Охорона праці	17.11.22	25.11.22	розділ 4
6	Оформлення пояснювальної записки	26.12.22	30.11.22	пояснювальна записка
7	Виконання графічної частини та оформлення презентації	02.09.22	06.09.22	плакати, презентація

7. Матеріали, що подаються до захисту МКР

Пояснювальна записка МКР, ілюстративні матеріали, відгук наукового керівника, відгук рецензента, протоколи складання державних іспитів, анотації до МКР українською та іноземною мовами.

8. Порядок контролю виконання та захисту МКР

Виконання етапів розрахункової документації МКР контролюється науковим керівником згідно зі встановленими термінами. Захист МКР відбувається на засіданні Державної екзаменаційної комісії, затвердженою наказом ректора.

9. Вимоги до оформлення МКР

Вимоги викладені в «Положенні про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти. СУЯ ВНТУ-03.02.02-П.001.01:2, 2021 р.

10. Вимоги щодо технічного захисту інформації в МКР з обмеженим доступом

Відсутні.

ДОДАТОК В

Презентаційні матеріали

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ ТА СИСТЕМ

Магістерська кваліфікаційна робота

Аналіз стану використання тренажерів керування
нормальними режимами електроенергетичної системи з
відновлювальними джерелами енергії

Виконав: студент 2-го курсу, групи ЕСМ-21м
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
освітня програма «Електричні системи і мережі»
Мовчанюк М. І
Керівник: д.т.н., професор каф. ЕСС
Лежнюк П. Д

Вінниця
2022 р

Актуальність теми

Актуальним науковим завданням є дослідження нових ефективних методів моделювання оперативних тренувань на базі недорогих спеціалізованих локальних тренажерів з використанням бібліотеки базових режимів роботи енергосистем, розгляд принципів побудови тренажерів оперативного управління та способів оцінювання дій персоналу.

Мета та завдання наукового дослідження

Метою магістерської роботи є дослідження математичних моделей процесу оптимального керування потоками потужності для використання в режимних тренажерах.

Поставлена мета визначила необхідність розв'язання наступних завдань:

- Аналіз існуючих способів і засобів побудови режимних тренажерів оперативно-диспетчерського персоналу енергосистем;
 - Дослідження проблем і задач оптимального управління адресними і транзитними потоками потужності;
 - Дослідження можливостей використання натурно-імітаційного моделювання в режимних тренажерах оперативно-диспетчерського персоналу;
 - Розгляд алгоритму проведення тренування оптимального управління режимом енергосистем з урахуванням взаємодії всіх учасників енергообміну;
- Розгляд інтегрального показника оцінки якості дій оперативно-диспетчерського персоналу в умовах ринкового середовища.

3

Об'єктом дослідження

магістерської роботи є нормальні режими електроенергетичних систем.

Предметом дослідження

методи та моделі формування режимних тренажерів для навчання диспетчерського персоналу електроенергетичних систем.

Методи досліджень

Для аналізу та розв'язання поставлених задач використано узагальнювальні методи теорії подібності та моделювання, методи лінійного та нелінійного програмування. Усталені режими моделюються та аналізуються на базі методу вузлових напружень. Для розроблення дослідження алгоритмів і програм роботи тренажера оптимального керування ЕЕС використовували матричну алгебру, теорію графів, декомпозицію та об'єктно-орієнтований аналіз.

4

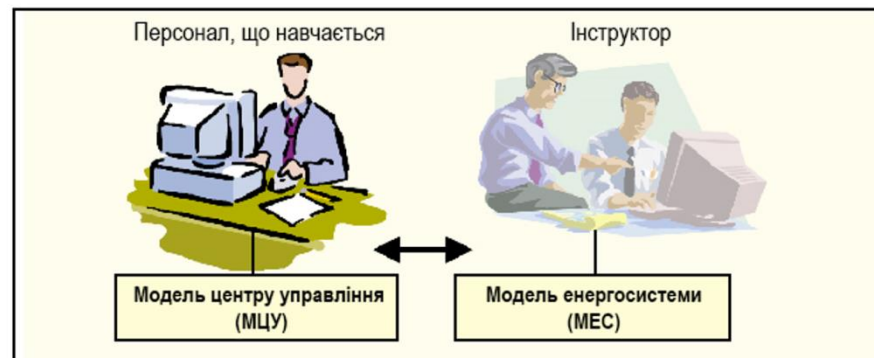


Рис. 1.1. Основні компоненти інтегрованого тренажера підготовки оперативного персоналу

5

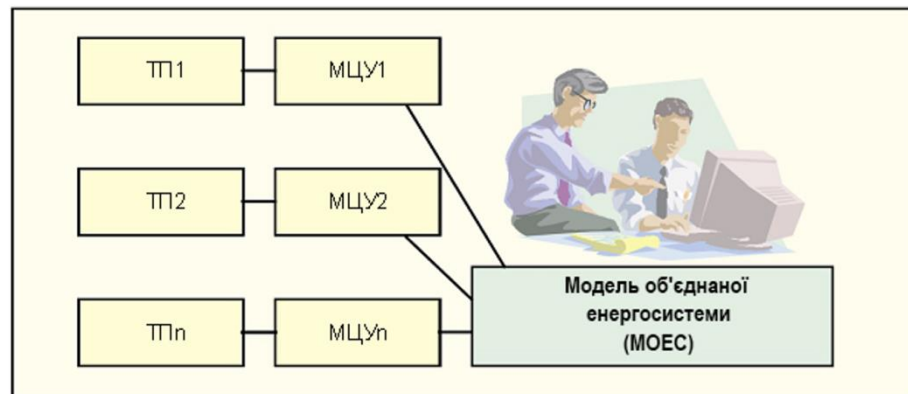


Рис. 1.2. Інтегрований тренажер підготовки оперативного персоналу ОЕС

6

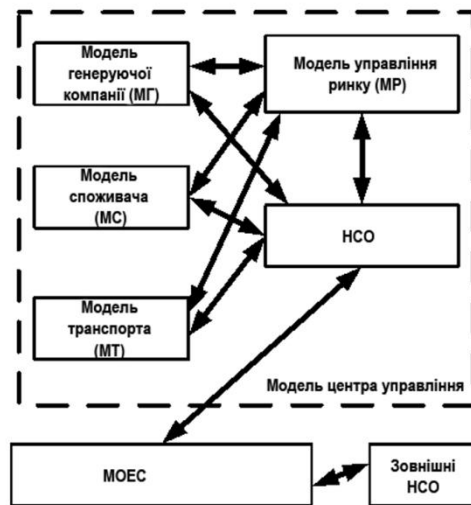


Рис. 1.3. Структура тренажера підготовки оперативного персоналу з функцією енергоринку

7

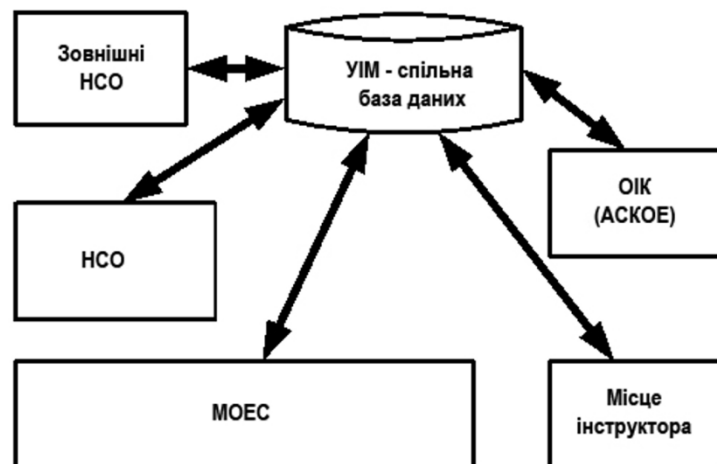


Рис 1.4. Структура обміну інформацією тренажера підготовки оперативного персоналу

8

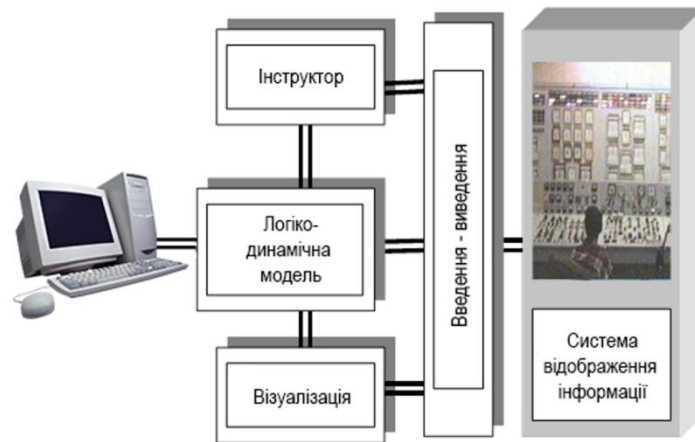


Рис. 1.5. Загальна структура спеціалізованого тренажера

9

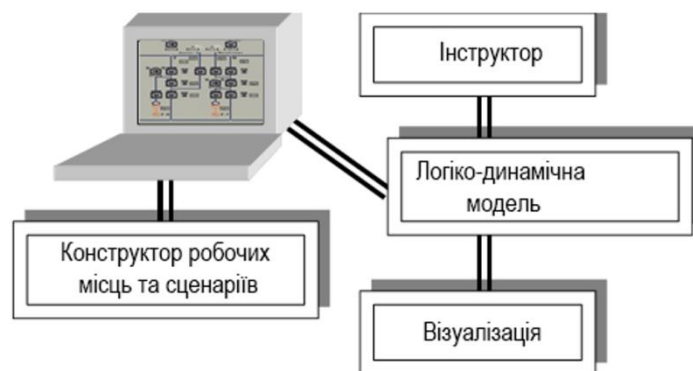


Рис. 1.6. Загальна схема універсального тренажера

10

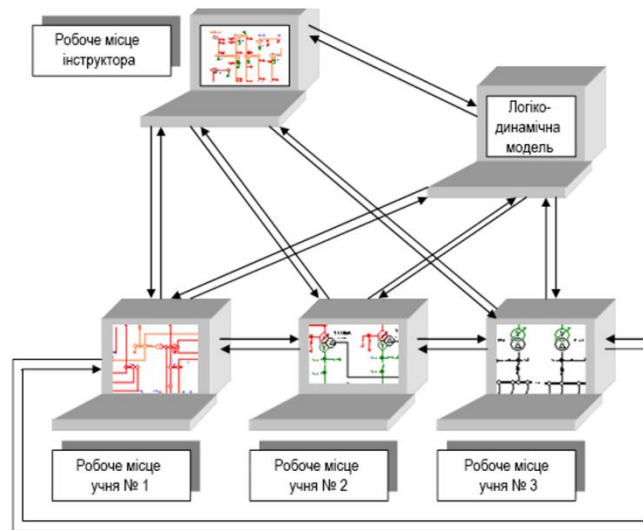


Рис. 1.7. Схема обміну повідомленнями в режимному тренажері

11

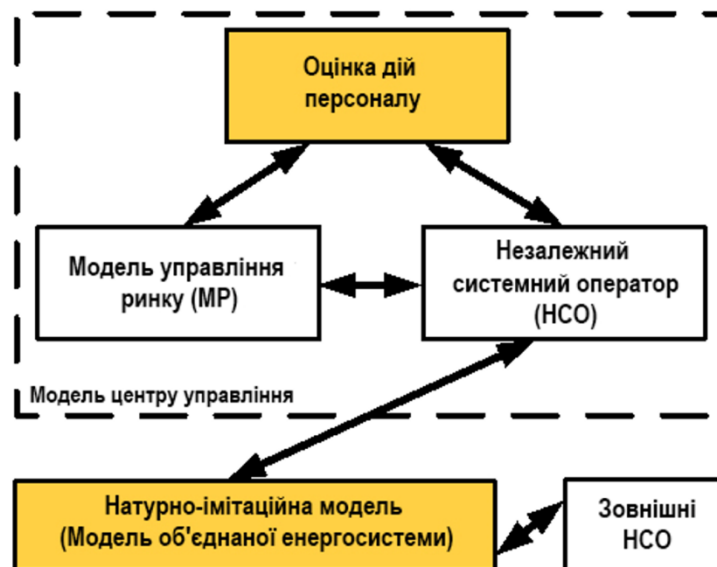


Рис. 2.1. Структура тренажера підготовки оперативного персоналу з функцією енергоринку на базі натурно-імітаційної моделі

12

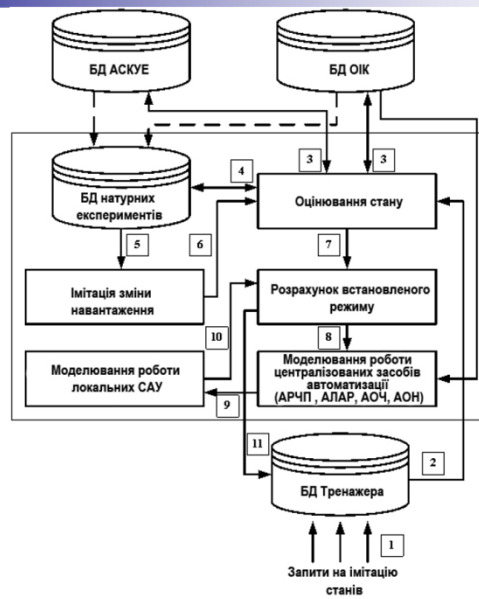


Рис. 2.2. Структурна схема натурно-імітаційної моделі оперативного тренажера ЕЕС

13



Рис. 2.3. Складові блоки автоматизованого робочого місця інструктора

14

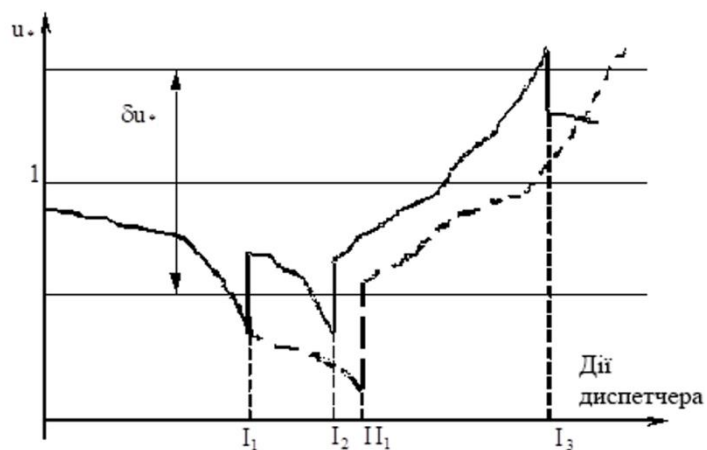


Рис. 2.4. Результати дій двох диспетчерів із підтримання режимного параметра

15

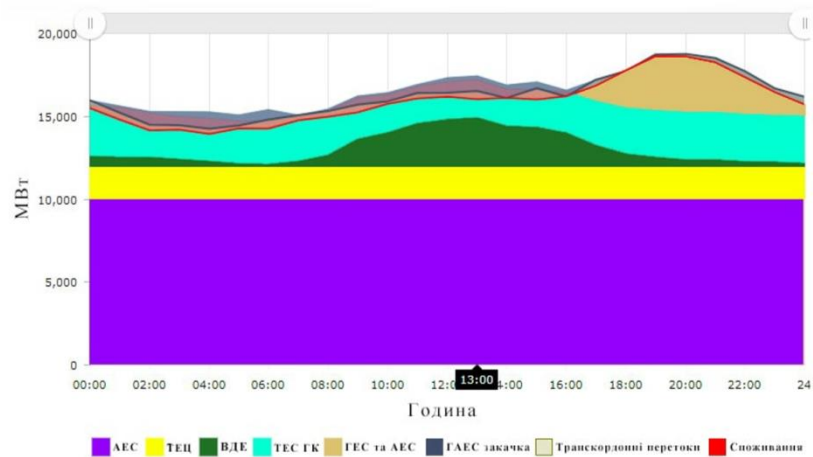


Рис. 2.5 – Добовий графік виробництва та споживання електроенергії за 15.03.2020 року

16

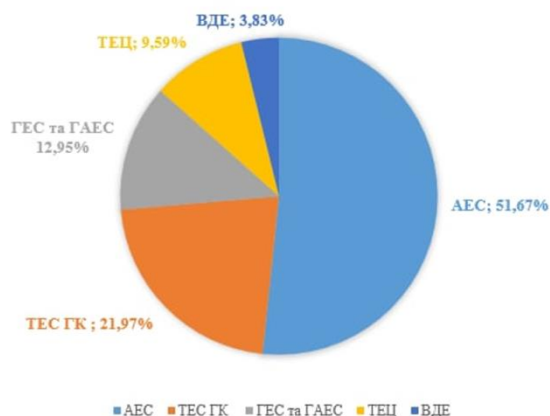


Рис. 2.6 – Структура генерації ОЕС України на максимум електроспоживання станом на 08.03.2021 року за даними НЕК «УКРЕНЕРГО»

17

Висновки:

Дана магістерська робота була розроблена з метою аналізу стану використання тренажерів керування нормальними режимами електроенергетичної системи з відновлювальними джерелами енергії. Представлено класифікацію та стан розроблення та використання диспетчерських тренажерів. Розглянуто дослідження сучасних методів і засобів побудови комп'ютерних тренажерних і навчальних систем та їх проблеми.

Проаналізувано структуру тренажера підготовки оперативного персоналу з функцією енергоринку на базі натурно-імітаційної моделі ЕЕС.

Отримали методи розв'язання поставлених задач для роботи тренажера оптимального керування ЕЕС.

18