



DOI 10.28925/2663-4023.2024.25.253278

УДК 004.4

Вінтенко Борис Юрійович

аспірант кафедри інформаційної безпеки та комп'ютерної інженерії
Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Україна
провідний інженер-програміст КБ АСУ ТП ПАТ
«Науково-виробниче підприємство «Радій», Кропивницький, Україна
ORCID ID: 0009-0008-3748-0374
boris.vintenko@gmail.com

Миронець Ірина Валеріївна

к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційної безпеки та комп'ютерної інженерії
Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Україна
ORCID ID: 0000-0003-2007-9943
i.myronets@chdtu.edu.ua

Смірнов Олексій Анатолійович

д.т.н., професор, завідувач кафедри кібербезпеки та програмного забезпечення
Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна
ORCID ID: 0000-0001-9543-874X
dr.smirnova@gmail.com

Коваленко Олександр Володимирович

д.т.н., професор, доцент кафедри кібербезпеки та програмного забезпечення
Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна
ORCID ID: 0000-0001-9297-0650
dr.kovalenkoov@gmail.com

Смірнов Сергій Анатолійович

к.т.н., доцент, доцент кафедри кібербезпеки та програмного забезпечення
Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна
ORCID ID: 0000-0002-7649-7442
smirnov.ser.81@gmail.com

Буравченко Костянтин Олегович

к.т.н., доцент кафедри кібербезпеки та програмного забезпечення
Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна
ORCID ID: 0000-0001-6195-7533
buravchenkok@gmail.com

Якименко Наталія Миколаївна

к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедри кібербезпеки та програмного забезпечення
Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна
ORCID ID: 0000-0002-4498-0093
yakimenko_nm@ukr.net

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕГЛАМЕНТІВ ПРОЦЕСІВ КЕРУВАННЯ КРИТИЧНОЮ ІНФРАСТРУКТУРОЮ ЕНЕРГОБЛОКУ АЕС З РЕАКТОРОМ ТИПУ ВВЕР-1000

Анотація. Наведено короткий огляд технологічних процесів критичної інфраструктури енергоблоку АЕС з реактором типу ВВЕР-1000 на прикладі енергоблоків 1, 2 Південноукраїнської АЕС. Метою даної статті є дослідження організації керування енергоблоком в різних режимах, аналіз структури та об'єму інформації, що надається оперативному персоналу від інформаційно-керуючої системи, цифрових програмно-технічних комплексів та інших систем, а також аналіз складності технологічних регламентів, за якими відбувається керування енергоблоком АЕС. Об'єктом дослідження є процес



інформаційного забезпечення та технологічні регламенти, за яким відбувається керування енергоблоком АЕС. Предметом дослідження є інтенсивність та складність процесів прийняття рішень оперативним персоналом АЕС при керуванні енергоблоком. У даній роботі розв'язані наступні завдання: Досліджено організацію процесу керування енергоблоком; Розглянуті основні інформаційно-керуючі системи та програмно-технічні комплекси енергоблоку, а також засоби їх взаємодії з оперативним персоналом; Розглянута інформаційну модель, яка використовується оперативним персоналом при керуванні енергоблоком. Для цього було визначено показники інформаційної моделі, яка використовується оперативним персоналом для прийняття рішень при керуванні енергоблоком та визначено об'єм органів керування, з якими взаємодіє оперативний персонал для керування енергоблоком. Проаналізовано структуру технологічних регламентів та інструкцій з керування енергоблоком і визначити об'єм та складність цих документів; Визначено доцільність досліджень щодо покращення процесів керування енергоблоком АЕС, а саме: у напрямку подальших досліджень будуть розглянуті системи підтримки оперативного персоналу, їх класифікація, функції та досвід застосування на АЕС України, з метою визначення актуальних напрямків проектування таких систем. Необхідно визначити, які системи підтримки впроваджені або розробляються на теперішній час, які складнощі виникають у оперативного персоналу під час керування енергоблоком, які з них можуть бути розв'язані за допомогою систем підтримки.

Ключові слова: безпека критичної інфраструктури; атомні електростанції; інформаційно-керуючі системи; програмно-технічні комплекси; інформаційна модель; технологічний регламент; енергетика.

ВСТУП

Постановка завдання дослідження. На сьогоднішній день значна кількість електричної енергії в світі виробляється атомними електростанціями. Це ефективний та дешевий спосіб виробництва електроенергії. Станом на 2024 рік Україна експлуатує 9 енергоблоків АЕС загальною потужністю близько 8 ГВт (без урахування потужностей тимчасово окупованої Запорізької АЕС).

АЕС є високотехнологічними промисловими підприємствами критичної інфраструктури, для керування якими використовуються як інформаційно-керуючі системи (ІКС) та цифрові програмно-технічні комплекси (ПТК), так і праця великої кількості оперативного персоналу (ОП). Автоматизовані системи на енергоблоці виконують наступні задачі: збір та обробка первинних даних, аналіз та відображення даних, контроль стану технологічних процесів, забезпечення захисту та безпеки, забезпечення нормальної експлуатації.

Кількість цифрових ПТК на енергоблоках зростає завдяки активному проведенні модернізації АЕС, які проводяться в Україні та світі. Наприклад, починаючи з 2004 року, на Південноукраїнській АЕС було модернізовано системи аварійного захисту, безпеки, нормальної експлуатації, контролю нейтронного потоку, тобто фактично всі системи, важливі для безпеки. Модернізовані цифрові ПТК мають можливість обробляти та аналізувати значно більшу кількість технологічних параметрів у порівнянні з системами попередніх поколінь, мають більшу точність та швидкість роботи. Вони надають ОП все більшу кількість інформації у вигляді цифрових даних, графіків, звітів, сигналів.

Водночас значна кількість задач з аналізу інформації, прийняття рішень та керування виконується ОП. Для керування енергоблоком ОП використовуються розроблені та затверджені технологічні регламенти та інструкції. Саме людина є головною ланкою в процесі керування АЕС, що може забезпечити правильне прийняття рішень в різних ситуаціях.



Постановка проблеми. З ростом кількості даних, суттєво збільшується кількість інформації про стан реактора та іншого технологічного обладнання енергоблоку, що безперервно надходить до ОП у кожний окремий проміжок часу. Відповідно до цього, процес її аналізу та прийняття рішень стає більш складним для людини і вимагає більш фахової підготовки. Крім того, для керування енергоблоком використовуються складні технологічні регламенти. Виходячи з викладеного, дослідження процесу керування енергоблоку з метою підвищення ефективності та зменшення трудомісткості прийняття рішень ОП АЕС стає актуальною науковою задачею.

У даному дослідженні необхідно розв'язати наступні завдання:

1. Дослідити організацію процесу керування енергоблоком.
2. Розглянути основні інформаційно-керуючі системи та програмно-технічні комплекси енергоблоку, а також засоби їх взаємодії з ОП.
3. Розглянути інформаційну модель, яка використовується ОП при керуванні енергоблоком. Для цього необхідно:
 - визначити показники інформаційної моделі, яка використовується ОП для прийняття рішень при керуванні енергоблоком;
 - визначити об'єм органів керування, з якими взаємодіє ОП для керування енергоблоком.
4. Проаналізувати структуру технологічних регламентів та інструкцій з керування енергоблоком і визначити об'єм та складність цих документів.
5. Визначити доцільність досліджень щодо покращення процесів керування енергоблоком АЕС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для проведення досліджень було використані джерела, вказані в списку літератури [1] – [20]. Слід відмітити, що існує певний дефіцит загальнодоступних україномовних та англійськомовних наукових джерел щодо АЕС з реактором ВВЕР-1000 через успадкування технологій від розроблених за часів СРСР. Тому, крім загальнодоступних видань, була використана інформація з технічних завдань (ТЗ) на розробку ПТК науково-виробничим підприємством «Радій», технічної документації ВП «ПАЕС» та ВП «РАЕС», матеріали навчально-тренувального центру ВП «РАЕС», а також інформація, отримана під час особистих досліджень на майданчиках АЕС України.

Метою статті є дослідження організації керування енергоблоком в різних режимах, аналіз структури та об'єму інформації, що надається ОП від ІКС, ПТК та інших систем, а також аналіз складності технологічних регламентів, за якими відбувається керування енергоблоком АЕС.

Об'єктом дослідження є процес інформаційного забезпечення та технологічні регламенти, за яким відбувається керування енергоблоком АЕС.

Предметом дослідження є інтенсивність та складність процесів прийняття рішень ОП АЕС при керуванні енергоблоком.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Керування технологічними процесами енергоблоку АЕС з реактором типу ВВЕР-1000

Огляд технологічних процесів енергоблоку

Технологічні процеси, що протікають на АЕС, у великому обсязі описані в джерелах з опису реакторних установок, довідковій літературі та навчальних посібниках

[Error! Reference source not found.], [Error! Reference source not found.]. Наведемо основну інформацію про склад основного обладнання та функціонування АЕС.

Енергоблок АЕС з реактором типу ВВЕР-1000 складається головному корпусу, до складу якого входить реакторне відділення (РВ) та турбінне відділення (ТВ). В РВ розміщується реакторна установка (РУ), головні циркуляційні насоси (ГЦН), парогенератори (ПГ), компенсатор тиску (КТ), системи контролю, безпеки та керування. До складу ТВ входить машинний зал, деаераторна етажерка та етажерка електричних пристроїв. В машинному залі знаходиться турбінна установка та електричний генератор.

Енергоблок працює за двоконтурною схемою. Перший контур включає в себе реактор, циркуляційні петлі з насосами та парогенераторами, систему підтримки тиску, систему підживлення та продувки та інші системи, що забезпечують нормальну експлуатацію та безпеку.

В корпусі реактора знаходиться активна зона. В якості пального виступає низькозбагачений оксид урану, що міститься у тепловиділяючих збірках (ТВЗ), складених з тепловиділяючих елементів (ТВЕЛів). В деяких збірках передбачене переміщення органів регулювання (ОР), що складаються з стрижнів, що поглинають нейтрони. Переміщення відбувається за допомогою системи управління та захисту (СУЗ).

Через реактор прокачується теплоносій — вода. Нагрітий за рахунок реакції ділення ядерного палива до 320 градусів теплоносій поступає до парогенераторів, де передає тепло воді другого контуру. Циркуляція теплоносія відбувається завдяки чотирьом головним циркуляційним насосам (ГЦН). Підтримка та регулювання тиску відбувається системою, до складу якої входять компенсатор тиску (КТ) та барботажний бак. Об'єм теплоносія та концентрація борної кислоти регулюються системою підживлення-продувки та системою борного регулювання.

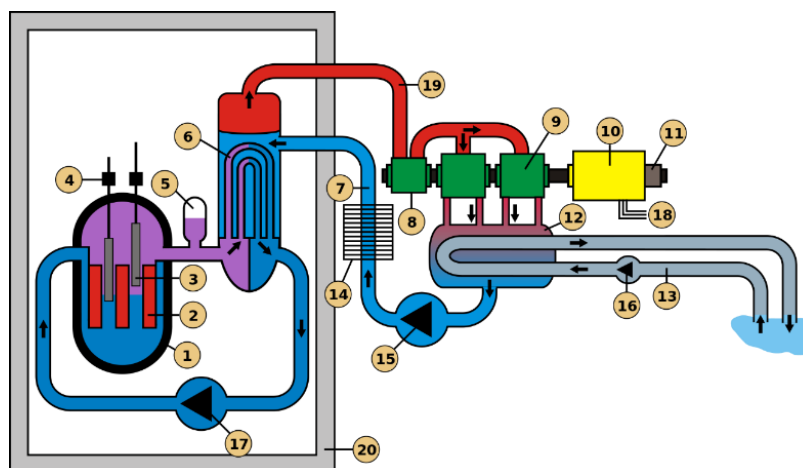


Рис. 1. Загальна схема енергоблоку АЕС

Умовна схема енергоблоку з водо-водяним реактором: 1 — реактор, 2 — паливо, 3 — регулювальні стрижні, 4 — приводи СУЗ, 5 — компенсатор тиску (КТ), 6 — теплообмінні трубки парогенератора, 7 — подача живильної води в парогенератор, 8 — циліндр високого тиску турбіни (ЦВТ), 9 — циліндр низького тиску турбіни (ЦНТ), 10 — генератор, 11 — збудник, 12 — конденсатор, 13 — система охолодження конденсаторів турбіни, 14 — підігрівачі, 15 — турбоживильний насос, 16 — конденсатний насос, 17 — головний циркуляційний насос (ГЦН), 18 — підключення генератора до мережі, 19 — подача пари на турбіну, 20 — гермо оболонка.



До складу обладнання другого контуру входить турбінна установка з додатковим обладнанням, електрогенератор, підсистеми паропроводів, продувки парогенераторів, запобіжні пристрої.

Відпрацьований після турбіни пар передається до конденсатору. Після конденсації та очищення від газів за допомогою деаераторів вода подається турбінноживильними насосами (ТЖН) до парогенераторів.

Турбінна установка приводить в дію трифазний електричний генератор. Активна потужність генератора складає 1000 МВт, напруга — 24 кВ. До генератора через вимикачі приєднані трансформатори, що забезпечують підвищення напруги до значень 110–750 кВ для видачі в мережу.

Спрощена технологічна схема енергоблоку приведена на рис. 1 [**Error! Reference source not found.**].

Крім вищезгаданих технологічних систем, що забезпечують перетворення енергії з одного виду в інший та передачу речовини, до складу енергоблоку входить велика кількість іншого технологічного обладнання, що забезпечує безпечне функціонування основних систем.

Системи енергоблоку та їх рівні

Енергоблок АЕС складається з великої кількості технологічних систем. Кожна система характеризується різноманітними ознаками, зокрема призначенням, впливом на безпеку, характером виконаних функцій, технологічними межами та умовами спрацювання [**Error! Reference source not found.**].

За призначенням системи розподіляються на системи нормальної експлуатації та системи безпеки. До систем безпеки відносяться системи для аварійної зупинки і підтримки реактора у підкритичному стані, відведення тепла, утримання температури та тиску технологічної рідини в допустимих межах та інші, що забезпечують попередження аварій та послабляють їх наслідки. Всі інші системи відносяться до систем нормальної експлуатації. За впливом на безпеку системи поділяються на системи, важливі для безпеки та ті, що не впливають на безпеку. В свою чергу, системи важливі для безпеки за характером виконуваних функцій поділяються на захисні, системи локалізації або забезпечення. Наприклад, важливими для безпеки системи нормальної експлуатації реакторного відділення є реактор, головні циркуляційні насоси, парогенератор, компенсатор тиску, система керування та захисту тощо. Важливими для безпеки захисними системами є система аварійного розхолодження, система аварійного газовидалення, система аварійного електропостачання, спринклерні системи тощо.

Технологічні межі визначають зв'язки кожної системи з обладнанням та іншими підсистемами. Наприклад, системи гідроємностей YТ11-14 взаємодіють з корпусом реактора, системою підживлення ТК, системою подачі азоту TP, системою аварійного розхолодження TQ, системами енергоживлення тощо.

Кожна система має визначені межі безпечної експлуатації. Однією з задач керування кожною системою є підтримка даних меж. Наприклад, при роботі енергоблоку на потужності для системи гідроємностей YТ11-14 рівень водного розчину НЗВОЗ має підтримуватися на рівні від 7350 до 7550 мм.

Також кожна система має визначені режими функціонування. Для системи безпеки такими режимами є режим чергування та режим роботи під час аварії. Для системи нормальної експлуатації такими режимами є режим роботи, зупинки та аварійні режими.



Характеристики технологічних систем описані в документації розробників, наприклад [**Error! Reference source not found.**], навчальній літературі [**Error! Reference source not found.**].

Використовуючи функції та межі технологічних систем, їх можна розподілити на технологічні рівні: основні та допоміжні системи, системи вищого та нижчого рівня. Наприклад, для реакторного відділення як системи верхнього рівня системою нижчого рівня є система управління та захисту (СУЗ), система циркуляції теплоносія, система компенсації тиску. В свою чергу, для СУЗ системами нижчого рівня є система аварійного та попереджувального захисту (АЗ-ПЗ), система керування органами регулювання (ОР СУЗ) тощо.

Інформаційні та керуючі системи

Для керування усім технологічним обладнанням на енергоблоці залучена велика кількість інформаційних та керуючих систем.

Інформаційні та керуючі системи (ІКС) виконують функції управління, контролю та (або) спостереження за певною частиною технологічного процесу. Вони можуть бути засновані на електричній, електронній або програмованій технології. ІКС, що являють собою сукупність технічних засобів, сервісного обладнання, програмного забезпечення та документації, називають програмно-технічними комплексами (ПТК).

Всі ІКС, подібно до технологічних, діляться на два класи: нормальної експлуатації та системи безпеки. Класифікація систем за впливом на безпеку передбачена в [**Error! Reference source not found.**].

Перелік та основні характеристики ІКС на основі ПТК, з якими взаємодіє ОП, на прикладі енергоблоку Південноукраїнської АЕС наведений нижче.

– ПТК АЗ-ПЗ (аварійний та попереджувальний захист) [**Error! Reference source not found.**] забезпечує автоматичний безперервний контроль параметрів та стану основного обладнання реакторної установки. Ініціює дії аварійного або попереджувального захисту на ОР СУЗ інші системи енергоблоку при виявленні будь-якої з визначених алгоритмами роботи умови. З метою резервування захисту на енергоблоці функціонують два ПТК АЗ-ПЗ — основний та диверсний.

– ПТК АРП-РОП-ППЗ (автоматичне регулювання, розвантаження і обмеження потужності, прискорений попереджувальний захист) [**Error! Reference source not found.**] забезпечує автоматичне керування потужністю реактора, обмеження потужності та прискорене розвантаження реактора при відхиленні контрольованих параметрів від допустимих меж, а також прискорене розвантаження у разі нештатних вимкнень основного обладнання.

– ПТК СГІУ (система групового та індивідуального керування) [**Error! Reference source not found.**] забезпечує контроль та переміщення органів регулювання (ОР СУЗ) в активній зоні реактора відповідно до встановлених алгоритмів переміщення груп. В реакторі ВВЕР-1000 знаходиться 61 привід ОР СУЗ, які об'єднані у 10 груп.

– ПТК АКНП (апаратура контролю нейтронного потоку) [**Error! Reference source not found.**] призначена для прийому та обробки сигналів датчиків щільності нейтронного потоку в активній зоні реактора, розрахунку потужності нейтронного потоку та періоду змінення.

– ПТК СВРК (система внутрішньореакторного контролю) [**Error! Reference source not found.**] забезпечує контроль нейтронно-фізичних та теплогідрравлічних параметрів першого контуру реакторної установки (РУ), а також інформаційну підтримку оператора для оптимізації протікання технологічних процесів РУ.

– ПТК КСБ (керуюча система безпеки) [Error! Reference source not found.], ПТК СНЕ РВ (система нормальної експлуатації реакторного відділення) [Error! Reference source not found.], ПТК СНЕ ТВ (система нормальної експлуатації турбінного відділення) [Error! Reference source not found.] призначені для реалізації схем автоматичного та дистанційного керування запірною арматурою, регулюючою арматурою, механізмами, сигналізацією процесу, формуванням команд технологічного захисту та блокувань технологічних систем.

Кожний ПТК виконує сповіщення персоналу БЦУ та РЦУ про отримання команд, виявлення вихідних подій, порушення проєктних лімітів та умов нормальної та безпечної експлуатації, видачу команд захисних або керуючих дій. В кожному ПТК відбувається безперервне архівування та відображення інформації про всі вхідні події, стан контрольованих параметрів, видані команди. Також відбувається безперервне технічне діагностування стану технічних засобів та сповіщення ОП про порушення. Дані про події, контрольовані параметри та команди також передаються в суміжні системи за допомогою електричних та/або цифрових ліній зв'язку.

Організація процесів керування енергоблоком АЕС

Складність керування АЕС обумовлює наявність в ній ролі людей-операторів, тобто оперативного персоналу (ОП). ОП призначений для цілодобового чергування на постах керування технологічними процесами та обладнанням. Склад ОП, що працює одночасно, називається оперативною зміною. Основний ОП знаходиться на блочному щиті управління — БЦУ. Спрощена структура оперативної зміни енергоблоку з реактором ВВЕР-1000 приведена на рис. 2.

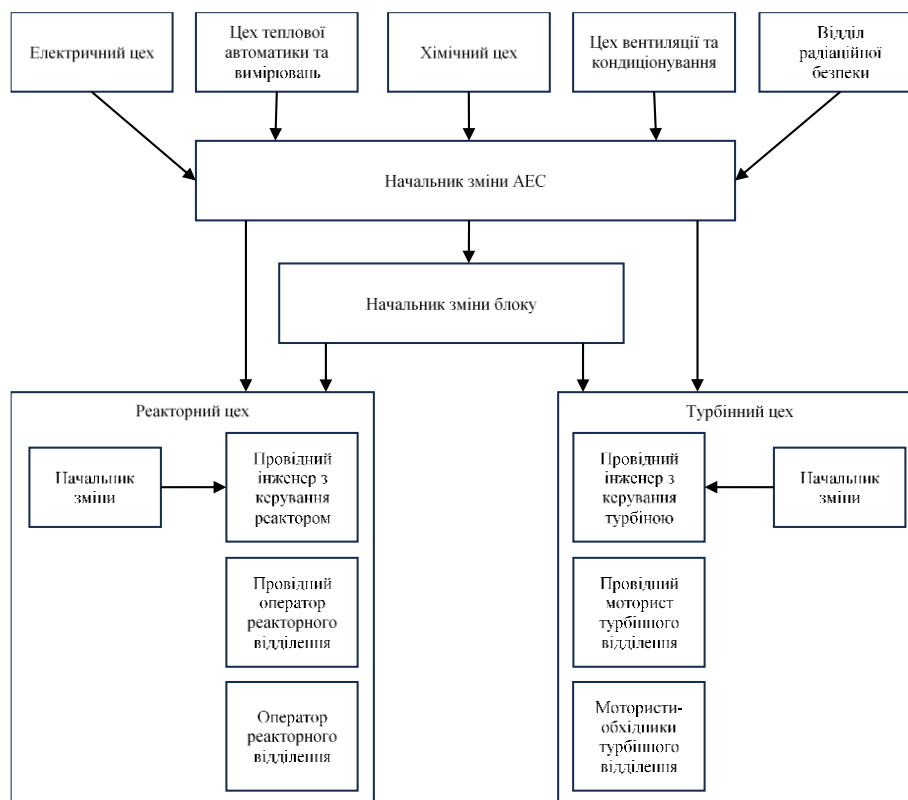


Рис. 2. Структура зміни ОП енергоблоку АЕС

Оперативне керування експлуатацією станції виконує начальник зміни АЕС. Він відповідає за координацію роботи всіх підрозділів та взаємодію АЕС з електромережою країни. Начальнику зміни АЕС підпорядковуються начальники змін блоків (НЗБ). Їх задача — оперативне керування експлуатацією блоку відповідно до графіка навантаження. Вони керують операціями з пуску, зупинки та зміни режимів роботи блоків.

НЗБ є одним з основних операторів АЕС. Він знаходиться на блочному щиті управління — БЩУ (рис. 3). Також разом з ним на БЩУ працюють два інших основних оператора — провідний інженер управління реактором (ПІУР) та провідний інженер керування турбіною (ПІУТ). Задача ПІУР — оперативне керування ядерним реактором, ПІУТ — керування турбоагрегатом та його системами. Також на БЩУ можуть бути присутніми начальники змін реакторного та турбінного цеху (НЗРЦ та НЗТЦ), які можуть підмінити ПІУР та ПІУТ за необхідності. Під час виникнення аварійних ситуацій або порушень в роботі енергоблоку НЗРЦ на НЗТЦ допомагають операторам та контролюють їх дії.



Рис. 3. БЩУ енергоблоку АЕС

Керування енергоблоком відбувається за допомогою автоматизованих керуючих систем та регуляторів, зокрема реалізованих в ПТК. Але якщо в аварійній ситуації втручання в роботу систем безпеки не передбачене, то за умови роботи обладнання в режимах, що не відносяться до аварійних, ОП виконує роль контролюючого та вирішального органу, що може у будь-який момент часу прийняти окремі рішення та дії, втрутитися в роботу обладнання за допомогою ручних органів керування та змінити хід технологічних процесів.

ОП виконує задачі з керування блоком згідно інформації про стан технологічних систем та режими їх роботи (інформаційної моделі енергоблоку) з використанням технологічних регламентів та інструкцій. Регламенти та інструкції — це сукупність документів, що містять інформацію стосовно протікання технологічних процесів на

обладнанні та дії ОП у штатних режимах, а також при порушеннях штатних режимів чи виникненні аварії будь-якого рівня значення (до максимальної проєктної аварії — МПА), а також визначають необхідні дії ОП в конкретних ситуаціях. ОП не має права відступати від регламентів під час керування.

Модель діяльності ОП згідно наведеної послідовності приведена на рис. 4.

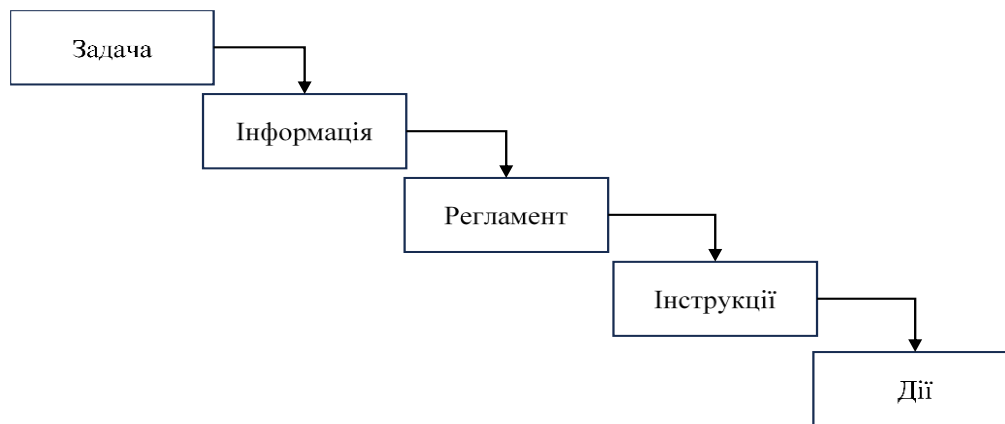


Рис. 4. Модель діяльності ОП при керуванні

Згідно проведених досліджень, задачі керування енергоблоком можуть бути розподілені на два класи: нормальної експлуатації та ліквідація порушень. До задач нормальної експлуатації відноситься підтримання умов безпечної експлуатації в основних станах та перехідних режимах енергоблоку. Дані стани визначені технологічним регламентом безпечної експлуатації (ТРБЕ) [Error! Reference source not found.]. Задачі ліквідації порушень описані в інструкції з ліквідації порушень нормальної експлуатації (ІЛП) [Error! Reference source not found.] та інструкції з ліквідації аварій та аварійних ситуацій (ІЛА) [Error! Reference source not found.]. Ці задачі виникають під час виходу параметрів роботи енергоблоку за межі безпечної експлуатації та мають на меті повернення їх до вказаних меж, а в разі неможливості цього — зупинку подальшого розвитку порушення.

Крім наведених основних, виділяються допоміжні задачі ОП, наприклад передпускові та періодичні випробування обладнання. Вони також описані в інструкціях, проте їх дослідження виходить за рамки мети даної роботи.

В наступних розділах виконаний більш детальний аналіз інформаційної моделі енергоблоку та технологічного регламенту.

Інформаційна модель енергоблоку АЕС

Структура інформаційної моделі

Оператори взаємодіють з об'єктом керування не безпосередньо, а з використанням інформаційної моделі. До складу інформаційної моделі енергоблоку АЕС входять:

- прилади, що вимірюють технологічні параметри (рис. 5);
- світлові табло відображення порушень протікання технологічних процесів (рис. 6);
- мнемосхеми з індикаторами стану та органами керування (рис. 7);
- монітори відображення інформації від ПТК (рис. 8);
- звукова сигналізація для привертання уваги ОП.



Рис. 5. Прилади БЩУ



Рис. 6. Табло сигналізації

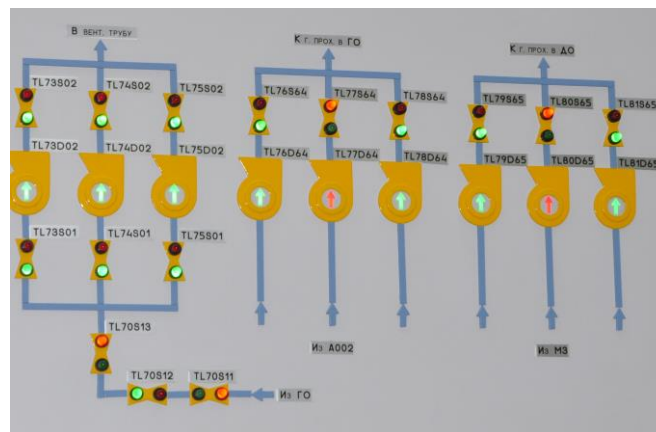


Рис. 7. Мнемосхема

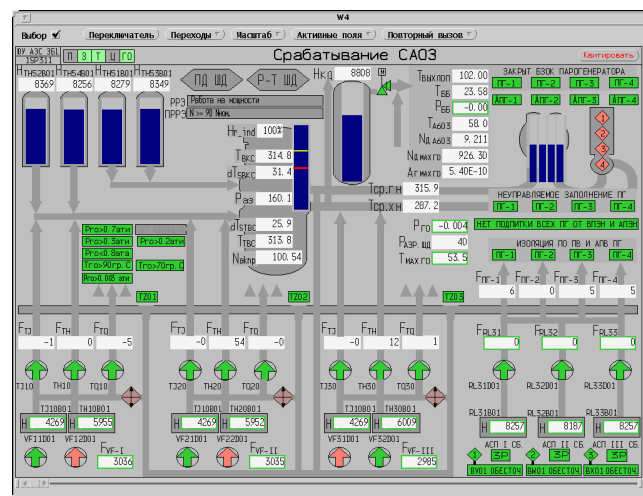


Рис. 8. Відеокадр монітору

За допомогою органів керування, таких як ключі або кнопки (рис. 9), оператори виконують дії з керування енергоблоком.



Рис. 9. Органи керування на БЦУ

Всі елементи інформаційної моделі та ключі керування розміщені на оперативних панелях. Кожна панель БЦУ (рис. 10) має власний ідентифікатор, призначена для виконання окремих визначених функцій та пов'язана з визначеними технологічними системами.



Рис. 10. Оперативна панель БЦУ

Схематично модель БЦУ енергоблоку з розташуванням оперативних панелей керування та моніторів приведена на рис. 11. Кольорами позначені зони керування: жовтий — РВ, сірий — ТВ, зелений — начальник зміни.

На лівій частині БЦУ розташоване обладнання, що відноситься до керування реактором, на правій частині — до керування турбіною та електрогенератором. ПШУР взаємодіє з панелями ПТК реакторного відділення СУЗ (АЗ, АРМ-РОМ, СГІУ), СВРК, СНЕ РО, КСБ. ПШУТ взаємодіє з панелями ПТК турбінного відділення (СНЕ ТО, САР, СРТ). Всі оператори мають доступ до моніторів з інформацією від системи ІОС.

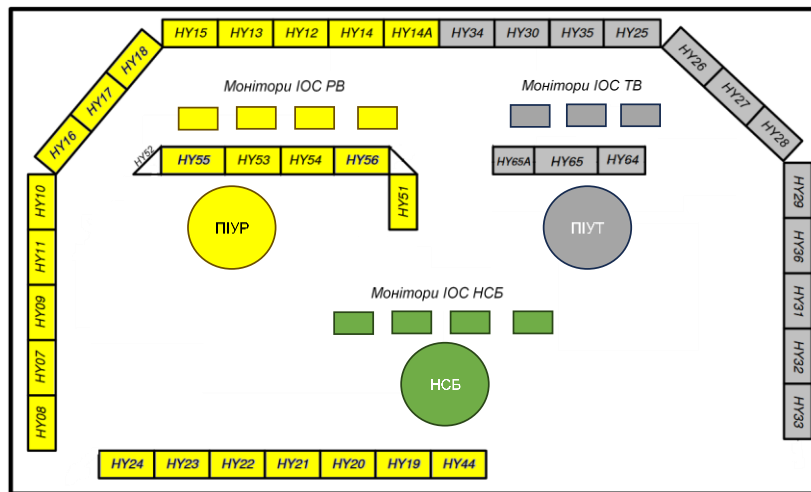


Рис. 11. План БЦУ енергоблоку АЕС

Характеристики інформаційної моделі

Для визначення характеристик інформаційної моделі керування енергоблоком необхідно визначити параметри кожної оперативної панелі.

В табл. 1 наведені параметри оперативних панелей РВ БЦУ.

Таблиця 1

Оперативні панелі РВ БЦУ

Панель	Системи	Табло	Прилади	Ключі
HY08	СНЕ РВ (Спецгазоочистка)	0	3	100
HY07	СНЕ РВ (Баки)	68	2	97
HY09	СНЕ РВ (Промконтур)	11	7	79
HY11	СНЕ РВ (Спецводоочищення, оргпротічки)	7	9	62
HY10	СНЕ РВ (Підживлення-продувка 1к)	7	7	79
HY16	АЗ-ПЗ (1к.), АКНП(1к.)	43	27	6
HY17	АРП-РОП-УПЗ, ОР СУЗ	23	61 (10 груп)	7
HY18	АЗ-ПЗ (2к.), АКНП(2к.)	43	27	6
HY15	СНЕ РВ (Параметри РУ)	23	8 + монітор	61
HY13	СНЕ РВ (ГЦН)	31	12 + монітор	86
HY12	СНЕ РВ, КСБ-1,3 (КД, САОЗ)	27	14 + монітор	118
HY14	СНЕ РВ, КСБ-1 (ПГ)	44	6 + монітор	94
HY14A	СНЕ РВ (ПГ)	18	9 + монітор	35
HY52	АКНП (1, 2к.)	2	8 + 2 монітори	13 кнопок
HY55	АЗ, АРМ, СГІУ	0	2 монітори	13
HY53	АЗ, АРМ, СГІУ	0	4	24
HY56	АРМ СНЕ РВ, САР РВ	0	0	15
HY51	АРМ СНЕ РВ, САР РВ	0	2 монітори	0
HY24	КСБ-3	82	2 пульти	98
HY23	КСБ-3	88	0	152
HY22	КСБ-2	63	22 + 3 пульти	87
HY21	КСБ-2	54	10	60
HY20	КСБ-1	84	23 + 2 пульти	93
HY19	КСБ-1	92	11	165

ПРИМІТКА. Більшість ключів має 2 індикатори, «увімкнено» та «вимкнено».



В табл. 2 наведені характеристики оперативних панелей ТВ БЩУ.

Таблиця 2

Оперативні панелі ТВ БЩУ

Панель	Системи	Табло	Прилади	Ключі
НУ34	СНЕ ТВ (ТПН-А, ВПЕН-1)	32	16	48
НУ30	СНЕ ТВ (Система деаерації)	17	5	40
НУ35	СНЕ ТВ (ТПН-Б, ВПЕН-2)	31	16	41
НУ25+Р	СНЕ ТВ (Захист ТГ)	76	12	10
НУ26+Р	СНЕ ТВ (Турбіна, дренаж ТГ)	53	3	61
НУ27+Р	СНЕ ТВ (СПП)	35	5	35
НУ28+Р	СНЕ ТВ (Конденсаційна система)	23	7	80
НУ29	СНЕ ТВ (ПНТ)	6	6	29
НУ36	СНЕ ТВ (ПВТ)	2	7	32
НУ31	СНЕ ТВ (Змашування ТГ)	16	0	70
НУ32+Р	СНЕ ТВ (Генератор)	65	0	2
НУ33	СНЕ ТВ (Генератор)	16	0	2
НУ65А	САР ТО	0	Монітор САР	0
НУ65	СНЕ ТО	0	0	61
НУ64	СРТ	5	Монітор СРТ	3
НУ44	СНЕ ТО (Дизель-генератори)	8	0	2

ПРИМІТКА. Більшість ключів має 2 індикатори, «увімкнено» та «вимкнено».

Загалом, всього до РВ відноситься 24 панелі, на яких розміщені до 61 приладу, 90 елементів табло та 80 органів керування. До ТВ відноситься 16 панелей, на яких розміщені до 16 приладів, до 76 елементів табло та до 80 органів керування.

Крім оперативних панелей, на БЩУ знаходяться монітори, на яких відображаються технологічні відеокадри. ОП використовує інформацію з даних відеокадрів під час роботи. Джерелами інформації для відеокадрів є ІОС, а також ПТК енергоблоку.

Основним джерелом інформації на відеокадрах є ІОС, оскільки ця система містить найбільш повну інформацію про стан всіх параметрів блоку [**Error! Reference source not found.**].

В табл. 3 наведені характеристики деяких відеокадрів від ІОС.

Таблиця 3

Відеокадри ІОС

ІД	Призначення	Найменування	Параметрів
№11102	Система	«ПОЛЯРНА ДІАГРАМА. ВУЗЬКИЙ ДІАПАЗОН»	46
№11103	представлення	«ПОЛЯРНА ДІАГРАМА. ШИРОКИЙ ДІАПАЗОН»	58
№11104	параметрів	«ПОЛЯРНА ДІАГРАМА. ХОЛОДНИЙ ЗУПИН»	42
№11108	безпеки	«СТАН КФБ»	119
№11201	(СППБ)	«РЕАКТОРНА УСТАНОВКА»	168
№11203		«ДЕРЕВО КФБ. ПІДКРИТИЧНІСТЬ»	1
№11204		«ДЕРЕВО КФБ. ОХОЛОДЖЕННЯ АКТИВНОЇ ЗОНИ»	1
		Всього в підсистемі: 37 відеокадри	
№1000	РЦ	«ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ БЛОКУ»	111
№1001	Реакторний	«ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ БЛОКУ ГР. 2»	119
№1007	Цех	«ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ БЛОКУ ГР. 3»	107
№2001		«КОМПЕНСАТОР ТИСКУ»	94
№2002		«ТН10D01 TQ10D01»	93



ІД	Призначення	Найменування	Параметрів
№2005		«ТЕМПЕРАТУРНИЙ КОНТРОЛЬ ТН ТЈ TQ10D01»	46
		Всього в підсистемі: 84 відеокадри	
№2501	ТЦ	«ТРУБОПРОВОДИ ЦИРКВОДИ»	41
№2502	Турбінний	«БРУ-РТД, БРУ-К, РУ-СН»	32
№2503	Цех	«ПАРОГЕНЕРАТОР-1»	45
№2507		«КОНДЕНСАТОР»	44
№2508		«ВПЕН-1, 2»	49
№2509		«2 КОНТУР ФОРМА 1»	64
№2510		«2 КОНТУР ФОРМА 2»	77
№2511		«ТРУБОПРОВОДИ ТПН-А»	32
№2512		«ТРУБОПРОВОДИ ТПН-Б»	32
		Всього в підсистемі: 53 відеокадри	
№2701	ХЦ	«ХІМКОНТРОЛЬ КОНДЕНСАТНОГО ТРАКТУ»	79
№2702	Хімічний	«ХІМКОНТРОЛЬ КІПТ»	51
№2704	цех	«ХІМКОНТРОЛЬ 2 КОНТУРУ»	86
№2705		«ХІМВОДООЧИЩЕННЯ»	27
		Всього в підсистемі: 7 відеокадрів	
№2801	ЕЦ	«СХЕМА ВЛАСНИХ ПОТРЕБ БЛОКУ»	48
№2802	Електричний	«СХЕМА ВА01-BV01»	122
№2803	цех	«СХЕМА ВВ01-BW01»	129
№2804		«СХЕМА ВС01-BX01»	113
		Всього в підсистемі: 11 відеокадрів	

Загалом, від ІОС надається 192 відеокадри, на кожному з яких відображається від 1 до 168 параметрів (в середньому 70).

Окремі ПТК також мають на БЩУ екрани, якими користується ОП при керуванні. Зокрема, такими ПТК є АКНП, СНЕ РО, СНЕ ТО, СПІУ.

В нормальному стані роботи енергоблоку (згідно ТРБЕ) ОП концентрує свою увагу на параметрах, що є найбільш важливими для безпеки та технологічних процесів: ПІУР — на стані нейтронного потоку та положенні ОР СУЗ, ПІУТ — на значеннях обертів турбіни та електричному навантаженні на генератор. При цьому всі табло вимкнені (принцип «темної панелі»). При виникненні порушення спрацьовує звукова сигналізація та вмикаються відповідні табло, що допомагає привернути увагу ОП до даної події та потрібних панелей. Також на засобах відображення від ІОС даються підказки, на який відеофрагмент ОП має переключити монітори. Після аналізу ситуації ОП має прийняти рішення та виконувати керівні дії за допомогою ключів керування.

Таким чином, інформаційна модель енергоблоку є складною і великою за обсягом, від ОП вимагається обробка великої кількості інформації. Спрощення цього процесу відбувається, зокрема, системою сигналізації. Проте, як показують проведені спостереження за роботою ОП, при перехідних процесах, виникненні порушення або тим більш аварійної ситуації, світлова та звукова сигналізація спрацьовує на багатьох панелях одночасно, що викликає ефект «світломузики». Тому для ОП важлива додаткова інформаційна підтримка.

Технологічні регламенти та інструкції з керування енергоблоком

Як було зазначено вище, в процесі прийняття рішень при керуванні енергоблоком ОП зобов'язаний діяти згідно нормативних документів – технологічних регламентів, і відступати від них не має права. В цих документах описані межі безпечної експлуатації, ознаки порушень та кроки з їх ліквідації.

**Регламент безпечної експлуатації**

Основним нормативним документом для ОП є **технологічний регламент безпечної експлуатації енергоблоку (ТРБЕ)** [Error! Reference source not found.]. ТРБЕ визначає межі та умови безпечної експлуатації енергоблоку, а також містить вимоги та основні прийоми безпечної експлуатації енергоблоку та загальний порядок виконання операцій, пов'язаних із безпекою АЕС. Межі та умови безпечної експлуатації визначаються як для основних станів, так і для перехідних процесів енергоблоку.

ТРБЕ є документом обсягом близько 300 сторінок. Кількість таблиць з межами безпечної експлуатації РУ — 10, при цьому в кожній таблиці міститься до 15 параметрів. Описано близько 50 систем енергоблоку, важливих для безпеки. Для кожної системи описано в середньому три таблиці з контрольованими параметрами, інформацією про відмови та іншими даними в різних режимах роботи. В кожній таблиці може міститися до 10 записів. Для окремих систем описано до 10 додаткових текстових правил. Описи послідовності дій ОП при перехідних процесах містять в середньому 10 пунктів різної складності.

Обмеження та умови керування блоком залежать від його стану. ТРБЕ визначає **8 основних станів блоку**: робота на потужності, мінімально-контрольований рівень потужності (МКР), гарячий зупин, напівгарячий зупин, зупин для випробувань, холодний зупин, зупин на ремонт, перевантаження палива.

Визначення **меж безпечної експлуатації (проектних меж) реакторної установки (РУ)** являє собою таблиці з назвами параметрів та їх допустимими значеннями, а також текстові пояснення. Такі межі наводяться для кожного з основних станів РУ.

Приклад таблиці, що визначає експлуатаційні межі РУ у певному стані, приведений в табл. 4.

Таблиця 4

Фрагмент ТРБЕ «Експлуатаційні межі за технологічними параметрами РУ у стані «МКР»

№ п/п	Найменування параметра	Значення параметра
1	Максимально допустима температура ТПК на вході в реактор (у «холодній» нитці будь-якої з петель ГЦК, що працюють)	289 °С
2	Тиск теплоносія над а.з. реактора	від 158 до 162 кгс/см ²
3	Рівень теплоносія у КТ, в межах	$H_{ном} (T_{1к.ср}) \pm 150$ мм
4	Тиск пари в працюючому ПГ	від 62 до 66 кгс/см ²
5	Рівень живильної води у ПГ, в межах	$H_{ном} \pm 75$ мм

Текстові пояснення вказуються у вигляді наборів правил, що виконуються при наявності певних умов. Умови можуть містити як числові показники, так і ознаки конкретних технологічних станів. Приклади текстових пояснень щодо меж безпечної експлуатації наведені на рис. 12.

<p>Регламентне положення ОР СУЗ :</p> <ul style="list-style-type: none"> • групи № 1÷9 – на ВКВ; • група № 10 (регулююча) – відповідно до наведеного графіка. <p>Допустимі та рекомендовані положення регулюючої групи ОР СУЗ встановлені для випадків, коли реактор більше 12 годин працює на постійному (відхилення від середнього в межах $\pm 2\% N_{ном}$) рівні потужності. У цих випадках групи 1-9 ОР СУЗ повинні знаходитись на ВКВ.</p> <p>...</p> <p>У разі досягнення величини $\sum A_{1к}^1$ значення $1,85 \times 10^7$ Бк/кг вводяться обмеження щодо зміни потужності РУ:</p> <ul style="list-style-type: none"> – забороняється зміна потужності енергоблока за вимогами диспетчерів енергосистеми (крім аварійних); – забороняється підвищення потужності РУ вище 80 % $N_{ном}$ (крім роботи АРП) до виконання умови: значення $\sum A_{1к}^1$ не перевищує $1,85 \times 10^7$ Бк/кг протягом 72 годин; <p>....</p> <p>10) При перевищенні «максимально допустимої» теплової потужності пристрій РОП, діючи на ОР СУЗ, повертає її до номінального рівня потужності. При відмові РОП дії оператора регламентуються згідно з таблицею 7.1-3 Регламенту.</p> <p>11) При перевищенні «дозволеної» теплової потужності, вимагається втручання оператора щодо переведення РУ на дозволений рівень потужності введенням ОР СУЗ робочої групи або зміною концентрації рідкого поглинача.</p>

Рис. 12. Фрагмент правил умов безпечної експлуатації

Умови безпечної експлуатації (УБЕ) для кожної системи, важливої для безпеки, містять встановлені проектом мінімальні вимоги:

- щодо характеристик (параметрів) систем (елементів);
- щодо кількості працездатних систем (елементів);
- щодо стану працездатності систем (елементів);
- щодо умов та періодичності технічного обслуговування систем (елементів).

Визначення УБЕ наводиться у вигляді таблиць та правил, описаних текстом. УБЕ можуть бути наведені для різних станів РУ.

Приклад фрагменту таблиці УБЕ для системи аварійного охолодження активної зони високого тиску ТQ приведений в табл. 5.

Таблиця 5

Фрагмент ТРБЕ «Контрольовані проєктні параметри»

№ п/п	Найменування параметра	Значення параметра	Обмеження у разі відхилення значення параметра
1	Рівень РБК в баку TQ13,23,33B01, не менше	95 см	Відповідний канал системи TQ13,23,33 вважається непрацездатним
2	Температура РБК в баку TQ13,23,33B01, не менше	55 °С	
3	Концентрація РБК в баку TQ13,23,33B01	від 39,5 до 44,5 г/дм ³	
4	Рівень РБК в баку TQ14,24,34B01, не менше	300 см	Відповідний канал системи TQ14,24,34 вважається непрацездатним
5	Температура РБК в баку TQ14,24,34B01, не менше	55 °С	
6	Концентрація РБК в баку TQ14,24,34B01	від 39,5 до 44,5 г/дм ³	

Приклад вимог щодо працездатності системи наведений на рис. 13.

<p>1 Робота на потужності, МКР, Гарячий зупин, Непівгарячий зупин</p> <p>7.3.1.1 У працездатному стані три канали систем TQ13,23,33 та TQ14,24,34, включаючи:</p> <ul style="list-style-type: none">• три насоси TQ13,23,33D01;• три насоси TQ14,24,34D01;• баки TQ13,23,33B01 та TQ14,24,34B01 систем;• арматуру, ЗВТ, сигналізацію, ТЗБ. <p>7.3.1.2 Виконані заходи для арматури на всасі насосів TQ13,23,33D01, TQ14,24,34D01, що унеможливають її хибне закриття.</p>

Рис. 13. Фрагмент ТРБЕ «Вимоги щодо працездатності систем»

Приклад фрагменту таблиці УБЕ у разі відмов наведений в табл. 6.

Крім умов та обмежень, ТРБЕ містить описи послідовності дій ОП при **перехідних режимах**. Опис послідовності дій містить ознаки початкового стану, умови, що дозволяють початок перехідного процесу, умови під час перехідного процесу, та ознаки кінцевого стану.

Приклад опису послідовності дій ОП при перехідних режимах наведений на рис. 14.

<p>1.1 5 Переведення РУ зі стану «Гарячий зупин» у стан «МКР»</p> <p>8.2.5.1 Початковий стан РУ:</p> <ul style="list-style-type: none">• реактор підкритичний;• концентрація РБК у ТПК від 16 до 20 г/дм³ після зупину на перевантаження або не менше мінімально-допустимої згідно з АНФХ у разі будь-якого іншого зупину;• ОР СУЗ на НКВ;• температура ТПК від 274 до 278 °С; <p>Умови, які дозволяють переведення РУ у стан «МКР»</p> <ul style="list-style-type: none">• дотримано умов безпечної експлуатації, які висувуються до систем та обладнання у стані «МКР», наведених у розділі 7;• в режимі «Чергування» три канала СБ;• в роботі не менше трьох ГЦН, а при першому виведенні на МКР потужності після ППР енергоблока з перевантаженням а.з. – всі 4 ГЦН; <p>Експлуатаційні умови під час виведення реактора на МКР потужності</p> <p>Значення верхньої межі пускового інтервалу концентрації борної кислоти в ТПК становить $S_{крит}+1$ г/дм³, значення нижньої межі дорівнює значенню розрахункової критичної концентрації борної кислоти в ТПК.</p> <p>8.2.5.4.9 МКР потужності реактора вважається досягнутим, якщо за допомогою АКНП зафіксовано потужність реактора в діапазоні значень від 10^{-5} до $10^{-3} \%N_{ном}$.</p> <p>Загальний порядок дій під час виведення реактора на МКР потужності:</p> <ul style="list-style-type: none">• виконати всі необхідні операції з підготовки до підйому ОР СУЗ відповідно до ІЕ;• розпочати послідовний підйом груп ОР СУЗ у порядку, встановленому ІЕ РУ; <p>Кінцевий стан РУ:</p> <ul style="list-style-type: none">• нейтронна потужність реактора від 10^{-5} до $2,0 \%N_{ном}$;• концентрація РБК у першому контурі поточна, що відповідає критичному стану;• тиск у першому контурі від 158 до 162 кгс/см²;• рівень у КТ Нном (Т1к.ср) ± 150 мм;

Рис. 14. Фрагмент ТРБЕ «Дії ОП при перехідних режимах»



Таблиця 6

Фрагмент ТРБЕ «УБЕ РУ у разі відмови в системах TQ13,23,33 та TQ14,24,34»

№ п/п	Непрацездатний елемент, порушення у роботі системи	Дії персоналу	Допустимий рівень потужності/стан РУ	Допустимий час непрацездатного стану	
1	Один канал системи TQ13,23,33 у разі відхилення параметрів до значень п/п 1, 2, 3 Таблиці 2.7.3–1 або у разі виникнення несправності, що призводить до непрацездатності каналу	Перевірити працездатність двох інших каналів системи. Усунути несправність	100 %N _{ном}	72 години	
		Працездатність не відновлено за 72 години.			
		Перевести РУ в регламентований стан. Усунути несправність	Холодний зупин	До усунення	

Ліквідація порушень нормальної експлуатації

Інструкція з ліквідації порушень (ІПП) [Error! Reference source not found.] призначена для організації безпечної оперативної ліквідації порушень нормальних умов експлуатації РУ, які можуть виникати під час експлуатації РУ в результаті дій одної з описаних вихідних подій.

В даному документі обсягом близько 300 сторінок описується близько 50 порушень нормальної експлуатації, розподілених на 7 категорій. Структура описів має типову форму, що складається з наступних частин:

- опис ситуації, в якій виникає порушення;
- можливі причини виникнення (може бути вказано до 10 причин, в середньому 1–3 причини);
- режими роботи енергоблоку, в яких може виникнути дане порушення;
- перелік ознак порушення. В даному переліку описуються зміни, які відбуваються під час виникнення порушення, та детальний опис стану параметрів, яким дане порушення характеризується. В даному переліку може міститися до 10 пунктів, в середньому 3–5. Ознаки можуть бути основними (які явно вказують на порушення) та додатковими (можуть вказувати на наявність порушення дотично, неявно і потребують додаткового аналізу та наявності досвіду ОП);
- порядок (алгоритм) ліквідації порушення, що складається з переліку негайних та наступних дій персоналу. Дії можуть бути класифіковані за такими категоріями як переконатися в певних ознаках, контролювати спрацювання захисних систем, подати команди на певні пристрої тощо.

При виконанні дій з ліквідації порушення можливий оптимістичний та песимістичний сценарій. За оптимістичного сценарію після з'ясування причини порушення та його усунення проводиться відновлення безпечних меж експлуатації та повернення його в рамки, описані ТРБЕ. За песимістичного сценарію можливе виникнення додаткових умов, що сигналізують про появу порушення іншого типу або, в разі погіршення ситуації, появу аварійної ситуації. При появі іншого порушення може бути передбачений перехід до інструкції з ліквідації іншого порушення. При появі аварійної ситуації вимагається припинення виконання дій, передбачених інструкцією, та перехід до дій, що описуються в симптомно-орієнтованій інструкції з ліквідації аварійних ситуацій (ІЛА).

Приклад інформації про порушення нормальної експлуатації наведений на рис. 15.

<p>Опис ситуації: порушення відведення тепла, що виділяється з поверхонь обладнання та трубопроводів, розташованих всередині герметичної оболонки</p> <p>Можливі причини:</p> <ul style="list-style-type: none"> – порушення у роботі систем 4TL01D01+06, 4TL03D01+03, 4TL04D01+03, 4TL05D01+03; – порушення у роботі каналів системи технічної води відповідальних споживачів VF10, VF20, VF30, VB. <p>Вихідний стан енергоблоку та умови виникнення:</p> <ul style="list-style-type: none"> – РУ в стані: "Робота на потужності", "МКР потужності". – температура в ГО має бути не більше 90 °С. <p>Ознаки порушення:</p>	
Зміни	Опис процесу
1. Зміни у режимі роботи енергоблоку.	1. Стійке підвищення температури повітря під герметичною оболонкою. 2. Підвищення температури бетону шахти реактора.
2. Зміни в стані обладнання енергоблоку.	1. Відключення працюючих і не включення резервних вентиляторів 4TL01D01+06; 4TL03D01+03; 4TL04D01+03; 4TL05D01+03. 2. Закрите положення однієї з арматур систем 4VF10(20,30)S01,02,04; 4VF40(50,60)S01,02,03.
Ліквідація порушення:	
Розвиток перехідного процесу	Дії персоналу
1. Стійке підвищення температури повітря під герметичною оболонкою.	1. При відключенні працюючих та не включенні резервних вентагрегатів 4TL01,4TL03,4TL04,4TL05: • спробувати включити резервні вентагрегати 4TL01D01,02; 4TL01D03,04; 4TL01D05,06; 4TL03D01+03; 4TL04D01+03; 4TL05D01+03; • при відмові резервних вентагрегатів, включити вентагрегати, що не стоять на АБР; • переконатися, що припинилося зростання температури під герметичною оболонкою. 2. При закритому положенні однієї з арматури систем VF10,20,30; VB: • відкрити арматуру, що закрилася, ключом дистанційного керування; • якщо арматура не відкривається, виконати перехід на вентагрегати іншого каналу системи VF, VB. 3. При підвищенні температури технічної води систем VF: • проконтролювати завантаження відповідного каналу системи VF10 (VF20; VF30) споживачами: температури бетону шахти реактора.
2. Підвищення температури бетону шахти реактора.	
3. Знизити температуру під герметичною оболонкою не вдалося.	1. За погодженням розпочати розвантаження енергоблоку та переведення РУ у стан "Холодний зупин".

Рис. 15. Фрагмент ІЛП

Ліквідація аварій та аварійних ситуацій

Інструкція з ліквідації аварій та аварійних ситуацій на реакторній установці (ІЛА) [Error! Reference source not found.] визначає дії ОП при спрацюванні аварійного захисту реактора та інших аварійних ситуацій. ІЛА охоплює аварійні ситуації, проектні та запроектні аварії, за виключенням аварійних ситуацій, проектних та запроектних аварій з важким пошкодженням активної зони.

В даному документі обсягом близько 500 сторінок описується близько 28 процедур, 6 описів дерев стану критичних функцій безпеки та 28 додатків. Додатки містять переліки механізмів, які спрацьовують при виконанні певних аварійних процедур, алгоритми дій персоналу за певних умов тощо. Окрема процедура може містити до 30 кроків, кожний з яких може містити до 5 пунктів. Кожний крок передбачає додаткові інструкції у разі виникнення передбачених умов (до 10 пунктів, кроки яких містять умови та переходи).

Процедури, описані в ІЛА, починають виконуватися при виникненні конкретних симптомів або умов входу в дану процедуру, зокрема з інших процедур.

Кожна процедура містить перелік дій ОП та перелік перевірок станів обладнання, в яких мають знаходитися підсистеми після входу в процедуру, які розміщені в лівій колонці. Для випадків, коли стан підсистем не відповідає приведеному, у правій колонці приводиться перелік дій, які повинен виконати ОП для досягнення необхідного стану.

Використання процедури оптимального відновлення завершується одним із наступних результатів:

- РУ переведено в стан «холодний зупин»;
- перехід до інших процедур оптимального відновлення;
- перехід до процедури діагностики;
- перехід до процедур відновлення критичних безпекових функцій;
- перехід до інструкцій нормальної експлуатації.

Приклад опису процедури приведено на рис. 16.

<p>Назва: А-0. ЗУПИН РЕАКТОРА</p> <p>Опис: встановлює послідовність дій із діагностики стану блока, коли вже відбулося або вимагається спрацювання аварійного захисту реактора</p> <p>Симптоми або умови входу</p> <p>До цієї процедури переходять у випадку, якщо:</p> <ul style="list-style-type: none"> – спрацював аварійний захист реактора; – досягнуто будь-яку із умов, що вимагає спрацювання аварійного захисту реактора; <p>До цієї процедури переходять із наступних процедур:</p> <ul style="list-style-type: none"> – 4.АД-0.1 «СПРАЦЮВАННЯ АВАРІЙНОГО ЗАХИСТУ РЕАКТОРА», ДПК; – 4.АД-0.2 «РОЗХОЛОДЖУВАННЯ РУ В РЕЖИМІ ПРИРОДНОЇ ЦИРКУЛЯЦІЇ» <p>Зміст процедури</p>			
Крок	Дії/очікуваний результат	Крок	Дії / Результат не отримано
1	Перевірте зупин реактора		
А	Продублюйте спрацювання АЗ ключами ОБОХ комплектів		
Б	ВСІ ОР СУЗ на НКВ	Б	ЯКЩО секції СЕ ТА СФ ПІД НАПРУГОЮ, ТО відключіть електроживлення секцій СЕ ТА СФ . Продовжуйте спроби опустити на НКВ ВСІ ОР СУЗ .
В	Потужність реактора за АКНП МЕНШЕ 5% Nном	В	ЯКЩО НЕ ВДАЄТЬСЯ опустити на НКВ БІЛЬШЕ ОДНОГО ОР СУЗ, ТО ПЕРЕЙДІТЬ до процедури ВФП-1.1 « ПОЯВА НЕЙТРОННОЇ ПОТУЖНОСТІ АБО НЕСПРАЦЮВАННЯ АВАРІЙНОГО ЗАХИСТУ РЕАКТОРА ». ЯКЩО НЕ ВДАЄТЬСЯ опустити на НКВ ТІЛЬКИ ОДИН ОР СУЗ, ТО продовжуйте спроби опустити на НКВ ВСІ ОР СУЗ ТА ПЕРЕЙДІТЬ до кроку 2
2	Перевірте відключення ТТ та тиск в ГПК		
А	ВСІ СК ТТ ЗАКРИТИ	А	КОЛИ тиск в ГПК БУДЕ МЕНШЕ 59 кгс/см2, ТОДІ: відключіть турбіну ключем РУЧНОГО АБО АВАРІЙНОГО зупинку ТТ ;
Б	ВСІ ГПЗ ТА байпаси ГПЗ ЗАКРИТИ	Б	Закрийте ВСІ ГПЗ ТА байпаси ГПЗ
В	ГЕНЕРАТОРНИЙ вимикач В-ТТ-6 ВІДКЛЮЧЕНИЙ	В	Через 30 секунд після закриття СК ТТ відключіть ГЕНЕРАТОРНИЙ вимикач В-ТТ-6 . ЯКЩО НЕ ВДАЄТЬСЯ відключити ГЕНЕРАТОРНИЙ вимикач В-ТТ-6, ТО перевірте – В-1, В-4 ВІДКЛЮЧЕНІ ТА ПЕРЕЙДІТЬ до кроку 2д.

Рис. 16. Фрагмент ІЛА

Таким чином, технологічний регламент являє собою групу складних нормативних документів, які визначають стани енергоблоку, режими роботи його підсистем та дії ОП при виникненні відхилень. Основними документами, які визначають діяльність ОП під час роботи енергоблоку, є ТРБЕ, ІЛП та ІЛА. Інші регламенти, що стосуються обслуговування, випробувань обладнання, в даному дослідженні не розглядаються.

Зведені дані по рівню експлуатації та складності регламентів приведені на рис. 17.

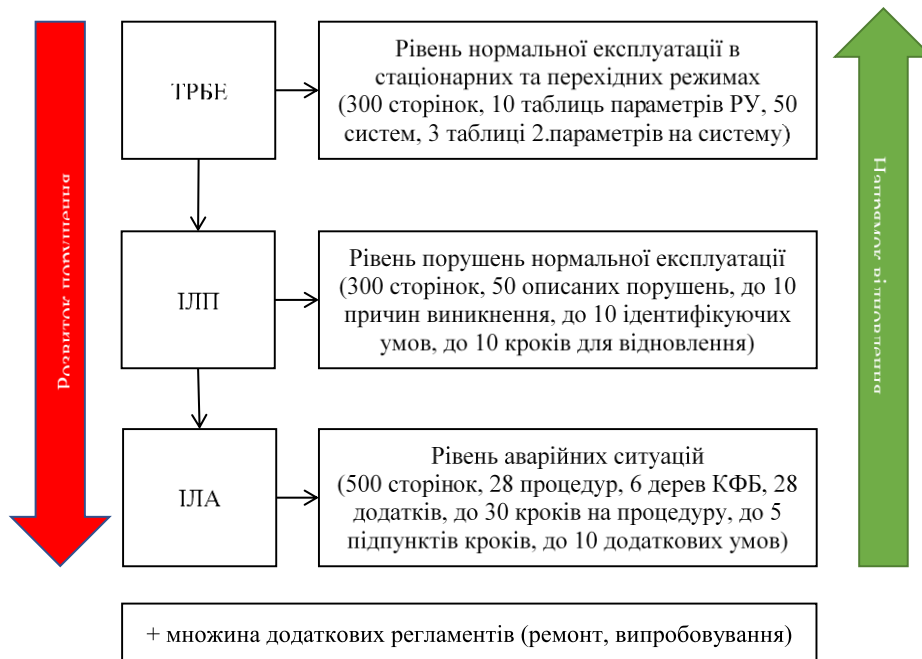


Рис. 17. Регламенти різних рівнів експлуатації

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. В результаті дослідження організації процесу керування енергоблоком було визначено, що основний ОП енергоблоку — ППР та ППТ, а також НСБ, які знаходяться на БЩУ, використовують інформацію з двох основних джерел: інформаційної моделі енергоблоку та технологічних регламентів.

2. Під час розгляду основних ІКС та ПТК було показано, що енергоблок АЕС являє собою складний об'єкт керування, який складається з великої кількості технологічних підсистем різного рівня, що являють собою основне та допоміжне обладнання, аварійні підсистеми та системи нормальної експлуатації. Кожна підсистема має технологічні межі, тобто точки взаємодії з іншими системами, що об'єднує окремі підсистеми у великий комплекс. Для кожної підсистеми визначаються межі безпечної експлуатації та режими роботи. Керування енергоблоком відбувається ОП за допомогою ІКС. ІКС задіяні для виконання задач керування, що потребують великої кількості обчислень, великої швидкості спрацювання (зокрема, в аварійних ситуаціях) та мають чітко та однозначно визначені алгоритми роботи. Сучасні ІКС являють собою ПТК, що надають ОП велику кількість інформації про стан обладнання. З ростом якості ПТК зростає як якість інформації, що отримує ОП, так і її кількість, що ускладнює швидко обробку інформації ОП.

3. В процесі розгляду інформаційної моделі було зроблено висновки, що до її складу входить велика кількість засобів дистанційного надання інформації про стан підсистем у



вигляді табло, індикаторів, приладів та моніторів, що розміщені на оперативних панелях БЦУ. Всього до РВ відноситься 24 панелі, на яких розміщені до 61 приладу, 90 елементів табло та 80 органів керування. До ТВ відноситься 16 панелей, на яких розміщені до 16 приладів, до 76 елементів табло та до 80 органів керування. На основних моніторах ОП знаходиться 192 відеокадри, на кожному з яких відображається від 1 до 168 параметрів (в середньому 70). Привертання уваги ОП до необхідних елементів моделі відбувається за допомогою принципу «темного табло» та звукової сигналізації.

4. В процесі дослідження об'єму та складності технологічних регламентів було показано, що ці нормативні документи містять інформацію про допустимі режими роботи підсистем, перехідні процеси, описи та симптоми порушень та аварійних ситуацій, а також кроки ОП, необхідні для їх ліквідації. Вони мають обсяг 300–500 сторінок, з описом декількох десятків ситуацій, що описуються десятками параметрів та десятками кроків.

5. В результаті проведених досліджень можна зробити висновок, що процес керування енергоблоком вимагає обробки людиною великої кількості інформації, знання великої кількості меж, правил та процедур, великого терміну навчання та постійного тренування ОП. Для підвищення ефективності керування енергоблоком, зменшення обсягу оброблюваної інформації, зменшення імовірності помилкових дій доцільно розробляти системи якісного представлення інформації, зменшення об'єму сигналізації та інтелектуальні системи підтримки ОП. Ці засоби беруть на себе задачі, які краще може виконувати комп'ютер, та підсилюють ОП в тих задачах, які краще може виконувати людина.

У напрямку подальших досліджень будуть розглянуті системи підтримки ОП, їх класифікація, функції та досвід застосування на АЕС України, з метою визначення актуальних напрямків проектування таких систем. Необхідно визначити, які системи підтримки впроваджені або розробляються на теперішній час, які складнощі виникають у ОП під час керування енергоблоком, які з них можуть бути розв'язані за допомогою систем підтримки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Wikipedia. (n. d.). *Reactor VVER-1000*. <https://uk.wikipedia.org/wiki/ВВЕР-1000>
2. Yastrebenetskyi, M. A. (2011). *Safety of nuclear power plants. Management and protection systems of nuclear reactors*. Kyiv: Osnova-Print.
3. *K-220-44 steam turbine: operating instructions. Rivne NPP, TG-3, 4*. (2020). Kharkiv: Turboatom JSC.
4. Byegun, V. V. (2009). *Descriptions of systems important for the safety of the nuclear power plant with the VVER-1000 reactor: a study guide for students of technical universities of Ukraine*. NTUU “KPI”.
5. IEC61226-2009: Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – Classification of instrumentation and control functions. (2009). *International Electrotechnical Commission (IEC)*.
6. *Technical task on software and technical complexes AZ-PZ reactor VVER-1000 VP PAES, block #3. UYAIISH.468263.021 TZ*. (2012). PJSC NVP “Radio”.
7. *Technical specifications for the ARP-ROP-PPZ PTK of the VVER-1000 VP PAES reactor, block #3. UYAIISH.468263.048 TZ*. (2018). PJSC NVP “Radio”.
8. *Technical task at software and technical complexes SGIU VP PAES, block #1. UYAIISH.468263.022 TZ*. (2012). PJSC NVP “Radio”.
9. *Technical task at software and technical complexes AKNP, blocks #4-5 of the ZNPP. UYAIISH.468263.036 TZ*. (2016). PJSC NVP “Radio”.
10. *SVRK-M intrareactor control system*. (n. d.). <https://impulse.ua/index.php/ua/svrk-3> (In Ukrainian)
11. *Technical task at software and technical complexes KSB VP PAES, unit No. 3. UYAIISH.468263.046 TZ*. (2019). PJSC NVP “Radio”.



12. *Technical task at software and technical complexes SNE RO VP PAES, block #3. UYAISH.468263.044 TZ.* (2019). PJSC NVP “Radio”.
13. *Technical task at software and technical complexes SNE TO VP PAES, block #3. UYAISH.468263.043 TZ.* (2020). PJSC NVP “Radio”.
14. *Album of video frames of IOS “Vulkan – IOS/SPPB” of power unit No. 1 of PANPP.* (2020). VP “South Ukrainian NPP”.
15. *Technological regulation of safe operation of power unit No. 4 of the RANP.* (2024). VP “Rivnenskaya NPP”.
16. *Instructions for the elimination of violations of normal operation (ILP) of power unit No. 4 of the RANP.* (2024). VP “Rivnenskaya NPP”.
17. *Instructions for liquidation of emergency situations (ILA) of power unit No. 4 of the RAEP.* (2024). VP “Rivnenskaya NPP”.
18. Vintenko, B. Yu., Smirnov, O. A., Kovalenko, O. V., Smirnov, S. A., & Kovalenko, A. S. (2023). Study of regulatory documents and industry standards for the development of software for NPP computer control systems important for safety. *Control, navigation and communication systems*, 2(72), 170-178. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2023.2.170>
19. Vintenko, B. Yu., Smirnov, O. A., Kovalenko, A. S., Smirnov, S. A., & Buravchenko, K. O. (2023). Study of the requirements of international standards IEC60880 and IEC62138 for the development of software for information and control systems of nuclear power plants important for safety. *Control, navigation and communication systems*, 3(73), 155-166. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2023.3.155>
20. Vintenko, B., Myronets, I., Smirnov, O., Kravchuk, O., Kozirova, N., Savelenko, G., & Kovalenko, A. (2024). Study of requirements and analysis of cyber security of the software of information and control systems of NPPs important for security. *Cybersecurity: education, science, technology*, 3(23), 111–131. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2024.23.111131>

**Borys Vintenko**

PhD Graduate student of the Department of
Information Security and Computer Engineering
Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine
Leading engineer-programmer of KB ACS TP PJSC
“Radio Scientific and Production Enterprise”, Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID ID: 0009-0008-3748-0374
boris.vintenko@gmail.com

Iryna Myronets

PhD of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the
Department of Information Security and Computer Engineering
Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine
ORCID ID: 0000-0003-2007-9943
i.myronets@chdtu.edu.ua

Oleksii Smirnov

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of Cybersecurity & Software Academic Department
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID ID: 0000-0001-9543-874X
dr.smirnova@gmail.com

Oleksandr Kovalenko

Doctor of Engineering, Professor,
Assistant Professor of Cybersecurity & Software Academic Department
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID ID: 0000-0001-9297-0650
dr.kovalenkoov@gmail.com

Serhii Smirnov

Candidate of Science (Engineering), Associate Professor,
Associate Professor of Cybersecurity & Software Academic Department
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-7649-7442
smirnov.ser.81@gmail.com

Kostiantyn Buravchenko

PhD of Science (Engineering),
Associate Professor of Cybersecurity & Software Academic Department
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID ID: 0000-0001-6195-7533
buravchenkok@gmail.com

Nataliia Yakymenko

PhD of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of Cybersecurity & Software Academic Department
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-4498-0093
yakimenko_n_m@ukr.net

RESEARCH OF INFORMATION SECURITY AND TECHNOLOGICAL REGULATIONS OF THE MANAGEMENT PROCESSES OF THE CRITICAL INFRASTRUCTURE OF A NPP POWER UNIT WITH A VVER-1000 REACTOR

Abstract. A brief overview of the technological processes of the critical infrastructure of the NPP power unit with the VVER-1000 type reactor is given using the example of power units 1 and 2 of the South Ukrainian NPP. The purpose of this article is to study the organization of power unit management in different modes, to analyze the structure and volume of information provided to



operational personnel from the information and control system, digital software and technical complexes, and other systems, as well as to analyze the complexity of the technological regulations by which management takes place NPP power unit. The object of the research is the process of information support and technological regulations, according to which the power unit of the NPP is managed. The subject of the study is the intensity and complexity of the decision-making processes by the operational staff of the NPP when managing the power unit. The following tasks were solved in this work: The organization of the power unit management process was studied; The main information and control systems and software and technical complexes of the power unit were considered, as well as means of their interaction with operational personnel; The information model, which is used by operational personnel in managing the power unit, is considered. For this purpose, the indicators of the information model, which is used by operational staff to make decisions when managing the power unit, were determined and the volume of control bodies with which the operational staff interacts to manage the power unit was determined. The structure of technological regulations and instructions for power unit management was analyzed and the volume and complexity of these documents were determined; The expediency of research on improving NPP power unit management processes has been determined, namely: in the direction of further research, support systems for operational personnel, their classification, functions and experience of application at NPPs of Ukraine will be considered, with the aim of determining the actual design directions of such systems. It is necessary to determine which support systems have been implemented or are being developed at the present time, which difficulties arise for the operational staff during the management of the power unit, and which of them can be solved with the help of support systems.

Keywords: safety of critical infrastructure; nuclear power plants; information management systems; software and technical complexes; information model; technological regulation; energy.

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Wikipedia. (n. d.). *Reactor VVER-1000*. <https://uk.wikipedia.org/wiki/BBEP-1000>
2. Yastrebenetskyi, M. A. (2011). *Safety of nuclear power plants. Management and protection systems of nuclear reactors*. Kyiv: Osnova-Print.
3. *K-220-44 steam turbine: operating instructions. Rivne NPP, TG-3, 4*. (2020). Kharkiv: Turboatom JSC.
4. Byegun, V. V. (2009). *Descriptions of systems important for the safety of the nuclear power plant with the VVER-1000 reactor: a study guide for students of technical universities of Ukraine*. NTUU "KPI".
5. IEC61226-2009: Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – Classification of instrumentation and control functions. (2009). *International Electrotechnical Commission (IEC)*.
6. *Technical task on software and technical complexes AZ-PZ reactor VVER-1000 VP PAES, block #3. UYAISH.468263.021 TZ*. (2012). PJSC NVP "Radio".
7. *Technical specifications for the ARP-ROP-PPZ PTK of the VVER-1000 VP PAES reactor, block #3. UYAISH.468263.048 TZ*. (2018). PJSC NVP "Radio".
8. *Technical task at software and technical complexes SGIU VP PAES, block #1. UYAISH.468263.022 TZ*. (2012). PJSC NVP "Radio".
9. *Technical task at software and technical complexes AKNP, blocks #4-5 of the ZNPP. UYAISH.468263.036 TZ*. (2016). PJSC NVP "Radio".
10. *SVRK-M intrareactor control system*. (n. d.). <https://impulse.ua/index.php/ua/svrk-3> (In Ukrainian)
11. *Technical task at software and technical complexes KSB VP PAES, unit No. 3. UYAISH.468263.046 TZ*. (2019). PJSC NVP "Radio".
12. *Technical task at software and technical complexes SNE RO VP PAES, block #3. UYAISH.468263.044 TZ*. (2019). PJSC NVP "Radio".
13. *Technical task at software and technical complexes SNE TO VP PAES, block #3. UYAISH.468263.043 TZ*. (2020). PJSC NVP "Radio".
14. *Album of video frames of IOS "Vulkan – IOS/SPPB" of power unit No. 1 of PANPP*. (2020). VP "South Ukrainian NPP".
15. *Technological regulation of safe operation of power unit No. 4 of the RANP*. (2024). VP "Rivnenskaya NPP".



16. *Instructions for the elimination of violations of normal operation (ILP) of power unit No. 4 of the RANP.* (2024). VP “Rivnenskaya NPP”.
17. *Instructions for liquidation of emergency situations (ILA) of power unit No. 4 of the RAEP.* (2024). VP “Rivnenskaya NPP”.
18. Vintenko, B. Yu., Smirnov, O. A., Kovalenko, O. V., Smirnov, S. A., & Kovalenko, A. S. (2023). Study of regulatory documents and industry standards for the development of software for NPP computer control systems important for safety. *Control, navigation and communication systems*, 2(72), 170-178. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2023.2.170>
19. Vintenko, B. Yu., Smirnov, O. A., Kovalenko, A. S., Smirnov, S. A., & Buravchenko, K. O. (2023). Study of the requirements of international standards IEC60880 and IEC62138 for the development of software for information and control systems of nuclear power plants important for safety. *Control, navigation and communication systems*, 3(73), 155-166. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2023.3.155>
20. Vintenko, B., Myronets, I., Smirnov, O., Kravchuk, O., Kozirova, N., Savelenko, G., & Kovalenko, A. (2024). Study of requirements and analysis of cyber security of the software of information and control systems of NPPs important for security. *Cybersecurity: education, science, technology*, 3(23), 111–131. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2024.23.111131>

