

Имя пользователя:  
Баранюк Александр Володимирович

ID проверки:  
1011521284

Дата проверки:  
09.06.2022 14:31:35 EEST

Тип проверки:  
Doc vs Internet + Library

Дата отчета:  
09.06.2022 14:35:47 EEST

ID пользователя:  
100007114

Название файла: TYa81-Kravchenko-tesis-2022

Количество страниц: 16    Количество слов: 2977    Количество символов: 21804    Размер файла: 347.93 KB    ID файла: 1011395134

## 0.54% Совпадения

Наибольшее совпадение: 0.27% с Интернет-источником (<https://buhgalter911.com/uk/spravochniki/ved/ukzed/pojsnen..>)

0.27% Источники из Интернета    1 ..... Страница 18

0.27% Источники из Библиотеки    4 ..... Страница 18

## 0% Цитат

Исключение цитат выключено

Исключение списка библиографических ссылок выключено

## 0% Исключений

Нет исключенных источников

## Модификации

Обнаружены модификации текста. Подробная информация доступна в онлайн-отчете.

Замененные символы    2

### 3. ОГЛЯД РЕАКТОРУ NUSCALE POWER MODULE ТА ЙОГО СИСТЕМ БЕЗПЕКИ

#### 3.1 Вступ

NuScale Power Module (NPM) — це малий модульний реактор (ММР) на основі конструкції легководного реактора під тиском з електричною потужністю 77 МВт і тепловою потужністю 250 МВт. Запропоновані конфігурації установок – це 4-модульні, 6-модульні та 12-модульні установки (Таблиця 3.1) [3].

Таблиця 3.1 Конфігурація установок NuScale Power Module. [3]

Конфігурація	Електрична потужність МВт (брутто)	Електрична потужність МВт (нетто)
NuScale Power Module	77	
4-модульна установка	308	293
6-модульна установка	462	441
12- модульна установка	924	884

Усі модулі занурені в загальний охолоджуючий басейн. Кожен модуль є автономним і працює незалежно. NPM планується будувати на заводах і відправляти на станцію.

Установку NPM можна використовувати для виробництва електроенергії, підігріву води та опріснення води. Крім того, NuScale можна використовувати для промислових цілей, таких як хімічна переробка, покращене вилучення нафти, або використання у виробництві синтетичного палива, такого як водень [4]. NuScale пропонує заводи NPM як пряму заміну старої вугільної інфраструктури [3]. Тому як заміна електростанцій, що працюють на вуглеводневому паливі, станція має бути набагато

маневренішою в порівнянні з типовими атомними електростанціями, і, як і будь-яка атомна електростанція, безпека є пріоритетом.

NPM використовує кілька практик, які значно підвищують безпеку:

- NPM це інтегрована конструкція, що включає реактор, парогенератори та компенсатор тиску, а використання природної циркуляції усуває потребу у великих первинних трубопроводах та насосах;
- для роботи NPM не потрібне зовнішнє живлення змінного або постійного струму;
- NPM набагато менш енергоємний у порівнянні зі звичайними потужними реакторами.

### 3.2 Конструкція NuScale Power Module

Інтегрована конструкція NuScale Power Module розвиває чітке розуміння, що саме в цьому випадку вважати обладнанням самого реактора, а що обладнанням реакторної установки, оскільки в одній оболонці знаходиться як і АЗ, так і елементи такі як парогенератор, компенсатор тиску і загальний перший контур. Тому розглянемо його конструкцію в два етапи: активна зона та повний модуль.

#### 3.2.1 Активна зона

Основна конфігурація складається з 37 паливних збірок і 16 вузлів керуючих стрижнів (ВКС).

Конструкція паливної збірки NuScale являє собою конструкцію 17x17, що становить приблизно половину довжини типового палива для водяного реактора під тиском. Збірка підтримується п'ятьма розпірними сітками, 24 напрямними трубками та верхньою і нижньою форсунками, які разом створюють структурний каркас для 264 паливних стрижнів. Кожна паливна збірка має центральну приладову трубку.

Паливом є діоксид урану (UO<sub>2</sub>) з оксидом гадолінію (Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) як вигоряючий поглинач, однорідно змішаний у гранулах у вибраних місцях.

Безшовна оболонка паливного стержня містить керамічні гранули  $UO_2$ , які мають циліндричну форму зі сферичною пластиною та фаскою на кожному кінці. Кожен паливний стрижень має внутрішню пружинну систему, яка по осі обмежує положення паливної труби всередині штока. Верхній торцевий ковпачок має форму циліндру, який можна захопити, що дозволяє при необхідності видалити ТВЕЛ з паливної збірки. Загалом дана ТВЗ була розроблена виключно для NuScale Power Module та отримала назву NuFuelНТР2™ [5, 6].

Активна зона оточена важким відбивачем нейтронів з нержавіючої сталі, який покращує використання палива, запобігаючи радіальному виходу нейтронів із активної зони. Відбивач також забезпечує оболонку серцевини і направляє потік через сердечник. Чотири розпірні сітки займають верхні позиції сітки паливної збірки і утворюються із сполучних смуг, які зварені на всіх перетинах і приварені до бічних пластин. Кожна сітка складається з пари смуг, зварених один до одного, щоб створити канали потоку. Конструкція створює шлях потоку, нахилений на його виході, створюючи вихрову схему потоку за нормальних умов експлуатації. Нижня розпірна сітка схожа на чотири верхні сітки щодо пружинного дизайну, контакту поверхні стрижню з сіткою та виробничих процесів. Однак нижня розпірна сітка має підвищену міцність і стійкість [5].

Напрямні трубки мають постійний зовнішній діаметр і зменшений внутрішній діаметр біля нижньої частини трубки, яка утворює приладову головку направляючої трубки. Зменшений внутрішній діаметр приладу створює гідравлічний опір для уповільнення ВКС під час введення стрижня в результаті спрацювання реактора. Додаткова товщина в приладовій частині направляючої труби також збільшує бічну жорсткість паливної збірки.

Нижня насадка складається з литої рами та ребер, що з'єднують місця напрямних трубок. Нижня форсунка містить сітчасту фільтруючу пластину, яка запобігає потраплянню сміття в паливну збірку.

Верхня насадка складається з обробленої рами з нержавіючої сталі, яка прикріплена до напрямних трубок за допомогою функції швидкого від'єднання в кожному з 24 місць направляючої трубки, оскільки кожна ТВЗ містить 24 керуючі стрижні. Функція швидкого від'єднання дозволяє зняти верхню форсунку, щоб отримати доступ до окремих паливних стрижнів, якщо це необхідно.

Активна зона контролюється системою нейтронного моніторингу та системою контрольно-вимірювальних приладів. Основні параметри АЗ можна побачити в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 Основні параметри АЗ. [5]

Основні параметри АЗ	Значення
Теплова потужність (МВт)	160
Тиск в системі (МПа)	12,75
Температура на вході (°C)	258,3
Середня температура в АЗ (°C)	283,9
Діаметр АЗ (м)	1,5
Висота АЗ (м)	2
Кількість ТВЗ	37
Крок між ТВЗ (м)	0,215
Направляючих трубок на ТВЗ	24
Паливних стрижнів на ТВЗ	264
Крок між стрижнями ТВЗ	0,0126
Збагачення палива	< 4.95%
Діаметр паливних пігулок (м)	0,0081
Товщина паливних пігулок (м)	0,01

### 3.2.2 Повний модуль

Розглянемо NuScale Power Module в повній зборці, рис.3.1, він включає в себе:

- активна зона реактора (1);
- внутрішня оболонка (2);
- корпус реактора (3);
- парогенератор (4);
- перегородка компенсатору тиску (5);
- компенсатор тиску (6);
- механізм керування регулюючими стрижнями (7);
- гермо оболонка (8);
- регулюючі клапани систем захисту та охолодження;
- трубопроводи;
- контрольно вимірювальні прилади.

Як можна побачити на схемі (рис.3.1), активна зона реактора напряму з'єднана з парогенератором, що дозволило зменшити розміри самої станції та дало змогу позбутися трубопроводів та насосів. Парогенератор являє собою набір переплетених гвинтових трубчастих колон, з'єднаних з двома живильними і двома паровими колекторами. ПГ знаходиться всередині корпусу реактору та намотаний довкола внутрішньої оболонки, в якій знаходяться трубки по яким теплоносій поступає вгору від АЗ та потрапляє в парогенератор.

Корпус реактору знаходиться в ГО, яка як і сам реактор виготовляється на заводі та є повноцінною частиною модулю. ГО заповнюється водою, це зроблено тому, що гермооболонка є частиною системи аварійного охолодження.

Основні параметри модуля можна побачити у таблиці Е.1 у додатку Е.

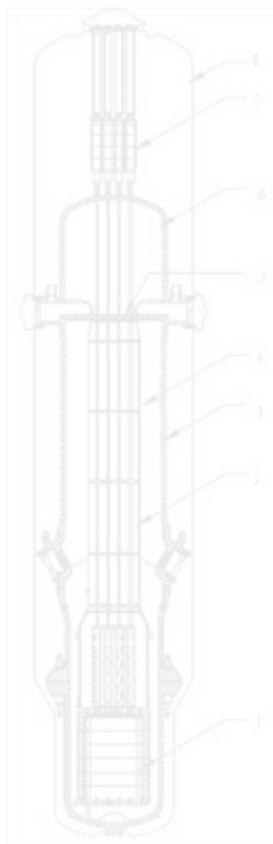


Рис. 3.1 Схематичне зображення конструкції NPM. [8]

Загалом безпека реактору була основним параметром при його проектуванні, тому в NPM представлена багаторівнева система захисту, яка забезпечує захист при аваріях навіть без втручання персоналу:

- корпус реактора;
- гермо оболонка;
- система охолодження реактора(COP);
- система відведення залишкових тепловиділень(СВЗТ);
- система аварійного охолодження АЗ(САОЗ);

- система захисту реактора;
- система ізоляції ГО.

Деякі з цих систем буде розглянуто далі, а саме СОР, СВЗТ, САОЗ.

Також важливо зазначити, що системи реактора керуються в автоматичному режимі згідно з програмними кодами, які майже не вимагають втручання персоналу.

### 3.3 Системи захисту NPM

#### 3.3.1 Система охолодження реактора

Система охолодження реактора є підсистемою NuScale Power Module, що забезпечує природну циркуляцію теплоносія першого контуру. Конструкція NPM не включає насоси теплоносія реактора або зовнішню систему трубопроводів.

Основними компонентами системи є:

- корпус реактору;
- компенсатор тиску;
- внутрішня оболонка;
- парогенератор;
- запобіжні клапани;
- трубопроводи всередині ГО та внутрішньої оболонки.

Робота системи відбувається наступним чином. Теплоносій гріється в активній зоні після чого починає підйом по трубках, які знаходяться всередині внутрішньої оболонки, до перегородки КТ та потрапляє до ПГ. Під час руху через трубки ПГ, омиваючи їх, теплоносій першого контуру віддає тепло теплоносію другого контуру. Теплоносій другого контуру подається знизу ПГ, та під час нагріву прокачується вгору, де перетворюється в пару та йде на турбину. В цей час теплоносій першого, внаслідок зменшення температури, а значить збільшення щільності, важчає та під дією сили тяжіння починає



падати. Теплоносій попадає назад на дно корпусу реактора, де нагрівається від АЗ та знов починає підйом. Загалом весь процес руху теплоносія першого контуру запускається за рахунок різниці щільності води. Схему руху теплоносія можна побачити на рис.3.2.

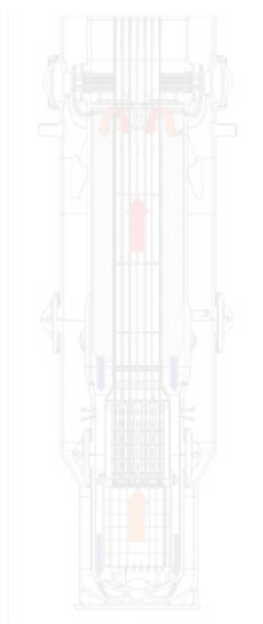


Рис.3.2 Схема руху теплоносія СОР. [8]

Інтегральна компоновка дає перевагу не тільки в розмірах, а також і в гідравлічних показниках, оскільки відсутність насосів та значної кількості трубопроводів робить втрати тиску в системі дуже незначними [7] [8].

Загальний об'єм теплоносія в першому контурі становить приблизно 85т. Сам теплоносій – це легка вода з домішками, наведеними в таблиці Е.2 у додатку Е.

### 3.3.2 Система відведення залишкових тепловиділень

СВЗТ призначена для видалення залишкового тепла і тепла від розпаду активної зони після відключення реактора від робочих умов і переведення NPM в умови безпечного вимкнення без використання зовнішнього живлення. СВЗТ розроблено для охолодження СОР з такою швидкістю, щоб задані допустимі розрахункові межі палива та проектні умови границі тиску теплоносія реактора не були перевищені під час повернення до живлення. Конструкція СВЗТ забезпечує середню температуру СОР нижче 216 °С протягом 36 годин після початкової події без досягнення межі тиску теплоносія або оголення АЗ.

Система складається з:

- чотирьох привідних клапанів;
- двох пасивні конденсатори;
- рециркуляційні отвори;
- трубопроводи.

Привідні клапани, які використовуються в NPM – пневматичного типу, для системи СВЗТ вважається що клапани в справному стані якщо вони можуть повністю відкритися протягом 30 секунд після отримання сигналу, або закритися. Вони контролюються автоматикою, але в разі необхідності їх можна відкрити з панелі керування, ручне відкриття цих клапанів неможливе, оскільки це не розглядалося при проектуванні.

Пасивні конденсатори встановлені за межами ГО та занурені в басейн реактора. Кожен конденсатор складається з верхнього та нижнього колекторів, підключених до ряду труб, які забезпечують поверхню теплообміну і утворюють напірну межу теплообмінника. Внутрішня частина колекторів і трубок містить теплоносій другого контуру, а зовнішня частина колекторів і трубок піддається впливу рідини басейну реактора. Вхідний і вихідний колектори конденсатора складаються з п'яти труб, які разом утворюють

верхній і нижній трубні листи, які приварені до елементів трубопроводів теплообмінника.

Обмежувальний отвір знаходиться між привідним клапаном та колектором ПК та слугує для корегування потоку через контур СВЗТ.

СВЗТ має два канали кожен з яких пов'язаний з кожним окремим модулем. Кожен канал СВЗТ пов'язаний з одним з двох парогенераторів. Трубопроводи СВЗТ з'єднується з основними лініями пари та живильної води, що стосуються відповідного ПГ. Вхідний трубопровід СВЗТ з'єднується з ГОЛОВНИМ паропроводом перед відповідним пароізоляційним клапаном (ПЗК). Трубопровід СВЗТ направляється до двох паралельно розташованих привідних клапанів. Трубопроводи знову з'єднуються після клапанів і направляються за зовнішнім боком ГО до пасивного конденсатора СВЗТ. Вихід пасивного конденсатора СВЗТ спрямовується до лінії живильної води, яка забезпечує відповідний ПГ, приєднуючись до лінії живильної води за потоком від ВПК.

Перед початком роботи насоси живильної води заповнюють СВЗТ аж до приводних клапанів. Пасивні конденсатори та трубопроводи СВЗТ підтримуються наповненими та під тиском шляхом підключення до системи живильної води на вихідній лінії СВЗТ до трубопроводу живильної води всередині ГО.

Під час режиму нормальної експлуатації СВЗТ знаходиться в режимі очікування, при цьому кожна лінія СВЗТ ізольована від пов'язаних магістральних паропроводів за допомогою закритих клапанів. Ці чотири клапани, по два, розташовані паралельно на кожній лінії, залишаються закритими. Приведення в дію СВЗТ здійснюється автоматично системою захисту модулю (СЗМ) і розроблено з можливістю ручного ініціювання з диспетчерської або віддаленого розташування за межами основної диспетчерської.

Після спрацьовування, ПЗК і запірні клапани живильної води (ЗКЖВ) закриваються, а привідні клапани СВЗТ відкриваються.

Привідні клапани СВЗТ призначені для відкриття при перерві подачі живлення через спрацьовування системи керування або втрату живлення. Увімкнення дозволяє водяному стовпу в трубопроводі СВЗТ зливатися в трубопровід системи живильної води і камеру, а парі надходити з ПГ в трубопроводі і пасивний конденсатор. Пара конденсується в пасивному конденсаторі шляхом передачі тепла в басейн реактора. Цей процес призводить до безперервного потоку конденсату від пасивного конденсатора до відповідної лінії живильної води і до відповідного ПГ.

Потік в СВЗТ керується природною циркуляцією, що виникає в результаті різниці в щільності між паровою і конденсаційною частинами СВЗТ і пов'язаного з ним ПГ. Пасивні конденсатори розташовані на більшій висоті відносно ПГ, щоб стимулювати природний циркуляційний потік до парогенератора.

Для активації функції СВЗТ не потрібно зниження тиску та температури в СОР, оскільки система використовує нормально працюючі ПГ як інтерфейс із СОР. Під час роботи СВЗТ відсутня можливість втрати охолоджуючої рідини в системі взаємодії, оскільки немає прямого шляху потоку між СОР і СВЗТ.

Аварії з втратою теплоносія не впливають на компоненти СВЗТ, оскільки він не підключений до СОР, а критичні компоненти розташовані за межами ГО [7].

Схематично конструкція СВЗТ зображена на рис Е.1 у додатку Е.

### 3.3.3 Система аварійного охолодження активної зони

Система аварійного охолодження активної зони забезпечує охолодження активної зони під час і після очікуваних експлуатаційних подій і постульованих аварій, включаючи аварії з втратою теплоносія.

САОЗ складається з трьох вентиляційних клапанів реактора (ВКР), встановлених на верхній головці корпусу реактора, двох клапанів рециркуляції реактора (КРР), встановлених збоку від КР, і відповідних приводів та органів розташованих на зовнішній частині ГО. Розташування клапанів можна побачити на рис 3.

Усі п'ять клапанів закриті під час нормальної роботи установки та відкриваються щоб привести систему в дію під час відповідних умов аварії. ВКР випускають пару з КР в ГО, де пара конденсується, а рідкий конденсат збирається в нижній частині захисної оболонки. КРР дозволяють накопиченому теплоносію знову надходити в КР для рециркуляції та охолодження активної зони реактора. Розміщення проходів КРР збоку від корпусу реактора таке, що під час активації системи рівень охолоджуючої рідини всередині підтримується над активною зоною, а паливо залишається зануреним. Функція охолодження САОЗ є повністю пасивною, при цьому тепло відводиться через стінку ГО до басейну реактора. Для того щоб система могла виконати свої функції має відкритися як мінімум 2 ВКР та 1 КРР.

Процес спрацювання системи виглядає наступним чином. Після отримання сигналу стрижні регулювання опускаються в активну зону. ПЗК та ЗКЖВ закриваються, а ВКР відкривається. Пара починає виходити до ГО, відбувається зниження тиску в корпусі реактора та його збільшення в ГО, до моменту, коли вони стануть рівноважними. Оскільки зовні ГО охолоджується водою з басейну реактору, пара починає конденсуватися на внутрішніх стінках гермооболонки. Після конденсації пара стікає в нижню частину ГО, в момент, коли рівень води стане вище, ніж висота розташування клапанів, відбувається відкриття КРР. Вода починає надходити в корпус реактора над АЗ. Після певного часу рівень всередині ГО та КР стане рівноважним.

ККР насправді є системою клапанів, яку можна побачити на рис. 3.3.

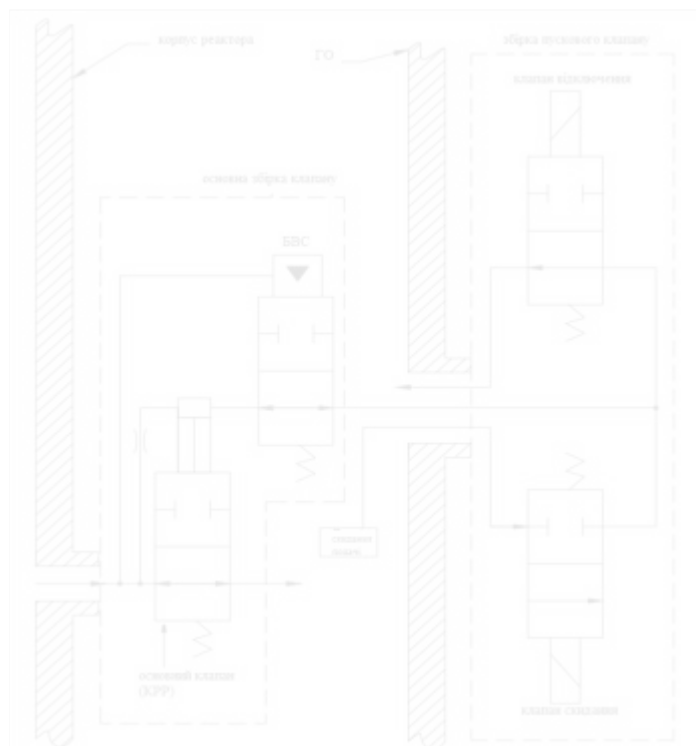


Рис.3.3 Схема підключення ККР [7]

Кожен основний клапан є запобіжним клапаном з електроприводом, який гідравлічно закритий. Клапан кріпиться до КР за допомогою болтового фланцевого з'єднання

Коли ККР підтримується в режимі очікування, головні диски клапанів утримуються закритими проти сили пружини за допомогою камери управління, яка знаходиться під тиском. Головний клапан спочатку закривається (скидається) під дією оператора, який подає воду з хімічної системи та системи контролю об'єму, щоб створити тиск в контрольній камері та закрити клапан проти тиску пружини. Після закриття клапан підтримується закритим за допомогою герметичної контрольної камери. Тиск в контрольній камері підтримується за допомогою тиску в реакторі, що передається через

внутрішній отвір, розташованого в корпусі головного диска клапана. Головний клапан відкривається шляхом розгерметизації контрольної камери. Зниження тиску в камері керування дозволяє тиску пружини за допомогою тиску теплоносія в реакторі змінити положення головного клапана на відкрите.

Кожен основний клапан має пов'язаний вузол приводу САОЗ, який містить два пускові клапани: розпірний клапан і клапан скидання, кожен із відповідним електромагнітним клапаном, як показано на рис 4. Корпус приводу в зборі слугує межею тиску ГО. Ущільнення кришки клапана на кожному пілотному клапані встановлюють межі тиску всередині корпусу клапана. Весь блок приводу КРР занурений у басейн реактора.

Кожен клапан скидання керує гідравлічною лінією, яка подає охолоджуючу рідину з системи хімічного та масового контролю (ХМК) до відповідної камери управління головним клапаном. Клапан скидання або керуючий клапан скидання – це електромагнітний клапан постійного струму, що працює для відкриття, нормально закритого, або закритого клапану, який вийшов з ладу. Подача живлення клапана скидання на порти ХМК до головного клапана відбувається, щоб створити тиск у камері керування та закрити головний клапан проти тиску пружини. Коли тиск в реакторі є достатнім для підтримки тиску в керуючій камері проти тиску пружини головного клапана, електромагнітний клапан керуючого клапана знеструмується, щоб закрити клапан скидання. Клапан відключення керує гідравлічною лінією, яка випускає повітря з камери управління головним клапаном в ГО, дозволяючи зусиллям пружини та тиску в КР відкрити головний клапан. Клапан відключення являє собою невідчинений електромагнітний клапан постійного струму. Втрата живлення електромагніту приводу призводить до відкриття клапана відключення приводу.

Кожен головний клапан САОЗ містить блок випадкового спрацьовування (БВС), який призначено для зменшення частоти

ненавмисного спрацьовування (відкриття) головного клапана під час експлуатації. БВС розташований на шляху від головної камери керування клапаном до пускових клапанів відключення та скидання. БВС складається з блок-клапана з пружинним диском, який функціонує для блокування вентиляції камери управління головним клапаном, коли перепад тиску між КР та ГО перевищує заданий поріг. Коли перепад тиску на блокувальному клапані опускається нижче тиску випуску БВС, пружина втягує запірний клапан, щоб відкрити вентиляційний шлях контрольної камери.

Якщо запірний клапан ненавмисно відкривається (випускається в ГО), коли реактор знаходиться під нормальним робочим тиском, клапан БВС сідає, щоб запобігти зниженню тиску в камері управління головним клапаном і відкриття головного клапана.

ВКР — це запобіжні клапани з силовим приводом, прикріплені до головки корпусу реактора і підключені безпосередньо до парового простору.

САОЗ також має акумулятори, які живлять електромагніти на клапанах. Це зроблено тому, що один з сценаріїв спрацювання системи – це повне знеструмлення. Однак САОЗ не починає роботу одразу після знеструмлення, запускаються три таймери на 24 години, рівно настільки має вистачати заряду в акумуляторах аби жити електромагніти. Якщо за 24 години не було відновлено живлення, електромагніти відключаються і система запускається.

Також важливо зазначити, що функція тепловідведення СВЗТ не залежить від активації САОЗ. Будь-яке спрацьовування САОЗ після спрацювання СВЗТ дозволяє продовжувати відведення залишкового тепла обома системами від активної зони реактора. [7]

Параметри при яких мають працювати клапани та їх система активації при різних подіях наведено в таблиці Е.3 у додатку Е.



### 3.4 Висновки

NuScale Power Module – це малий модульний реактор, який розроблявся з двома основними вимогами:

- зменшення розмірів РУ;
- зробити реактор максимально безпечним і автономним.

Інтегральна компоновка допомогла виконати обидві ці вимоги. Вона дозволила помістити майже все обладнання першого контуру в одну оболонку, що значно **ЗМЕНШИЛО** розміри реактора, хоча він все одно є достатньо високим відносно розмірів АЗ. Також особливості компоновки дозволили зробити циркуляцію теплоносія першого контуру повністю природньою за рахунок законів фізики.

Системи безпеки також працюють за рахунок природньої циркуляції, тому вплив зовнішніх подій (таких як знеструмлення, пожежа, і тому подібне) є дуже незначним, оскільки більша частина з них фізично не може впливати на них. Самі системи спроектовані з урахуванням всіх вимог безпеки та працюють при фактичних параметрах нижчих ніж розрахункові

З економічної точки зору вигідно будувати багато реакторів, оскільки в одній будівлі може розташовуватися до 12 модулів. І сам процес будування та встановлення є набагато простішим, ніж у звичайних реакторів у зв'язку з тим, що NPM приїжджає з заводу повністю зібраним та підключається, можна сказати, як батарейка.

## Совпадения

Источники из Интернета 1

1 <https://buhgalter911.com/uk/spravochniki/ved/ukzed/pojsnenni/grupa-84-reaktori-1025749.html> 0.27%

Источники из Библиотеки 4

2 Студенческая работа ID файла: 1005739239 Учебное заведение: Lviv Polytechnic National University 4 Источники 0.27%