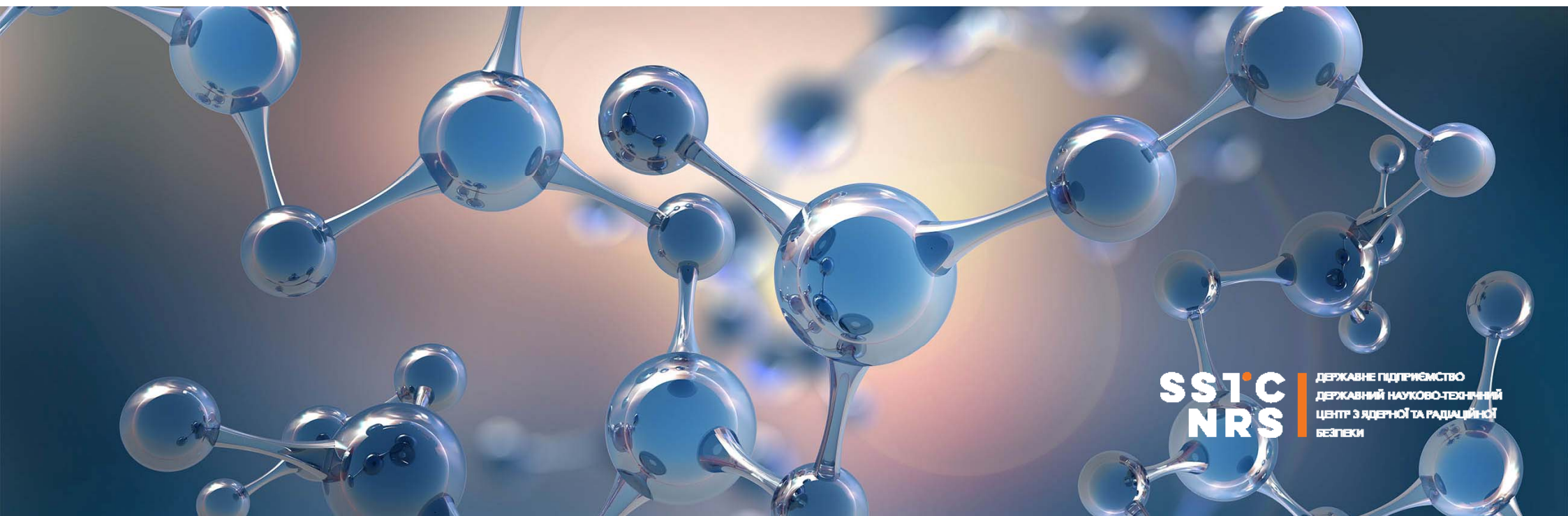




**SSTC
NRS**

ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
ДЕРЖАВНИЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ
ЦЕНТР З ЯДЕРНОЇ ТА РАДІАЦІЙНОЇ
БЕЗПЕКИ

Аналіз НДС захисної оболонки АЕС в умовах запроектої аварії для обґрунтування можливості продовження її терміну експлуатації

Маргарита Коляда

II Міжнародна науково-технічна конференція «Динаміка, міцність та моделювання в машинобудуванні»

05-08 жовтня 2020 р., м. Харків, Україна



Маргарита Коляда

Старший науковий співробітник
відділу довготермінової експлуатації
Державного науково-технічного центру з ядерної та
радіаційної безпеки (ДНТЦ ЯРБ)

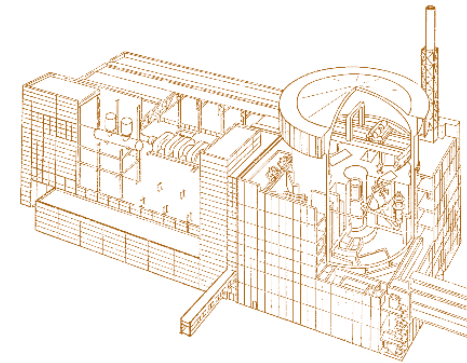
Напрямки діяльності - продовження терміну
експлуатації, управління старінням, міцність і
тримкість будівельних конструкцій та споруд

Tel. +380 44 422 49 53

E-mail: mv_koliada@sstc.com

Зміст

1. I. Загальні відомості
2. II. Опис проблеми та постановка задачі
3. III. Побудова моделі 3D:
 1. Нормативні та регулюючі документи
 2. Метод розрахунку
 3. Етапи побудови моделі
 4. Особливості моделювання
 5. Побудова тривимірної скінченно-елементної моделі 3D
4. IV. Результати розрахунку
5. V. Висновки



I. Загальні відомості (1)

- Атомна енергетика посідає одне з провідних місць в економіці України та забезпечує важливий напрям економічної національної безпеки - енергетичний. На АЕС України експлуатуються реакторні установки (РУ) типу ВВЕР-1000 (В-320, В-302, В-338) та ВВЕР-440/В-213.
- Об'єктом досліджень є захисна оболонка (ЗО) ВВЕР-1000.
- ЗО є відповідальним елементом, що виконує функції локалізуючої системи безпеки.



ВВЕР-1000, В302/В338 ЮУАЕС-1,2



ВВЕР-1000, В320 ЗАЕС-1



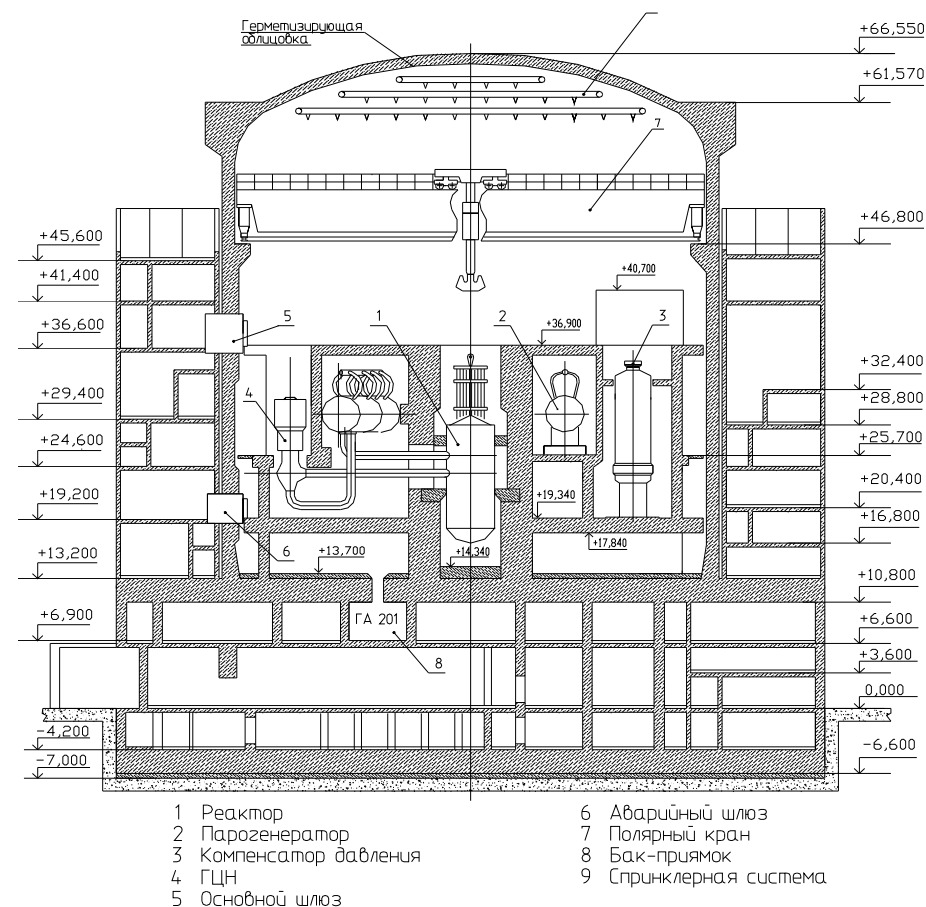
ВВЕР-440, В-213 РАЕС-1,2

I. Загальні відомості (2)

Геометричні розміри 3О ВВЕР-1000/В320

	Циліндр	Купол
Внутрішній діаметр, м	45.0	35.6
Товщина стінки, м	1.2	1.1

- Відмітка обпирання циліндра – 13.2м
- Найвища точка купола – 66.550м
- Відмітка верху консолі підкранової балки – 46.80м
- Товщина сталевго герметичного облицювання – 8мм
- Циліндр 3О перетинають:
 - транспортний люк
 - аварійний люк
 - технологічні проходи



I. Загальні відомості (3)

Система попереднього напруження 30

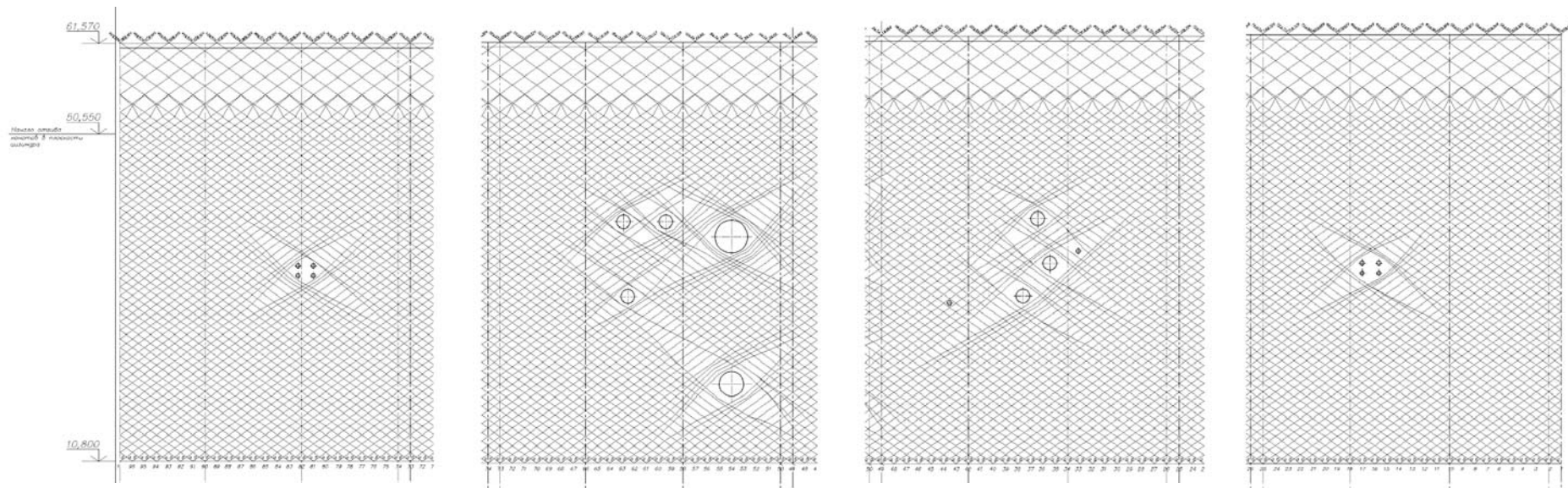


Схема розташування АК на прикладі енергоблока №1 ВП ЗАЕС

II. Опис проблеми та постановка задачі

- Запроектна аварія (ЗПА) – аварія, викликана вихідними подіями, що не враховуються для проєктних аварій, або супроводжується додатковими в порівнянні з проєктними аваріями відмовами систем безпеки або помилками персоналу.
- У межах продовження терміну експлуатації реакторного відділення (РВ) постає питання встановлення граничного значення надлишкового тиску та температури в умовах ЗПА, при яких захисна оболонка (ЗО) може втрачати свої захисні функції.
- Метою роботи є аналіз міцності ЗО і видів відмов при виникненні ЗПА з урахуванням поточного технічного стану арматурних канатів і залізобетонних конструкцій системи герметичного огороження локалізуючої системи безпеки (СГО ЛСБ) з використанням верифікованого розрахункового коду.

III. Нормативні вимоги до міцності та надійності

- **НП 306.2.141-2008** Загальні положення забезпечення безпеки атомних станцій.
- **НП 306.2.210-2017** Загальні вимоги до управління старінням елементів і конструкцій та довгострокової експлуатації енергоблоків атомних станцій.
- **НП 306.2.218-2018** Правила улаштування та безпечної експлуатації локалізуючих систем безпеки.
- **НП 306.2.208-2016** Вимоги до сейсмостійкого проектування та оцінки сейсмічної безпеки енергоблоків атомних станцій.
- **СОУ НАЕК 080:2014** Довгострокова експлуатація діючих енергоблоків АЕС. Загальні положення.
- **ПиН АЭ-5.6** Норми будівельного проектування АС з реакторами різного типу.
- **ПНАЭ Г-10-007-89** Норми проектування залізобетонних споруд локалізуючих систем безпеки атомних станцій.

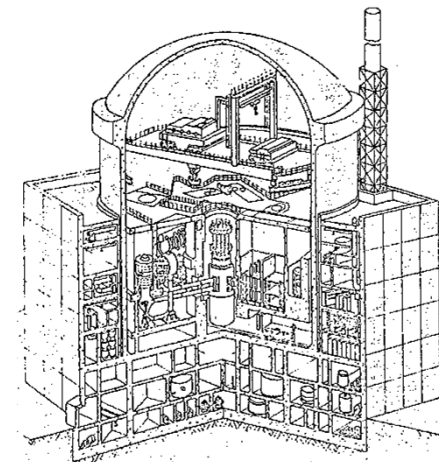
III. Метод розрахунку ЗО

Розрахунок ЗО виконаний за допомогою програмного комплексу ЛІРА САПР.

Теоретичною основою ПК ЛІРА САПР є метод скінченних елементів (МСЕ), реалізований у формі переміщень.

Розрахунок ЗО виконаний на такі навантаження:

- температурний нагрів $t = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура зовнішнього середовища $t = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- надлишковий тиск $P=0,6\text{ МПа}$;
- власна вага ЗО;
- натяг АК.



III. Етапи побудови моделі 3О

Побудова розрахункової моделі 3О



III. Особливості моделювання ЗО (1)

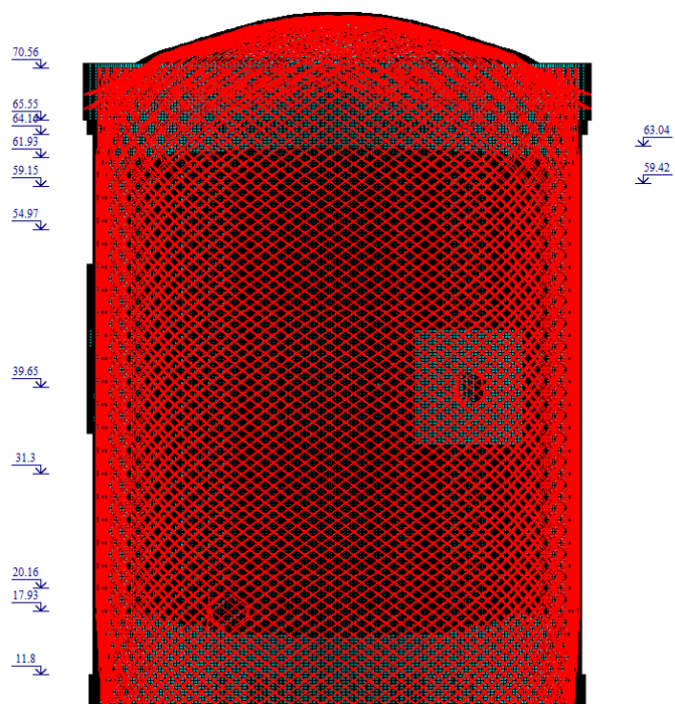
Модель ЗО побудовано з урахуванням:

- неоднорідної структури ЗО;
- потовщень в зонах люків, проходок та їх реальної жорсткості;
- геометрії анкерного карнизу, підкранової балки, приопорного (пристилобатного) потовщення;
- піддатливості опорної зони ЗО;
- для системи попереднього напруження захисної оболонки (СПЗО):
 - реальної траєкторії АК;
 - втрати зусиль в АК по довжині через тертя між АК і каналоутворювачем;
 - можливості відключення будь-яких АК;
 - можливості завдання будь-якої конфігурації зусиль в різних шарах АК.

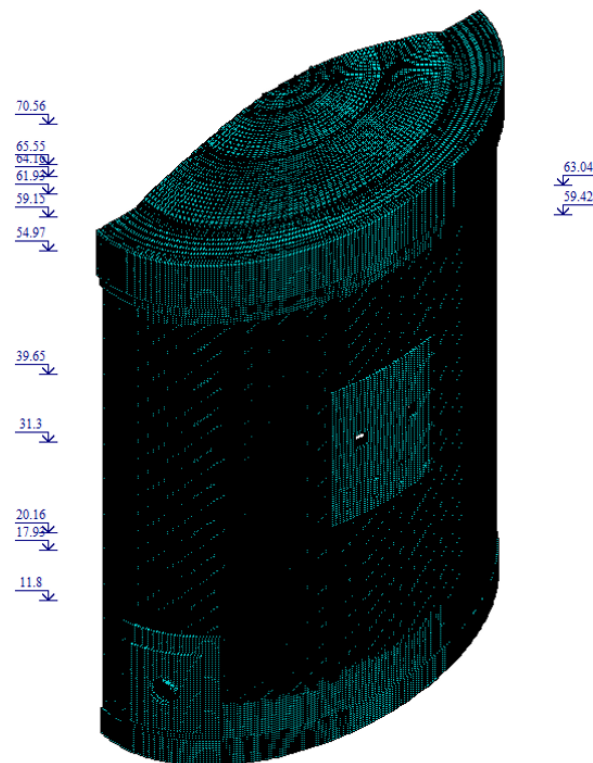
III. Особливості моделювання ЗО (2)

- можливості вимкнення/включення окремих АК;
- можливості перевірки міцності згідно з ДБН та ПНАЕ:
 - залізобетонних перерізів;
 - гермооблицювання;
 - армоканатів;
 - ненапрягаємої арматури;
 - інших елементів(закладних деталей, проходок, ін.).
- обґрунтування достатньої густоти методу скінченних елементів (МСЕ) - сітки для розрахунку ЗО (на тест-задачах).

III. Побудова тривимірної скінченно-елементної (СЕ) моделі 3О (1)



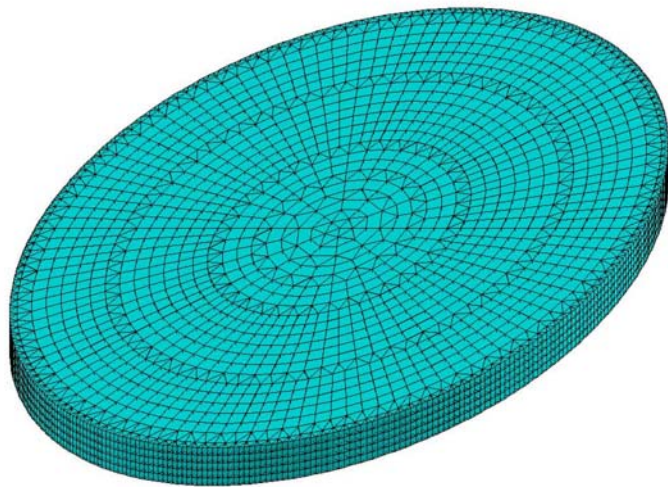
Модель 3О



Фрагмент моделі 3О

III. Побудова тривимірної СЕ моделі ЗО (2)

При розробці розрахункової моделі об'єм ЗО розбивався на фрагменти.



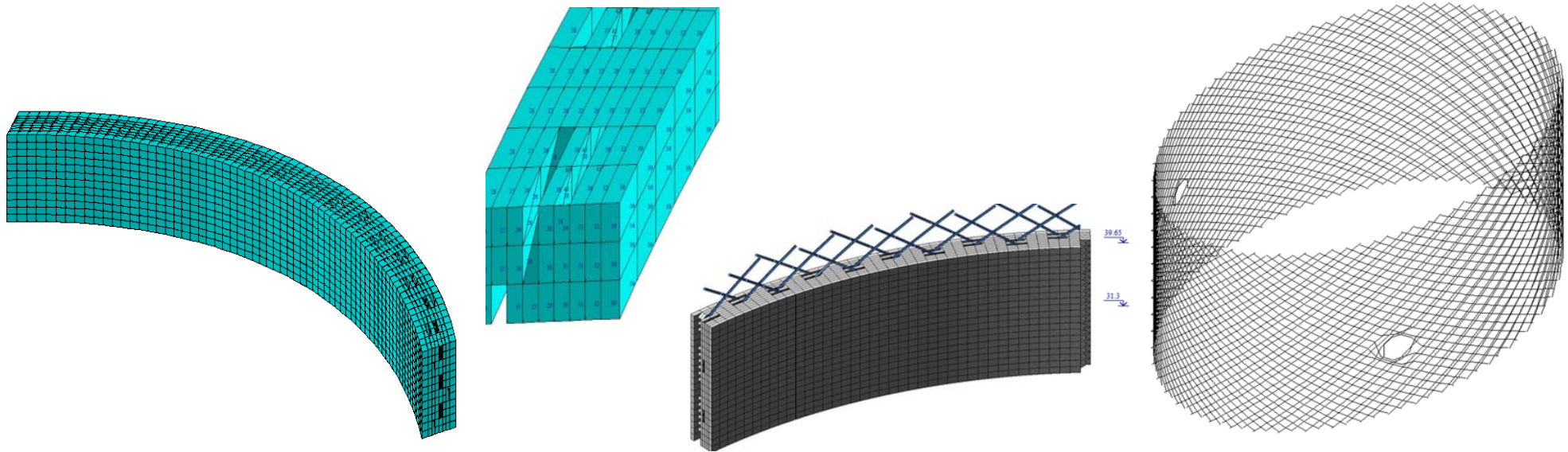
Опорна плита циліндричної частини



**Верхня частина циліндра з
позн.52,080м до позн.59,150м**

III. Побудова тривимірної СЕ моделі ЗО (3)

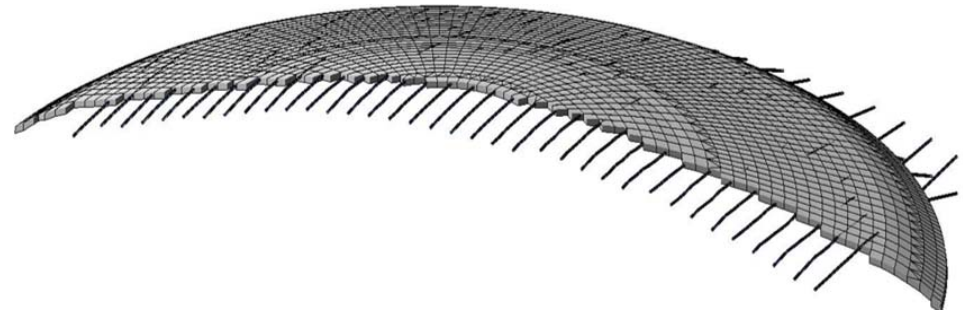
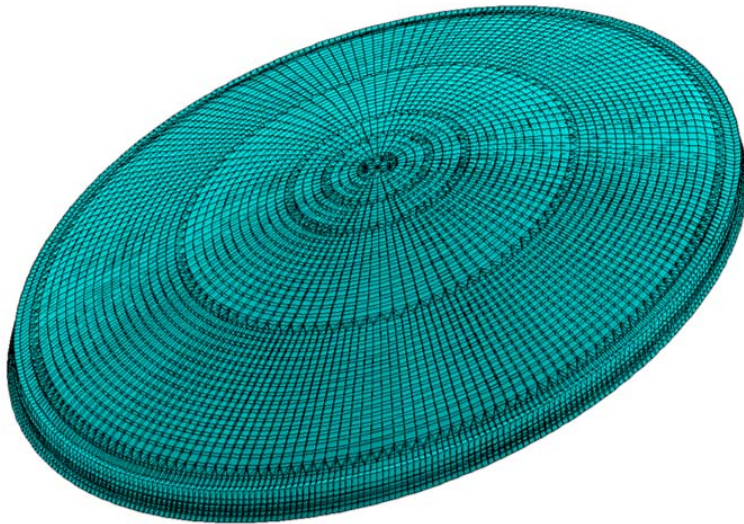
Стінки циліндра розбиті на 8 основних шарів бетону по товщині.
Навкруги трубних проходок наявні потовщення.



Фрагменти моделі стінки циліндра (середня частина циліндра)

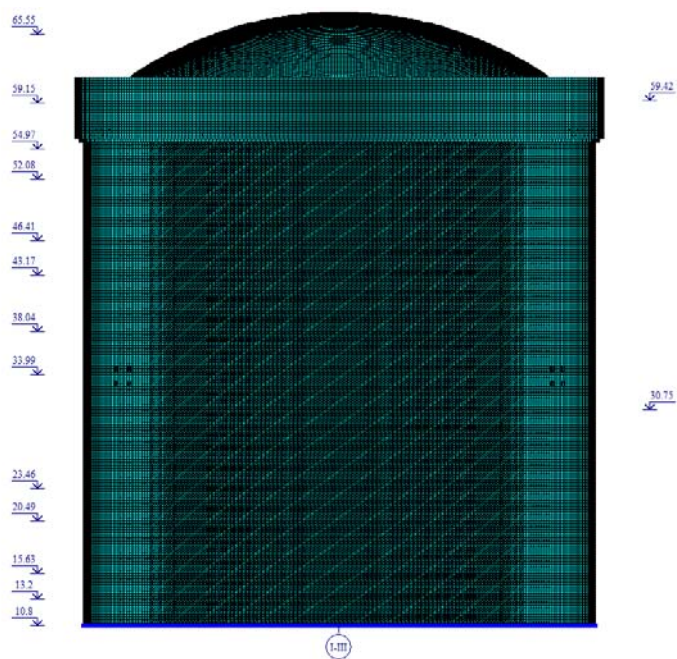
III. Побудова тривимірної СЕ моделі ЗО (4)

Купол розбитий на 4 шарів бетону по товщині. В місці стикування купола з циліндром розміщено 368 елементів. До центру купола кількість елементів по довжині окружності зменшується.

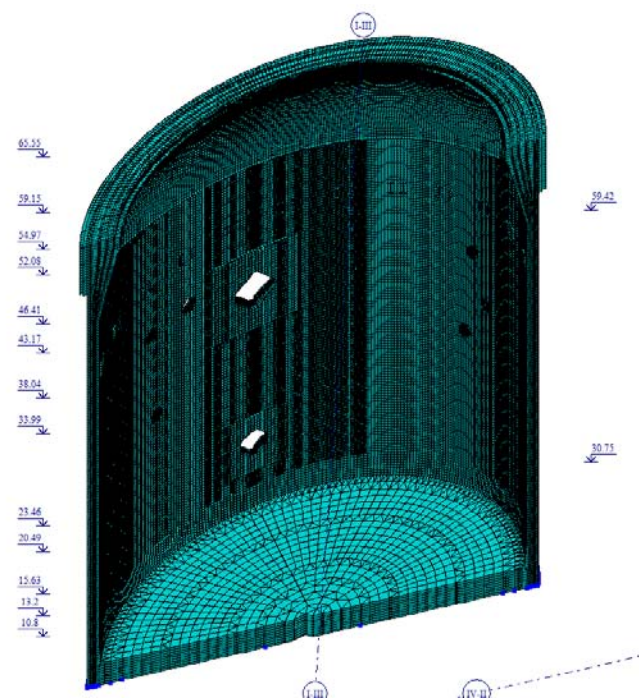


Купольна частина оболонки

III. Побудова тривимірної СЕ моделі ЗО (5)



Модель ЗО



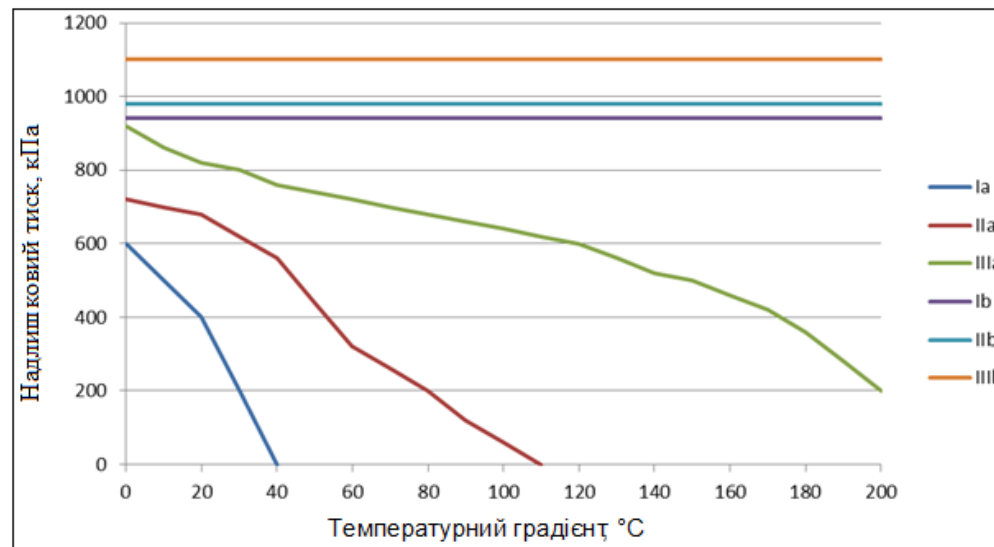
Фрагмент моделі ЗО з отворами

IV. Результати розрахунку (1)

- Виконано розрахунок ЗО ВВЕР 1000 (В-320) енергоблока № 1 ВП ЗАЕС для комбінації навантажень НУЕ+ЗПА (були враховані наступні види навантажень: власна вага конструкцій, натяг АК, тиск і температура ЗПА, кранові навантаження, температура навколишнього середовища). Розрахунок виконано для ЗПА із застосуванням зусиль натягу в АК СПЗО 780 тс у циліндричній частині ЗО та 760 тс у купольній частині ЗО.
- Розрахунок ЗО проведено за допомогою програмного комплексу «ЛІРА-САПР», який входить до Переліку розрахункових кодів, дозволених ДП «НАЕК «Енергоатом» до використання в аналізах безпеки відповідно до положень СТП 0.41.076-2008.

IV. Результати розрахунку (2)

Огинаючи криві граничної несучої здатності є узагальнюючими ілюстраціями результатів розрахунків, наведених у звіті "Отчет ОП «Запорожская АЭС». Определение предельного давления разрушения контейнента для запроектных аварий для целей ВАБ. 75.189-00.01-01-18-ПР". Перевірочні розрахунки ДНТЦ ЯРБ свідчать про прийнятність результатів розрахунків ВП ЗАЕС.



V. Висновки

- Проведений аналіз НДС 3О енергоблока №1 ВП ЗАЕС з РУ ВВЕР-1000/В-320 в умовах ЗПА при визначенні граничного тиску руйнування 3О показав актуальність питання та необхідність його вирішення в межах виконання імовірнісного аналізу безпеки енергоблоків АЕС.
- При комбінації внутрішнього тиску ($p=0,6\text{МПа}$) та температури ($t=120^{\circ}\text{C}$) відбувається втрата проектних функцій 3О в умовах ЗПА.
- Отримані результати розрахунку мають бути використані при визначенні можливих відмов системи герметичного огороження локалізуючої системи безпеки (СГО ЛСБ) з РУ ВВЕР-1000/В-320, викликаних розвитком важких аварій, в межах виконання імовірнісного аналізу безпеки другого рівня енергоблоків АЕС.

Дякую за увагу!

Підписуйтесь:

 sstc.ua

 [sstc.com.ua](https://www.facebook.com/sstc.com.ua)

 [SSTC_NRS](https://twitter.com/SSTC_NRS)

 [SSTC NRS](https://www.youtube.com/SSTC_NRS)

 nrs@sstc.ua

