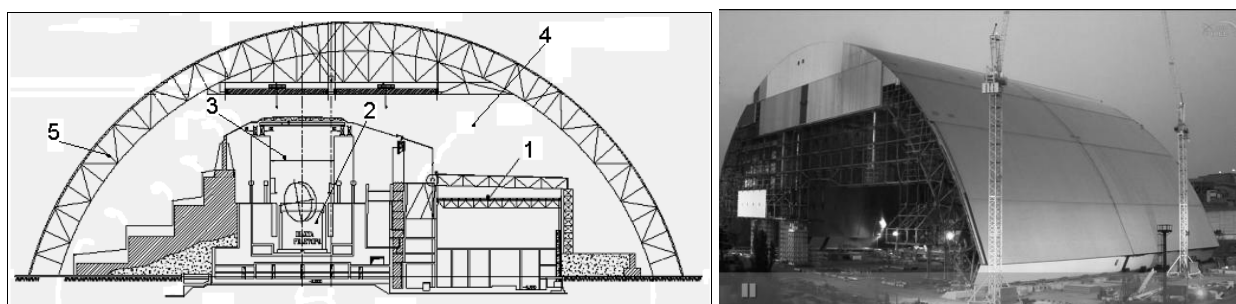


## КОНСТРУКЦИЯ И АНАЛИЗ ТЕРМОГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НОВОГО БЕЗОПАСНОГО КОНФАЙНМЕНТА ДЛЯ ИЗОЛЯЦИИ «ОБЪЕКТА УКРЫТИЕ» ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

*В роботі розглядаються призначення і конструкція Нового Безпечного Конфайнменту (НБК), що будується біля Об'єкту «Укриття» (ОУ) Чорнобильської АЕС. Обґрунтовується необхідність аналізу та прогнозування сумісних термогазодинамічних та вологісних процесів в ОУ і НБК, які визначають 100-річний ресурс НБК.*

*This paper deals with the purpose and design of the New Safe Confinement (NSC) which is building near Object "Shelter" (OS) of the Chernobyl nuclear power plant. The justification of necessity analyzing and forecasting providing for joint termogazodynamic and humidity processes in the OS and the NSC, which determine the 100-year lifetime for NSC.*

В соответствии с Законом Украины [1] Новый Безопасный Конфайнмент (НБК) является защитным сооружением, которое включает в себя комплекс технологического оборудования для извлечения из разрушенного четвёртого энергоблока Чернобыльской АЭС материалов, содержащих ядерное топливо и систем, предназначенных для осуществления деятельности по преобразованию этого энергоблока в экологически безопасную систему и обеспечение безопасности персонала, населения и окружающей среды [2].



(a)

(б)

Рис. 1. Схема НБК и ОУ (а) и частично собранный НБК (октябрь 2015г.) (б). На рис.(а): 1 - машинный зал, 2 - разрушенный реактор, 3 - центральный зал ОУ, 4 - основной объем НБК, 5 – кольцевое пространство НБК.

В кольцевом пространстве и основном объеме предусматриваются системы вентиляции, которые должны обеспечить требуемый режим влажности (с целью снижения до минимума коррозии металлических конструкций кольцевого пространства) и предотвратить попадание аэрозольных выбросов в окружающую среду, которые могут внезапно возникнуть в основном объеме Арки при демонтаже конструкций ОУ.

Новый Безопасный Конфайнмент, который спроектирован и строится консорциумом VINCI Construction Grands Projets / Bouygues Travaux Publics NOVARKA (НОВАРКА) и будет закончен в конце 2016 года. Общие геометрические размеры Арки НБК составляют: высота около 109 м, длина около 164 м, ширина около 260 м. Объем воздуха между внутренней и внешней обшивками Арки НБК, называемый «кольцевое пространство» (рис.1, поз.1), составляет около 1,0 млн.м<sup>3</sup>, а воздушная часть объема НБК внутри Арки НБК (рис.1, поз.5), называемая «основной объем НБК», около 1,4 млн. м<sup>3</sup>. Объем Объекта «Укрытие» составляет около 1,0 млн. м<sup>3</sup>. Общий вес Арки составляет около 33 тыс.тонн.

Одной из важных инженерных систем НБК является система вентиляции (рис.2), которая прежде всего должна обеспечить требуемый режим относительной влажности (не более 40%) и уровень превышения давления воздуха (50-75 Па) в кольцевом пространстве Арки НБК, а также вентиляцию и поддержание слабого вакуума ( $\approx -5$  Па) в основном объеме Арки НБК при различных метеорологических условиях. Необходимость поддержания низкого уровня относительной влажности в кольцевом пространстве Арки НБК продиктована требованием снижения до минимума коррозии металлических конструкций, расположенных в кольцевом пространстве, для обеспечения 100-летнего ресурса Арки НБК.

Система вентиляции состоит из двух подсистем,- подсистемы вентиляции и осушения кольцевого пространства для обеспечения указанного выше уровня относительной влажности воздуха и подсистемы вентиляции основного объема

НБК для обеспечения поступления свежего воздуха в места работы персонала НБК и отвода воздуха из мест с наибольшим количеством радиоактивных аэрозолей, прежде всего пространство над ОУ. Подсистема вентиляции кольцевого пространства состоит из коллектора, нагнетающего свежий осушенный и подогретый воздух и девяти контуров рециркуляции и дополнительного подогрева воздуха.

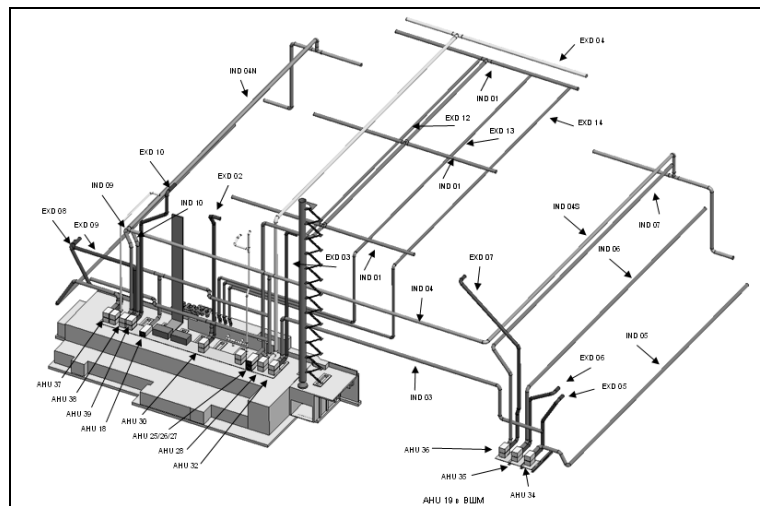


Рис.2 Схема системы вентиляции НБК

Поскольку влажностный режим воздушных объемов Арки НБК напрямую зависит от температурного и газодинамического режимов в этих объемах, то для детального анализа работоспособности системы вентиляции НБК необходима разработка инструмента, способного выполнить такой анализ. В качестве такого инструмента было выбрано трехмерное CFD (Computational Fluid Dynamic) компьютерное моделирование.

Температурно - влажностный режим в кольцевом пространстве Арки НБК, основном объеме и в строительных конструкциях ОУ формируется в результате сложного взаимодействия происходящих там аэродинамических и теплообменных процессов. Это процессы теплопроводности через элементы строительных конструкций, конвективный теплообмен между воздушными потоками и поверхностями Арки НБК и ОУ, смешение поступающих в объем кольцевого пространства и основной объем Арки НБК (а

также отводимых из указанных объемов) воздушных потоков с различной температурой и влажностью, тепло, поступающее в основной объем из ОУ.

Основным источником теплопоступления в КП в летний период является солнечная радиация и конвективный теплоподвод от ветрового потока, воздействующего на внешнюю поверхность Арки. В зимний период основными механизмами теплоотвода с внешней поверхности Арки в окружающее пространство также является радиационно-конвективный теплоперенос.

Другими источниками теплопоступления в кольцевое пространство являются потоки осушенного и подогретого воздуха, нагнетаемого из окружающей среды, а также подогреваемые рециркуляционные воздушные потоки. Эти воздушные потоки формируются путем отбора воздуха из кольцевого пространства, его подогрева до определенной температуры и последующего возвращения в объем кольцевого пространства. Отвод теплоты из кольцевого пространства, кроме теплопотерь в зимний период, происходит также за счет инфильтрационных перетоков воздуха через неплотности в оболочках арочных конструкций во внешнюю воздушную среду и основной объем Арки НБК. Указанные воздушные перетоки возникают вследствие организации повышенного давления (на  $50\div 75$  Па) относительно окружающей среды) в кольцевом пространстве, что должно исключить неорганизованное проникновение в кольцевое пространство влажного воздуха из внешней среды, а также исключит проникновение радиоактивных аэрозольных выбросов из основного объема через кольцевое пространство в окружающую среду.

Температурно-влажностный режим основного объема Арки НБК должен быть таким, чтобы давление в нем было несколько ниже, чем давление воздуха в кольцевом пространстве, а также в окружающем пространстве. При таких условиях исключается самопроизвольный переток загрязненного воздуха из основного объема Арки НБК во внешнюю окружающую среду и межарочное кольцевое пространство, в котором необходимо поддерживать требуемые тепловлажностные условия воздушной среды.

Для выполнения работы была создана трехмерная CFD- модель, включающая в себя как части модели Арки НБК, так и всех объектов под Аркой, включая Объект «Укрытие», грунты и фундаменты (рис.3). Расчетная сетка гексаэдральной формы для такой модели НБК состояла примерно из 4 млн. расчетных ячеек и была отобрана в результате сравнения с сетками примерно в 1,5 раза меньшим и большим количеством расчетных ячеек.

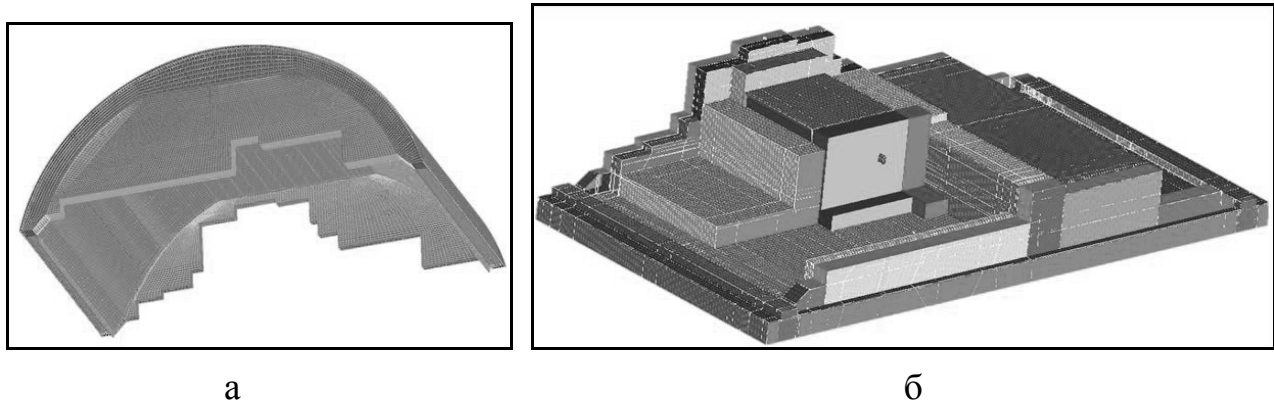


Рис.3 Части геометрических и сеточных моделей Арки НБК (а) и всех объектов под Аркой, включая Объект «Укрытие», грунты и фундаменты (б)

Воздухо- и влагообмен между основным объемом и окружающей средой осуществлялся посредством системы вентиляции и протечек воздуха и влаги из окружающей среды через щели между вертикальными стенами Арки НБК и строительными конструкциями ОУ. Температура грунта на глубине 15 м стабильная и принималась равной 10°C. Работоспособность и достоверность компьютерной модели была показана путем сопоставления (верификации) результатов расчетов, полученных с помощью более простых моделей.

Разработанная и кратко описанная выше модель термогазодинамических и влажностных процессов в воздушных объемах Арки НБК, всех строительных конструкциях ОУ и фундаментах и грунтах под ними была использована для детального анализа распределения температур и влажности в кольцевом и основном объемах НБК и ОУ при различных климатических условиях в стационарных и нестационарных режимах, а также прогнозировании

тепловлажностного состояния ОУ и НБК при отказах различных частей вентиляционного оборудования. На рис.4 приведен пример такого распределения температур и влажности в кольцевом и основном объемах НБК и ОУ при стационарном режиме в летнее время при температуре окружающего воздуха 30 °С, относительной влажности 100% и отсутствии ветра.

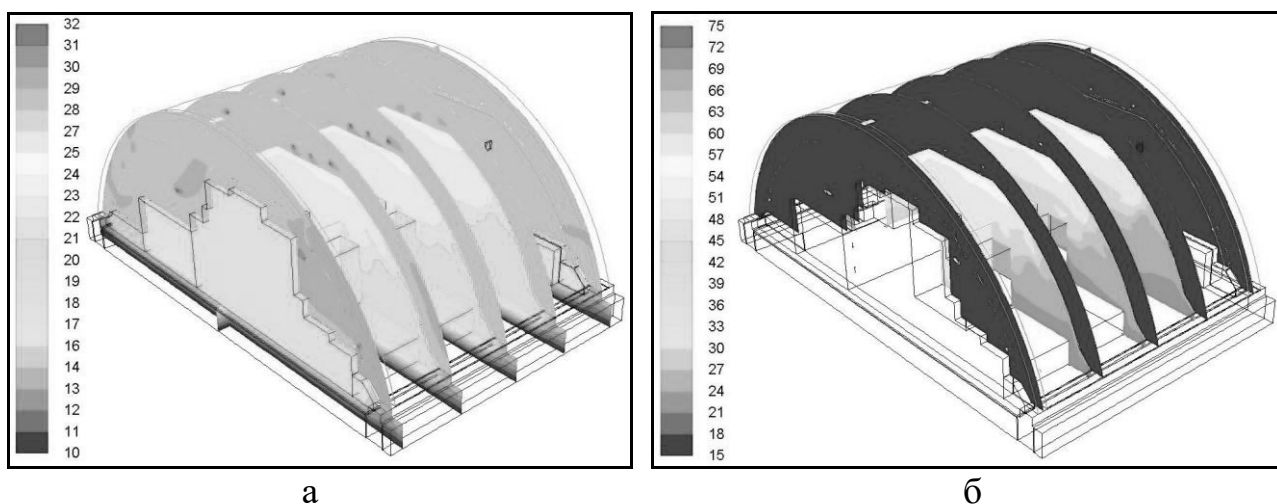


Рис.4 Распределения температур (а) и влажности (б) в кольцевом и основном объемах ОК и НБК.

Проведенные исследования показали, что система вентиляции в целом работоспособна в диапазоне заданных климатических условий с изменением температуры окружающего воздуха от -22 до + 30 °С, относительной влажности от 50 до 100% и силе ветра от 0 до 25 м/с. Временное превышение уровня влажности в кольцевом пространстве наблюдалось лишь при силе ветра, превышающем 7,2 м/с.

## Література

1. Закон України «Про загальні засади подальшої експлуатації і зняття з експлуатації Чорнобильської АЕС та перетворення зруйнованого четвертого енергоблоку цієї АЕС на екологічно безпечну систему». № 309-XIV 11.12.98 р.
2. Концептуальный проект нового безопасного конфайнмента, Чернобыльская Атомная Электростанция – Блок 4, Государственное Специализированное Предприятие «Чернобыльская Атомная Электростанция (ГСП ЧАЭС)», Киевская обл., Украина, 2003 г.