

УДК 539.3:621

## ОПТИМАЛЬНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ЗАХИСНОЇ ОБОЛОНКИ АТОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ПРИ ІМПУЛЬСНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Наталя Сметанкіна, Альона Меркулова, Дмитро Меркулов, Сергій Місюра

Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України, м. Харків

Велику увагу при проектуванні атомних електростанцій (АЕС) приділяють пошуку нових конструктивних рішень захисних оболонок над реакторними блоками. Захисні оболонки повинні витримувати як зовнішні (удар літака, падіння залізобетонних труб, дерев), так і внутрішні ударні й імпульсні навантаження. Захисні оболонки АЕС є багатошаровими конструкціями з різноманітною структурою (залізобетонна захисна оболонка зі зовнішнім і внутрішнім металевими облицюваннями, подвійна залізобетонна оболонка, подвійна оболонка, складена з внутрішньої сталеві і зовнішній залізобетонної оболонок тощо) [1], що підвищує міцність конструкції при експлуатаційних та аварійних впливах [2, 3]. Оскільки неможливо здійснити натурні експерименти з різними варіантами захисних оболонок, розробка методів теоретичного дослідження і обґрунтування найкращого проекту є актуальною проблемою, вирішення якої дозволить уникнути можливих аварійних ситуацій.

Розглянуто задачу про мінімізацію маси кришки захисної оболонки АЕС при імпульсному навантаженні  $F(t)$ , а саме "Імпульс МАГАТЕ" [4]. Кришка моделюється круглою дво- або тришаровою пластиною радіуса  $r = 22,5$  м. Математична модель багатошарової кришки ґрунтується на уточненій теорії багатошарових пластин [4]. Змінними параметрами задачі мінімізації маси багатошарової кришки є товщини шарів. Обмеження накладаються на значення напружень стиску і розтягу, що виникають у шарах упродовж деякого характерного відрізка часу. Обмежуються також мінімальне і максимальне значення товщини кожного шару, що зумовлено конструктивними, технологічними та експлуатаційними вимогами. Як метод оптимізації застосовується гібридний метод з адаптивним управлінням обчислювальним процесом [3, 5], у якому гібриденти об'єднуються в автоматизованій системі за допомогою керуючих функцій, визначених на множині ознак обчислювальної ситуації.

Розглянуто кришки з такими композиціями: I – залізобетон – сталь та II – залізобетон – сталь – залізобетон. Для композиції I змінними параметрами є товщини першого і другого шарів, для композиції II – товщини першого і третього шарів. Початкова маса кришки I дорівнювала  $F^0 = 4896$  т; після оптимізації маса зменшилася до  $F^* = 2352$  т, тобто майже вдвічі. Початкова маса кришки II –  $F^0 = 5031$  т; після оптимізації вона також зменшилася

вдвічі до  $F^* = 2399$  т. У цьому випадку товщина залізобетонного шару зменшилася незначно, а товщини сталевих шарів, як і для першої композиції, досягли мінімально допустимих значень. Таким чином, оптимальні проекти для першої і другої композиції відрізняються несуттєво, і двошарова композиція може замінити тришарову, що дозволить знизити витрати на матеріали та монтажні роботи.

Виконане дослідження дає змогу зробити такі висновки. Поставлена і розв'язана задача про мінімізацію маси багатошарового елемента конструкції АЕС при нестационарному навантаженні. Розроблений підхід дозволяє визначити на початкових стадіях проектування основні параметри залізобетонних корпусів, захисних конструкцій і герметизуючих облицювань в залежності від геометричних і міцнісних характеристик матеріалів, експлуатаційних і аварійних навантажень та інших факторів та підвищити безпеку і надійність захисних споруд АЕС.

*Роботу виконано за проектом № Р.4.4–2021 (II-18-21) у рамках Цільової програми «Науково-технічні проблеми моніторингу стану, оцінювання і подовження ресурсу конструкцій, обладнання та споруд тривалої експлуатації» («Ресурс-3»).*

1. *Баженов В.А., Слободян Я.О.* Застосування сучасних комп'ютерних технологій розрахунку і проектування для обґрунтування безпеки об'єктів атомної енергії // Опір матеріалів і теорія споруд. – 2004. – № 74. – С. 35–43.
2. *Smetankina N., Merkulova A., Merkulov D., Postnyi O.* Dynamic response of laminate composite shells with complex shape under low-velocity impact // Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering–2020. – **188**. – Springer: Cham. – 2021. – P. 267–276.
3. *Шелудько Г.А., Шупіков О.М., Сметанкіна Н.В., Угрімов С.В.* Прикладний адаптивний пошук. – Харків: Око, 2001. – 191 с.
4. *Сметанкіна Н.В.* Нестационарное деформирование, термоупругость и оптимизация многослойных пластин и цилиндрических оболочек. – Харків: Миськдрук, 2011. – 375 с.
5. *Misura S., Smetankina N., Misiura Ie.* Optimal design of the cyclically symmetrical structure under static load // Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering-2020. – **188**. – Springer: Cham. – 2021. – P. 256–266.

#### **OPTIMAL DESIGN OF THE PROTECTIVE COVER OF A NUCLEAR POWER PLANT UNDER IMPULSE LOADING**

*A problem on the optimal design of a multilayer element of atomic power plants by a minimum mass criterion at impulse loading is formulated. As a method for the optimization, a modified version of the hybrid method of optimization with an adaptive control by computational process is used. Two optimal cover designs are obtained.*