

**РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ БАГАТОШАРОВИХ
ЕЛЕМЕНТІВ ЗАХИСНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ
ІМПУЛЬСНОМУ НАВАНТАЖЕННІ**

Сметанкіна Н.В., д. т. н., с. н. с.

Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України

Розглянуто процес нестационарного деформування багатошарової захисної кришки атомної електростанції при впливі «Імпульсу МАГАТЕ». Досліджено вплив конструктивних параметрів на переміщення й напруження в шарах. Встановлено, що застосування багатошарових захисних елементів значно підвищує надійність конструкції при аварійних ситуаціях.

Проблема забезпечення надійної експлуатації атомних електростанцій (АЕС) має важливе загальносвітове значення. При проектуванні конструкцій АЕС крім штатних навантажень також ураховуються особливі впливи [1, 2].

Одним з найбільш руйнівних є вплив, викликаний падінням літака на захисну оболонку ядерного реактора. Як показує огляд, присвячений даній проблемі, визначення ударних навантажень на конструкції АЕС розглядається як квазістатичне або засновано на спрощеній одновимірній моделі тіла, що ударяє [1, 3]. У той же час, найбільш достовірним з погляду обґрунтованості експериментальними даними є «Імпульс Міжнародного агентства по атомній енергії (МАГАТЕ)» [2, 4]. На рис. 1 показані рекомендовані МАГАТЕ залежності від часу навантаження $F(t)$ (рис. 1, а) і площі прикладення цього навантаження $S(t)$ з урахуванням деформації падаючого тіла (рис. 1, б) при вертикальному ударі літака масою 20 т по плоскій поверхні.

При будівництві АЕС широко використовуються конструктивні елементи, що виконані у вигляді багатошарових пластин і оболонок. Дана робота присвячена дослідженню міцності багатошарової кришки захисної оболонки АЕС, що має форму круглої пластини. Ця форма захисної оболонки впроваджена при будівництві серії АЕС у країнах СНД і країнах Європейського співтовариства [1, 2, 4], тому що вона має переваги в розташуванні обладнання, обслуговуванні активної зони, у монтажі й ремонті внутрішньої теплової ізоляції. Кришка виготовлена із залізобетону, облицьованого із внутрішнього боку або з обох боків вуглецевою сталлю товщиною 6–10 мм. Умови сполучення циліндричної частини захисної

оболонки із кришкою дозволяють розглядати кришку як багат шарову круглу пружно-закріплену пластину.

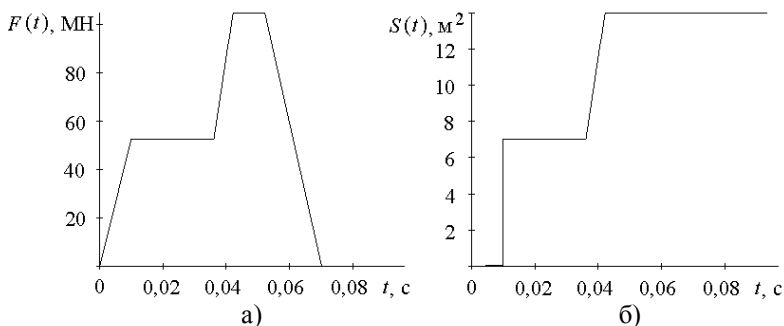


Рис. 1. Динамічні характеристики ударного імпульсу МАГАТЕ

Динамічна поведінка пластини описується на основі кінематичних гіпотез, які враховують деформації поперечного зсуву, обтиснення по товщині та інерції обертання нормального елемента у межах кожного шару. Контакт між шарами виключає їх розшаровування і взаємне проковзування. Для пакета шарів справедлива гіпотеза ламаної лінії. З урахуванням цих кінематичних гіпотез переміщення точки i -го шару мають вигляд

$$u_k^i = u_k + \sum_{j=1}^{i-1} h_j u_{3+I(k-1)+j} + (z - \delta_{i-1}) u_{3+I(k-1)+i}, \quad k = 1, 2, 3, \quad i = \overline{1, I},$$

де $\delta_i = \sum_{j=1}^i h_j$, $\delta_{i-1} \leq z \leq \delta_i$; h_i – товщина i -го шару;

$u_k = u_k(x, y, t)$ ($k = 1, 2, 3$) – переміщення точки координатної поверхні в напрямку координатних осей;

$u_{3+I(k-1)+i} = u_{3+I(k-1)+i}(x, y, t)$ ($k = 1, 2$) – кути повороту нормального елемента в i -му шарі навколо координатних осей;

$u_{3+2I+i} = u_{3+2I+i}(x, y, t)$ – обтиснення нормального елемента в i -му шарі; I – число шарів; t – час.

Рівняння руху багат шарової пластини, а також відповідні граничні умови отримані з варіаційного принципу Остроградського-Гамільтона [5].

Для розрахунку характеристик напружено-деформованого стану багат шарових пластин застосуємо підхід, заснований на методі занурення [5]. Відповідно до цього підходу вихідна пластина довільної форми в плані занурюється в допоміжну прямокутну шарнірно оперту пластину з такою ж композицією шарів. Щоб забезпечити виконання вихідних гра-

ничних умов, до допоміжної пластини додаються компенсуючі навантаження, які неперервно розподілені вздовж вихідного контуру та входять у рівняння руху пластини у вигляді криволінійних розподілів. Компенсуючі навантаження визначаються з системи інтегральних рівнянь, яка формується на основі вихідних граничних умов.

Розглянемо нестационарні коливання круглих двошарових і тришарових пластин радіусом $r = 22,5$ м під дією імпульсного навантаження $F(t)$ (рис. 1, а). Модуль пружності E , коефіцієнт Пуассона ν і густина ρ залізобетону визначаються відповідно до методики усереднення [4]: $E = 2,0 \cdot 10^4$ МПа, $\nu = 0,25$, $\rho = 500$ кг/м³. Характеристики стали такі: $E_s = 2,1 \cdot 10^5$ МПа, $\nu_s = 0,3$, $\rho_s = 7,85 \cdot 10^3$ кг/м³.

Експериментальні дослідження показали [1, 2], що міцність залізобетонних захисних оболонок обумовлюється міцністю арматур і металевого облицювання, тому для оцінки міцності конструкції будемо застосовувати критерій питомої потенційної енергії формозміни (четверта теорія міцності).

У таблиці 1 наведені значення максимальних прогинів w і інтенсивностей напружень у центральній точці в сталевій обшивці двошарової пластини (σ_i^2) і у внутрішній сталевій обшивці тришарової пластини (σ_i^3) залежно від товщини h залізобетонного шару. Товщина сталевих шарів двошарової пластини дорівнює 10 мм. Товщини зовнішніх і внутрішнього сталевих шарів тришарової пластини відповідно рівні 5 мм і 10 мм.

Таблиця 1. Прогини й інтенсивності напружень у сталевій обшивці

Двошарова пластина						
h , м	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
w , м	$7,43 \cdot 10^{-1}$	$1,65 \cdot 10^{-1}$	$5,85 \cdot 10^{-2}$	$2,55 \cdot 10^{-2}$	$1,22 \cdot 10^{-2}$	$6,42 \cdot 10^{-3}$
σ_i^2 , МПа	1099,3	449,33	219,23	142,61	87,361	54,441
Тришарова пластина						
h , м	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
w , м	$6,64 \cdot 10^{-1}$	$1,55 \cdot 10^{-1}$	$5,59 \cdot 10^{-2}$	$2,46 \cdot 10^{-2}$	$1,18 \cdot 10^{-2}$	$6,26 \cdot 10^{-3}$
σ_i^3 , МПа	1107,7	450,00	213,72	141,79	87,469	54,125

У двошаровій пластині при $h = 3$ м інтенсивність напружень не перевершує границю текучості сталі $\sigma_T = 250$ МПа. Подальше збільшення h приводить до істотного зниження інтенсивності напружень в обшивці. Порівняння з результатами розрахунку, отриманими для тришарової пластини, показує, що значення прогинів і напружень у внутрішній сталевій обшивці зменшуються незначно, тобто додатковий зовнішній шар істотно не впливає на міцність конструкції. Таким чином, товщина шару із залізобетону в обох випадках повинна бути не менш 3 м.

На рис.2 наведена зміна прогинів w (а) і інтенсивності напружень σ_i^2 (б) у центральній точці сталевій обшивки двошарової пластини залежно від часу при $h = 4$ м.

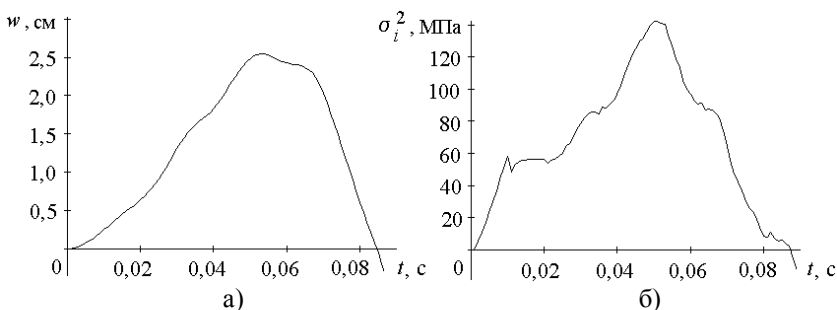


Рис. 2. Прогин і інтенсивність напружень у двошаровій пластині

Висновки. Розроблена математична модель багатошарового елемента конструкцій АЕС, яка базується на уточненій теорії першого порядку багатошарових пластин. Результати розрахунку переміщень та напружень можуть бути використані у проектних розробках захисних споруд АЕС з метою підвищення їх міцності та надійності при особливих впливах.

Список використаних джерел

1. Бирбраер А.Н., Шульман С.Г. Прочность и надежность конструкций АЭС при особых динамических воздействиях. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 250 с.
2. Саргсян А.Е., Бедняков В.Г., Кириллов А.П. Динамика сооружений атомных станций при особых воздействиях // Энергетика и электрификация. – Сер. 3. Атомные электростанции. – 1991. – Вып. 6. – 48 с.
3. Караковский М.В., Шульман Г.С. О динамическом взаимодействии жестко-пластического стержня с плоской конструкцией // Изв. ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – 1993. – Т. 227. – С. 75-80.

4. Belyaev A.K., Blumenschein E., Blumenschein S., Gerstmayr J. Vibrational conductivity approach to vibration in a power plant subjected to aircraft impact // Trans. of the 14th Int. Conference on Structural Dynamics in Reactor Technology. – 1997. – V. JSP/4 (SMiRT-14). – P. 331-338.
5. Сметанкина Н.В. Нестационарное деформирование, термоупругость и оптимизация многослойных пластин и цилиндрических оболочек. – Харьков: Изд-во «Міськдрук», 2011.– 376 с.

Аннотация

РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ МНОГОСЛОЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАЩИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ НАГРУЖЕНИИ

Сметанкина Н.В.

Рассмотрен процесс нестационарного деформирования многослойной крышки атомной электростанции при воздействии «Импульса МАГАТЭ». Исследовано влияние конструктивных параметров на перемещения и напряжения в слоях. Установлено, что применение многослойных защитных элементов значительно повышает надежность конструкции при аварийных ситуациях.

Abstract

CALCULATION ON STRENGTH OF MULTILAYER ELEMENTS OF PROTECTIVE STRUCTURES AT IMPULSE LOADING

Smetankina N.V.

Process of non-stationary deformation of the multilayer cover of an atomic power plant affected by "IAEA Impulse" is considered. The influence of design parameters on displacements and stresses in layers is investigated. It is established that multilayer protective elements considerably raise reliability of the structure at emergencies.