УДК 539.3

ОПТИМАЛЬНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ РЕЗЕРВУАРІВ З ЖОРСТКИМИ ОБОЛОНКАМИ ПОКРИТТЯ.

О.О. Кошевий,
аспірант

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ
Повітрофлотський просп., 31, м. Київ 03680

Розглянуто дослідження параметричної оптимізації паливних циліндричних резервуарів з жорсткими оболонками покриття. Отримані напруження по Мізесу і загальні переміщення просторових конструкцій після розрахунку оптимізації та побудовані діаграми цільової функції, та зроблені висновки по даному дослідженню. При проектуванні і будівництві промислових резервуарів для зберігання нафтових і хімічних продуктів в регіонах де присутнє сейсмічне навантаження дуже важливо проаналізувати всі комбінації навантажень, які діють на споруду, а також вибрати оптимальне рішення для такої конструкції. Як правило, такі резервуари поділяються на: підземні і надземні. Надземні поділяються в свою чергу на: резервуари з плаваючим дахом і з жорстким покриттям. В даній роботі розглядаються циліндричні резервуари без підтримуючих ребр з жорсткими оболонками покриття.

Для вирішення задач параметричної оптимізації розглядається математичний метод градієнтного спуску, який був запропонованим Розеном. Мета методу – за допомогою вихідних даних шляхом ітерацій знаходити оптимальне рішення для конструкції при заданих змінних проектування і обмеженнях, які накладаються на відгук конструкції. Метод градієнтного спуску передбачає без попередніх підборів поперечного перерізу конструкції та її моделювання, що проводиться з урахуванням вихідних даних та способи з'єднання конструкції з жорстким диском землі або іншими конструкціями, а також врахування об'єктивних причин.

Були побудовані два варіанта розрахункових просторових моделей паливних резервуарів за допомогою метода скінченних елементів. Були прикладені зовнішнє статичне і динамічні навантаження у вигляді сейсміки, так як будівництво резервуарів розглядається в сейсмоактивних районах України. За допомогою нової методики були визначені змінні проектування, а саме товщина оболонки от 1 до 100 мм і обмеження напружень по Мізесу 260 МПа і переміщення по осям *X*,*Y*,*Z*, 15 мм. Цільова функція – маса паливного резервуару. Варіанту резервуарів відрізняються геометрією жорсткої оболонки покриття. Для першого варіанту – жорстка конусна оболонка покриття, для іншого варіанту – жорстка сегментна оболонка покриття. Всі інші геометричні параметри, кількість і вид скінченних елементів, умови кріплення і види навантажень однакові. Циклів оптимізації для розрахунку в двох варіантах – 20. Були побудовані цільові функції по циклам оптимізації. Діаграми показали, що вага паливного резервуару з жорсткою конусною оболонкою покриття є 155.2 тони. Паливний резервуар з сегментної жорсткою оболонкою покриття має вагу 187.5 тони. Таким чином, паливний резервуар з жорсткою конусною оболонкою покриття на 32.3 тони має вагу менше, за резервуар з сегментною жорствою оболонкою покриття, при цьому максимальні напруження по Мізесу і переміщення по осям *X*,*Y*,*Z*, знаходяться в межах допустимого значення. Можемо зробити висновок, що паливний резервуар з жорсткою конусною оболонкою покриття є більш оптимальним рішенням.

Ключові слова: Метод скінченних елементів (МСЕ), цільова функція, параметрична оптимізація, циліндричний паливний резервуар з жорсткою оболонкою покриття, статичне навантаження, динамічне навантаження.

Вступ. При проектуванні і будівництві промислових резервуарів для зберігання нафтових і хімічних продуктів в регіонах де присутнє сейсмічне навантаження дуже важливо проаналізувати всі комбінації навантажень, які діють на споруду, а також вибрати оптимальне рішення для такої конструкції. Як правило, такі резервуари поділяються на: підземні і надземні. Надземні поділяються в свою чергу на: резервуари з плаваючим дахом і з жорстким покриттям. В даній роботі розглядаються циліндричні резервуари без підтримуючих ребр з жорсткими оболонками покриття, щоб оцінити, як впливає жорстке кріплення на загальні напруження по Мізесу, та загальні переміщення, і як при автоматизованому оптимальному проектуванні змінюється товщина оболонки, відповідно, і її маса конструкції.

Одним із головних етапів при постановці задачі параметричної оптимізації для циліндричних резервуарів з жорсткими оболонками покриття є вибір матеріалу, побудова скінчено-елементної моделі та використання різних видів скінченних елементів, так як їх можна моделювати за допомогою: стержневих, пластинчастих, оболонкових, об'ємним тілом. Це все впливає на максимальне до реальних умов моделювання задач параметричної оптимізації, правильність і точність результату, а також на складність роботи.

Підходи до вирішення задачі параметричної оптимізації важливих і складних конструкцій, досвід будівництва і проектування яких – обмежений, а аналогічні проекти можуть відрізнятися різними особливостями дуже важливий, так як, кожна нова задача з урахуванням постановки та пошуку оптимального рішення має наукову цінність для розкриття проблеми параметричної і топологічної оптимізації просторових конструкцій. Також це стосується конструкцій масового виробництва, за допомогою таких задач є можливість зменшення маси конструкції, витрат матеріалів і сировини та підбір раціональної технології монтажу конструкції з урахуванням архітектурної виразності будівлі чи споруди, та різних геометричних параметрів конструкції.

Для вирішення задач параметричної оптимізації розглядається математичний метод градієнтного спуску, який був запропонованим Розеном. Мета методу – за допомогою вихідних даних шляхом ітерацій знаходити оптимальне рішення для конструкції при заданих змінних проектування і обмеженнях, які накладаються на відгук конструкції. Традиційний метод проектування конструкції передбачає задання попередніх розмірів, побудова скінчено-елементної моделі та виконання статичного і динамічного розрахунку за двома граничними станами. Потім виконується корегування параметрів конструкції, з урахуванням розрахунку і перехід до безпосереднього проектування конструкції та її вузлів з'єднання з іншими конструкціями. Метод градієнтного спуску передбачає без попередніх підборів поперечного перерізу конструкції та її моделювання, що проводиться з урахуванням вихідних даних та способи з'єднання конструкції з жорстким диском землі або іншими конструкціями, а також врахування об'єктивних причин.

Класичним прикладом вирішення задачі оптимального проектування математичним методом градієнтного спуску є підбір поперечного перерізу стержньової конструкції під дією комбінації зовнішніх навантажень. Для складних конструкцій, або цілих будівель і споруд, при задані скінчено-елементній моделі підбір поперечного перерізу конструкції зводиться до підбору її частин, виходячи із рівнянь статики, що виражають залежність внутрішніх зусиль від зовнішніх навантажень.

Для статично невизначених конструкцій при використанні класичного підходу проектування необхідно задання жорсткості окремих елементів конструкції та розрахунок класичними методами будівельної механіки. В цьому випадку розподіл зусиль в конструкції або її частин визнається умовами сумісної деформації частин конструкції і правильності задання вихідних даних, щоб отримати реальні результати. Також необхідно вдале задання розмірів перерізу конструкції, так як це впливає на жорсткість конструкції. При використанні математичного методу градієнтного спуску, цього можна уникнути так як достатньо правильно побудувати просторову скінчено-елементну модель і задання комбінації зовнішніх навантажень.

При розв’язування задачі параметричної оптимізації, слід приділити увагу методу її вирішення, а також практичного його використання. Враховуючи, що результат повинен враховувати безліч факторів і вихідні даних, щоб довести розрахунок до результату, необхідно мати теоретичну частину, яка буде сформована і прийнята в сучасній практиці проектування і задовольняти методи розрахунку конструкцій будівельної механіки.

При нелінійному розрахунку оболонкових конструкцій, слід враховувати, що всі оболонкові конструкції підкорюються законам лінійно-деформованим системам. Їх фізичною нелінійностю можна знехтувати за рахунок деталізації та характеру роботи стальних конструкцій, так як автоматизоване оптимальне проектування конструкції ми розглядаємо тільки в межах пружної роботи сталі.

Вихідні дані та просторова розрахункова модель конструкції описує її напружено-деформований стан, цей стан можна виразити за допомогою рівнянь або нерівностей. Об’єднані єдиною функцією цілі обмеження, можливості рішення, є математичною моделлю задачі, яка в будь-якому випадку - нелінійна, так як має нелінійну залежність взаємозв’язку між параметрами об’єкта, що проектується, в залежності від того, які з них прийняті, і які можуть змінюватися. Навіть у відносно вузьких задачах підбору оптимального поперечного перерізу оболонок, які описують пошук розмірів перерізу є нелінійним відносно невідомих параметрів.

Аналіз публікацій. На теперішній час в галузі будівельних конструкцій і будівельній механіки є великий досвід постановки і вирішення задач параметричної оптимізації з використанням математичного методу градієнтного спуску при побудові розрахункових моделей за допомогою методу скінченних елементів та аналітичних методів будівельної механіки. Модифікованих метод градієнтного спуску для оптимального проектування будівельних конструкцій використовується в роботі [1]. Автоматизована параметрична оптимізація за допомогою математичного методу градієнтного спуску для оболонок з урахуванням статичних і динамічних навантажень, або оптимізація власних частот коливань розглядається в роботах [2-4]. В більшості, узагальнення варіаційних методів Лагранжа і

ISSN 2410-2547
Опір матеріалів і теорія споруд/Strength of Materials and Theory of Structures. 2019. № 103

Кастільяно, які використовуються до задач оптимального проектування стержневих систем приводиться у роботі [5]. Використання методу скінчених елементів до вирішення задач у сучасному будівництві використовується в роботі [6].

Мета статті. Дослідження параметричної оптимізації паливних резервуарів з жорсткими оболонками покриття с урахуванням статичних і динамічних навантажень, побудова цільової функції по циклам оптимізації. Зробити висновки по даним дослідженням.

Теоретичні відомості. В оптимізації паливних резервуарів використовується математичний метод проекції градієнта при побудові розрахункової моделі методом скінчених елементів для вирішення задач параметричної оптимізації [1]. В теорії оптимального проектування розглядаються задачі визначення форми, розрахункової моделі, внутрішніх властивостей і умов роботи конструкції, які приводять до екстремуму (мінімум чи максимум) вибраної характеристики конструкції при додаткових обмеженнях.

Коли вибрані змінні проектування, задачу оптимального проектування можна сформулювати у вигляді, що представлені в роботах [2-4]. Основний етап при рішенні задачі оптимального проектування системи, яка деформується, є вибір математичної моделі самої системи, матеріалу з якого вона виконана. В залежності від співвідношень основних геометричних параметрів, розмірів, мова може йти про оболонкову систему. Важливим етапом є також вибір моделі матеріалу системи (пружний, пружно-пластичний, жорстко-пластичний и т.д.) Крім того, матеріал може бути ізотропним, ортотропним або анізотропним. Нарешті, математична модель конструкції може бути лінійною, або геометрично чи фізично нелінійною. Важливе значення різних технічних вимог, пропонованих до конструкції, що проектується, виражається в багатьох критеріях оптимальності і обмежень, необхідних при оптимальному проектуванні конструкції, що приводить до великого різноманіття задач оптимального проектування.

Знайти такий проект *S* (вектор $\vec{X}_k$), що

$$h_k(S) = 0 \text{ при } k = 1; 2; \dots\dots\dots k_n$$
$$g_j(S) \leq 0 \text{ при } j = 1; 2; \dots\dots\dots j_n\,. \tag{1.1}$$

Функція $\varphi(S)$ мінімальна. Через *S* позначена деяка точка в просторі проектування, яка визначається певними вибраними змінними. В більшості задачах умови на функціонали h_k і g_j визначаються обмеженнями на поведінку конструкції під навантаженням, але деякі із них можуть відображати задані розділи підпростору проектування.

Питання в тому, має задача, визначення в загальному вигляді умови (1.1) рішення, залишається відкритим і лиш в окремих випадках може бути вирішена на основі фізичної інтуїції. Теж саме можна сказати і відносно єдиного рішення.

Із (1.1) випливає, що якщо *S* є оптимальним рішенням, то малі варіації δS всередині підпростору проектування задовольняють вимоги.

$$\begin{array}{ll} \delta h_k(S)=0 & \text{при } k=1;2;\ldots\ldots\ldots k_n \\ \delta g_j(S)\le 0 & \text{для всіх } j, \text{ при яких} \\ \delta g_j(S)\le 0 & g_j(S)=0. \end{array} \quad (1.2)$$

Це класична варіаційне формулювання являється необхідною умовою оптимального рішення.

Умову (1.2) можна представити в іншій, часто більш зручній формі. Для простоти припустимо, що змінні проектування визначають *N* дійсних чисел, так, що простір проектування можна представити як *N*-вимірне еквівалентне простору.

Позначимо через *S* деяке допустиме рішення, а через δS його довільну варіацію в межах підпростору проектування. Якщо $h_k(S)=0$, то варіації δS перпендикулярна по всім векторам $\nabla h_k(S)(\ k=1;2;\ldots.k)$, де набла-оператор ∇ означає градієнт. Подібним чином обмеження у вигляді активних нерівностей $g_j(S)=0$ потребують, щоб варіація δS не мала компонент в позитивному напрямку $\nabla g_j(S)$

Звідси можна зробити висновок, що для будь-яких дійних чисел $\lambda_k\ge 0$ і $\gamma_j\ \ge 0$ проекції δS на вектор

$$\sum_{k=1}^{K}\lambda_k\nabla h_k(S)+\sum_j'\gamma_j\nabla g_j(S) \quad (1.3)$$

не позитивний. Символ $\sum_j'$ позначає, що сума обмежена лиш тими значеннями j, для котрих $g_j(S)=0$. Іншими словами, будь-який напрямок, який має компоненту в будь-якому із напрямків (1.3), веде за межі визначеного простору.

Щоб зменшити цільову функцію φ, необхідно рухатися в напрямку, який має будь-яку позитивну компоненту в негативному напрямку $\nabla\varphi$, але якщо цей напрямок $-\nabla\varphi$ є будь-яким із напрямів (1.3), то ніякий рух всередину допустимого простору не приведе до зменшення цільової функції. Отже, в будь-якій із оптимальних точок $-\nabla\varphi$ є одним із напрямком (1.3). Використовуючи цю обставину, можна зробити висновок, якщо S є оптимальним рішенням, то існує ряд таких дійних чисел $\gamma_j\ \ge 0$ і додатних чисел λ_k, що

$$-\varphi(S)=\sum_{k=1}^{K}\lambda_k\nabla h_k(S)+\sum_j'\gamma_j\nabla g_j(S). \quad (1.4)$$

Формула (1.4) виражає умову оптимізації Куна-Таккера. Коли немає активних обмежень – нерівностей, величину λ_k можна інтерпретувати як множники Лагранжа. Для задачі без обмежень умови Куна-Таккера зводиться до умови $\nabla\varphi=0$.

Оскільки відношення 1.2, 1.3 задовольняє будь-які стаціонарні рішення, вони самі по собі не можуть забезпечити глобальну оптимізацію, але вони створюють основу, на яку будуть посилатися більшість досліджень по оптимальному проектуванню.

Щоб впевнитися в глобальності будь-якого із досягнутих мінімумів, необхідно провести додаткові дослідження. Зокрема, якщо допустимий простір проектування випуклий, цільовий функціонал або випуклий, або ввігнутий, то деякі теореми нелінійного програмування можуть давати важливу інформацію, відносно глобальності, а також про становище можливого рішення [7].

Якщо цільова функція φ є унімодальною (маючи один екстремум), то пошук оптимального рішення спрощується. Мультимодальні функції можуть мати деякі оптимальні рішення. Для таких функцій глобальне оптимальне рішення надає собою найменше значення $\varphi(S)$, тоді як локальні оптимальні рішення представляють собою найменше значення $\varphi(\vec{X}_k)$ в околиці оптимального проекту S^1. Як для глобального, так і для локального мінімуму $\varphi(S^1) \leq \varphi(S)$, але для глобального оптимального рішення це відношення виконується для всіх $\vec{X}_k$ в E^n, тоді для локального оптимального рішення цей простір має місце тільки для деякої околиці.

На практиці припущення про те, що локальний екстремум є глобальним, може бути перевірено шляхом використання деяких початкових векторів, але навіть якщо знайдено одне найменше локальне рішення, в загальному випадку, неможливо показати, що це рішення обов'язково є глобальним оптимальним проектом. Цільова функція є позитивною і володіє єдиним екстремумом. Цей факт встановлюється на основі понять випуклості і увігнутості функції.

Функція $\varphi(\vec{X}_k)$ називається випуклою в області R, якщо для любих векторів $\vec{X}_{k1}$ і $\vec{X}_{k2} \in R$

$$\varphi\left(\theta\vec{X}_{k1} + (1-\theta)\vec{X}_{k2}\right) \leq \theta\varphi\left(\vec{X}_{k1}\right) + (1-\theta)\varphi\left(\vec{X}_{k2}\right). \tag{1.5}$$

Якщо має місце нерівність, що зворотна (1.5) то функція називаються ввігнутою.

Диференціальна випукла функція володіє наступними властивостями

1. $\varphi\left(\vec{X}_{k2}\right) - \varphi\left(\vec{X}_{k1}\right) \geq \nabla^T\varphi\left(\vec{X}_{k1}\right)\left(\vec{X}_{k2} - \vec{X}_{k1}\right)$; для всіх $\vec{X}_{k1}$ і $\vec{X}_{k2}$;
2. матриця $\frac{\partial\varphi}{\partial x_i \partial x_j}$ (матриця Гессе) позитивно напів визначена;
3. В області R функція $\varphi\left(\vec{X}_k\right)$ має тільки один екстремум.

З поняття випуклості витікає важливий результат математичного програмування. Якщо мінімізація функції φ випукла і кожна функція $g_j\left(\vec{X}_k\right)$, яка задає обмеження у вигляді нерівності – увігнута функція, то локальний мінімум являється також і глобальним мінімумом. І аналогічно локальний максимум увігнутої функції являється глобальним максимумом [1].

Результати числових досліджень. Важливий елемент постановки задачі оптимального проектування – вибір механічної моделі процесу деформування, яка відображає фізичні закони дослідного процесу і реальні властивості матеріалів, математично виражених у вигляді рівняння стану. Коефіцієнти чутливості, які використовуються в цьому пошуковому процесі, розраховуються в ході аналізу чутливості підбору товщини оболонок паливних резервуарів.

Параметрична оптимізація дозволяє знайти оптимум конструкції в ході мінімізації або максимізації призначеної цільової функції. В процесі оптимізації паливних резервуарів підбираються фізичні параметри поперечного перерізу оболонок, що є проектними змінними. При зміні проектних невідомих повинно виконуватися обмеження, для нашого випадку, це максимальні напруження і переміщення, які накладені на відгук конструкції і на змінні проектування.

В ході аналізу чутливості розраховується відношення, коли необхідно модифікувати конструкцію, яка неефективна, щоб можна було запропонувати варіанти для зменшення її поперечного перерізу, що приведе до зменшення маси. Головна ціль оптимізації – автоматизувати для даної задачі процес підбору поперечного перерізу, використовуючи для знаходження кращого варіанту конструкції чисельних методів.

Математичне представлення задачі проектування називається загальною формулюванням задачі оптимізації можна записати так: $F(\bar{X}) \rightarrow min$, де $\bar{X} = (X_1, X_2, \ldots \ldots X_n)$ - змінні проектування. При цьому повинні виконуватися нерівність $\sigma_{max} \leq \sigma_{adm}$.

Об'єктом оптимізації є два варіанта паливного резервуару. Перший варіант, коли жорсткою оболонкою покриття є конус, другий варіант, коли жорсткою оболонкою покриття є сфера. Розміри, кількість скінченних елементів, кількість унікальних властивостей для кожного скінченного елементного елемента, змінні проектування по товщині від 1 до 100 мм і обмеження по напруженням 260 МПа і 15 мм на прогин по кожній із осей *X*,*Y*,*Z*, є однаковими. Товщина до оптимізації оболонок 15 мм. Вага конструкцій однакова. Цикли оптимізації для обох варіантах становить – 20.

Навантаження на паливні резервуари задавалося згідно [2]. Були задані наступні навантаження: власна вага несучого каркасу, снігове, вітрове, технологічне навантаження від людей, сейсмічне навантаження. Була обрана сама небезпечна комбінація навантажень і за цією комбінацією виконувався безпосередньо розрахунок на параметричну оптимізації оболонок паливних резервуарів. Мета цього розрахунку мінімізувати вагу матеріалу паливних резервуарів при заданому комбінованому навантаженні.

Загальні висновки. В статті розглянуто дослідження параметричної оптимізації просторових конструкцій, а саме циліндричних паливних резервуарів з жорсткими оболонками покриття, розрахункові моделі представлені на рис. 1 та 2. Розглядалося два варіанта дослідження паливних резервуарів, а саме: з конусною жорсткою оболонкою покриття і сегментною жорсткою оболонкою покриття. Максимальні напруження по Мізесу для циліндричного паливного резервуару з жорсткою конусною оболонкою покриття становить 262.3 МПа, що менше ніж допустимі напруження по Мізесу, представлено на рис. 3, для паливного резервуару з жорсткою сегментною оболонкою покриття становить 260.5 МПа, що менше ніж допустимі напруження по Мізесу, представлено на рис. 4. Загальні переміщення для циліндричного резервуару з конусною жорсткою оболонкою покриття становить 53.26 мм, що менше ніж допустиме переміщення, представлено на рис. 7, для паливного резервуару

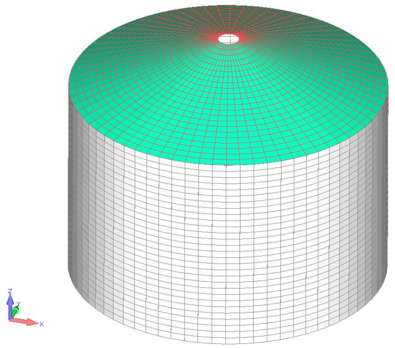

Рис. 1. Розрахункова скінчено-елементна модель паливного резервуару з жорсткою оболонкою покриття конус

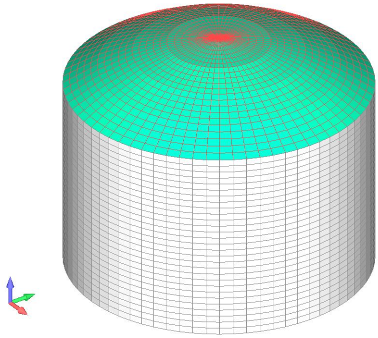

Рис. 2. Розрахункова скінчено-елементна модель паливного резервуару з жорсткою сегментною оболонкою покриття

з жорсткою сегментною оболонкою покриття становить 51.54 мм, що менше ніж допустиме переміщення, представлено на рис. 8. При однакових геометричних розмірах конструкцій, однаковій кількості скінченних елементів, однаковим зовнішнім статичним і динамічним навантаженням маємо наступні результати: паливний циліндричний резервуар з конусною оболонкою покриття має вагу після оптимізації 155.2 т, для циліндричного паливного резервуару з жорсткою сегментною оболонкою покриття 187.5 т, це представлено на рис. 9 і 10. Таким чином циліндричний паливний резервуар з конусною жорсткою оболонкою покриття після оптимізації має вагу на 32.3 т менше. Можна зробити висновок, що при даному зовнішньому статичному і динамічному навантаженні паливний резервуар з жорсткою конусною оболонкою покриття є більш оптимальним варіантом ніж паливний резервуар з жорсткою сегментною оболонкою покриття.

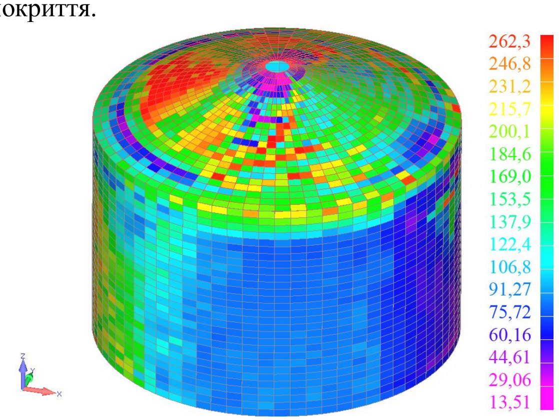

Рис. 3. Загальні напруження паливного резервуару по Мізесу в МПа після оптимізації з жорсткою оболонкою покриття конус

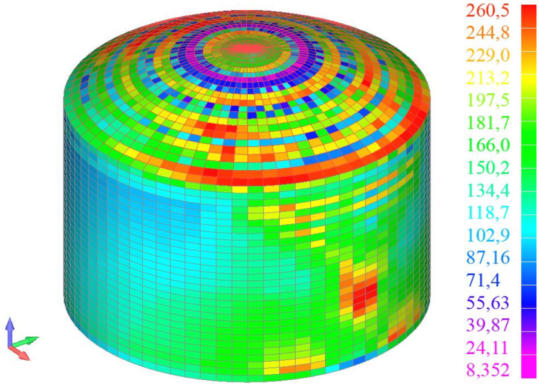

Рис. 4. Загальні напруження паливного резервуару по Мізесу в МПа після оптимізації з жорсткою сегментною оболонкою покриття

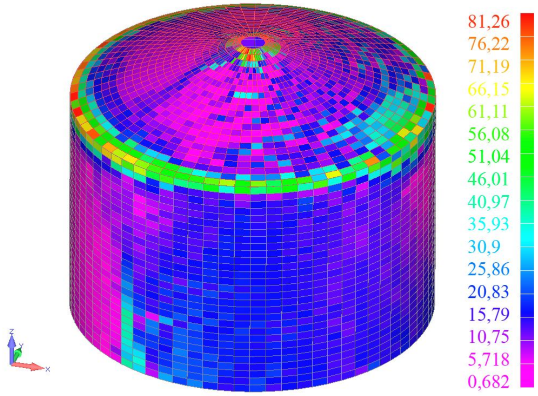

Рис. 5. Розподіл товщини паливного резервуару з жорсткою оболонкою покриття конус після оптимізації в мм

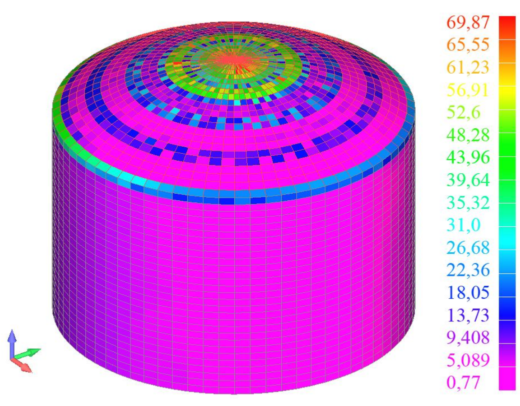

Рис.6. Розподіл товщини паливного резервуару з жорсткою сегментною оболонкою покриття після оптимізації в мм

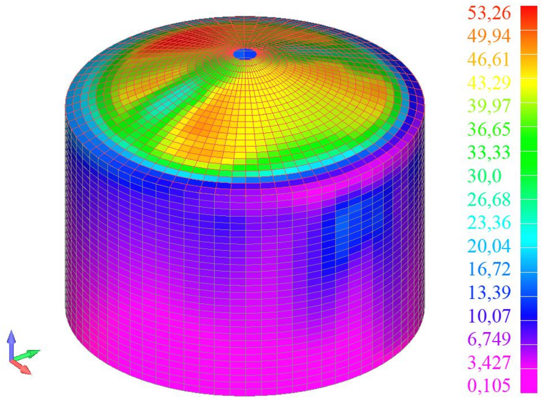

Рис. 7. Розподіл загальних переміщень паливного резервуару з жорсткою оболонкою покриття конус після оптимізації в мм

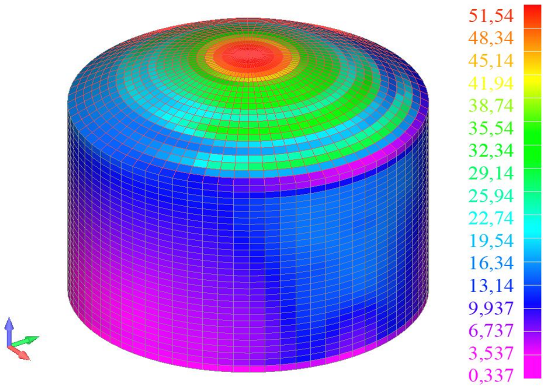

Рис. 8. Розподіл загальних переміщень паливного резервуару з жорсткою сегментною оболонкою покриття після оптимізації в мм

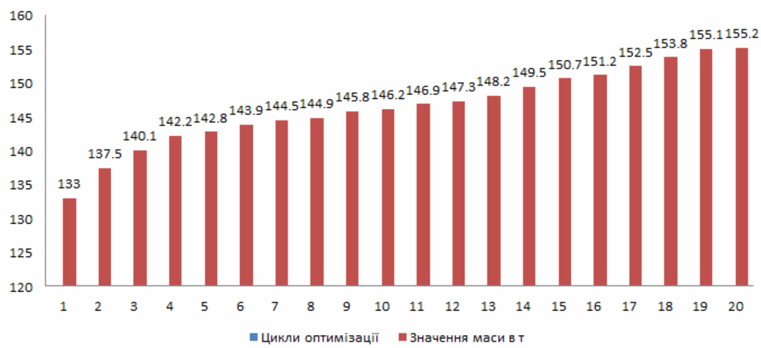

Рис. 9. Діаграма збільшення маси паливного резервуару з жорсткою оболонкою покриття конус по циклам оптимізації

Рис. 10. Діаграма збільшення маси паливного резервуару з сегментною жорсткою оболонкою покриття по циклам оптимізації

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Пермяков В.О., Перельмутер А.В.* Оптимальное проектирование стальных стержневых конструкций. – К: ООО “Издательство Сталь”, 2008.– 538 с.;
2. *Кошевий О.О.* Оптимізація паливних резервуарів з жорсткими оболонками покриття за власними частотами коливання /Восточно Европейский научный журнал/ – Варшава 2019 – №45 – С. 21-32.
3. *Гайдайчук В.В., Кошевий О.О.* Чисельне рішення задач оптимального проектування при обмежені власних частот коливання пологої оболонки зі зламами / В.В. Гайдайчук, О.О. Кошевий // Сучасні проблеми архітектури та містобудування: наук.-техн. збірник. К.: КНУБА. 2018. Вип.51.– С.416 – 425.
4. *Кошевий О.О.* Параметрична оптимізація і розрахунок на прогин оболонок при дії статичних комбінованих навантажень // Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. збірник: К.: КНУБА. 2018. Вип.67.– С. 212-220.
5. *Клюев С.В.* Оптимальное проектирование стержневых систем // Издательство БГТУ//, 2007 – 248 с. г. Белгород.
6. *Волков Е.А.* Новые направления оптимизации в проектировании строительных конструкций //Сборник статей государственный технологический университет имени В.Г. Шухова// Издательство БГТУ, 2006 – 91 с. г. Белгород.

REFERENCES

1. *Permyakov V.O., Perelmuter A.V.* Optimal'noe proektirovanie stal'nyh sterzhnevyh konstrukcij (Optimal design of steel rod structures). K: LLC “Steel publishing house”, 2008. – 538 p.;
2. *Kosheviy O.O.* Optimizacija palivnih rezervuariv z zhorstkimi obolonkami pokrittja za vlasnimi chastotami kolivannja (Optimization of reservoirs with well covered shells with own frequency frequencies) / East European Science journal – Warsaw 2019 - № - 45 – p. 21-32.
3. *Gaydaychyk V.V., Kosheviy O.O.* CHisel'ne rishennja zadach optimal'nogo proektuvannja pri obmezheni vlasnih chastot kolivannja pologoї obolonki zi zlamami (Numerical solution of problems in optimal design while limiting the natural frequency of the vibrations of shallow shell with breaks) / V.V. Gaydaychyk, O.O. Kosheviy //Present problems architecture and urban planning scien.-digest. K: KNUBA 2018 Mag: 51. – p.416-425.
4. *Kosheviy O.O.* Parametrichna optimizacija i rozrahunok na progin obolonok pri dii statichnih kombinovanih navantazhen' (Parametric optimization and deflection of the shells under combined static loads) // Urban and territorial planning: scien.-digest. K: KNUBA 2018 Mag: 67 – p. 212-220.
5. *Klyuev S.V.*, Optimal'noe proektirovanie sterzhnevyh sistem (Optimal design of rods systems) //BSTU Publishing House. 2007. P. 248, Belgorod.
6. *Volkov E.A.*, Novye napravlenija optimizacii v proektirovanii stroitel'nyh konstrukcij (New directions of optimization in the design of building structures) // Digest of articles State Technological University named after V.G. Shukhov// BSTU Publishing House, 2006. P. 91, Belgorod.

Стаття надійшла 06.09.2019 р.

Koshevyi O.O.

OPTIMAL DESIGN OF CYLINDRICAL TANKS WITH HARD SHELL COVER.

The article considers parametric optimization of cylindrical fuel tanks with hard coating shells. In the designing and constructing of industrial tanks for the preservation of oil and chemical products in the region where seismic loading occurs, it is very important to analyze all combinations of loads that affect to the structures, and it is important to choice the optimal solusion of such conctraction. As a rule, such reservoirs are divided: underground and ground. Ground tanks are divided into: tanks with a floating lid, and with a lid that is rigidly fixed. Tanks are considered only shell structures, without additional stiffening ribs.

To solve the problems of parametric optimization, we consider the mathematical method of gradient descent, which was proposed by Rosen. The purpose of the method is to find the optimal solution for the structure using the input data through iterations design variables, and constraints that are superimposed on the response of the construction. The gradient descent method involves without preliminary selection of the structural cross-section of the construction and its modeling, which, taking into account the incoming data, leads to methods of connecting the structure to the hard disk of the earth or other structures, as well as to objective reasons.

Two versions of the calculated spatial models of fuel tanks were constructed using the finite element method. External static and dynamic loads in the form of seismic were set, since the construction of reservoirs is considered in seismically active regions of Ukraine. Using the new technique, design variables were set in the form of a shell thickness of 1 to 100 mm and Mises stress limits of 260 MPa and displacements along the *X, Y, Z*, 15 mm axes. The objective function is the mass of the fuel tank. Tank options differ in the geometry of the lid. For the first option - conical, for the second option - segmented. All geometric parameters, the number and type of finite elements, fixing conditions and types of loading are the same. The optimization cycles for calculating in two variants are 20. The objective function was built on the optimization cycles. The diagrams showed that the weight of the melted tank with a conical cover is 155.2 tons, for a fuel tank with a segment cover 187.5 tons. Thus, the fuel tank with a conical cover weighs 32.3 tons less than with a segment cover, and the maximum stresses by Mises and displacement along the axes *X, Y, Z*, is inacceptable limits. We can conclude that a fuel tank with a conical cover of rigid fastening is a better option.

Key words: Finite Element Method (FEM), objective function, parametric optimization, cylindrical fuel tank with a hard coating shell, static loads, dynamic loads.

Кошевой О.О.

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РЕЗЕРВУАРОВ С ЖЕСТКИМИ ОБОЛОЧКАМИ ПОКРИТИЯ.

В статье рассмотрено исследование параметрической оптимизации цилиндрических топливных резервуаров с жесткими оболочками покрытия. В проектирование и строительство промышленных резервуаров для сохранения нефтяных и химических продуктов в регионе, где возникает сейсмическая нагрузка очень важно проанализировать все комбинации нагрузок, какие действуют на сооружения, а также прийти к оптимальному решению для такой конструкции. Как правило, такие резервуары разделяют: подземные и наземные. Наземные резервуары разделяются на: резервуары с плавающей крышкой, и с крышкой, которая жестко закреплена. Резервуары рассматриваются без дополнительных рёбер жесткости, только оболочечные конструкции.

Для решения задач параметрической оптимизации рассматривается математический метод градиентного спуска, какой был предложенным Розеном. Цель метода – с помощью входящих данных путем итераций находить оптимальное решение для конструкции при заданных переменных проектирования и ограничений, какие накладываются на отклик конструкции. Метод градиентного спуска предполагает без предварительных подборов поперечного сечения конструкции та её моделирование, что приводит с учетом входящих данных та способы соединения конструкции с жестким диском земли или другими конструкциями, а также учетом объективных причин.

Были построены два варианта расчетных пространственных моделей топливных резервуаров с помощью метода конечных элементов. Были заданы внешние статические и динамические нагрузки в виде сейсмики, так как строительство резервуаров рассматривается в сейсмоактивных районах Украины. С помощью новой методики были заданы переменные проектирования, а именно толщина оболочки от 1 до 100 мм и ограничения напряжений по Мизесу 260 МПа и перемещения по осям *X,Y,Z*, 15 мм. Целевая функция – масса топливного

резервуара. Варианты резервуаров отличаются геометрией крышки. Для первого варианта – конусная, для второго варианта – сегментная. Все геометрические параметры, количество и вид конечных элементов, условия закрепления и виды нагрузок одинаковы. Циклов оптимизации для расчета в двух вариантов – 20. Были построены целевая функция по циклам оптимизации. Диаграммы показали, что вес топливного резервуара с конусной крышкой является 155,2 тонн. Топливный резервуар с сегментной крышкой весит 187.5 тонн. Таким образом, топливный резервуар с конусной крышкой на 32.3 т весит меньше, чем з сегментной крышкой, при этом максимальные напряжения по Мизесу и перемещения по осям X,Y,Z, находиться в пределах допустимого. Можем сделать вывод, что топливный резервуар с конусной крышкой жесткого закрепления является более оптимальным вариантом.

Ключевые слова: Метод конечных элементов (МКЭ), целевая функция, параметрическая оптимизация, цилиндрический топливный резервуар з жесткой оболочкой покрытия, статические нагрузки, динамические нагрузки.

УДК 539.3
Кошевой О.О. **Оптимальное проектирование цилиндрических резервуаров с жесткими оболочками покрытия.** // Опір матеріалів і теорія споруд. – 2019. К: КНУБА, 2019. – Вип. 103. - С. 253-265.

Рассмотрено исследование параметрической оптимизации топливных цилиндрических резервуаров с жесткими оболочками покрытия. Получены напряжения по Мизесу и общие перемещения пространственных конструкций после расчета оптимизации и построены диаграммы целевой функции, сделаны выводы по данному исследованию.
Табл. 0, Ил. 8, Диаг. 2. Библиогр. 6 назв.

Koshevyi O.O. **Optimal design of cylindrical tanks with hard shell cover.** // Strenght of materials and theory of structures. - 2019. To: KNUBA, 2019. - Vip. 103. - P. 253-265.

The article describes parametric optimization of fuel cylindrical tanks with hard shell cover. Stresses by Mises and the general displacements of the spatial structures after optimization calculation were obtained, and the diagrams of the objective function were constructed. The conclusions were made.
Tabl. 0, Fig. 8, Diag. 2, Ref 6.

Кошевий О.О. **Оптимальне проектування циліндричних резервуарів з жорсткими оболонками покриття.** // // Опір матеріалів і теорія споруд. – 2019. К: КНУБА, 2019. – Вип. 103. С. 253-265.

Розглянуто дослідження параметричної оптимізації паливних циліндричних резервуарів з жорсткими оболонками покриття. Отримані напруження по Мізесу і загальні переміщення просторових конструкцій після розрахунку оптимізації та побудовані діаграми цільової функції, та зроблені висновки по даному дослідженню.
Табл. 0, Іл. 8, Діаг. 2 Бібліогр. 6 назв.

Автор: *аспірант кафедри теоретичної механіки КНУБА Кошевий Олександр Олександрович*
Адреса робоча: *03680 Україна, м. Київ, проспект Повітрофлотський, 31, Київський національний університет будівництва і архітектури, кафедра теоретичної механіки.*
Робочий тел.: *+38(044) 241-55-36*
Мобільний тел.: *+38(050) 725-87-00*
Імейл: *a380982070137@gmail.com*
ORCID ID: *https://orcid.org/0000-0002-1903-2905*