

УДК 531.2

Розрахунок статичної міцності опорних конструкцій баку СВБ АЕС

Р.В. Черемшук^{1,2}, О.А. Іщенко^{1,2}, Б.М. Васильченко²

1 – КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

2 – ТОВ “ІПП-Центр”, Київ, Україна

Анотація. Баки СВБ (системи важливі для безпеки) є складовими енергоблоків АЕС. При перепризначенні терміну експлуатації цих баків постає проблема розрахункового обґрунтування їх міцності. Метою даної роботи є оцінка статичної міцності конструкційних елементів та стійкості опорної колони баку аварійного запасу знесоленої води (БАЗЗВ) під впливом таких типів навантаження: власна вага даху, снігове та вітрове навантаження. Розрахунок проводився двома методами: аналітичний та чисельний (метод скінченних елементів з використанням ПК “ANSYS”). Визначено такі характеристики: поперечні переміщення конструкції даху та осьові переміщення центральної опорної стійки; нормальні напруження; опорні реакції та згинаючі моменти. Співставлення результатів двох розрахунків дозволило використати моделі скінченних елементів для розрахунку. Обов’язковим етапом є визначення коефіцієнтів запасу міцності та стійкості опорних конструкцій у небезпечних перерізах, які дозволяють обґрунтувати продовження ресурсу баків СВБ, методика визначення яких наведено у ДБН В.2.6-198:2014.

Ключові слова. Баки СВБ; БАЗЗВ; продовження ресурсу баків; оцінка міцності за ДБН.

Опорні конструкції даху БАЗЗВ представляють собою набір профілів, які жорстко з’єднані між собою (Рис. 1). Також, всередині оболонки знаходиться опорна стійка, що утримує дах. Проте при роботі таких баків більше встановленого заводом-виробником терміну експлуатації, постає необхідність у їх перевірці на міцність та стійкість.

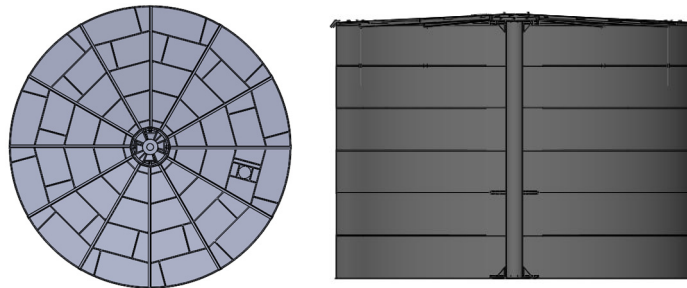


Рис. 1. Опорні конструкції БАЗЗВ

Оскільки дах складається із симетрично з’єднаних по колу 12-ти частин, розглядатимемо лише одну частину. Також для спрощення знехтуємо листом металу, оскільки він не сприймає на себе навантаження.

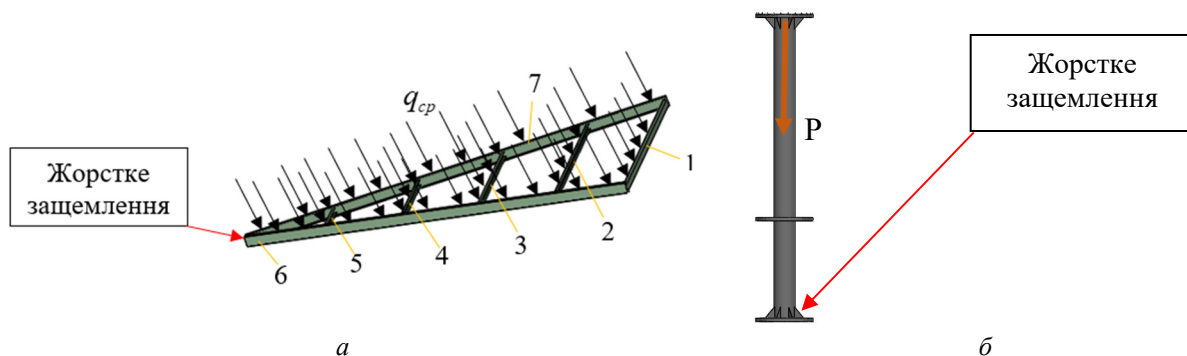


Рис. 2. Граничні умови: а – для секції даху, б – для центральної колони

Проведено розрахунок двох типів: аналітичний та чисельний (з використанням методу скінченних елементів).

Аналітичний розрахунок. Відповідно до ДБН В 1.2-2:2006 є три типи розрахункових значень для снігового навантаження: граничне, експлуатаційне, квазіпостійне. Для вітрового два типи значень: граничне та експлуатаційне.

Таблиця 1

Навантаження від природних чинників, що діють на конструкцію даху БАЗЗВ

Тип навантаження	Граничне, Па	Експлуатаційне, Па	Квазіпостійне, Па
Снігове	1.09E+03	534.1	276
Вітрове	476.36	100.03	-

Для подальших розрахунків вибрано саме граничне розрахункове значення, оскільки за величиною та характером дії воно найбільше. Тиск, що створює власна вага конструкції даху становить 358.41 Па. Отже, сумарне навантаження на дах, відповідно буде сумою снігового навантаження, вітрового навантаження та власної ваги даху, і становить $q = 1924.76$ Па. Оскільки, за рахунок симетрії розглядається лише 1/12 даху, то сумарне навантаження на одну частину становить 160.4 Па. Розкладаючи навантаження на стрижні, отримуємо приведені значення $q_{cp} = 0.068$ Н/мм.

Таблиця 2

Геометричні характеристики поперечних перерізів стрижнів та їх довжини

Номер стрижня	Осьовий момент інерції(J , мм ⁴)	Осьовий момент опору(W , мм ³)	Осьовий статичний момент (S , мм ³)	Координата центру ваги перерізу (y_c , мм)	Довжина стрижня, м
1	5.98E+05	2.02E+04	1.88E+04	26.63	3.05
2	1.1E+06	2.75E+04	4.9E+04	40	2.5
3	1.1E+06	2.75E+04	4.9E+04	40	1.9
4	1.1E+06	2.75E+04	4.9E+04	40	1.3
5	1.1E+06	2.75E+04	4.9E+04	40	0.71
6,7	4.75E+06	6.03E+04	9.81E+04	78.75	6.35

Наступним кроком є розрахунок на міцність та стійкість опорної стійки. Зведений тиск q на площу поверхні даху баку становитиме осьове зусилля, яке діє на стійку, що становить $P = 2.44E+05$ Н. За допомогою формул механіки матеріалів і конструкцій (опору матеріалів) отримано значення нормального напруження, що виникає від дії осьового зусилля, яке становить $\sigma = 31.04$ МПа, переміщення $u = 1.31$ мм. Тепер визначимо критичне зусилля, яке визначає втрату стійкості за допомогою формули Ейлера. Розрахувавши даний параметр, отримано $P_{кр} = 2.53E+06$ Н.

Відповідно до ДБН В.2.6-198:2014 коефіцієнт запасу міцності опорної стійки становить 3.95 при дії згинаючого моменту і 27.83 при дії поперечної сили, запас по стійкості: 10.23.

Чисельний розрахунок. Для чисельного розрахунку скористаємося ПК “ANSYS”.

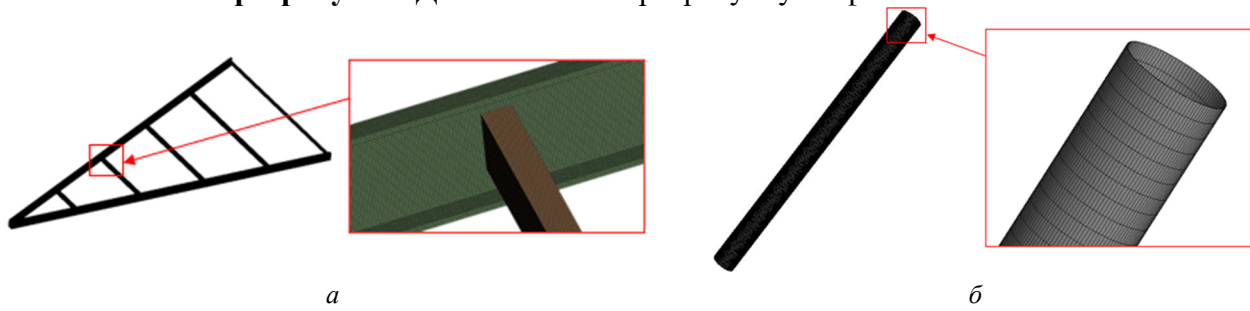


Рис. 3. Скінченно-елементні моделі: *a* – сектора даху, *б* – опорної стійки

Побудовано скінченно-елементну сітку сектора даху, що містить 1610478 елементів та 8372323 вузлів та опорної стійки, що містить 17800 елементів та 98700 вузлів. Скінченні елементи сіток структуровані, якісні та малих розмірів, що дозволяє мінімізувати похибку розрахунків методом скінченних елементів.

Провівши розрахунок, отримано результати, що наведено на Рис. 4.

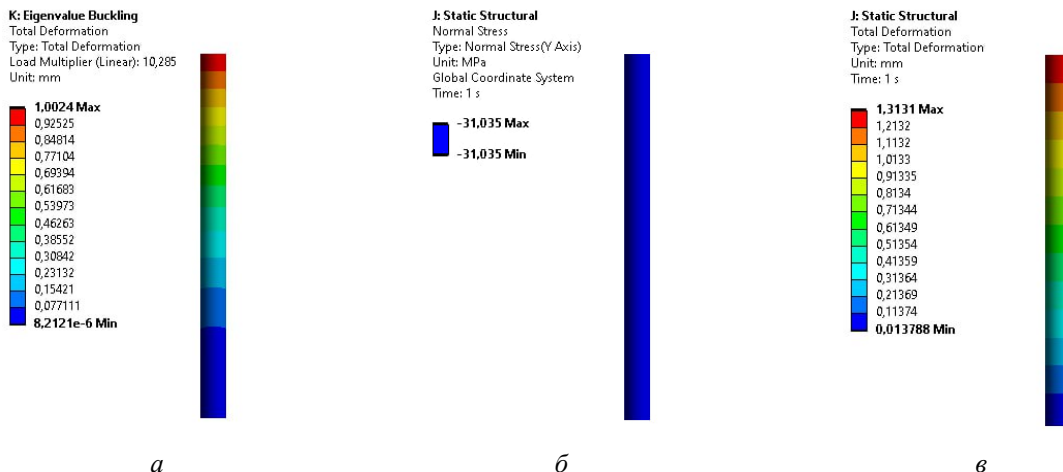


Рис. 4. Результати чисельного розрахунку: (*a* – коефіцієнт запасу стійкості, *б* – нормальні напруження стійки, *в* – осьове переміщення стійки)

Порівняння значень аналітичного та чисельного розрахунків наведено в Таблиці 3.

Таблиця 3

Порівняння результатів розрахунків даху БАЗЗВ

Номер стрижня	u_i^{\max} , мм			σ_i^{\max} , МПа		
	аналітично	чисельно	$\delta_u, \%$	аналітично	чисельно	$\delta_\sigma, \%$
1	31.92	32.85	2.91	2.6	2.59	0.38
2	24.03	23.65	1.58	1.28	1.28	0
3	15.77	15.1	4.25	0.75	0.74	1.3
4	8.41	7.65	9	0.35	0.35	0
5	2.77	2.23	19.5	0.11	0.14	2.7
6,7	31.73	31.77	0.13	47.86	47.87	0.02

Отже, після даних розрахунків встановлено, що:

- конструкція даху зберігає свою статичну міцність при заданому типі навантаження, а саме: власна вага даху, снігове та вітрове навантаження, де коефіцієнти запасу міцності більше 1;
- опорна стійка зберігає стан рівноваги та міцність при заданому осьовому зусиллі;
- побудовані чисельні моделі показали хорошу збіжність результатів з аналітичним рішенням, що дозволяє їх використання в переоцінці ресурсу баків СВБ

Отже, для задач даного типу можна використовувати метод скінченних елементів як альтернатива аналітичному розрахунку. Але статичний розрахунок не дає загальної характеристики щодо міцності баку, оскільки не враховано дію внутрішнього середовища на стінки.

Список літератури

1. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. – Київ: Мінрегіон України.
2. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування

Calculation of the Static Strength of Tank Support Structures SCT NPP

R. Cheremshuk^{1,2}, O. Ishchenko^{1,2}, B. Vasylchenko²

1 – Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine

2 – IPP-Center LLC, Kyiv, Ukraine

Abstract. Safety-critical tanks (SCTs) are components of nuclear power units. For extending service life of these tanks, utmost importance calculating their strength. The purpose of this study is to assess emergency desalinated water reserve tank (EDWRT) structural elements strength and support column buckling under the following loads: roof self-weight, snow load, and wind load. The calculations were performed using two methods: analytical and numerical (finite element method with the ANSYS software). The following characteristics were determined: roof structure transverse deformations and central support column axial deformations; normal stresses; reactions and bending moments in fixations of structures. A comparison of the results from both methods validated the use of finite element models for further analysis. An essential step involves determining safety and stability factors for the structures at critical cross-sections. These factors substantiate the extension of SCT service life, and their determination methodology is outlined in the national building code DBN V.2.6-198:2014.

Keywords. SCT; EDWRT; extension of tank service life; strength assessment according to DBN.