

Розрахункові підходи до оцінки технологічних навантажень на конструкції сталевих силосних ємностей

Виконане дослідження стосується оцінки навантажень від сипучих матеріалів на сталеві силосні ємності та виявлення чинників неузгодженості з цього питання в нормативних та європейських стандартах.

За даними [1] на червень 2023 року на території України загальна потужність одночасного зберігання елеваторів становить 49 257 тис. т. При цьому в більшості випадків для зберігання зерна застосовуються циліндричні ємності зберігання. Ці споруди є найбільш економічними в своєму класі за рахунок оптимальної форми та конструктивних параметрів. Проте в останні роки проблематика дослідження ємностей зберігання набула особливої актуальності в світлі введення в дію нових державних будівельних норм [2], що стосуються конструкцій сталевих силосів з гофрованою стінкою для зберігання зерна, у яких всі посилання на методи і методики розрахунку відповідають європейським стандартам (EN). Таким чином постало питання наскільки критичною є різниця в розрахункових підходах до оцінки технологічних навантажень на дані споруди, а також можливості подальшої безпечної експлуатації величезного парку існуючих споруд.

З метою вирішення даної задачі було виконано порівняння значень навантажень, відповідно до вітчизняного [3] та європейського [2] підходів, від різних продуктів зберігання, що діють на основні частини ємності зберігання (плоске днище, стінку та ребра жорсткості), а також здійснено аналіз методик розрахунку, які покладені в їх основу, з метою виявлення основних чинників неузгодженості.

Перша відмінність полягала у кількісних значеннях механічних характеристик сипучого матеріалу. Відповідно [2] пропонується варіативний підхід (верхня та нижня оцінка), а за [1] лише одне стале значення практично для всіх величин (таблиця 1).

Друга відмінність стосується різних функціональних залежностей для середнього значення коефіцієнта бокового тиску відповідно вітчизняного підходу та його сталого значення в EN або нормах [2]. Для порівняння, в таблиці 1 наведені характерні значення для деяких сипких матеріалів.

У вітчизняних нормах проєктування при розрахунку діючих навантажень на вертикальну стінку та днище силоса передбачається роздільне визначення горизонтального і вертикального тиску. Нерівномірний характер горизонтального тиску за висотою стінки і периметру поперечного перерізу враховується додатковим кільцевим тиском сипкого матеріалу, локальним тиском та смуговим горизонтальним тиском (лише для полігональних ємностей зберігання).

Таблиця 1.

Характеристики сипкого матеріалу

Сипкі матеріали	Питома вага, кг/см ³		Кут природного укосу, °		Кут внутрішнього тертя, °		Коефіцієнт бічного тиску		Коефіц. тертя (по металу)	
	ЕН	ДБН	ЕН	ДБН	ЕН	ДБН	ЕН	ДБН	ЕН (D4)	ДБН
Пшениця	7.5/9.0	7.85	34	25	30	25	0.54	0.406	0.24/0.38	0.4
Ячмінь	7.0/8.0	7.85	31	25	28	25	0.59	0.406	0.24/0.33	0.4
Борошно	6.5/7.0	6.5	45	40	42	40	0.36	0.217	0.24/0.33	0.5
Кукурудза	7.0/8.0	7.85	35	25	31	25	0.53	0.406	0.22/0.36	0.4
Соя	7.0/8.0	7.85	29	25	25	25	0.63	0.406	0.24/0.38	0.4

При розрахунках за ЕН реалізовані інші функціональні залежності [2, 4]. Зрештою порівняння чисельних значень (таблиця 2) показало, що різниця в значеннях горизонтального тиску на вертикальну стінку силоса отриманих за процедурою нормування ЕН набагато вищі, ніж відповідні характеристики за ДБН (до 30 %).

Для дотичного тиску на вертикальну стінку силосу було виявлено практично подвійне зростання навантажень при нормуванні за ЕН, а для вертикального тиску на днище спостерігається різниця в 5...15% залежно від висоти споруди. Найменша відмінність стосується вертикальних сил на вертикальні ребра жорсткості – в межах 1...5%.

Таблиця 2.

Порівняння навантажень на силос

Матеріал	Ярус	Горизонтальний тиск, кПа		Дотичний тиск, кПа	
		ДБН	ЕН	ДБН	ЕН
Борошно	5	11.8	20.5/19.9	5.7	18.7/18.3
	10	18.8	29.7/28.8	9.1	27.1/26.6
Пшениця	5	20.4	34.6/33.1	9.2	21.6/20.9
	10	32.9	51.3/49.1	14.9	32.0/31.0

Продовження таблиці 2

Матеріал	Ярус	Вертикальний тиск, кПа		Тиск на вертикальні ребра жорсткості, кН	
		ДБН	ЕН	ДБН	ЕН
Борошно	5	52.8	53.0	52.8	53.0
	10	83.8	73.7	83.8	73.7
Пшениця	5	48.8	60.6	48.8	60.6
	10	78.7	89.7	78.7	89.7

Аналіз процедури нормування навантаження від сипучого матеріалу на сталеві силоси відповідно двох діючих стандартів виявив принципові відмінності обох підходів, зокрема в значеннях механічних характеристик сипучих матеріалів та теоретичних розрахункових залежностях.

Список літератури

1. <https://elevatorist.com/>
2. ДБН В.2.6-221:2021. Конструкції силосів з гофрованою стінкою для зерна. Основні положення. – К.: Мінрегіон, 2022. – 7 с.
3. ДБН В.2.2-8-98 Підприємства, будівлі і споруди по зберіганню та переробці зерна. – К.: Держбуд України, 1998. – 41 с.
4. Махінько А.В., Махінько Н.О. Сталеві ємності для зберігання зерна. – К.: Сталь, 2021. – 365 с.