

**ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ ТИСКУ СИПУЧОГО
МАТЕРІАЛУ НА ГОФРОВАНІ СТАЛЕВІ ЕЛЕМЕНТИ**

**ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ СЫПУЧЕГО
МАТЕРИАЛА НА ГОФРИРОВАННЫЕ СТАЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ**

**SIMULATION FEATURES OF BULK MATERIAL PRESSURE ONTO
CORRUGATED STEEL ELEMENTS**

Качуренко В. В., аспірант (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна), **Банніков Д. О., д. т. н., професор** (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна)

Качуренко В. В., аспирант (Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна), **Банников Д. О., д. т. н., профессор** (Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна)

Kachurenko V. V., postgraduate student (Dnipropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan), **Bannikov D. O., doctor of technical sciences, professor** (Dnipropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan)

Наведені результати теоретичних досліджень моделювання можливих способів передачі горизонтальної складової тиску від навантаження сипучого матеріалу на гофровану стінку силосу, зокрема, на окремі пластини гофра та проаналізований напружено-деформований стан кожної з пластин.

Приведены результаты теоретических исследований моделирования возможных способов передачи горизонтальной составляющей давления от нагрузки сыпучего материала на гофрированную стенку силоса, в частности, на отдельные пластины гофра и проанализировано напряженно-деформированное состояние каждой из пластин.

The work states the results of theoretical researches of the possible transmission modes of the pressure horizontal component from bulk material load onto silos corrugated wall, particularly onto separate corrugated plates, as well as analyzes the deflected mode of each plate.

Ключові слова:

Силос, гофр, бункер, сипучий, розрахунок.

Силос, гофр, бункер, сипучий, расчет.

Silo, corrugation, bunker, bulk, calculation.

Вступ. Практика зберігання зернових культур в Україні в останнє десятиріччя характеризується зростанням обсягів будівництва зерносховищ силосного типу. За цей час металеві силоси, не одноразово доводячи свої переваги, вже стали повноправними системами зберігання в нашій країні. Але поряд з багатьма позитивними моментами, пов'язаними з впровадженням металевих зерносховищ, існують і труднощі. Основна з них – відсутність повноцінної нормативної бази та інформації, пов'язаної з особливостями виготовлення, проектування та експлуатації таких сховищ, адже досвіду роботи з ними у фахівців України практично не було. Проте, дані споруди продовжують набувати поширення і потребують доопрацювання державних норм.

Вихідні передумови. З поміж інших конструктивних рішень активно освоюються металеві силосні зерносховища із гофрованими стінками, оскільки вони мають більш високу міцність і жорсткість при поперечному вигині, ніж конструкції з плоскими панелями. При розрахунку гофра одним із не визначених питань являється проблема способу передачі навантаження від сипучого матеріалу на пластини гофрованої стінки ємнісної споруди. В результаті, вітчизняні проектувальники, не маючи іншого виходу, при розрахунку та визначенні напружено-деформованого стану пластин гофра вимушені користуватись швидше власним досвідом, а не нормативними рекомендаціями. Серед сучасних розробок науковців досліджується напрямок можливої поведінки сипучого середовища та передачі навантаження від нього на стінки силосу. Цьому питанню присвячені роботи Харабета А. Н. [1], Баннікова Д. О. [2, 3]. Проте основну увагу в них приділено спорудам із стінкою силосу постійного перерізу. В нещодавно введеному в дію ДСТУ-Н Б EN 1991-4:2012 [4] згадується про відмінності розрахунку навантаження для силосу з плоскою та гофрованою стінкою, але мова там іде лише про коефіцієнт тертя для вертикальної складової тиску, а про те, як правильно задавати горизонтальну складову тиску на профільовану стінку не згадується.

Постановка мети досліджень. Досвід багатьох країн свідчить про високу надійність та перспективність силосних конструкцій якраз з гофрованою стінкою. Тому основною задачею автором було визначено дослідити можливі варіанти передачі навантаження від сипучого матеріалу на гофровану стінку силосу, зокрема, на окремі пластини гофра, а також, проаналізувати фактори, які можуть впливати на ці варіанти.

Проведення досліджень та аналіз отриманих результатів. Детальний аналіз літературних джерел виявив відсутність рекомендацій для аналітичного розрахунку перерозподілу горизонтального тиску на кожну окрему пластину гофра, з яких складається стінка силосу. Стає не зрозумілим, яка з плас-

тин буде більш завантажена, а яка менш, та під яким кутом буде розподілятися тиск сипучого матеріалу. Тому для досягнення поставленої мети було вирішено моделювати розрахункову ситуацію за допомогою пакету комп'ютерних програм.

В роботі розглядаються два крайніх можливих випадки способу задачі навантаження на гофровану стінку силосу. Перший – гідростатичний, коли крупність зерна сипучого заповнювача буде наближатися до нуля, а тиск на кожну окрему пластину гофра буде однаковим і спрямований під прямим кутом. Другий – коли горизонтальна складова навантаження сприймається тільки внутрішньою вертикальною пластиною гофра, як результат досить суттєвої крупності зерна сипучого. В цьому випадку навантаження також буде спрямоване перпендикулярно до внутрішньої вертикальної пластини, оскільки це буде найгіршим випадком із всіх можливих. В дійсності розрахункова ситуація, що досліджується, буде проміжною між цими двома змодельованими крайніми варіантами.

Для оцінки отриманих результатів моделі силосу з одним типом профілю гофра не достатньо. Різноманітність типів гофрованих профілів для стінових панелей майже не має меж [5]. Найбільш розповсюдженими з них є трапецієподібний та хвилястий профілі (рис. 1, а, б). Для отримання коректних результатів додатково використовувався і третій розповсюджений вид профілю – квадратний (рис. 1, в).

Задля максимальної об'єктивності досліджень в роботі були прийняті гофровані профілі з однаковою висотою гофра, довжиною хвилі та товщиною листа. Детальні схеми обраних видів профілів наведені на рис. 1: а, б, в.

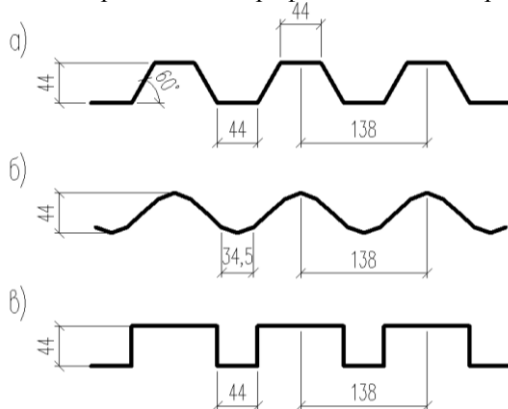


Рис. 1. Типи профілів, що використовувались при моделюванні:
а) трапецієподібний; б) хвилястий; в) квадратний

В теперішній час велике поширення серед безлічі чисельних методів набув метод скінченних елементів (МСЕ), який найбільш зручний для реалізації на обчислювальній техніці завдяки чіткій формалізації окремих етапів вирішення задачі в матричній формі розрахунку.

В даній роботі для реалізації МСЕ вибір був зупинений на проектно-обчислювальному комплексі Structure CAD для Windows (SCAD) [6], реалізований як інтегрована система міцнісного аналізу та проектування конструкцій на основі МСЕ, який дозволяє визначити напружено-деформований стан конструкцій від статичних і динамічних впливів, а також виконати ряд функцій проектування елементів конструкцій.

Розрахункова модель (РМ) являє собою кільце, висота якого дорівнює десяти довжинам хвилі гофрованого профілю тому, що напружений стан по висоті силосу являється однотипним по периметру, точність результатів розрахунку такою висотою забезпечується, а РМ значно спрощується. Моделювалась нижня частина вертикальної стінки силосу. Граничні умови розрахункової моделі по краях кільця представлені у вигляді як жорсткого, так і шарнірного защемлення, оскільки реальну ступінь защемлення країв оцінити важко.

Проблема збіжності вирішувалась підбором потрібного розміру скінченого елемента (СЕ) шляхом згущення сітки скінчених елементів [7]. На першому етапі приймався один СЕ по пластині гофра, на другому – два СЕ по пластині, на третьому чотири СЕ відповідно.

Було проаналізовано два способи згущування сітки: послідовним шляхом ділення попередньої (рис. 2, а) та створенням більш дрібної сітки копіюванням (рис. 2, б). У першому випадку отримані скінченні елементи лежали на одній прямій, у другому – на дузі.

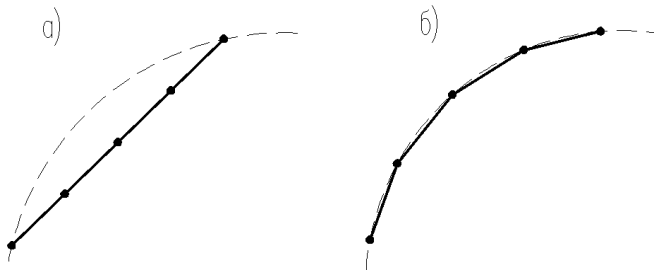


Рис. 2. Схематичне зображення подрібнення сітки на скінченні елементи:

- а) послідовним шляхом ділення попередньої;
- б) створення більш дрібної сітки копіюванням

Підсумком отриманих результатів було рішення обрати другий спосіб побудови сітки, адже перший давав велику похибку. Достатня точність була отримана вже на другому кроці згущення сітки. При поділі пластини на СЕ їх пропорції максимально можливо наближалися до квадрату для отримання коректних апроксимуючих функцій у вигляді квадратних поліномів [8].

Розміри РМ по висоті становили 1,38 м, а діаметр був прийнятий типовий [9] з умови найбільш широкого застосування в будівництві подібних споруд і становив 6 м. Товщина гофрованої стінки для розрахунку задавалась рівною 1 мм.

Розрахункова модель в проектно-обчислювальному комплексі SCAD для першого типу профілю (рис. 1, а) зображена на рис. 3.

Навантаження задавалось рівномірно розподіленим. Його значення приймалось за досвідом проектування, згідно з теорією Г. Янсена [9] і відповідало середньому значенню тиску зерна в силосній ємності діаметром до 9 м на глибині 20 м та складало 60 кН/м^2 .

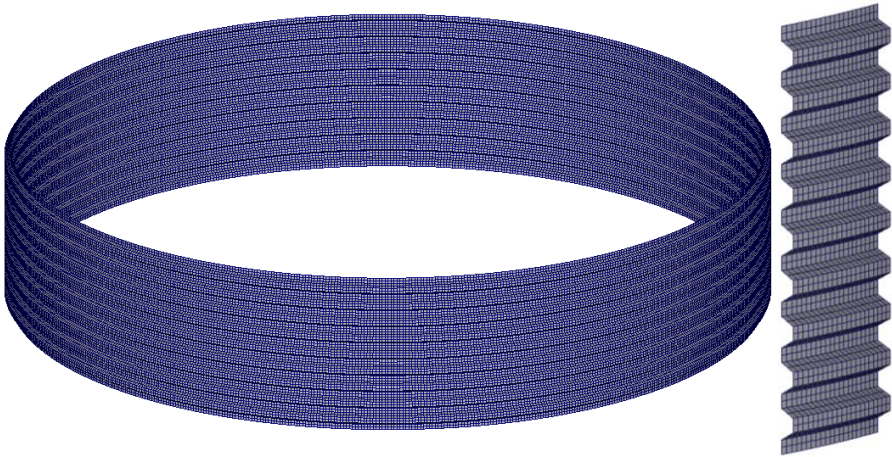


Рис. 3. Розрахункова модель для трапецієподібного типу профілю

В першому випадку навантаження було задане під прямим кутом однакової інтенсивності на кожен пластину значенням 60 кН/м^2 .

В другому – задля відтворення однакових розрахункових умов та збереження загального значення інтенсивності тиску на всю висоту стінки моделі тиск для внутрішньої вертикальної пластини був обчислений з врахуванням геометричних розмірів та пропорцій профілю. Оскільки висота стінки РМ становила 1,38 м, а сума довжин 10 внутрішніх вертикальних пластин гофра – 0,44 м, то необхідна інтенсивність тиску була досягнута при заданні значення навантаження, що дорівнювало $188,2 \text{ кН/м}^2$.

Після проведення розрахунку був проаналізований напружено-деформований стан гофра, після чого були відібрані максимальні значення деформацій та напружень по кожній пластині окремо для всіх типів профілів стінки. Результати для першого та другого варіанту навантаження наведені у табл. 1 та табл. 2 відповідно.

В таблицях 1 та 2 наведені наступні умовні позначення:

f_{max} – максимальне значення деформацій для відповідних пластин, мм;

σ_1 – перші головні напруження, МПа;

σ^{IV} – еквівалентні напруження за IV теорією міцності, МПа.

Таблиця 1

Результати розрахунків напружено-деформованого стану пластин гофра
для варіанта з гідростатичним способом задання навантаження

№ п/п	Профіль	Спосіб кріплення	Результати								
			f_{max} , мм			σ_1 , МПа			σ^{IV} , МПа		
			№ пластини			№ пластини			№ пластини		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3
1		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		Жорстке заземлення	1,90	1,97	1,97	<u>122,2</u> 140,6	<u>136,3</u> 140,2	<u>149,7</u> 139,1	<u>139,4</u> 125,3	<u>140,0</u> 136,5	<u>138,7</u> 150,5
		Шарнірне закріплення	1,91	1,96	1,97	<u>124,2</u> 140,3	<u>134,2</u> 140,5	<u>149,6</u> 139,4	<u>138,9</u> 125,9	<u>140,3</u> 134,7	<u>138,6</u> 150,5
2		Жорстке заземлення	2,14	2,26	2,26	<u>141,4</u> 158,4	<u>157,2</u> 160,9	<u>164,3</u> 151,7	<u>160,3</u> 142,9	<u>160,6</u> 156,7	<u>153,0</u> 163,2
		Шарнірне закріплення	2,12	2,28	2,28	<u>138,7</u> 158,3	<u>160,0</u> 161,0	<u>164,4</u> 151,8	<u>161,4</u> 141,0	<u>160,5</u> 159,2	<u>153,7</u> 163,1
3		Жорстке заземлення	1,84	1,60	1,59	<u>139,6</u> 131,9	<u>117,0</u> 110,8	<u>118,7</u> 132,6	<u>143,9</u> 139,9	<u>110,9</u> 116,9	<u>144,8</u> 119,0
		Шарнірне закріплення	1,82	1,60	1,57	<u>140,5</u> 131,0	<u>115,7</u> 111,4	<u>118,4</u> 131,8	<u>142,6</u> 141,0	<u>111,5</u> 115,6	<u>143,4</u> 118,8

Таблиця 2

Результати розрахунків напружено-деформованого стану пластин гофра
для варіанта з тиском тільки на внутрішні вертикальні пластини

№ п/п	Профіль	Спосіб кріплення	Результати								
			f_{max} , мм			σ_1 , МПа			σ^{IV} , МПа		
			№ пластини			№ пластини			№ пластини		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3
1		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		Жорстке заземлення	1,92	2,20	1,97	<u>137,9</u> 133,6	<u>205,1</u> 140,8	<u>137,7</u> 154,9	<u>133,8</u> 138,9	<u>193,6</u> 241,7	<u>161,8</u> 139,2
		Шарнірне закріплення	1,90	2,18	1,95	<u>140,4</u> 134,0	<u>202,1</u> 141,3	<u>140,3</u> 155,3	<u>134,1</u> 142,0	<u>190,1</u> 237,6	<u>163,5</u> 142,2
2		Жорстке заземлення	2,18	2,37	2,27	<u>158,5</u> 145,3	<u>187,2</u> 149,3	<u>159,9</u> 162,5	<u>146,4</u> 159,5	<u>162,5</u> 194,9	<u>168,0</u> 160,3
		Шарнірне закріплення	2,16	2,41	2,30	<u>155,1</u> 145,2	<u>190,7</u> 149,4	<u>162,3</u> 162,4	<u>146,0</u> 155,7	<u>165,3</u> 199,3	<u>168,0</u> 162,7
3		Жорстке заземлення	1,75	1,93	1,75	<u>147,7</u> 148,4	<u>178,7</u> 148,4	<u>146,4</u> 148,4	<u>166,6</u> 162,5	<u>168,9</u> 210,4	<u>166,6</u> 162,5
		Шарнірне закріплення	1,74	1,91	1,80	<u>148,3</u> 149,4	<u>176,8</u> 135,9	<u>147,0</u> 149,4	<u>168,9</u> 164,4	<u>166,2</u> 207,3	<u>168,9</u> 16,44

Примітка: в чисельнику колонок 7-12 наведені значення напружень для внутрішнього шару пластини, в знаменнику – для зовнішнього.

Аналізуючи дані, наведені в таблицях, можна бачити, що різний спосіб моделювання навантаження по різному впливає на напружено-деформований стан кожної з пластин гофра. Так, наприклад, для квадратного профілю в першому варіанті максимальні деформації виникають у першій пластині, а для другого варіанту – у другій. При детальному порівнянні видно, що кількісна різниця між отриманими результатами для першого та другого способу моделювання навантаження за максимальними деформаціями наближається до 20%, а за напруженням: для внутрішнього шару пластин доходить до 50%, а для зовнішнього – сягає 80%. В той же час прослідковується несуттєвий вплив способу кріплення на значення результатів. І хоча для кожного профілю гофра зміна картини НДС в залежності від способу прикладання навантаження дещо відмінна, загальна тенденція спостерігається в однаковому напрямку, що свідчить про те, що дані змодельовані випадки є крайніми з можливих дійсних, і реальна картина НДС буде між ними проміжною.

В подальшому, дослідження розвивалось в напрямку уточнення характеру перерозподілу горизонтального тиску на кожну окрему пластину гофра. З цієї метою був змодельований і обчислений ряд розрахункових моделей, із додатково побудованою внутрішньою гнучкою мембранною циліндричною оболонкою. Розрахункова модель самого силосу залишилась колишньою, з тими ж розмірами та пропорціями, проте кожний її вузол з'єднувався за допомогою стрижневого елемента із вузлом внутрішнього мембранного циліндру, поділеного на скінченні елементи за тим же принципом, що і силос. Закріплення внутрішнього мембранного циліндру виконувалось тільки по верхньому краю кільця в напрямку, що перешкоджав вертикальним переміщенням. Граничні умови самого силосу залишились незмінними і були представлені у вигляді як жорсткого, так і шарнірного защемлення. Поздовжня жорсткість ЕІ стрижневих елементів була призначена рівною 10^6 кН з метою перешкодження сприйняттю навантаження самими стержнями, оскільки вони використовувались тільки для передачі тиску від мембранної оболонки на вузли силосу. Розрахункова модель силосу з трапецієподібним профілем гофра зображена на рис. 4.



Рис. 4. Розрахункова модель силосу для трапецієподібного типу профілю з додатково побудованою внутрішньою гнучкою мембранною циліндричною оболонкою

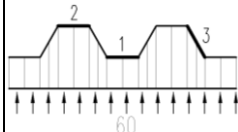
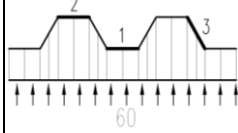
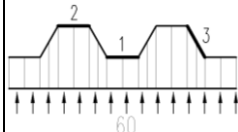
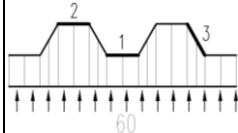
Навантаження задавалось рівномірно розподіленим, під прямим кутом на внутрішню гнучку мембрану циліндричну оболонку та, як і в попередньому випадку, становило 60 кН/м².

Товщина пластин внутрішнього мембранного циліндру ітераційним методом була поетапно зменшена від 1 мм до 0,001мм.

Після проведення розрахунку був проаналізований напружено-деформований стан гофра силосу, після чого відібрані максимальні значення деформацій та напружень по кожній пластині окремо. Порівняльні результати для трапецієподібного профілю гофра з різною товщиною внутрішнього мембранного циліндру наведені у табл. 3.

Таблиця 3

Результати розрахунків напружено-деформованого стану пластин гофра для варіанта з тиском через внутрішню гнучку мембрану циліндричну оболонку

№ п/п	Профіль	Спосіб кріплення	Результати								
			f_{max} , мм			σ_1 , МПа			σ^{IV} , МПа		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Товщина внутрішньої гнучкої мембранної циліндричної оболонки 0,001 м = 1мм											
1		Жорстке заземлення	1,07	1,13	1,10	<u>72.6</u> 73,7	<u>82.1</u> 74,7	<u>77.2</u> 75,3	<u>73.2</u> 72,3	<u>75.6</u> 81,3	<u>75.1</u> 76,5
		Шарнірне закріплення	1,10	1,19	1,13	<u>72.0</u> 73,7	<u>82.6</u> 74,6	<u>77.7</u> 75,3	<u>73.2</u> 71,8	<u>75.9</u> 81,9	<u>75.2</u> 76,9
Товщина внутрішньої гнучкої мембранної циліндричної оболонки 0,0001 м = 0,1 мм											
2		Жорстке заземлення	1,75	1,85	1,81	<u>123.3</u> 120,0	<u>137.5</u> 120,3	<u>126.7</u> 125,0	<u>119.3</u> 122,3	<u>124.0</u> 136,8	<u>124.5</u> 125,4
		Шарнірне закріплення	1,76	1,84	1,79	<u>125.2</u> 119,7	<u>135.5</u> 120,6	<u>125.0</u> 125,0	<u>119.2</u> 124,2	<u>122.9</u> 134,7	<u>124.5</u> 124,0
Товщина внутрішньої гнучкої мембранної циліндричної оболонки 0,00001 м = 0,01 мм											
3		Жорстке заземлення	1,86	1,98	1,92	<u>131.3</u> 128,0	<u>146.5</u> 128,4	<u>135.1</u> 133,3	<u>127.3</u> 130,3	<u>132.2</u> 145,8	<u>132.7</u> 133,7
		Шарнірне закріплення	1,89	1,96	1,91	<u>133.3</u> 127,7	<u>144.5</u> 128,7	<u>133.3</u> 133,3	<u>127.2</u> 132,3	<u>131.1</u> 143,7	<u>132.7</u> 132,3
Товщина внутрішньої гнучкої мембранної циліндричної оболонки 0,000001 м = 0,001 мм											
4		Жорстке заземлення	1,87	1,99	1,94	<u>132.2</u> 128,9	<u>147.5</u> 129,3	<u>136.0</u> 134,1	<u>128.2</u> 131,2	<u>133.1</u> 146,7	<u>133.6</u> 134,6
		Шарнірне закріплення	1,89	1,97	1,92	<u>134.2</u> 128,6	<u>145.5</u> 129,6	<u>134.2</u> 134,2	<u>128.1</u> 133,1	<u>132.0</u> 144,6	<u>133.6</u> 133,1

З аналізу даних табл. 1-3, видно, що НДС моделі із додатково побудованою внутрішньою гнучкою мембранною циліндричною оболонкою є проміжним варіантом між двома попередніми крайніми випадками, що підтверджує попередні припущення, щодо реальної картини характеру перерозподілу горизонтального тиску на кожен окрему пластину гофра. Також, слід зауважити, що значення максимальних деформацій та напружень, які виникають у пластинах при останньому способі завантаження силосу знаходяться в прямо пропорційній залежності від товщини внутрішньої гнучкої мембранної оболонки і зі зменшенням цієї товщини поступово наближаються до попередньо отриманих результатів.

Основні висновки та напрямки можливих подальших досліджень. В ході роботи були досліджені можливі варіанти моделювання навантаження від сипучого матеріалу на гофровану стінку силосу, зокрема, на окремі пластини гофра. Отримані результати НДС для різних способів задання навантаження свідчать про суттєву відмінність значень максимальних деформацій та напружень в пластинах, отже способом задання навантаження при розрахунку нехтувати не можна. Звісно, можна орієнтуватись на гірший результат із отриманих, але в цьому випадку запаси будуть суттєвими, а отже і перевитрати матеріалу та коштів стають неминучими.

Можна зробити висновок, що реальну картину характеру перерозподілу горизонтального тиску на кожен окрему пластину гофра можливо спостерігати в тому випадку, коли товщина внутрішньої гнучкої мембранної оболонки при третьому способі навантаження буде дорівнювати нулю. Проте, це проблематично змоделювати в проектно-обчислювальному комплексі.

Як бачимо, нормативну базу необхідно покращити, доповнюючи її розділами з детальним опрацюванням даної тематики. А поки залишається моделювати кожний варіант тиску і обирати для розрахунку найгірші значення.

Із можливих напрямків подальших досліджень можна виділити необхідність розробки чіткої методики аналітичного розрахунку перерозподілу горизонтального тиску на кожен окрему пластину гофра, з яких складається стінка силосу. Було б доречно прослідкувати поведінку більш різноманітних видів профілю гофра та порівняти їх НДС. Також одною з тем досліджень можна вважати вплив крупності діаметру зерна сипучого матеріалу на наближення до одного з крайніх варіантів прикладання навантаження: гідростатичного чи на внутрішні вертикальні пластини гофра.

1. Харабет, А. Н. Нечеткий поход к моделированию сипучих материалов / А. Н. Харабет – Науковий вісник ОДПУ: Гуманітарні науки. Природознавчі науки. Технічні науки. – Одеса, 1999. – №7. С. 112 – 116. 2. Банніков, Д. О. Сипучий матеріал в ємнісних конструкціях / Д. О. Банніков – Дніпропетровськ, 2009. – С. 49-80. 3. Банніков, Д. О. Вертикальные жесткие стальне емкости: современные концепции формообразования / Д. О. Банніков – Днепрпетровск, 2009. – С. 120. 4. ДСТУ-Н Б EN 1991-4:2012 «Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 4. Бункери і резервуари [Текст]. – введ. 2014-01-07. – К.: Мінрегіонбуд України, 2012. – 150 с. 5. Bródka, J.

Blachy faldowe w budownictwie stalowym / J. Bródka, R. Garncarek, K. Miłaczewski – Arcady, Warszawa, 1984. – S. 7-13. **6.** Карпиловский, В. С. Вычислительный комплекс / В. С. Карпиловский, Э. З. Криксунов, А. А. Маляренко, М. А. Микитаренко, А. В. Перельмутер, М. А. Перельмутер – М.: Изд-во СКАД СОФТ, 2007. – С. 590. **7.** Большаков, В. И. Основы метода конечных элементов / В. И. Большаков, Е. А. Яценко, Г. Соссу, М. Лемэр, Ж. М. Рейнер, Ж. Кестенс, Г. Варзее, И. Кормо. – Днепропетровск: ПГАСА, 2000. – С. 255. **8.** Зенкевич, О. Конечные элементы и аппроксимации / О. Зенкевич, К. Морган; пер. с англ. / Под ред. Н. С. Бахвалова. – М.: Мир, 1986. – С. 318. **9.** ДБН В.2.2-8-98 Підприємства, будівлі і споруди по зберігання та переробці зерна. – замість СНиП 2.10.05-85. – К.: Держбуд України, 1998. – С. 6.