

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Проект силосу для зберігання зернових  
з дослідженням НДС основ

Виконав(ла): студент(ка) 2 курсу, групи МБД-21  
спеціальності 192 Будівництво та цивільна

інженерія

(шифр і назва спеціальності)

Бернатович О.П.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Сорочак А.П.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Данильченко С.М.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Ясній В.П.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент Бобик М.П.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Центр перепідготовки та післядипломної освіти  
(повна назва факультету)

Кафедра будівельної механіки  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Ясній В.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня магістр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія  
(шифр і назва спеціальності)

студенту Бернатович Олексій Петрович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проект силосу для зберігання зернових  
з дослідженням НДС основ

Керівник роботи к.т.н., доц. Сорочак Андрій Петрович  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «28» жовтня 2021 року № 4/7-917

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20 грудня 2021

3. Вихідні дані до роботи Район будівництва – місто Бучач Тернопільської обл.  
Місткість комплексу силосів – 180 000 т.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Архітектурно-будівельна частина. Розрахунково-конструктивна частина.

Науково-дослідна частина. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Генплан. План розміщення фундаментів. Фундамент силосу ФМ-1. Розрізи.

Результати дослідження сумісної дії фундаментів комплексу силосів при однорядному розміщенні.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Архітектурно-будівельний	к.т.н., доц. Сорочак А.П.		
Розрахунково-конструктивний	к.т.н., доц. Сорочак А.П.		
Науково-дослідний	к.т.н., доц. Сорочак А.П.		
Охорона праці	к.т.н., доц. Каспрук В.Б.		
Безпека в надзв. ситуаціях	ст. викл. Стручок В.С.		

7. Дата видачі завдання 25 жовтня 2021 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Архітектурно-будівельний розділ	12.11.2021	
2	Розрахунково-конструктивний розділ	26.11.2021	
3	Науково-дослідна частина	10.12.2021	
4	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	17.12.2021	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Бернатович О.П.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Сорочак А.П.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>5</b>
<b>Розділ 1 АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНИЙ .....</b>	<b>7</b>
1.1. Умови району будівництва .....	7
1.2. Характеристика технології виробництва .....	8
1.2.1. Характеристика сировини .....	9
1.2.2. Опис технологічного процесу роботи комплексу силосів для зберігання зернових .....	10
1.2.3. Прийом з автотранспорту .....	12
1.2.4. Очищення та сушіння .....	13
1.2.5. Зберігання зерна .....	14
1.2.6. Відвантаження на автомобільний транспорт .....	14
1.2.7. Відвантаження на залізничний транспорт .....	15
1.3. Рішення генерального плану .....	15
1.4. Архітектурно-конструктивні рішення .....	16
1.4.1. Лабораторно-адміністративний корпус .....	16
1.4.2. Зерносховища силосного типу.....	18
1.5. Інженерно-технічні рішення.....	19
1.5.1. Зовнішній водопровід і каналізація.....	19
1.5.2. Дошова каналізація .....	20
1.5.3. Очисні споруди дощових стоків .....	21
1.6. Визначення категорії складності об'єкту.....	22
<b>Розділ 2 РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТИВНИЙ .....</b>	<b>25</b>
2.1. Геологічні умови на майданчику будівництва силосів .....	25
2.2. Визначення навантаження на фундамент силосу.....	29
2.3. Перевірка несучої здатності ґрунту .....	31
2.4. Розрахунок фундаменту силосу за деформаціями .....	33
2.5. Конструювання фундаменту силосу.....	36

2.5.1. Розрахунок робочої арматури залізобетонного кільцевого фундаменту силосу.....	38
2.5.2. Розрахунок робочої арматури підшви фундаменту силосу .....	42
<b>Розділ 3 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ.....</b>	<b>45</b>
3.1. Постановка завдань дослідження.....	45
3.2. Методика досліджень НДС основ силосу для зберігання зернових .....	46
3.3. Результати досліджень сумісної роботи фундаментів комплексу силосів.....	48
<b>Розділ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....</b>	<b>51</b>
4.1. Техніка безпеки при експлуатації технологічного обладнання зерносховища .....	51
4.2. Характеристика зернового пилу та основні зони його утворення на підприємствах по зберіганню та переробці зерна. Заходи боротьби з зерновим пилом .....	55
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>	<b>60</b>
<b>БІБЛІОГРАФІЯ.....</b>	<b>61</b>

## ВСТУП

**Актуальність теми роботи.** Агропромисловий ринок України розвивається швидкими темпами, демонструючи ріст близько 10% щороку та забезпечує до 40% експортної виручки всіх українських підприємств [1]. Причинами цього є зростання цін на продукцію агропромислового комплексу на міжнародному та внутрішньому ринку, підвищення попиту, а також відкриття ринку землі в Україні. Збільшення обсягів виробництва продукції, в першу чергу зернових, зумовлює масове будівництво нових зерносклади з силосами великого об'єму для зберігання урожаю.

Починаючи з 2000-х років на ринку агропромислового будівництва конструкції для зберігання зерна в Україні переважають металеві силоси. Вони представляють собою конструкції заводського виготовлення, обладнані потрібними пристроями. При їх спорудженні надзвичайно важливу роль відіграє правильне влаштування залізобетонного фундаменту та коректне врахування особливостей сумісної роботи ґрунтової основи, фундаменту та металеві конструкції силосу.

Коректний розрахунок та проектування фундаментів силосів з великими розмірами плані, що сприймають значні навантаження, є складним практичним та науковим завданням.

**Мета роботи** – уточнення методики розрахунку напружено-деформівного стану (НДС) основ під фундаменти комплексу силосів з урахуванням їх сумісної дії.

Щоб вирішити дану мету, розв'язували наступні **завдання**:

- дослідити НДС основ під фундаменти комплексу силосів з урахуванням їх сумісної дії;
- апробувати методику розрахунку НДС основ, що ґрунтується на методі скінченних елементів, для випадку однорядного розміщення комплексу силосів.

**Об'єкт дослідження** – комплекс силосів для зберігання зерна.

**Предмет дослідження** – напружено-деформівний стан основ фундаментів комплексу силосів.

**Методи дослідження:** порівняльний аналіз, метод скінченних елементів в пружно-пластичній постановці.

**Наукова новизна одержаних результатів:**

1. Отримала подальший розвиток методика розрахунку напружено-деформівного стану основ під фундаменти комплексу силосів з урахуванням їх сумісної дії.

**Практична значимість результатів дослідження.** В роботі виконано дослідження НДС основ під фундаменти комплексу з дев'яти силосів для зберігання зерна на 20000 т кожен. Методика може бути використана для сумісного розрахунку напружено-деформованого стану основ та фундаментів конструкцій на ґрунтовій основі.

**Апробація результатів роботи.** Отримані результати наукових досліджень доповідались на X Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій».

**Публікації.** Дослідження впливу способу армування на тримку здатність балок / О.П. Бернатович, В.В. Закамарко, В.Б. Святий, А.П. Сорочак // Актуальні задачі сучасних технологій: збірник тез доповідей X Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів (Тернопіль, 24-25 листопада 2021). – Т. 1. – Т. : ТНТУ, 2021. – С. 43.

**Ключові слова:** СИЛОС ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНА, НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМІВНИЙ СТАН, ҐРУНТОВА ОСНОВА, ФУНДАМЕНТ СИЛОСУ.

## Розділ 1      АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНИЙ

### 1.1. Умови району будівництва

Проектом передбачається спорудження комплексу силосів для зберігання зернових на території підприємства ТзОВ «Бучачагрохлібпром», розміщеного за адресою Тернопільська обл., м. Бучач, вул. Галицька.

Передбачено влаштування станції розвантаження автомобілів, очистка, сушіння, зберігання зерна в металевих силосах та завантаження на залізничний та автомобільний транспорт.

Основна мета розробки даного проекту – визначення будівельних, екологічних, технічних, технологічних, інженерних рішень для будівництва об'єкта та його техніко-економічних показників.

Передбачається будівництво: станції розвантаження автомобілів, металевих силосів, блоку очистки, зерносушилки, хопперів зберігання вологого зерна, блока бункерів відходів на автомобільний транспорт.

Місця для розміщення споруд визначено виходячи з умов:

1. Відповідності нормативним вимогам в частині санітарно-захисної зони;
2. Цілодобового періоду експлуатації;
3. Можливості використання місцевої робочої сили з підвищенням ступеню її зайнятості;
4. Узгодження технічних і технологічних рішень з замовником.

Наведені розміри і межі відведеної території лягли в основу розробки компоновочних рішень.

Для будівництва станції розвантаження автомобілів, очистки, сушіння, зберігання зерна в металевих силосах та завантаження на залізничний та автомобільний транспорт вибрано вільні від забудови ділянки території підприємства ТзОВ «Бучачагрохлібпром».



Територія розміщення комплексу силосів для зберігання зернових та їх перевантажування на транспорт знаходиться у Бучацькому районі Тернопільської області в місті Бучач по вул. Галицькій.

Кліматичний район помірний континентальний, вологий з помірним зволоженням [2].

Середньорічна температура повітря  $+10^{\circ}\text{C}$ , найбільш низька – в січні та лютому, з загальним мінімумом  $-28^{\circ}\text{C}$ , найбільш висока у липні, з загальним максимумом  $+36^{\circ}\text{C}$ .

Форма і площа ділянки визначена у границях розміщення технологічного устаткування, розміщення допоміжних споруд і має площу 0,48 га .

Рельєф ділянки характеризується зміною абсолютних відміток від 353,30 до 350,40 з ухилом рельєфу у північно–східному напрямі.

## **1.2. Характеристика технології виробництва**

Технологічні рішення відповідають:

- вимогам нормативних документів, що діють;
- охороні природного довкілля, екологічній безпеці;
- вимогам до енергозбереження;
- вихідним даним.

Технологічний процес полягає в реалізації можливості влаштування станції розвантаження автомобілів, очистки, сушіння, зберігання зерна в металевих силосах та завантаження на залізничний та автомобільний транспорт. Продуктивність транспортуючих ліній 175 т/год.

Для технологічного процесу застосовується устаткування, призначене для роботи із зерном, що може виконувати:

- транспортування за заданими маршрутами, за допомогою норій, ланцюгових та стрічкових транспортерів, самопливних і розподільних пристроїв;
- очищення зерна у сито-повітряному сепараторі;

- сушіння на газовій зерносушарці;
- відвантаження зерна через бункери на автомобільний та залізничний транспорт.

### 1.2.1. Характеристика сировини

Експлуатація нових виробничих ділянок підприємства передбачає виконання робіт з сировиною, характеристики якої наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Характеристика зернової сировини

Назва властивості	Показник			
	Пшениця	Кукурудза	Рапс	Ячмінь
1	2	3	4	5
Натурна маса, т/м <sup>3</sup>	від 0.65 до 0.86	від 0.60 до 0.85	від 0.54 до 0.62	від 0.48 до 0.75
Шпаруватість, %	від 0.35 до 0.45	від 0.35 до 0.55	від 0.30 до 0.40	від 0.40 до 0.55
Кут природнього відкосу, °				
В спокої	від 35 до 40	від 35 до 43	від 19 до 28	від 32 до 42
В русі	від 23 до 38	від 30 до 36	від 17 до 20	від 28 до 36
Коефіцієнт зовнішнього тертя по сталі	від 0.42 до 0.76	від 0.36 до 0.50	від 0.33 до 0.38	від 0.38 до 0.60
Коефіцієнт зовнішнього тертя по дереву	від 0.36 до 0.70	від 0.36 до 0.56	від 0.30 до 0.42	від 0.33 до 0.75
Граничні розміри, мм:				
Товщина	від 1.6 до 3.8	від 2.5 до 8.0	від 1.8 до 2.5	від 1.2 до 4.5
Ширина	від 1.8 до 4.0	від 5.0 до 12.0	від 1.8 до 2.5	від 2.0 до 2.5
Довжина	від 4.8 до 8.6	від 5.5 до 15.0	-	від 7.0 до 14.6
Вологість за категоріями, %:				
Сухе	до 14.0	до 14.0	до 7.0	до 14.0

1	2	3	4	5
Середньої сухості	від 14.1 до 15.5	від 14.1 до 15.5	від 7.1 до 8.0	від 14.1 до 15.5
Вологе	від 15.6 до 17.0	від 15.6 до 17.0	від 8.1 до 10.0	від 15.6 до 17.0
Сире	від 17.1 і більше	від 17.1 і більше	від 17.1 і більше	від 17.1 і більше
Здатність до самозаймання	Самозаймається			
Гранично допустима концентрація пилу в повітрі робочої зони, мг/м <sup>3</sup>	4.0			

Зернова продукція, повинна відповідати нормативним документам, які діють в Україні на зернову продукцію:

- ДСТУ 3768:2010 «Пшениця. Технічні умови»;
- ДСТУ 4525-2006 «Кукурудза. Технічні умови»;
- ДСТУ 4966-2008 «Насіння рапсу для промислової переробки. Технічні умови».
- та іншим.

### **1.2.2. Опис технологічного процесу роботи комплексу силосів для зберігання зернових**

Технологічний процес проходить одним потоком. Схема технологічного процесу роботи комплексу силосів для зберігання зернових наведена на рис. 1.1. Проектований вузол передбачає наступні маршрути транспортування зерна:

1. Станція розвантажування автомобілів – відвантаження зерна на автотранспорт.
2. Станція розвантажування автомобілів – відвантаження зерна на залізничний транспорт.
3. Станція розвантажування автомобілів – завантаження зернових силосів.

4. Станція розвантажування автомобілів – блок очищення – завантаження зернових силосів.

5. Станція розвантажування автомобілів – блок очищення – блок сушіння – завантаження зернових силосів.

6. Розвантаження зернових силосів – відвантаження зерна на автотранспорт

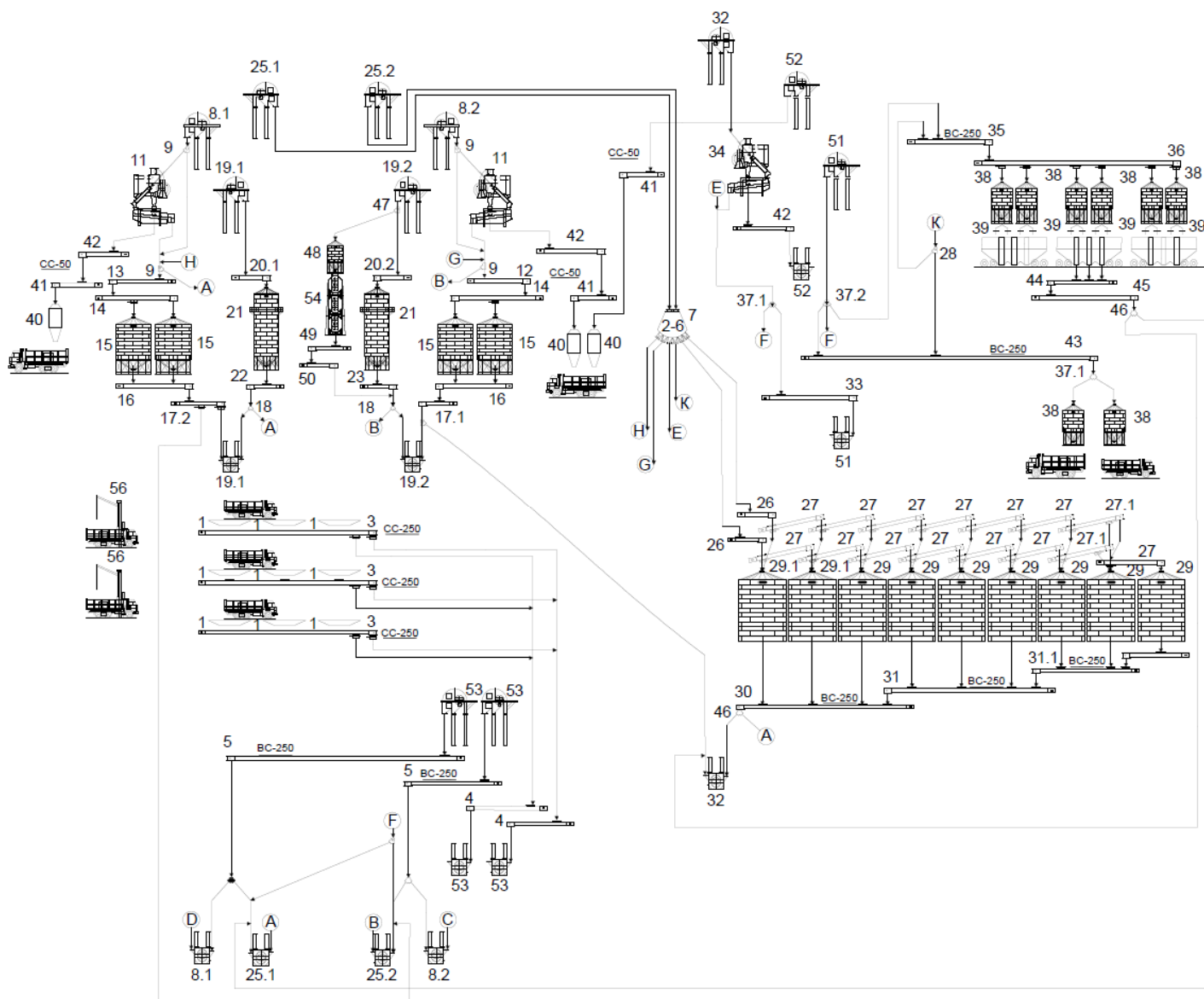


Рисунок 1.1 – Схема технологічного процесу роботи комплексу силосів для зберігання зернових

### 1.2.3. Прийом з автотранспорту

Автомобілі зважуються на існуючих вагах при в'їзді з вулиці Галицької. Безпосередньо при зважуванні оператор проводить відбір проб для лабораторного аналізу. Автомобілі після зважування та лабораторного аналізу спрямовуються на станцію розвантаження автомобілів. Зерно розвантажується в бункер приймальний поз. BR1101 (існуючий) ємністю  $150,0 \text{ м}^3$ , а також в бункер приймальний поз. BR1102 ємністю  $150,0 \text{ м}^3$ .

Продуктивність станції розвантажування автомобілів – становить 350 т/год.

З бункера приймального поз. BR1101 (існуючий) зерно при відкритті ручних засувок поз. GM1101, ..., GM1105 (існуючих) надходить відповідно на конвеєр ланцюговий поз. TS1101 ( $Q = 175 \text{ т/год}$ ) (існуючий). З конвеєра ланцюгового поз. TS1101 (існуючий), зерно надходить на ланцюговий конвеєр поз. TS1102 ( $Q = 175 \text{ т/год}$ ) (існуючий).

З бункера приймального поз. BR1102 зерно при відкритті ручних засувок поз. GM1106, ..., GM1110 надходить відповідно на конвеєр ланцюговий поз. TS1103 ( $Q = 175 \text{ т/год}$ ). З конвеєра ланцюгового поз. TS1103, зерно надходить на ланцюговий конвеєр поз. TS1104 ( $Q = 175 \text{ т/год}$ ) (існуючий).

Далі, в залежності від якості, зерно подається на:

- зберігання;
- очистку;
- сушіння;
- відвантаження на автотранспорт;
- відвантаження залізничний транспорт.

Тара автопоїздів після їх розвантаження визначається на існуючих автомобільних вагах при виїзді. Контроль зважування буде проводитися за допомогою оператора.

#### 1.2.4. Очищення та сушіння

Прийняте з автотранспорту зерно конвеєрами поз. TS1101, TS1102 (існуючі), TS1103, TS1104 ( $Q = 175$  т/год) подається норію поз. N1101 (існуюча) та поз. N1103 ( $Q = 175$  т/год).

З норій поз. N1101, N1103 зерно через перекидні клапани направляється на ланцюгові конвеєри поз. TS1105, TS1106 ( $Q = 175$  т/год). З ланцюгових конвеєрів поз. TS1105, TS1106 зерно через перекидні клапани потрапляє на зернові сепаратори поз. SG5002, SG5003 ( $Q = 200$  т/год кожний).

Після того як зерно пройшло очищення воно подається на норію N5101, N5102 ( $Q = 100$  т/год). З норій N5101, N5102 зерно подається в силоса хоппери вологого зерна поз. BH5101, BH5102. З силосів хопперів вологого зерна поз. BH5101, BH5102 при відкритті електричних засувок поз. G5101, G5102 зерно потрапляє на ланцюгові конвеєри поз. TS5201, TS5202 ( $Q = 100$  т/год). З ланцюгових конвеєрів поз. TS5201, TS5202 зерно потрапляє на норію поз. N6101 ( $Q = 100$  т/год), з якої здійснюється завантаження зернової сушарки поз. OG6001 ( $Q = 100$  т/год). З сушарки поз. OG6001 ( $Q = 100$  т/год) зерно потрапляє на ланцюговий конвеєр поз. TS1112.

Схід з сортувального сита сепаратора (відходи третьої категорії) подається самопливом на гвинтовий конвеєр поз. TN 5202 ( $Q = 10$  т/год). З конвеєр поз. TN 5202 відходи потрапляють на норію поз. N1202, з якої потрапляють у відходний бункер поз. BS5206, з якого потім відвантажуються на автомобільний транспорт.

Прохід підсівного сита сепаратора (відходи першої або другої категорії) самопливом на гвинтовий конвеєр поз. TN 5201 ( $Q = 10$  т/год). З конвеєр поз. TN 5201 відходи потрапляють на норію поз. N1201, з якої потрапляють у відходний бункер поз. BS5203, з якого потім відвантажуються на автомобільний транспорт.

### **1.2.5. Зберігання зерна**

Прийняте з автотранспорту зерно конвеєрами поз. TS1101, TS1102 (існуючі), TS1103, TS1104 ( $Q = 175$  т/год) подається норії поз. N1101 (існуюча) та поз. N1103 ( $Q = 175$  т/год). З норій поз. N1101, N1103 зерно через перекидні клапани направляється на ланцюгові конвеєри поз. TS1105, TS1106 ( $Q = 175$  т/год). З ланцюгових конвеєрів поз. TS1105, TS1106 зерно через перекидні клапани потрапляє на надсилосні ланцюгові конвеєри поз. TS1108, TS1109, TS1111 ( $Q = 175$  т/год). З надсилосних ланцюгових конвеєрів поз. TS1108, TS1109, TS1111 при відкритті електричних засувок поз. G1102, ..., G1107 зерно потрапляє в металеві силоси поз. BP1101, ..., BP1106.

З сушарки поз. OG6001 ( $Q = 100$  т/год) зерно потрапляє на ланцюговий конвеєр поз. TS1112. З ланцюгового конвеєра поз. TS1112 зерно потрапляє на норію поз. N6102 ( $Q = 100$  т/год). З норії через перекидний клапан поз. V1108 зерно потрапляє на надсилосні ланцюгові конвеєри поз. TS1108, TS1109, TS1111 ( $Q = 175$  т/год). З надсилосних ланцюгових конвеєрів поз. TS1108, TS1109, TS1111 при відкритті електричних засувок поз. G1102, ..., G1107 зерно потрапляє в металеві силоси поз. BP1101, ..., BP1106.

### **1.2.6. Відвантаження на автомобільний транспорт**

При відкритті підсилосних засувок G4201, ..., G4206 зерно потрапляє на підсилосні стрічкові конвеєри поз. ТВ4201, ТВ4202 ( $Q = 175$  т/год). З ланцюгових конвеєрів поз. ТВ4201, ТВ4202 зерно попадає на норію поз. N4201 ( $Q = 175$  т/год), з якої через перекидні клапани зерно потрапляє на ланцюговий конвеєр поз. TS4201 ( $Q = 175$  т/год). З ланцюгового конвеєра поз. TS4201, через перекидний клапан поз. P4202 зерно подається в бункер поз. ВН1201, з якого при відкритті ручної засувки поз. GM1201 зерно відвантажується на автомобільний транспорт.

Автомобілі зважуються на існуючих вагах.

### 1.2.7. Відвантаження на залізничний транспорт

При відкритті підсилованих засувок G4201, ..., G4206 зерно потрапляє на підсилові стрічкові конвеєри поз. ТВ4201, ТВ4202 ( $Q = 175$  т/год). З ланцюгових конвеєрів поз. ТВ4201, ТВ4202 зерно попадає на норію поз. N4201 ( $Q = 175$  т/год), з якої через перекидні клапани зерно потрапляє на ланцюговий конвеєр поз. TS4201 ( $Q = 175$  т/год). З ланцюгового конвеєра поз. TS4201, через перекидний клапан поз. P4202 зерно потрапляє на стрічковий конвеєр поз. ТВ2201 ( $Q = 175$  т/год), який подає зерно через дистриб'ютор в накопичувальні бункери поз. ВН2201, ..., ВН2204 (86 м<sup>3</sup> кожен). При відкритті ручних засувок поз. GM2201, ..., GM2204 та електричних засувок поз. G2201, ..., G2204 зерно через перекидні клапани поз. V2201, ..., V2204 завантажується у залізничні вагони.

Залізничні вагони зважуються на існуючих вагах. Переміщення залізничних вагонів буде здійснюватися за допомогою тепловоза.

### 1.3. Рішення генерального плану

Планування ділянки виконано з раціональним та економним використанням земельної ділянки та найбільшою ефективністю капіталовкладень.

Проект генерального плану вирішено з урахуванням:

- а) функціонального зонування території;
- б) раціонального розміщення транспортних та інженерних мереж;
- в) економного використання території;
- г) відновлення відведених під будівництво земель, пошкоджених при виконанні робіт.

Організація рельєфу виконана методом проектних відміток, з врахуванням забезпечення ефективного розміщення технологічного устаткування та ув'язкою до існуючого рельєфу для забезпечення мінімальних земельних робіт [3]. Відвід дощових та талих вод від фундаментів будівель і споруд здійснюється за допомогою повздовжніх та поперечних ухилів проєктованих доріг та вимощення.



Техніко-економічні показники по площадці будівництва наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Техніко-економічні показники по генеральному плану

№	Найменування	Кількість
1	Площа ділянки, га	0,48
2	Площа забудови м <sup>2</sup>	2178,46
3	Площа доріг і тротуарів, м <sup>2</sup>	613,00
4	Площа озеленення	117,00

## 1.4. Архітектурно-конструктивні рішення

### 1.4.1. Лабораторно-адміністративний корпус

Лабораторно-адміністративний корпус запроектований двоповерховим із сандвіч-панелей і розташований поруч з ваговими при в'їзді автомобілів. Приміщення розмірами в плані 12×20 м з металевим каркасом і огорожуючими конструкціями із сандвіч-панелей.

На першому поверсі розташовані: прохідна з кімнатою сторожа, бухгалтерія з архівом, відділ комерції, електроцитові, кімната прийому їжі, чоловічий та жіночий гардероби з душовими, туалет, кімната вагаря.

На другому поверсі передбачено: дві кімнати для лабораторії, кабінет завідуючого лабораторією, приміщення зберігання проб, кабінети директора і головного інженера, переговорна, туалет і кімната прибиральниці.

Зв'язок між поверхами – через сходову клітку. З другого поверху в торці передбачено другий вихід по металевих сходах [4].

Операторська для управління всіма технологічними процесами, розташована поряд із норійною ямою і центральною вежею. Це одноповерховий будинок, в якому розташована кімната операторів та приміщення для щитів управління.

Для колійного і автомобільного вагарів запроектовано окремі приміщення, в яких розміщується стіл, крісло, шафа для одягу, сейф.

Основним конструктивним матеріалом для фундаментів прийнято залізобетон з бетоном класу В25 (марка 300) і арматурою А240С.

Для великих силосів було виконано порівняння трьох типів фундаментів:

- стрічкових;
- пальових;
- плитних.

Найбільш оптимальним для геологічних умов ділянки виявився стрічковий тип фундаментів, який і прийнятий в проекті.

Для цього типу є дуже важливим трамбування засипки під залізобетонною плитою днища силосу, щоб не допустити її просідання при експлуатації.

Транспортні тунелі, завальні ями, фундаменти під центральну вежу виконуються із монолітного залізобетону з розрахунковим армуванням та влаштуванням горизонтальної та вертикальної гідроізоляцій.

Фундаменти під основні споруди: силоси, сушарки, хопера сирого зерна, центральну вежу, запроектовані із монолітного залізобетону, стовбові або стрічкові.

Фундаменти заглиблюються в материковий ґрунт не менше 200 мм.

Надземні конструкції споруд – металеві.

Сушарки, силоси, хопери вологого зерна – обладнання заводського виготовлення, яке поставляється американською фірмою GSI.

Центральна вежа виконується із металевих профілів вітчизняного виробництва.

Лабораторно-адміністративний корпус, операторська, приміщення автомобільного та колійного вагарів запроектовані із сандвіч-панелей з металевим каркасом.

Захист металевих конструкцій від корозії проводиться шляхом фарбування атмосферостійкими фарбами за два рази.

Оздоблення приміщень лабораторно-адміністративного корпусу, операторських, приміщень вагарів, а також підлоги дані в кресленнях цих об'єктів.

### 1.4.2. Зерносховища силосного типу.

Проектом передбачено спорудження комплексу для довготривалого зберігання зернових на 180000 т, що складається з 9 великих силосів заводського виготовлення виробництва американської фірми GSI [5]. Кожен з них розрахований на зберігання 20000 т продукції. Силоси розміщуються в один ряд та об'єднуються спільними надсилосними та підсилосними транспортерами.

Фундамент під зерносховище силосного типу являє собою монолітну залізобетонну конструкцію кесонного типу, виконану з бетону С20/25 (В25). Діаметр фундаменту одного силосу 32,675 м. Фундаменти силосів незалежні. Між ними обов'язкове влаштування деформаційного шва.

Товщина кільцевих стін 600 мм, товщина плити підлоги 500 мм. З'єднання плити зі стінами – жорстке. Вздовж центру силосу проходить підземна галерея з монолітного залізобетону, яка жорстко з'єднана з фундаментом силосу та є його складовою частиною, та у сукупності з зовнішніми стінами утворює кесон. Габаритні розміри галереї в перетині  $2400 \times 2850$  (h). Простір між галереєю і стінами заповнюється засипкою з ЦПС С7. Зверху на плиті влаштовується підлога з монолітного бетону у вигляді системи каналів для продувки зерна [6].

Для армування фундаменту силосів використовують каркаси та окремі арматурні стержні, що для поздовжнього армування мають клас А500С, а для поперечного армування, а також хомутів і шпильок – А240С. Для виконання з'єднань окремих стрижнів у каркасах використовують в'язальний дріт діаметром 1,6-1,8 мм по ГОСТ 9389-75\*.

Під подошвою фундаментів виконати:

- бетонну підготовку –  $h = 100$  мм з бетону кл. В7,5;
- ущільнений щебенем ґрунт –  $h = 200 - 400$  мм.

Вертикальна гідроізоляція поверхонь, що безпосередньо контактують з ґрунтом, полягає в підготовці поверхні шаром бітумно-полімерного праймеру «ТехноНіколь N03». Поверх нього наноситься шар обмазувальної гідроізоляційної

мастики «ТехноНіколь N24». Влаштування гідроізоляції виконати згідно вказівок та рекомендацій виробника щодо технології нанесення.

Горизонтальна гідроізоляція – поверхня бетонної підготовки покривається еластифікатором СС83, ТУ У.2.7-24.3-21685172-006:2009 для покращення адгезії, після чого на неї наноситься шар обмазувальної гідроізоляційної суміші CR65, ДСТУ Б В.2.7-126:2011 (виробництва «CERASIT»).

## **1.5. Інженерно-технічні рішення**

### **1.5.1. Зовнішній водопровід і каналізація**

Проектом передбачається влаштування роздільного водопроводу – господарсько-питного та протипожежного. Водопостачання комплексу для зберігання зернових виконано від існуючої водопровідної мережі.

Вода питної якості водопровідною системою В1 подається до будинку лабораторії з офісними приміщеннями та для наповнення протипожежних резервуарів. Зовнішня водопровідна мережа господарсько-питного водопроводу В1 монтується з поліпропіленових труб для водопроводу  $P = 6,0$  кг/см по ГОСТ 18599-83. З'єднання поліетиленових труб на зварці. Запірна арматура встановлюється у водопровідних колодязях.

Водопровідні колодязі монтуються із збірного залізобетону по типових проектних рішеннях № 901-09-11.84. Розхід води для господарсько-питних потреб складає  $2,97$  м<sup>3</sup>/добу.

Розхід води для зовнішнього пожежогасіння – 30 л/с. Зовнішнє пожежогасіння передбачається від проектованої кільцевої водопровідної мережі В2. Запас води на зовнішнє пожежогасіння зберігається у 2-х існуючих підземних резервуарах ємністю по 162 м<sup>3</sup> кожний. При виникненні пожежі необхідно натиснути кнопку «Пуск» на зовнішній стіні насосної станції протипожежного водопостачання. Вода насосом із резервуарів подається у зовнішню водопровідну

мережу В2 до пожежних гідрантів, які встановлюються у водопровідних колодязях.

В даний час пожежна насосна є існуючою, з технологічним обладнанням, трубопроводами, що забезпечують витрати води на пожежогасіння 10 л/с. Проектом передбачено в існуючій будівлі насосної монтаж трубопроводів і обладнання для забезпечення витрат води 30 л/с.

Водопровідні колодязі системи В2 монтуються із збірною залізобетону по типовому проекту № 901-09-11.84. Монтаж та випробування систем В1, В2 виконувати згідно [7].

Господарсько-фекальні стоки від лабораторії з офісними приміщеннями каналізаційною мережею К1 відводяться у проектувану установку біологічного очищення продуктивністю 2,0 м<sup>3</sup>/добу марки ПЕСТ-8 виробництва «Енергоресурс-Інвест». Після очищення проектом передбачено відведення стічних вод в існуючу каналізацію.

Концентрація після очищення: завислі речовини – 10 мг/л, ХПК – 40 мг/л, БПК – 5,0 мг/л, азотомонійний – 1,5 мг/л, нітрати – 3,0 мг/л, фосфор – 3,0 мг/л.

### **1.5.2. Дощова каналізація**

Дощові та талі води з підприємства відводяться поверхнево за рахунок вертикального планування території у відкритий залізобетонний лоток. Із лотка дощові води за допомогою колектора Ø340 – 540 мм направляються на очисні споруди дощових стоків.

Мережа дощової каналізації монтується із поліетиленових труб типу «Корсис».

Колодязі дощової каналізації монтуються із збірною залізобетону по типовому проекту № 902-09-46.88.

Розрахункова кількість стічних вод становить 138 л/с.

Мережа дощової каналізації – частково існуюча, частково проектна.

### 1.5.3. Очисні споруди дощових стоків

При проектуванні використана технологія очистки стічної води по типовому проекту № 902-2-418.86, а також технологія локальних комплексів «LAVKO».

Очисні споруди для дощових стоків розроблені продуктивністю 25 л/с.

Вихідні дані по дощових стоках приведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Характеристика дощових стоків

№ п/п	Назва	Один. вим.	Кількість забруднення
1.	Концентрація зважених речовин	мг/л	2000
2.	Концентрація нафтопродуктів	мг/л	50
3.	Плаваюче сміття	м <sup>3</sup>	0,004
4.	Нормативна концентрація зважених речовин	мг/л	100
5.	Нормативна концентрація нафтопродуктів	мг/л	10
6.	Нормативна кількість плаваючого сміття	м <sup>3</sup>	0,00
7.	Розрахункова концентрація зважених речовин	мг/л	18,0
8.	Розрахункова концентрація на нафтопродукти	мг/л	2,0
9.	Розрахункова кількість плаваючого сміття	м <sup>3</sup>	0,00

При площі водозбору 4,1 га розрахункові витрати дощових стічних вод від підприємства становлять 138 л/с. Витрати стічних вод, що підлягають очищенню 25,4 л/с. На підставі даних розрахунків в проекті прийнято:

- піско-муловідділювач EURO НЕК-20000 продуктивністю 33,3 л/с, час відстоювання – 10 хв;
- нафтовідділювач з коллесціруючими модулями EURO РЕК S-50 продуктивністю 25 л/с;
- регулюючий колодязь «LAVKO» BYPASS типу FRW 50/150.

При очищенні поверхневого стоку на локальному комплексі «ЛАВКО» вміст забруднень в очищених водах досягає по завислих речовинах 10 мг/л, а по нафтопродуктах – 0,3 мг/л.

### 1.6. Визначення категорії складності об'єкту

Визначення категорії складності ведемо згідно [8] з врахуванням положень «Настанови щодо застосовування будівельних норм у частині віднесення об'єктів будівництва до категорії складності для подальшого проектування і експертизи», схваленої рішенням НТР Міністерства регіонального розвитку та будівництва України від 16.06.2011р. №59.

Категорію визначаємо за 7 ознаками:

1. Клас наслідків.

Об'єкт не відноситься до об'єктів підвищеної екологічної небезпеки (дод. 4 «Настанови...») і його не можемо віднести до крупних елеваторів (дод. А [8]).

Об'єкт не відноситься до споруд класу СС3.

Значить він належить до класу СС2.

2. Кількість осіб, які постійно перебувають на об'єкті (більше 8 годин на добу) – по технології 14 чоловік, клас наслідків СС1.

3. Кількість осіб, які періодично перебувають на об'єкті (не більше 3-х годин на добу) – 31 чоловік, клас наслідків СС1.

4. Кількість осіб, які перебувають поза об'єктом  $14 \cdot 1,3 = 18,2$  чол., клас наслідків СС1.

5. Обсяг можливого економічного збитку згідно «Настанови...»

$$\Phi = C \sum P_i (1 - 0,5 T_{ef} \cdot K_{ai}),$$

де  $\Phi$  – прогнозовані витрати;

$C = 0,45$  – відносна частка основних фондів, що повністю втрачаються під час аварії;

$P_i$  – кошторисна вартість і-го виду втрачених основних фондів;

$T_{ef}$  – середнє значення встановленого терміну експлуатації основних фондів – 50 років;

$K_{ai}$  – коеф. амортизаційних відрахувань основних фондів, що приймається 1%;

$n$  – кількість видів основних фондів.

У нас кількість основних фондів рівна 3:

$n_1 = 9$  – основні великі силоси;

$n_2 = 2$  – зерносушарки;

$n_3 = 4$  – хопери;

$P_1 = 15800000$  грн;

$P_2 = 8900000$  грн;

$P_3 = 4500000$  грн.

$\Phi = 0,45 \cdot (15800000 \cdot 9 + 8900000 \cdot 2 + 4500000 \cdot 4)(1 - 0,5 \cdot 50 \cdot 0,01) = 121485000$  грн,

що дорівнює  $\frac{121485000}{6500} = 18690$  м.р.з.п. (мінімальних розмірів заробітної плати).

Це більше 15000, але менше 150000 м.р.з.п., тобто клас наслідків СС2, а категорія складності IV.

6. Об'єкт не може привести до втрати об'єктів культурної спадщини.

7. Об'єкт не визве припинення функціонування комунікацій, транспорту, зв'язку, енергетики та інших мереж.

Всі дані зводимо в табл. 1.4.



Таблиця 1.4 – Розрахунок категорії складності об'єкту

№п/п	Назва ознаки	Кількість	Клас наслідків	Категорія складності
1.	Клас наслідків за ДБН В.1.2-14-2009	-	СС2	III
2.	Кількість осіб, які постійно перебувають на об'єкті (більше 8 год. на добу).	14	СС1	II
3.	Кількість осіб, які періодично перебувають на об'єкті (не більше 3-х годин на добу).	31	СС1	I
4.	Кількість осіб, які перебувають поза об'єктом.	18,2	СС1	I
5.	Обсяг можливого економічного збитку в м.р.з.п. (мінімальних рівнях заробітної плати).	18690	СС2	IV
6.	Втрата об'єктів культурної спадщини.	-	Відсутні	-
7.	Припинення функціонування комунікацій транспорту, зв'язку, енергетики, інших інженерних мереж.	-	Відсутні	-

Комплекс силосів для зберігання зерна ТзОВ «Бучачагрохлібпром» по вул. Галицькій в м. Бучач Тернопільської області за критеріями вимог Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності», «Порядку віднесення об'єктів до IV-V категорії складності», а також наведених розрахунків відноситься до класу наслідків СС2 і має IV категорію складності будівництва.

## Розділ 2 РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТИВНИЙ

### 2.1. Геологічні умови на майданчику будівництва силосів

Геологічні умови на ділянці будівництва відіграють надзвичайно важливу роль для стійкості споруд з розвиненими фундаментами, такими як силоси для зберігання зернових.

На ділянці майбутнього будівництва було виконано 5 свердловин для відбору ґрунту з метою його лабораторного дослідження та оцінки фізико-механічних властивостей основ. Максимальна глибина свердловин складала 10 м.

В будові ґрунтів на ділянці ТзОВ «Бучачагрохлібпром» внаслідок проведених досліджень було виділено окремі інженерно-геологічні елементи, зокрема:

- 1 – ґрунт насипний, неоднорідний, з домішками щебеню;
- 2 – м'якопластичний суглинок зі слідами торфу;
- 3 – гравелистий сірий пісок, водонасичений, з незначним вмістом вапняку;
- 4 – карбонатна глина світло-сірого кольору, напівтверда, з включеннями вапняків та гальки до 25%;
- 5 – глинистий вапняк з піщано-глинистим заповнювачем до 15% об'єму.

Встановлені інженерно-геологічні розрізи на ділянці будівництва наведено на рисунках 2.1, 2.2, 2.3.

Фізико-механічні властивості ґрунтів на ділянці будівництва силосів наведено в таблиці 2.1.

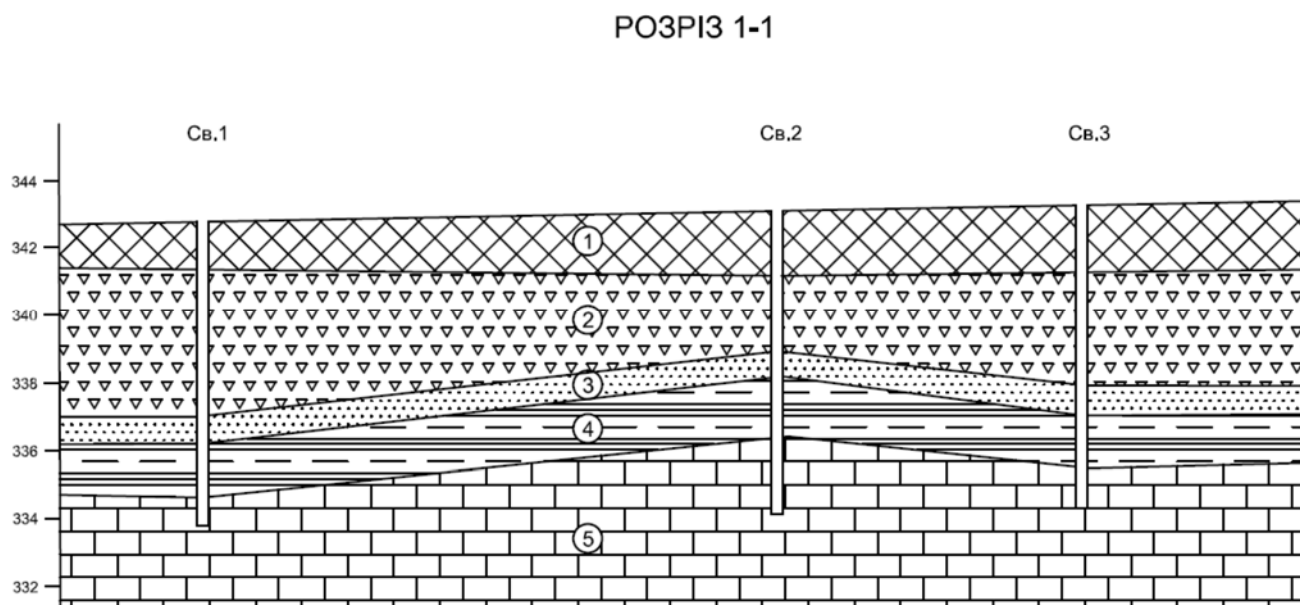


Рисунок 2.1 – Інженерно-геологічна будова на ділянці будівництва по розрізу 1-1.

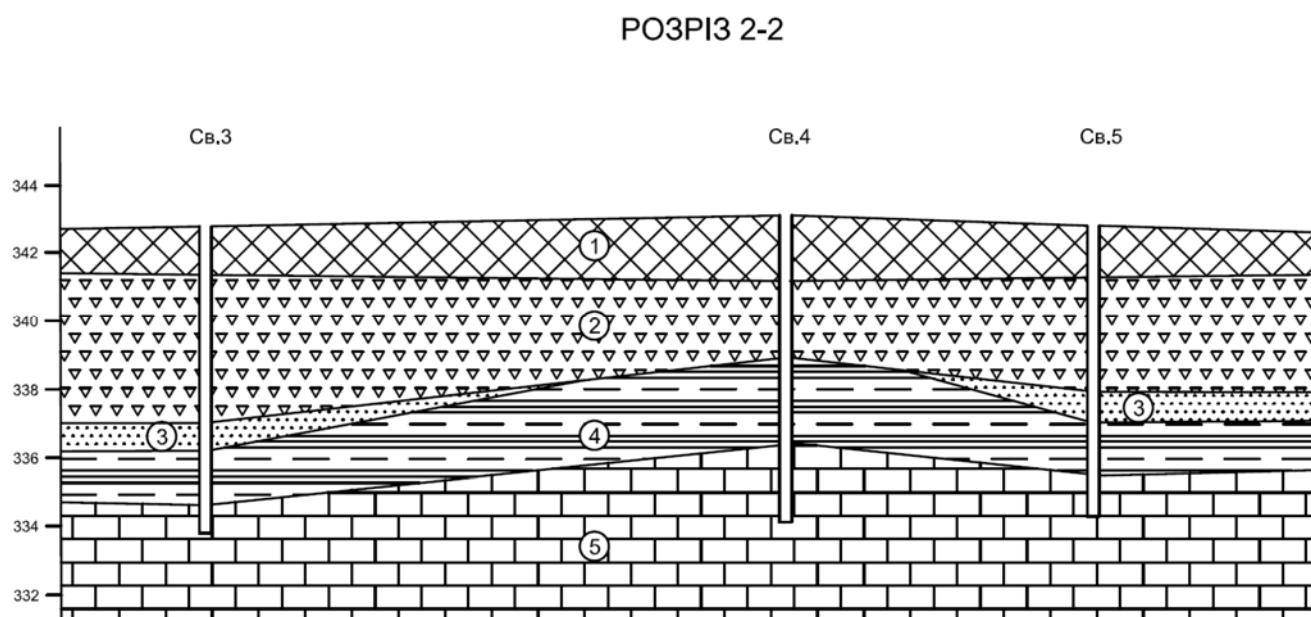


Рисунок 2.2 – Інженерно-геологічна будова на ділянці будівництва по розрізу 2-2.

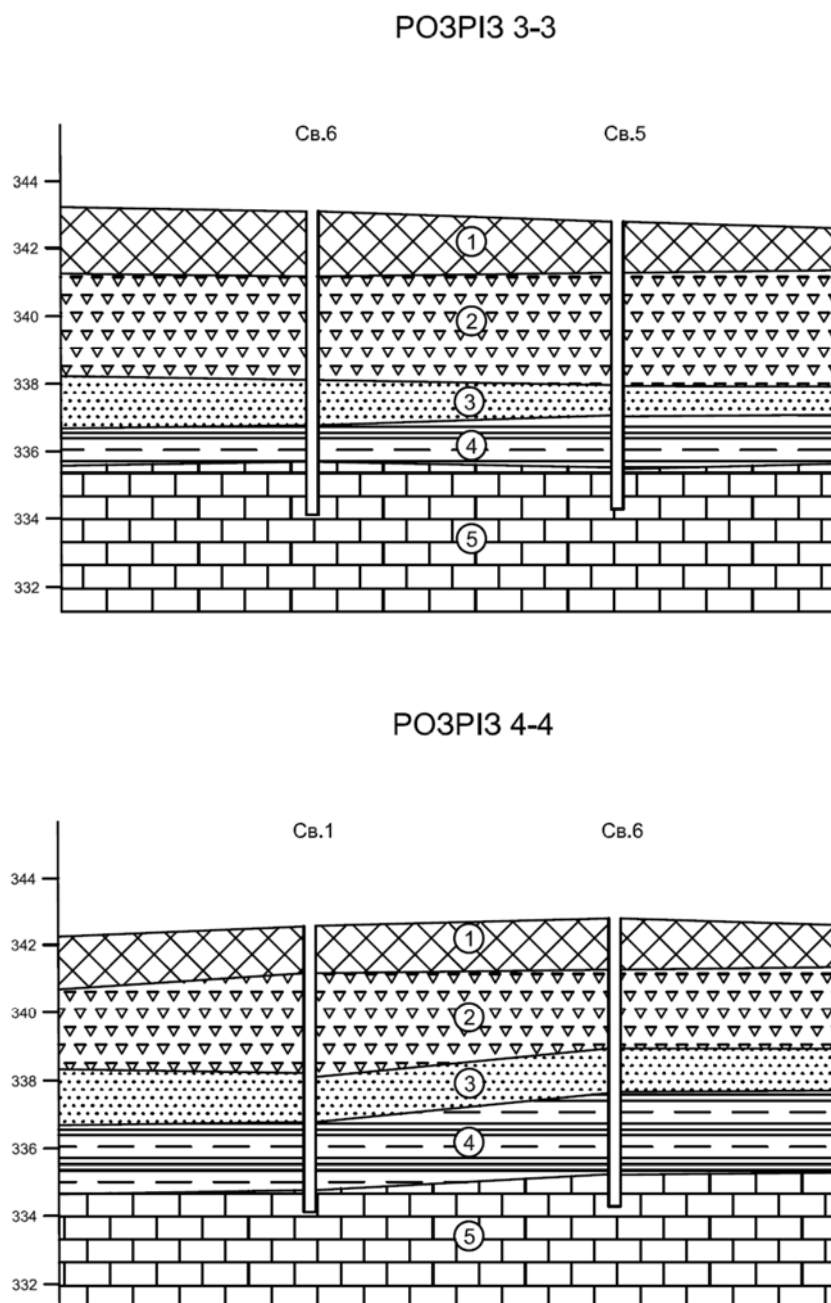


Рисунок 2.3 – Інженерно-геологічна будова на ділянці будівництва по розрізах 3-3 та 4-4.

Також досліджували глибину залягання ґрунтових вод для оцінки гідрогеологічних умов майданчика будівництва зерносховища. Водоносний горизонт було виявлено на глибині 3,5 м від поверхні землі. Очікувані можливі коливання даного рівня в межах одного метра. Даний горизонт є ненапірним і підживлюється виключно за рахунок атмосферних опадів.

Таблиця 2.1 – Фізико-механічні властивості ґрунтів на ділянці будівництва силосів ТзОВ «Бучачагрохлібпром»

Номер інженерно-геологічного елементу	Назва ґрунту, ДСТУ Б В.2.1-2-96	Значення для класифікації							Значення для розрахунків							Група ґрунту в залежності від трудності їх розробки (таб. 1 ДБН Д.2.2-1-99)	Категорія ґрунту за сейсмічними властивостями (таб. 1.1 ДБН В.1.1-12:2006)		
		Нормативні							Нормативні				Розрахункові						
		Проробна вологість, дол.од.	Число пластичності	Показник текучості	Щільність т/м.куб	Коефіцієнт пористості	Ступінь вологості	Питома вага кН/м.куб.	Модуль деформації, МПа	Кут внутрішнього тертя, градус	Питома зчеплення, кПа	Питома вага, кН/м.куб	Кут внутрішнього тертя, градус	Питома зчеплення, кПа					
W	I <sub>p</sub>	I <sub>e</sub>	P	e	S	γ	E	ϕ	C	γ <sub>2</sub>	γ <sub>1</sub>	ϕ <sub>2</sub>	ϕ <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>				
1	Насипний ґрунт - відсипаний сухим способом, складений піщано-глинистими ґрунтами з домішками гальки, темно сірий	0,16	-	-	1,62	-	-	16	-	29	12	16,70	-	29	-	12	-	9	IV
1	Суглинки/копластичний слабо та середньозаторфований, чорногоколовору	0,43	0,16	0,70	1,54	1,51	0,78	15,4			16	17,10	-	16	-	16	-	9	IV
2	Пісок гравелистий слабо та кварцове карбонатний з галькоювалняку, сірий.	0,28	0,19	0,31	1,81	0,60	0,70	18,10	9	17	18	18,00	-	17	-	18	-	35	II
3	Глина карбонатна, тугопластична з прошарками різної ступені шалюки.	0,24	0,20	0,32	1,87	0,82	0,80	18,70	14	15	41	18,50	-	15	-	46	-	8	II
4	Валняк глинистий тріщинуватий, світло сірий.	0,22	0,15	0,20	1,89	0,74	0,81	18,90	17	23	25	18,80	-	23	-	-	-	35	II

Рівень ґрунтових вод - 9м

Визначено значення коефіцієнтів фільтрації для окремих шарів ґрунту:

- ІГЕ-2 – 0,005 – 0,01 м/добу;
- ІГЕ-3 – 3 – 5 м/добу;
- ІГЕ-4 – 0,005 – 0,01 м/добу/.

Таким чином, можемо зробити висновок, що ділянка відведена для будівництва силосів підприємства «Бучачагрохлібпром» в м. Бучач відноситься до першої категорії за складністю інженерно-геологічних умов відповідно до [9]. Глибина промерзання ґрунту складає не більше 0,9 м.

У відповідності до карт сейсмічного районування [10], майданчик будівництва силосів в м. Бучач характеризується сейсмічністю 6 балів.

На ділянці не виявлено жодних фізико-геологічних процесів чи явищ, які є несприятливими для будівництва. На основі цього можемо стверджувати, що в проекті допускається використання фундаментів мілкового закладання.

Під час будівництва необхідно забезпечити виконання заходів щодо інженерної підготовки майданчика. В першу чергу, потрібно організувати хороший відвід талих та дощових вод, забезпечивши поверхневий стік. Важливе значення має також недопущення зниження механічних властивостей основи в процесі

виконання будівельних робіт внаслідок механічного пошкодження транспортними засобами, розмиву поверхневими водами чи промерзання [9].

## 2.2. Визначення навантаження на фундамент силосу

Навантаження на фундаменти силосу будуть складатися з кількох основних компонентів, зокрема ваги металевих стінок, вертикального навантаження від зерна, яке передається на стінки через тертя, ваги конструкції самого фундаменту та зерна, яке міститься в силосі. Додатково враховуємо снігове навантаження на конструкції покриття.

Оскільки силос розрахований на зберігання сипучих матеріалів, таких як зернові культури, необхідно враховувати той факт, що частина їх ваги буде перерозподілятися через стінки у вертикальному напрямку за рахунок дії сили тертя. Беручи до уваги коефіцієнт тертя зернових по матеріалу стінок силосу та кут природнього відкосу (дивитися таблицю 1.1), визначаємо розподіл навантаження на одиницю довжини фундаменту, на яку спирається силосна банка.

Загальний вертикальний тиск, спричинений тертям зернових для повного периметра стінки силосу на максимальну висоту його заповнення складе

$$q_{f1} = \gamma \cdot h \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot k \cdot f = 0,85 \cdot 26,9 \cdot \frac{3,14 \cdot 31,87^2}{4} \cdot 0,41 \cdot 0,4 = 2990 \text{ тс},$$

де  $\gamma = 850 \text{ кг/м}^3$  – питома вага зерна;

$h = 26,9 \text{ м}$  – проектна висота заповнення силосу [5];

$D = 31,87 \text{ м}$  – діаметр силосу;

$f = 0,4$  – коефіцієнт тертя.

$k = \text{tg}^2(45^\circ - \varphi / 2) = \text{tg}^2(45^\circ - 25^\circ / 2) = 0,41$  – коефіцієнт дії зерна на стінку силосу.

Тоді в перерахунку на один погонний метр довжини фундаменту отримуємо

$$q_f = \frac{q_{f1}}{l} = \frac{2990}{3,14 \cdot 31,87} = 29,9 \frac{\text{тс}}{\text{м}}$$

Загальна вага конструкції силосу згідно паспортних даних складає 87,3 т. Тоді навантаження, розподілене на одиницю довжини фундаменту, становить

$$P_1 = \frac{P}{l} = \frac{87,3}{3,14 \cdot 31,87} = 2,74 \frac{\text{тс}}{\text{м}}$$

Навантаження від власне зерна, засипаного в силос над подушкою, легко обчислити за висотою засипки та геометричними параметрами конструкції. В нашому випадку в перерахунку на один погонний метр довжини фундаменту воно складає

$$q_3 = \frac{b_n - b_f}{2} h \gamma = \frac{2,8 - 0,6}{2} \cdot 26,9 \cdot 0,85 = 25,15 \frac{\text{тс}}{\text{м}}$$

Для визначення ваги фундаменту попередньо приймемо наступні геометричні параметри – глибина закладання – 3 м, ширина стінки 0,6 м, ширина подушки 2,8 м. Розрахувавши за цими попередніми даними об'єм конструкції фундаменту, визначаємо його сумарну вагу.

$$q_1 = b_n H_n \gamma_b = 2,8 \cdot 0,6 \cdot 2,6 = 4,37 \frac{\text{тс}}{\text{м}} \text{ – вага подушки фундаменту.}$$

$$q_2 = b_f \cdot H_f \cdot \gamma_b = 0,6 \cdot 2,7 \cdot 2,6 = 4,21 \frac{\text{тс}}{\text{м}} \text{ – вага стінки фундаменту.}$$

$$q = q_1 + q_2 = 4,37 + 4,21 = 8,58 \frac{\text{тс}}{\text{м}}$$

Оскільки проектом передбачається засипка внутрішньої частини фундаменту силосу ґрунтом з подальшим ущільненням, визначимо вагу ґрунту, прийнявши до уваги попереднього обрані геометричні параметри фундаменту

$$q_{zp} = h_o \cdot (H_n - H_f) \cdot \gamma_{zp} = 2 \cdot (2,8 - 0,6) \cdot 1,8 = 7,92 \frac{\text{тс}}{\text{м}}$$

Для розрахунку тимчасового снігового навантаження визначаємо загальну площу верхньої частини силосу, яка буде виконана у формі конуса з кутом нахилу 45°. Знаючи характеристичне значення снігового навантаження для майданчика будівництва [11], визначаємо навантаження, переведене до одного погонного метра довжини фундаменту:

$$A = \pi Rl = 3,14 \cdot 15,935 \cdot \frac{15,935}{\cos 45^\circ} = 1127,75 \text{ м}^2 \text{ – загальна площа;}$$

$$S = S_0 \cdot A = 0,139 \cdot 1127,75 = 156,76 \text{ тс – загальне навантаження.}$$

$$S_m = \frac{S_0}{l_f} = \frac{156,76}{3,14 \cdot 31,87} = 1,57 \frac{\text{тс}}{\text{м}}$$

Узагальнюємо дані по зібраному навантаженню на одиницю довжини фундаменту силосу в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Зібране навантаження на одиницю довжини фундаменту силосу для зберігання зернових

№ з/п	Найменування навантаження	Характеристичне значення навантаження, т/м.п.	Розрахункові навантаження, т/м.п.			
			експлуатаційне		граничне	
			$\gamma_{fe}$	значення	$\gamma_{fm}$	значення
Постійні навантаження:						
1	Вага стінки силосу	2,74	1,0	2,74	1,05	2,877
2	Вертикальне навантаження від зерна через тертя	29,9	1,0	29,9	1,2	35,88
3	Вага фундаменту	8,58	1,0	8,58	1,1	9,45
4	Вага засипки на подушці фундаменту	7,92	1,0	7,92	1,1	8,71
5	Вага зерна на подушці	25,15	1,0	25,15	1,1	27,67
Всього:				74,29		84,58
Тимчасове навантаження:						
6	Снігове навантаження на конструкцію силосу	1,57	1,0	1,57	1,14	1,79
Всього:				1,57		1,79
Загалом:				$\sum q_H = 75,86$		$\sum q_P = 86,37$

### 2.3. Перевірка несучої здатності ґрунту

Характеристики ґрунту для розрахунку та перевірки його несучої здатності приймаємо згідно даних геологічної будови ділянки (табл. 2.1):



$$C_{II} = 41 \text{ кПа};$$

$$\varphi_{II} = 15^\circ;$$

$$\gamma_{II} = 18,5 \text{ кН/м}^3;$$

$$E = 14 \text{ кПа};$$

$$I_L = 0,32.$$

Визначимо опір, котрий буде створювати ґрунт на один погонний метр підосви фундаменту силосу з прийнятою попередню шириною фундаментної подушки 2,8 м:

$$R = \frac{\gamma_{c1}\gamma_{c2}}{k} \cdot [M_\gamma k_z b \gamma_{II} + M_q d_I \gamma_{II} + M_c c_{II}] =$$

$$= \frac{1,2 \cdot 1,0}{1} [0,32 \cdot 1 \cdot 2,8 \cdot 1,85 + 2,3 \cdot 3,0 \cdot 1,7 + 4,84 \cdot 4,1] = 39,9 \frac{\text{тс}}{\text{м}^2} = 399 \text{ кПа}$$

Значення додаткових коефіцієнтів для ґрунту основи з  $\varphi_{II} = 15^\circ$  беремо з даних [6]:

$$M_\gamma = 0,32;$$

$$M_q = 2,3;$$

$$M_c = 4,84;$$

$$k_z = 1.$$

Дані прийняті для розрахунку:

$$\gamma_{II} = 1,85 \text{ т/м}^3 \text{ – питома вага ґрунту основи};$$

$$\gamma'_{II} = 1,7 \text{ т/м}^3 \text{ – питома вага ґрунту вище підосви фундаменту};$$

$$b = 2,8 \text{ м – ширина підосви};$$

$$d_I = 3,0 \text{ м – глибина закладання};$$

$$c_{II} = 4,1 \text{ т/м}^2 \text{ – питоме зчеплення ґрунту}.$$

Використовуючи значення зібраного навантаження на одиницю довжини фундаменту (див. табл. 2.2), знаходимо напруження під його підосвою:

$$\sigma = \frac{q_p}{A_\phi} = \frac{86,37}{2,8 \cdot 1} = 30,8 \frac{\text{тс}}{\text{м}^2} = 308 \text{ кПа}$$

$$308 \text{ кПа} < 399 \text{ кПа}$$

Оскільки  $\sigma < R_{zp}$ , то умова міцності ґрунту вважається забезпеченою.

Для випадку прийнятих у розрахунку геометричних параметрів фундаменту запас міцності ґрунту становитиме

$$\frac{R_{zp} - \sigma}{R_{zp}} \cdot 100\% = \frac{399 - 308}{399} \cdot 100\% = 22,8\%$$

Дане значення дозволяє судити про те, що попереднього вибрані геометричні параметри фундаменту силосу для зберігання зернових є достатніми та можуть бути застосовані в проєкті.

#### 2.4. Розрахунок фундаменту силосу за деформаціями

В припущенні лінійно пружної поведінки основ можемо використати метод пошарового додавання для визначення та перевірки осідання фундаменту силосу. Для цього розіб'ємо ґрунтовий масив по глибині на шари з кроком:

$$h = 0,1b = 0,1 \cdot 2,8 = 0,28 \text{ м.}$$

Визначимо глибини розміщення всіх розрахункових точок під підошвою фундаменту згідно формули:

$$z_i = z_{(i-1)} + h_i$$

Для кожної розрахункової точки знайдено значення величини  $\xi$

$$\xi = \frac{2z}{b},$$

де  $b$  – прийнята ширина підошви фундаменту,

$z$  – глибина розміщення розрахункової точки.

Фрагмент фундаменту силосу для зберігання зернових одиничної довжини, котрий представляє собою дугу кола, при розрахунку приймемо прямокутним. Тоді:

$$\eta = \frac{l}{h} = \frac{1000}{2,8} = 0,47$$

де  $l$ ,  $h$  – розміри фундаменту.

Скориставшись формулою, під подошвою фундаменту визначаємо додатковий тиск:

$$P_0 = P - \sigma_{zg0},$$

де  $\sigma_{zg0}$  – напруження від власної ваги ґрунту під подошвою;

$P = 308$  кПа – середній тиск під подошвою.

$$\sigma_{zg0} = \gamma_{II} \cdot d = 17,5 \cdot 2,7 + 18 \cdot (2,7 - 0,7) = 83,25 \text{ кПа};$$

Тоді  $P_0 = 308 - 83,25 = 224,75$  кПа.

Для кожного розрахункового шару знаходимо середнє значення додаткового напруження:

$$\overline{\sigma_{zp}} = \frac{\sigma_{zp(i-1)} + \sigma_{zp(i)}}{2}$$

Для кожного розрахункового шару величина осідання становитиме

$$S_i = \frac{\beta \overline{\sigma_{zp}} \cdot h_i}{E_i}$$

Значення осідання ґрунту для кожного з шарів, що прийняті до розгляду, подано на рисунку 2.4. Детальні результати розрахунку осідання основ наведено в таблиці 2.3.

Повне значення осідання для фундаменту силосу складає

$$\sum S_i = 6,14 \text{ см}$$

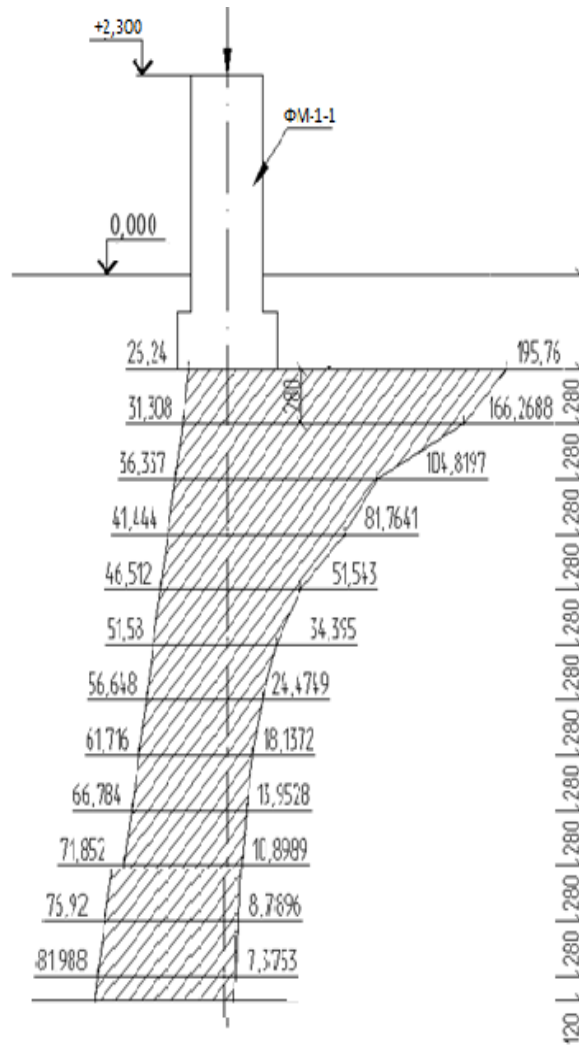


Рисунок 2.4 – Епюра осідання фундаменту силосу для зберігання зернових

Згідно вимог [3], гранично допустиме значення осідання фундаментів для силосів зберігання зернових складає  $S_u = 15$  см .

$$S = 6,14 \text{ см} < S_u = 15 \text{ см} .$$

Таблиця 2.3 – Розрахунок деформацій основ фундаменту силосу

Номер точки	Глибина розміщення точки, яка розглядається, від підшви фундаменту $z$ , м	$\xi = \frac{2z}{b}$	$\alpha$	Напруження від власної ваги ґрунту $q_{zg}$ , кПа	Додаткове напруження за глибиною $q_{zp}$ , кПа	Середнє значення додаткового напруження $\sigma_{zp}$ , кПа	Товщина елементарного шару $h_i$ , м	Значення модуля деформації ґрунту $E$ , МПа	Осідання $i$ -го шару $S_i$ , см
0	0	0	1	26,24	195,760	0	0	15	0
1	0,28	0,80	0,849	31,308	166,269	181,014	0,28		1,74
2	0,56	1,60	0,535	36,376	104,820	135,544	0,28		1,32
3	0,84	2,40	0,418	41,444	81,764	93,292	0,28		0,90
4	1,12	3,20	0,263	46,512	51,544	66,654	0,28		0,66
5	1,4	4,00	0,176	51,58	34,395	42,969	0,28		0,42
6	1,68	4,80	0,125	56,648	24,475	29,435	0,28		0,30
7	1,96	5,60	0,093	61,716	18,137	21,306	0,28		0,22
8	2,24	6,40	0,071	66,784	13,953	16,045	0,28		0,18
9	2,52	7,20	0,056	71,852	10,899	12,426	0,28		0,16
10	2,8	8,00	0,045	76,92	8,790	9,844	0,28		0,12
11	3,08	8,80	0,038	81,988	7,375	8,082	0,28		0,09
12	3,2	9,14	0,032	84,16	6,186	6,781	0,12		0,03

В нашому випадку розраховане значення осідання не перевищує гранично допустимого рівня. З цього можна зробити висновок, що прийнята ширина фундаменту забезпечує необхідний рівень жорсткості конструкції силосу.

## 2.5. Конструювання фундаменту силосу

Конструкція фундаментів силосів для зберігання зернових є досить складною. Вона представляє собою коробчасті залізобетонні плити на природній основі з ребрами жорсткості та порожнинами, заповненими ущільненим ґрунтом та

піском [12]. В середині плити влаштовані тунелі (підсиносні галереї) для прокладання розвантажувальних транспортерів та комунікацій (рис. 2.5).

Фундаментні плити силосів для зберігання зерна мають круглу форму. Відмітка верху знаходиться на рівні 0,8 м, що обумовлено технологічними вимогами [5]. Дані вимоги також включають обов'язкове влаштування коробів вентиляції в товщині плити по всій площі силосу для забезпечення температурно-вологісного режиму зберігання зернових культур протягом довгого часу.

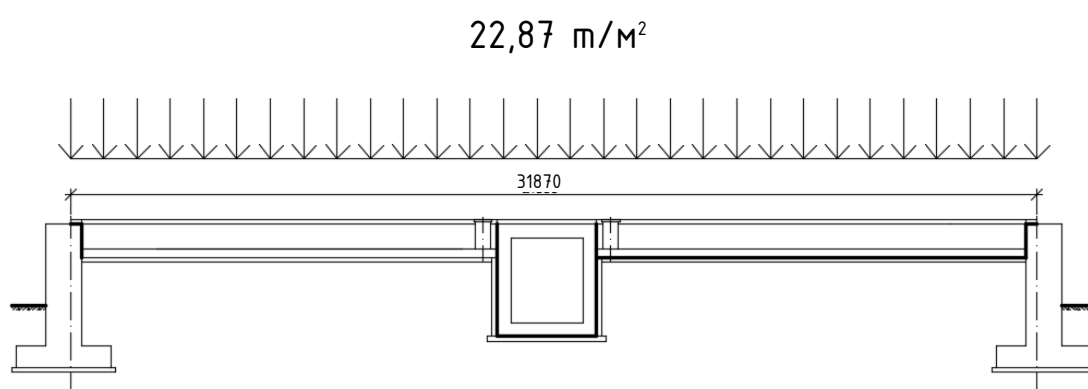


Рисунок 2.5 – Розрахункова схема фундаменту силосу для зберігання зернових

Фундамент силосу умовно складається з двох частин, які влаштовуються монолітними, жорстко з'єднані та працюють як одне ціле.

Кругла монолітна залізобетонна плита всередині силосу сприймає вертикальне навантаження від засипаних зернових та лежить на штучному шарі основи з ущільненого ґрунту. В ній по центру знаходиться проріз, через який відбувається відвантаження зерна на транспортери, що розміщені в галереї під силосом. В товщині даної плити влаштовуються вентиляційні канали.

Кільцевий фундамент під стіни силосу призначений для сприйняття вертикального навантаження від ваги самого силосу та вертикального навантаження, яке зумовлене тертям зерна по стінках силосу. Маса засипаного в силос зерна разом із ґрунтом зворотної засипки та власною вагою монолітної плити з галереєю під центральною частиною силосу чинять гідростатичний тиск на

зовнішній кільцевий фундамент, за рахунок чого в ньому виникають розтягуючі напруження.

### 2.5.1. Розрахунок робочої арматури залізобетонного кільцевого фундаменту силосу

Оскільки основне навантаження від гідростатичного тиску на зовнішній кільцевий фундамент силосу спричиняє розтягуючі зусилля, визначимо необхідну площу робочої арматури в горизонтальному та вертикальному напрямках для стінки кільцевого фундаменту, приведену до 1 м.п. довжини.

Ущільнений ґрунт для засипки котловану всередині фундаменту силосу характеризується наступними параметрами:

- набетонка (клас С 8/10) –  $\gamma = 21 \text{ кН/м}^3$ ;
- кут тертя ґрунту до стінки фундаменту  $\delta = 1^\circ$ ;
- кут внутрішнього тертя  $\varphi = 28^\circ$ .

Додатково враховуємо тиск від ваги зерна:

$$q = \gamma h = 0,85 \cdot 29,6 = 25,16 \text{ т/м}^2.$$

Для спрощення розрахунку можемо замінити навантаження від ваги зерна  $q = 25,16 \text{ т/м}^2 = 251,6 \text{ кПа}$  еквівалентним навантаженням від додаткового шару ґрунту приведеною висотою:

$$h_{np} = \frac{q}{\gamma_{зас}} = \frac{251,6}{18} = 13,98 \text{ м}$$

Значення коефіцієнту активного тиску:

$$\xi_a = \frac{1}{\left(1 + \sqrt{z_a}\right)^2} \cdot \frac{\cos^2(\varphi - \varepsilon)}{\cos^2 \varepsilon \cdot \cos(\varepsilon + \varphi)}$$

$$z_a = \frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - \alpha)}{\cos(\varepsilon + \delta) \cdot \cos(\varepsilon - \alpha)} = \frac{\sin(28^\circ + 1^\circ) \cdot \sin(28^\circ - 0^\circ)}{\cos(10^\circ + 1^\circ) \cdot \cos(10^\circ - 0^\circ)} = 0,169;$$

$$\xi_a = \frac{1}{(1 + \sqrt{0,169})^2} \cdot \frac{\cos^2(28^\circ - 10^\circ)}{\cos^2 10^\circ \cdot \cos(10^\circ + 1^\circ)} = 0,477.$$

Тоді інтенсивність активного тиску залежно від рівня складе:

- верхня відмітка фундаменту

$$e_{a1} = \gamma_{зас} h_{np} \xi_a = 18 \cdot 13,98 \cdot 0,477 = 120,03 \text{ кН/м}$$

- відмітка землі

$$e_{a2} = \gamma_{зас} (h_{np} + H) \xi_a = 18 \cdot (13,98 + 0,7) \cdot 0,477 = 126,04 \text{ кН/м}$$

- відмітка подошви фундаменту

$$e_{a3} = \gamma_{зас} (h_{np} + H) \xi_a = 18 \cdot (13,98 + 3,3) \cdot 0,477 = 148,37 \text{ кН/м}$$

Сумарна інтенсивність активного тиску буде складатися з двох взаємно перпендикулярних векторів у вертикальному та горизонтальному напрямках:

$$e_{ae1} = e_{a1} \cos(\varepsilon + \delta) = 120,03 \cdot \cos(0^\circ + 1^\circ) = 120,01 \text{ кН/м}$$

$$e_{ae2} = e_{a2} \cos(\varepsilon + \delta) = 126,04 \cdot \cos(0^\circ + 1^\circ) = 126,02 \text{ кН/м}$$

$$e_{ae1} = e_{a1} \sin(\varepsilon + \delta) = 120,03 \cdot \sin(0^\circ + 1^\circ) = 2,09 \text{ кН/м}$$

$$e_{ae2} = e_{a2} \sin(\varepsilon + \delta) = 126,04 \cdot \sin(0^\circ + 1^\circ) = 2,2 \text{ кН/м}$$

За знайденими значеннями інтенсивності визначимо величину активного тиску у вертикальному та горизонтальному напрямках:

$$E_{ac} = \frac{e_{ae1} + e_{ae2}}{2} \cdot H = \frac{120,01 + 126,02}{2} \cdot 3,3 = 405,95 \text{ кН}$$

$$E_{ae} = \frac{e_{ae1} + e_{ae2}}{2} \cdot H = \frac{2,09 + 2,2}{2} \cdot 3,3 = 7,08 \text{ кН}$$

Подібним чином визначимо вплив від ґрунту із зовнішньої сторони кільцевого фундаменту силосу.

В цьому випадку ґрунт зворотної засипки володіє такими параметрами:

- питома вага  $\gamma_{зас} = 17 \text{ кН/м}^3$ ;
- кут внутрішнього тертя  $\varphi = 29^\circ$ .

Значення коефіцієнту активного тиску:



$$\xi_a = \frac{1}{(1 + \sqrt{z_a})^2} \cdot \frac{\cos^2(\varphi - \varepsilon)}{\cos^2 \varepsilon \cdot \cos(\varepsilon + \varphi)}$$

$$z_a = \frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - \alpha)}{\cos(\varepsilon + \delta) \cdot \cos(\varepsilon - \alpha)} = \frac{\sin(29^\circ + 1^\circ) \cdot \sin(29^\circ - 0^\circ)}{\cos(0^\circ + 1^\circ) \cdot \cos(0^\circ - 0^\circ)} = 0,242;$$

$$\xi_a = \frac{1}{(1 + \sqrt{0,242})^2} \cdot \frac{\cos^2(29^\circ - 0^\circ)}{\cos^2 0^\circ \cdot \cos(0^\circ + 1^\circ)} = 0,394.$$

Інтенсивність активного тиску залежно від рівня:

- відмітка землі

$$e_{a4} = \gamma_{\text{зас}} h_{\text{нр}} \xi_a = 17 \cdot 0 \cdot 0,394 = 0 \text{ кН/м}$$

- відмітка низу підшви фундаменту

$$e_{a5} = \gamma_{\text{зас}} H \xi_a = 17 \cdot (3,3 - 0,7) \cdot 0,394 = 17,42 \text{ кН/м}$$

Побудуємо епюри напруження в стінці кільцевого фундаменту силосу від тиску засипаного зерна та ґрунту зворотної засипки (рис. 2.6) і знайдемо сумарне значення, беручи до уваги протилежні напрямки отриманих інтенсивностей активного тиску:

$$e_{a6} = e_{a3} - e_{a5} = 148,37 - 17,42 = 130,95 \text{ кН/м}.$$

Найбільше напруження у матеріалі фундаменту, що викликане дією розтягуючи зусиль, буде розміщене на 1/3 від відмітки низу підшви. Його значення складає

$$E_a = e_{a6} + \left( (e_{a6} - e_{a2}) \cdot \frac{h}{H_o} \right) = 130,95 + \left( (130,95 - 126,04) \cdot \frac{1,1}{2,6} \right) = 133,03 \text{ кН/м}$$

де  $h = 1/3 \cdot H = 1/3 \cdot 3,3 = 1,1 \text{ м}$ .

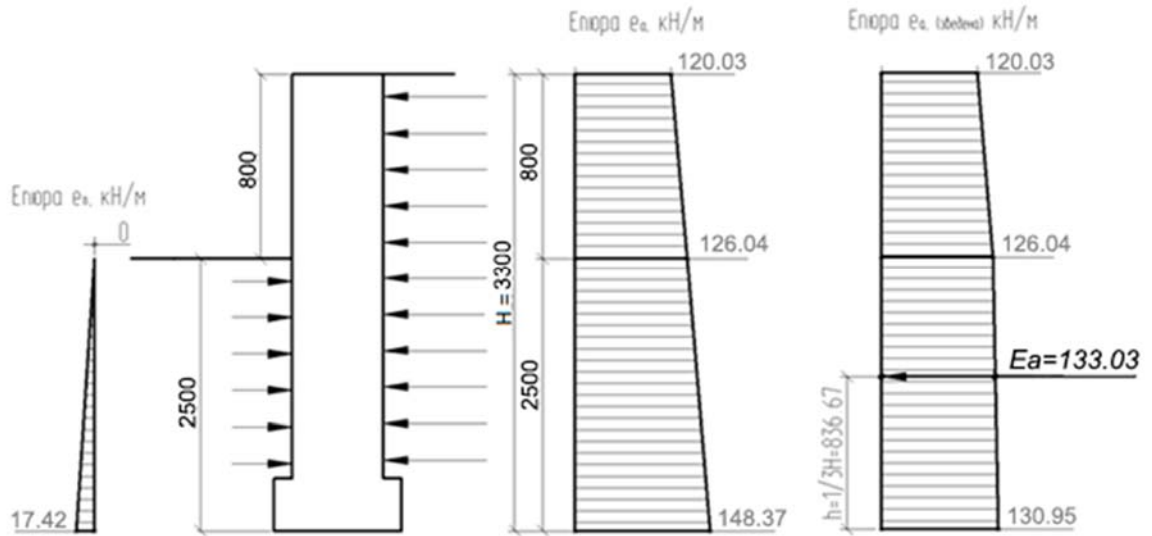


Рисунок 2.6 – Епюри інтенсивності активного тиску на стінку кільцевого фундаменту силосу

Оскільки стінка фундаменту представляє собою кільцеву залізобетонну конструкцію, найбільшу розтягуючу силу в ній обчислюємо як

$$N_{\max} = E_a R,$$

де  $R$  – радіус кільцевого фундаменту силосу.

$$N_{\max} = 133,03 \cdot 16,037 = 2133,4 \text{ кН}.$$

Розраховуємо необхідну площу перерізу поздовжньої арматури класу А400С.

Для робочої арматури приймаємо  $R_s = 375$  МПа (клас А400С).

Тоді потрібна площа поздовжнього армування в стінці кільцевого фундаменту силосу

$$A_s = \frac{N_{\max}}{\gamma_f R_s} = \frac{2133,4}{0,8 \cdot 375 \cdot 10^3} = 0,00711 \text{ м}^2 = 71,1 \text{ см}^2$$

Спираючись на дану величину, вибираємо арматурні стержні  $\varnothing 22$  мм з кроком 150 мм по висоті стінки фундаменту.

Згідно [13], максимальна довжина стержня в арматурного прокату для виготовлення залізобетонних конструкцій складає 12 м. Кільцевий фундамент силосу має загальну довжину:

$$l = 2\pi R = 2 \cdot 3,14 \cdot 16,037 = 100,71 \text{ м.}$$

Це значить, що необхідно запроектувати з'єднання десяти арматурних стержнів по довжині кола фундаменту. Таке з'єднання не можна виконувати з використанням зварювання, а тільки внапуск [13].

Визначимо мінімальну необхідну величину перекриття арматурних стержнів при з'єднанні, яка становить:

$$l_w \leq 60d = 60 \cdot 22 = 1320 \text{ мм.}$$

Для розрахунку вертикального робочого армування в кільцевій стінці фундаменту силосу використовуємо умову жорсткості арматури  $s > 14d$ , з якої

$$d = \frac{150}{14} = 10,72 \text{ мм.}$$

На основі знайденої величини підбираємо арматуру  $\varnothing 16$  мм, яку приймаємо для сприйняття вертикальних навантажень. Крок приймаємо  $14d$  поздовжньої арматури.

Крок вертикального армування складає:

$$14d = 14 \cdot 16 = 224 \text{ мм.}$$

Таким чином, приймаємо вертикальне армування стержнями  $\varnothing 16$  мм з кроком 200 мм з арматури класу А400С.

### **2.5.2. Розрахунок робочої арматури підшви фундаменту силосу**

Для фундаментної подушки кільцевого фундаменту силосу для зберігання зернових основна робоча арматура буде розміщена в поперечному напрямку фундаменту (рис. 2.7).

Сумарні вертикальні навантаження, зібрані на один погонний метр кільцевого фундаменту (див. розділ 2.2):

$$N = 30,85 \text{ т/м}^2 = 308,5 \text{ кПа} .$$

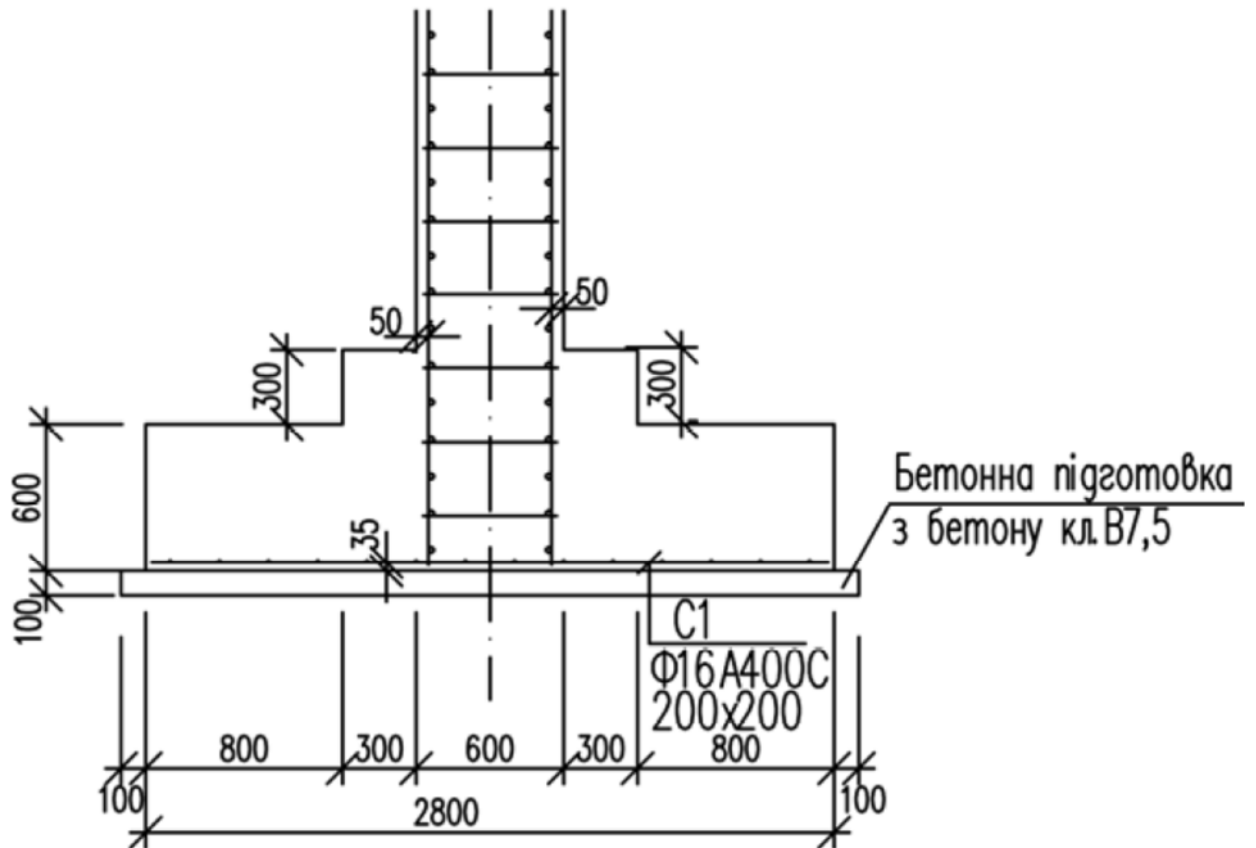


Рисунок 2.7 – Схема армування фундаментної подушки

Прийнявши клас арматури А400С з  $R_s = 375$  МПа, визначаємо мінімальну потрібну площу її перерізу в поперечному напрямку

$$A_s = \frac{N_{\max}}{\gamma_f R_s} = \frac{308,5}{0,8 \cdot 375 \cdot 10^3} = 0,001028 \text{ м}^2 = 10,28 \text{ см}^2$$

За знайденим значенням вибираємо армування за допомогою арматурних стержнів  $\varnothing 16$  мм з кроком 200 мм.

Армування в поздовжньому напрямку (вздовж кільця) приймаємо конструктивно у вигляді стержнів  $\varnothing 16$  мм, які розміщуються симетрично стосовно вертикальної осі фундаменту.

## Розділ 3      НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ

### 3.1. Постановка завдань дослідження

Агропромисловий ринок України розвивається швидкими темпами, демонструючи ріст близько 10% щороку [1]. Причинами цього є зростання цін на продукцію агропромислового комплексу на міжнародному та внутрішньому ринку, підвищення попиту, а також відкриття ринку землі в Україні. Збільшення обсягів виробництва продукції, в першу чергу зернових, зумовлює масове будівництво нових зерносховищ з силосами великого об'єму для зберігання урожаю.

Починаючи з 2000-х років на ринку агропромислового будівництва конструкції для зберігання зерна в Україні переважають металеві силоси. Вони представляють собою конструкції заводського виготовлення, обладнані потрібними пристроями. При їх спорудженні надзвичайно важливу роль відіграє правильне влаштування залізобетонного фундаменту та коректне врахування особливостей сумісної його роботи ґрунтової основи, фундаменту та металевої конструкції силосу.

Коректний розрахунок та проектування фундаментів силосів з великими розмірами плані, що сприймають значні навантаження, є складним практичним та науковим завданням. На напружено-деформівний стан фундаменту та ґрунтової основи чинить вплив багато факторів, зокрема [14]:

- величина прикладеного навантаження;
- циклічність навантаження, пов'язана з періодичним завантаженням та розвантаженням силосу;
- конструктивні особливості силосу (типи вивантаження, наявність підсилосної галереї);
- розміри та жорсткість фундаменту;
- характеристики шарів ґрунтової основи та можливі негативні геотехнічні процеси, такі як підтоплення, просідання, розвиток карстових порожнин.

Розрахунок фундаменту круглого силосу для зберігання зернових виконують як для круглої монолітної залізобетонної плити складного перерізу на пружній основі. Для фундаментів значних розмірів товщина шару ґрунту, що бере участь в осіданні фундаменту, може складати до 20 м. Зрозуміло, що в складі такої товщі у кожному випадку залягають різні за своїми характеристиками ґрунти, що не дозволяє приймати усереднене значення модуля деформації та коефіцієнтів постелі пружної основи.

Таким чином, можемо стверджувати, що підхід до проектування фундаментів силосів для зберігання зерна, який сформувався на сьогодні, не дозволяє в повній мірі оцінити напружено-деформівний стан системи «силос – фундамент – основа» та гарантувати достовірний розрахунок поведінки конструкції. Тому актуальним є завдання розвитку методики оцінки напружено-деформівного стану при розрахунку основ та фундаментів зернохосовищ силосного типу, яка враховує взаємний вплив та спільну роботу всіх елементів.

### **3.2. Методика досліджень НДС основ силосу для зберігання зернових**

Для врахування взаємного впливу фундаментів силосів, що споруджуються в однорядному розміщенні і об'єднані підсилосною транспортною галереєю, та оцінки його впливу на напружено-деформівний стан основ було використано метод скінченних елементів. Для розрахунків використовували ПК МІРАЖ 2016.

В роботі було створено та розраховано дві моделі «силос – фундамент – основа» – для випадку окремого силосу на 20000 т зерна діаметром 31,87 м (рис. 3.1, а) та для 9 таких силосів з однорядним розміщенням (рис. 3.1, б), яке пропонується рішенням генерального плану в даному проєкті.

Для розбивки ґрунтового масиву на тривимірні скінченні елементи використовували автоматичну тріангуляцію з кроком сітки 1 м. Моделювання виконували у пружно-пластичній постановці. Фізичні, деформаційні, міцнісні та реологічні властивості ґрунтів та структуру інженерно-геологічних елементів на ділянці будівництва ТзОВ «Бучачагрохлібпром» прийнято за даними розділу 2.

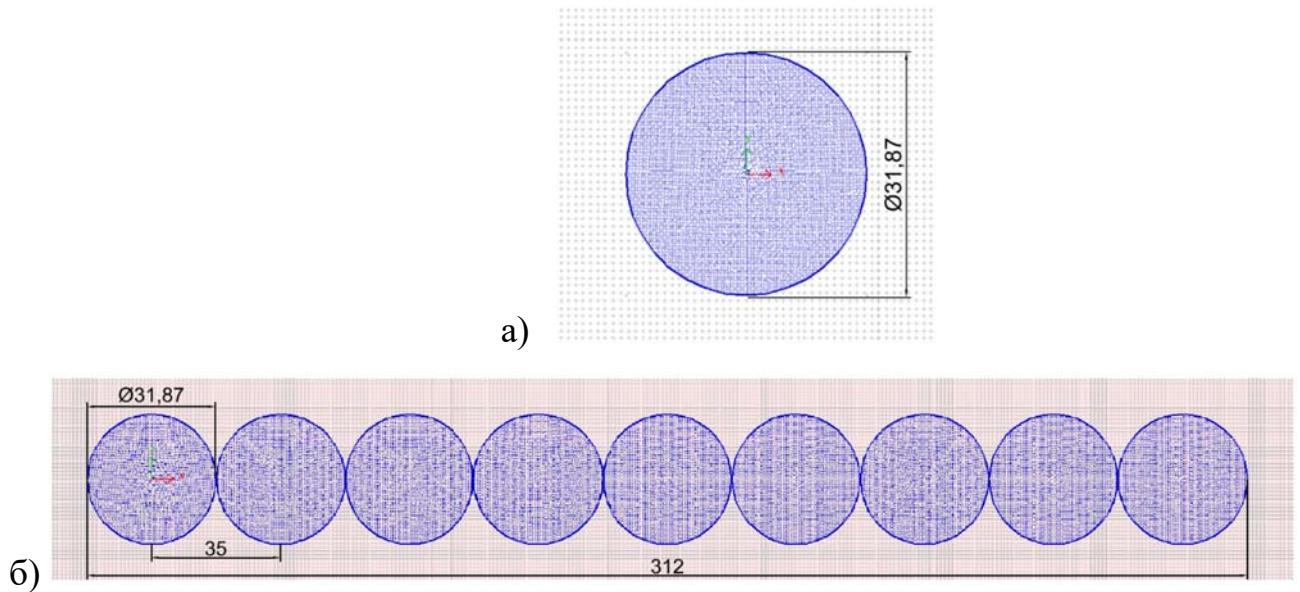


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема фундаментів на ґрунтовій основі для окремого силосу (а) та комплексу з 9 силосів з однорядним розміщенням (б)

Додатково в ПК МІРАЖ виконували розрахунок значень коефіцієнтів постелі основи за методом 3 з урахуванням структури шарів ґрунту.

На поверхню фундаментної плити прикладалися рівномірно розподілені навантаження зібрані в розділі 2. Розрахунок виконували з використанням розрахункових сполучень зусиль.

Для оцінки напружено-деформівного стану основ, їх гранично допустимих деформацій та порівняння двох моделей між собою, внаслідок розрахунку визначали наступні параметри:

- максимальна абсолютна величина осідання основ  $S$ ;
- середня величина осідання основ  $\bar{S}$ ;
- відносна нерівномірність осідання двох фундаментів  $\Delta S = S_2 - S_1$ ;
- перекося фундаменту, який визначали як різницю осідання крайніх точок фундаменту, приведену до його довжини  $i = \frac{S_2 - S_1}{L}$ .



### 3.3. Результати досліджень сумісної роботи фундаментів комплексу силосів

Після проведення розрахунку моделі окремого силосу для зберігання зернових діаметром 31,87 м отримали наступний розподіл осідань (рис. 3.2, а) та визначенні значення коефіцієнтів постелі основи (рис. 3.2, б).

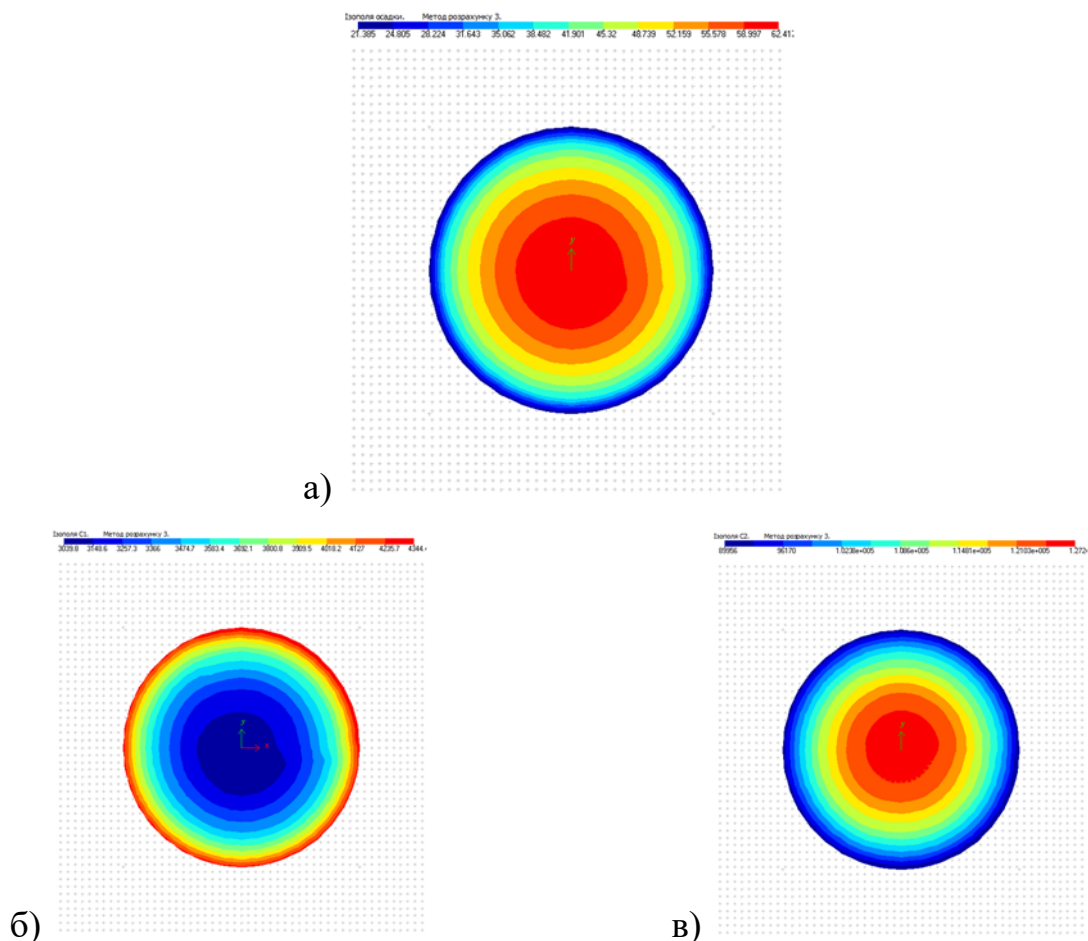


Рисунок 3.2 – Результати розрахунку НДС основ окремого силосу для зберігання зернових: а) осідання; б) – коефіцієнт C1; в) – коефіцієнт C2.

Як бачимо, для окремого силосу визначене осідання основи має досить рівномірний характер з максимумом всередині фундаментної плити, що спричинено розташування підсилосної галереї. Найбільше значення складає 6,24 см, перекося фундаменту не спостерігається.

Аналогічні результати, отримані для випадку розміщення дев'яти силосів в однорідному виконанні, приведено на рис. 3.3. Розраховані значення відносної

нерівномірності осідання сусідніх фундаментів та їх перекосу приведено в табл. 3.1.

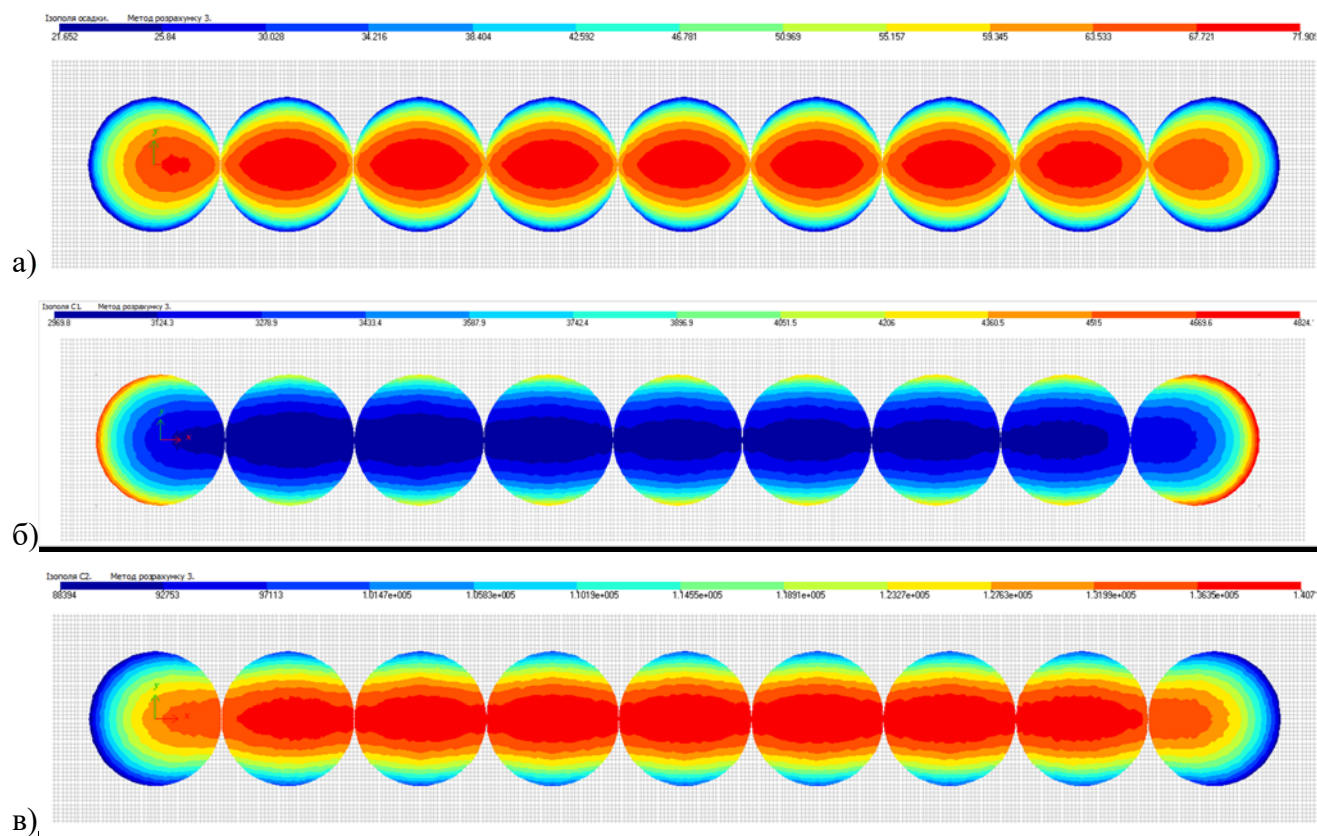


Рисунок 3.3 – Результати розрахунку НДС основ у випадку сумісної дії при однорядному розміщенні силосів: а) осідання; б) – коефіцієнт C1; в) – коефіцієнт C2.

Таблиця 3.1 – Результати визначення нерівномірності осідання основ.

Точка i	Sr,i, мм	Точка j	Sr,j, мм	Sr,j - Sr,i, мм	Lij, мм	Перекос
1	22.5851	2	61.6481	39.063	32700	0.119825 %
2	61.6481	3	49.0671	-12.551	32700	-0.038382 %
3	49.0671	4	43.1721	-5.895	32700	-0.018027 %
4	43.1721	5	38.4665	-4.7056	32700	-0.014390 %
5	38.4665	6	35.1213	-3.3452	32700	-0.010229 %
6	35.1213	7	32.9943	-2.127	32700	-0.006505 %
7	32.9943	8	31.1523	-1.842	32700	-0.005633 %
8	31.1523	9	28.5913	-2.561	32700	-0.007832 %
9	28.5913	10	13.1684	-15.4229	32700	-0.047165 %

Одержані результати показують суттєво більшу величину максимального осідання ґрунтової основи у випадку сумісної дії фундаментів для дев'яти силосів при їх однорідному розміщені.

Беручи до уваги реальні геологічні умови будівельного майданчика ТзОВ «Бучачагрохлібпром», можемо бачити, що найбільше осідання фундаменту очікується в центрі силосу номер 2 та складає 7,19 см. Для силосів номер 3-8 значення середньої величини осідання поступово зменшується до 6,92 см. Найменші значення спостерігаються для крайніх силосів номер 1 та 9 – 6,71 см і 6,65 см відповідно. Проте для них характерна найбільша нерівномірність осідань та перекос фундаменту, який сягає значення 0,11%.

Варто зазначити, що для всіх силосів при однорядному розміщенні осідання не перевищують гранично допустимого значення  $S_u = 15$  см.

Порівняно з випадком окремого силосу отримане значення максимального осідання фундаменту комплексу силосів більше на 13,2%. Подібним чином відрізняються значення розрахованих коефіцієнтів постелі  $C_1$ ,  $C_2$ , які є більшими на 9,9 та 9,5 відсотків відповідно.

З аналізу результатів можна зробити висновок, що неврахування спільної роботи фундаментів комплексу силосів при їх однорядному розміщенні призводить до суттєвого заниження результатів розрахунку осідань фундаменту та не дозволяє оцінити їх можливий перекос. Це призводить до недостовірні розрахунку напружено-деформівного стану фундаментів, що може призвести до підбору недостатнього армування їх залізобетонних конструкцій. В кінцевому результаті це створює ризик перевищення допустимих деформацій та руйнування елементів силосу під час експлуатації.

## Розділ 4            ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1. Техніка безпеки при експлуатації технологічного обладнання зерносховища

При експлуатації обладнання, слід дотримуватися вимог ГОСТ 12.2.003.91 ССБТ. «Обладнання виробниче. Загальні вимоги безпеки».

Все обладнання, що застосовується в проєкті, відповідає стандартам і технічним умовам з охорони праці, що діють на території України, і забезпечує його безпечну експлуатацію.

Шибера засувки повинні мати обмежувачі і рухатися в пазах без перекосів і заїдань.

Необхідно контролювати щільність приєднання засувок до самопливних труб. Труби та фасонні деталі самопливного трубопроводу повинні бути надійно закріплені і щільно з'єднані між собою. Забороняється ліквідувати затори в самопливних трубопроводах ударом твердих предметів. Люки щільно закривають кришками. Сполучні фланці і стики деталей не повинні мати задирок і гострих кромки.

Люки розташовують у місцях, зручних для обслуговування, горизонтальні аспіраційні повітропроводи по можливості не вище 3 м від рівня чистої підлоги.

Доступ до люків установок батарейних циклонів повинен бути вільним і безпечним.

На всіх завантажувальних люках бункерів крім кришок встановлюються міцні металеві решітки з осередками розміром не більше 250x75 мм. Всі ґрати люків кріпляться на петлях і мають пристосування для замикання.

Не можна допускати скупчування пилу в циклонах, їх необхідно періодично очищати.

Очищення циклонів ударами твердими предметами по корпусу забороняється.

Робочі колеса, з'єднувальні муфти і шківни вентиляторів ретельно баланують. Станини вентиляторів установлюють на гумових прокладках або амортизаторах. Для зниження шуму, виробленого вентиляторам, використовують глушники. При роботі вентиляторів з відкритими всмоктувальними отворами їх закривають сітками. На повітропроводах, що приєднуються до вентиляторів, необхідно застосовувати гнучкі вставки.

Очищати конвеєри від зерна можна тільки після їх повної зупинки. Конвеєри в головній і хвостовій частині обладнуються аварійними кнопками для зупинки конвеєра.

При аварії або зупинці одного з механізмів передбачається зупинка всіх, попередніх йому по технологічному ланцюжку механізмів, самозапуск механізмів виключається. Запуск механізмів повинен проводитися в напрямку, зворотному технологічному потоку.

Передбачено світлову та звукову сигналізацію перед пуском механізмів або в аварійній ситуації.

Підключення енергоджерел проводити після повного закінчення складально-монтажних робіт.

Проектом передбачені аспіраційні установки для знепилювання транспортного і технологічного устаткування. Рівні звукового тиску від працюючого обладнання не перевищують допустимі ГОСТ 12.1.003-83. Необхідно стежити за справністю і герметичністю гнучких вставок у входних патрубках вентиляторів. При появі стуку в вентиляторі його необхідно негайно зупинити.

При установці аспіраційного обладнання та прокладання повітропроводів, дотримуватися відстані, що забезпечують нормальну експлуатацію і безпеку при обслуговуванні. Повітроводи, кронштейни та інші елементи аспіраційних мереж розміщуються на висоті не менше 2,2 м від рівня підлоги [16]. Робота аспіраційного обладнання допускається тільки при наявності надійних огорожень муфт валів та інших обертових частин. Ремонт аспіраційних установок проводити тільки при їх зупинці. Місця встановлення вентиляційного обладнання повинні бути постійно

освітлені. Для захисту від статичної електрики, повітроводи заземлені не менше ніж у 2-х місцях. Також у проекті передбачена ефективна вентиляція всіх тунелів і підвальних приміщень.

Все обладнання встановлено з умови його технічного обслуговування відповідно до вимог паспорта і технічних умов. Приводи норій та конвеєрів обслуговуються зі стаціонарних майданчиків. Рухомі частини обладнання забезпечені захисними огороженнями.

Всі транспортне, аспіраційне обладнання та повітроводи повинно бути заземлено.

Передбачено блокування транспортного обладнання та аспіраційних установок.

Швидкість руху автомобілів на території допускається до 30 км/год, у місця виробництва робіт – 5 км/год, при в'їзді на платформу автомобілерозвантажувачі – 3 км/год. Автомобіль, встановлений на платформі для розвантаження, необхідно надійно загальмувати і застрахувати ланцюгами страхувального пристрою. Підпружинені упори платформи повинні надійно запобігати мимовільному скату автомобілів.

Бункера освітлюються зверху через люки переносними світильниками прожекторного типу або переносними акумуляторними ліхтарями.

Вибухозахист переносних світильників не нижче рівня - «електрообладнання підвищеної надійності проти вибуху». До повного забезпечення підприємств світильниками даного типу застосовані переносні світильники пилонепроникного виконання зі ступенем захисту оболонки попадання пилу не нижче IP54 за ГОСТ 14254-96.

Електродвигуни мають захист від перевантажень і коротких замикань.

Для зниження пиловиділення до обладнання пред'являють вимоги щодо його герметичності. Норії і стрічкові конвеєри на натяжних барабанах або кінцевих валах мають реле контролю швидкості, датчики підпору і збігання стрічки.

Технологічне й транспортне устаткування заблоковане з аспіраційними установками.

Аспіраційні установки включають в роботу з випередженням 15...20 с до пуску в роботу технологічного і транспортного устаткування, а вимикають – через 25...30 с після зупинки технологічного і транспортного устаткування.

Контроль запиленості повітря на виробничих ділянках проводиться періодично 1 раз на місяць за допомогою спеціальної установки (аспіратор, фільтри АФ). Контроль запиленості повітря в аспіраційних установках за допомогою мікроманометра, аспілятора і фільтрів.

Періодично перевіряється температура нагріву підшипників (не вище 60°C) електродвигунів.

У аспіраційних установках використовуються вибухозахищені вентилятори.

Для відводу статичної електрики обладнання та продуктопроводи підключені до контуру заземлення.

Всі транспортні галереї і тунелі довжиною понад 20 м забезпечені з двох сторін входами і виходами зі стаціонарними сходами. Між обладнанням та будівельними конструкціями забезпечена нормована ширина проходів, а в тих місцях, де є місцеве звуження проходу, витримано відстань 0,5 м по довжині проходу не більше 1 м. Запроектовані прямки забезпечуються огорожувальними конструкціями з профлиста та обладнуються стаціонарними сходами. У всіх прямках забезпечена нормована ширина проходів для обслуговування обладнання.

У процесі експлуатації не можна допускати перевантаження норій, своєчасно забезпечувати натяг норійної стрічки, не допускаючи її пробуксовку. Не допускати завали норій, які можуть бути наслідком відсутньої кількості ковшів, пробуксовування стрічки, зворотної висипу, перевантаження норії, переповнення бункера, в який норія подає продукт, зупинки обладнання, наступного по потоку за норією. Пуск норії слід проводити тільки після повного розвантаження черевика і ковшів від продукту.

Пожежна безпека виробничих об'єктів забезпечується наступними проектними заходами [17]:

- Установка сповіщувачів пожежної безпеки автоматичного і ручного дії, сигнал про пожежу яких передається на приймальний прилад пожежної сигналізації комплексу;
- Автоматичне відключення технологічного обладнання та аспіраційних установок при спрацьовуванні системи автоматичної пожежної сигналізації;
- Забезпечення необхідних витрат води для цілей пожежогасіння, а також розміщенням пожежних гідрантів;
- Забезпечення об'єктів первинними засобами пожежогасіння відповідно до НАПБ А.1.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні»;
- Застосування основних будівельних конструкцій з нормованими межами поширення вогню, відповідним спорудам II і III ступеня вогнестійкості;
- Розробка оперативного плану пожежогасіння на об'єкті;
- Практичне відпрацювання дій на випадок пожежі шляхом проведення занять і тренувань персоналу.

#### **4.2. Характеристика зернового пилу та основні зони його утворення на підприємствах по зберіганню та переробці зерна. Заходи боротьби з зерновим пилом**

Аспіраційні установки зернопереробних підприємств виконують важливу роль знепилювання технологічного і транспортного устаткування, відсмоктування повітря з машин при повітряній сепарації продуктів, відведенні тепла і вологи з обладнання. Аспірація обладнання сприяє створенню комфортних умов роботи обслуговуючого персоналу.

При вертикальному або горизонтальному транспортуванні та перевантаженні зерна велика кількість пилу виділяється транспортним обладнанням та устаткуванням. Пил є джерелом пожеж та вибухів.



У зернопереробної промисловості до виробничого пилу відносять дрібні і легкі органічні і неорганічні тверді частинки, які виділилися у виробниче приміщення із зернової маси при переміщенні, обробці та переробці зерна.

Розміри частинок пилу коливаються в широких межах – від мікрметра до 250 мкм. В залежності від розмірів часток пил умовно поділяють на великий (50...250 мкм), середній (10...50 мкм) і дрібний (менше 10 мкм). На елеваторах і складах для зерна переважає великий пил.

Вибухонебезпечність пилу зростає зі зменшенням розміру частинок. Пил з розмірами частинок 40 мкм і менше найбільш небезпечний і його бажано не повертати в зерновий потік, а вивантажувати з пиловідокремлювачів і зберігати в бункері, що розташований на відстані від зерносклади.

На підприємствах по зберіганню та переробці зерна є ряд зон утворення пилу.

Зазвичай пил утворюється скрізь, де зерно переміщається, змішується, змінюється напрямком його потоку або де є точки удару.

Відповідно до стандарту встановлено наступні норми гранично допустимих концентрацій: в повітрі робочих зон елеваторів, зерноочисних відділень зернопереробних підприємств, насіннеочищаючих і комбікормових заводів – 4 мг/м<sup>3</sup>, в розмельних і вибійних відділеннях борошномельних заводів, луцильних і вибійних відділеннях круп'яних заводів – 6 мг/м<sup>3</sup>.

Згідно з наказом Міністерства охорони навколишнього природного середовища України № 309 від 27 червня 2006 року «Про затвердження нормативів гранично допустимих викидів забруднюючих речовин зі стаціонарних джерел» гранично допустима концентрація викидів не повинна перевищувати 50 мг/м<sup>3</sup>.

Аспіраційні установки необхідно проектувати в суворій відповідності з вказаними нормами. При проектуванні важливе значення мають розміри санітарно-захисної зони (СЗЗ) підприємства. За санітарною класифікацією підприємства по зберіганню та переробці зерна відносяться до IV класу з розмірами СЗЗ 100 м від джерела забруднення атмосфери. Для зменшення шкоди населенню від шкідливих

викидів рекомендовано організувати СЗЗ підприємства з урахуванням рози вітрів для даної місцевості.

Нормування шкідливих викидів на підприємствах із зберігання та переробки зерна має деякі особливості. Кожна аспіраційна установка є окремим джерелом викиду. Число джерел викидів на підприємстві залежить від обсягу перероблюваної продукції. Розташування джерел викидів неоднакове по висоті і знаходиться в межах 4...55 м. Чим вище джерела викидів, тим краще картина розсіювання шкідливих речовин в атмосфері, але більше зона впливу підприємства на навколишнє середовище.

Боротьба з пилом – найважливіша міра запобігання вибухів на зернопереробних підприємствах. Її можна описати як організацію руху повітря навколо джерела утворення пилу з метою зменшення виділення часток пилу в навколишнє середовище. Ефективна система роботи з пилом може зменшити вибухонебезпечність зернового пилу і створити чисте, вільне від пилу робоче середовище.

Режимні та конструктивні характеристики аспіраційних установок.

Аспіраційні системи на ТзОВ «Бучачагрохлібпром» покликані вирішувати три основні завдання: виключити вихід пилу з устаткування в навколишнє середовище, знизити вибухонебезпечність виробництва і запобігти забрудненню навколишнього середовища.

В основі проектування аспіраційних мереж прийнято відбирати від кожної машини або бункера певну кількість повітря. Однак обсяги повітря на аспірацію визначається для кожної конкретної точки.

Даним проектом передбачено 7 аспіраційних систем (АС):

АС5 – аспірація башмака норії N4201 та скидальної коробки конвеєра ТВ4201 і ТВ4202, батарейний циклон СВ4201.

АС6 – аспірація башмаків норії N1201, N1202, N5101, N5102, N6101 та N6102, батарейний циклон СВ6101.

АС7 – аспірація приймального бункера (автоприём) BR1102 та башмака норії N1103 батарейний циклон CB1102.

АС8 – аспірація розподільчого механізму зерноочисного сепаратора поз. SG5002, циклон розвантажувач CS5004, батарейний циклон CB5004.

АС9 – аспірація пневмоканалу зерноочисного сепаратора поз. SG5002, циклон розвантажувач SG5003, батарейний циклон CB5003.

АС10 – аспірація розподільчого механізму зерноочисного сепаратора поз. SG5003 циклон розвантажувач CS5006, батарейний циклон CB5006.

АС11 – аспірація пневмоканалу зерноочисного сепаратора поз. SG5002, циклон розвантажувач SG5005, батарейний циклон CB5005.

Запилене повітря з точки відбору за допомогою повітропроводів надходить до пилевідокремлювача (батарейного циклону) та через шлюзовий затвор направляється до бункера для пилу через винтовий конвеєр.

Для аеродинамічних замірів в повітроводах аспіраційних мереж передбачаються лючки після кожного пилоприймача, до і після вентилятора та до і після циклону. Лючки розташовуються на прямих ділянках на відстані не менше 5-ти діаметрів від фасонних частин повітроводів. Для очищення в нижній частині горизонтальних ділянок передбачається установка лючків для чищення на відстані 4-5 метрів один від одного.

Проект системи знепилення транспортного і технологічного обладнання передбачає:

- установку батарейних циклонів;
- установку циклонів розвантажувачів;
- установку аспіраційних повітропроводів;
- установку вентиляторів;
- установку шлюзових затворів.

Для знепилення прийняті централізовані аспіраційні мережі, в яких в якості пиловловлювачів використовують батарейні циклони.

Вид пиловловлювача прийнятий з урахуванням типу обраної мережі, характеристики пилу та оптимальної ефективності очищення запиленого повітря. Розрахунок аспіраційних мереж та підбір обладнання проведений відповідно до теоретично обґрунтованих значень швидкостей повітря в повітроводах, що надійно транспортуються.

Кожна аспіраційна мережа складається з пилоприймача, сполученого повітроводами з пиловловлювачем і вентилятором. Відходи після циклону через шлюзовий затвор направляються до бункеру для відходів.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі магістра розроблено проєкт силосу для зберігання зернових з дослідженням напружено-деформівного стану основ в м. Бучач Тернопільської області. Проєктом передбачено спорудження комплексу для довготривалого зберігання зернових на 180000 т, що складається з 9 великих силосів заводського виготовлення виробництва американської фірми GSI. Силоси розміщуються в один ряд на незалежних фундаментах та об'єднуються спільними надсилосними та підсилосними транспортерами..

В науково-дослідній частині запропонована методика та проведено моделювання НДС основ під фундаменти комплексу дев'яти силосів для зберігання зерна на 20000 т кожен, виконано кількісну оцінку впливу їх сумісної дії. Наукова новизна отриманих результатів – одержала подальший розвиток методика розрахунку напружено-деформівного стану основ під фундаменти комплексу силосів з урахуванням їх сумісної дії.

Практична значимість результатів дослідження – в роботі виконано дослідження НДС основ під фундаменти комплексу з дев'яти силосів для зберігання зерна на 20000 т кожен. Методика може бути використана для сумісного розрахунку напружено-деформованого стану основ та фундаментів конструкцій на ґрунтовій основі.

## БІБЛІОГРАФІЯ

1. За останні 30 років валовий збір зерна в Україні виріс майже вдвічі: детальна статистика [електронний ресурс] // Головний сайт для агрономів. – Режим доступу: <https://superagronom.com/news/13648-za-ostanni-30-rokiv-valoviy-zbir-zerna-v-ukrayini-viris-mayje-vdvichi-detalna-statistika>
2. Будівельна кліматологія : ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 [Текст]. — [Чинний від 2011-11-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 127 с. — (Національний стандарт України).
3. Настанова щодо проведення земляних робіт, улаштування основ та спорудження фундаментів : ДСТУ-Н Б В.2.1-28:2013 [Текст]. — [Чинний від 2014-01-01]. – К.: Мінрегіонбуд, 2013. – 88 с. — (Національний стандарт України).
4. Гетун Г.В. Архітектура будівель та споруд. Книга 1: Основи проектування : підручник [Текст] / Г. В. Гетун. – К. : Кондор, 2012. – 380 с.
5. 40 Series Bins [електронний ресурс] // Grain Systems Ltd. – Режим доступу: [https://www.grainsystems.com/content/dam/public/grain-and-protein/grain-systems/brochures/Storage/40-series-grain-bins/g401\\_40SeriesBins-Producer.pdf](https://www.grainsystems.com/content/dam/public/grain-and-protein/grain-systems/brochures/Storage/40-series-grain-bins/g401_40SeriesBins-Producer.pdf)
6. Корнієнко, М.В. Основи і фундаменти [Текст]: Начальний посібник / М.В. Корнієнко. – К.: КНУБА, 2009. – 150 с.
7. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування : ДБН В.2.5-74:2013 [Текст]. — [Чинний від 2019-12-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2013. – 172 с. — (Національний стандарт України).
8. Будівлі та споруди. Визначення класу наслідків (відповідальності) : ДСТУ 8855:2019 [Текст]. — [Чинний від 2014-01-01]. – К.: ДП «УкрНДЦ», 2019. – 17 с. — (Національний стандарт України).
9. Інженерні вишукування для будівництва : ДБН А.2.1-1-2008 [Текст]. — [Чинний від 2008-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2014. – 72 с. — (Національний стандарт України).

10. Будівництво в сейсмічних районах України : ДБН В.1.1-12:2014 [Текст]. — [Чинний від 2014-10-01]. — К.: Мінрегіонбуд України, 2014. — 110 с. — (Національний стандарт України).
11. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування : ДБН В.1.2-2:2006 [Текст]. — [Чинний від 2007-11-01]. — К.: Мінбуд України, 2006. — 75 с. — (Національний стандарт України).
12. Барашиков, А.Я. Будівельні конструкції [Текст]: підручник / А.Я. Барашиков, В. М. Колякова. — К.: Слово, 2011. — 256 с.
13. Барашиков, А.Я. Залізобетонні конструкції [Текст] / А.Я. Барашиков, Л.М. Буднікова, Л.В. Кузнєцов та ін.; за ред. А.Я. Барашикова. — К.: Вища школа, 1995. — 591 с.
14. Дослідження технічного стану будівель та споруд при небезпечних геологічних процесах [Текст] / Червинський Я.Й., Петраков О.О., Зоценко М.Л., Винников Ю.Л. та ін. // Наука та будівництво. — № 2. — 2014. — С. 17-24.
15. Опалення, вентиляція та кондиціонування : ДБН В.2.5-67:2013 [Текст]. — [Чинний від 2014-01-01]. — К.: Мінрегіонбуд, 2013. — 141 с. — (Національний стандарт України).
16. Голінько, В.І. Основи охорони праці : підручник [Текст] / В.І. Голінько. — 2-ге вид. — Д.: НГУ, 2014. — 271 с.
17. Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення : ДБН А.3.2-2-2009 [Текст]. — [Чинний від 2012-04-01]. — К.: Мінрегіонбуд України, 2012. — 116 с. — (Національний стандарт України).