

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ СТРІЧКОВИХ ФУНДАМЕНТІВ БУДІВЕЛІ З ГЛИБОКИМИ ПІДВАЛАМИ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Виконано аналіз впливу глибини підвалу на зміну напружено-деформованого стану конструкції стіни підвалу та стрічкового фундаменту в умовах різної піддатливості основи. Показано, що при збільшенні горизонтального тиску збільшується зсувне зусилля по підшві фундаменту, згинальні моменти в рівні підшви і в конструкції стіни, зменшується несуча здатність основи. При глибині підвалу більше 3 м потрібні конструктивні заходи щодо підвищення міцності у порівнянні з розрахунком за другою групою граничних станів..

Ключові слова: стрічковий фундамент, тиск ґрунтів на огороження, зсув по підшві, несуча здатність.

Abstract

An analysis of the influence of the depth of the basement on the change of the stress-strain state of the walls of the basement wall and the foundation in the conditions of different submissiveness of the base is made. It is shown that with increase of horizontal pressure the shear force at the base of the foundation increases, bending moments in the level of the sole and in the construction of the wall, decreasing the bearing capacity of the base. At depth of the cellar more than 3 m constructive measures to increase the strength compared with the calculation of the second group of boundary states.

Keywords: tape foundation, soil pressure on the fence, offset on the soles, bearing capacity.

Вступ

Останнім часом при проектуванні і будівництві будинків та споруд збільшилась частка об'єктів, що мають підвищену глибину підвалів. При проектуванні стрічкових фундаментів під зовнішні стіни будинків з неглибокими підвалами або високим цоколем, коли перепад висот між відміткою підлоги підвалу і зовнішньою відміткою планування незначний (в таких випадках він не перевищує 1,5 -2,0 м) достатньо визначити розмір підшви за умовами другої групи граничних станів. Забезпечивши тиск під підшовою не більше розрахункового опору ґрунту основи і неперевикнення осіданням граничного значення, можна забезпечити загальну надійність роботи основи.

Якщо ж перепад висот між відміткою підлоги підвалу і зовнішньою відміткою планування збільшити, то досить швидко збільшується тиск ґрунту на стіну підвалу, що може спричинити такі негативні наслідки. В результаті впливу тиску ґрунту зворотної засипки при недостатній товщині стіни і ширині фундаменту можливі деформації, зсув і нахил підшви, просідання ґрунту під підшовою з боку підвалу. Це може призвести до втрати стійкості основи або конструкції стіни і її подальшого руйнування [1].

Метою даної роботи є визначення впливу глибини підвалу на зміну напружено-деформованого стану конструкцій стіни підвалу та стрічкового фундаменту в умовах різної піддатливості основи.

Результати дослідження

Для аналізу впливу глибини підвалу була обрана триповерхова неповнокаркасна будівля кафе з внутрішніми залізобетонними колонами з сіткою 6х6 м і зовнішніми цегляними стінами товщиною 510 мм. Перекриття монолітні залізобетонні. Дах суміщений. Розміри будівлі 20,4х21,0 м. Висота будівлі 15,56 м. Стіни підвалу з бетонних фундаментних блоків товщиною 500 мм. Фундаменти під стіни монолітні стрічкові, фундаменти під колони стовпчасті з монолітного залізобетону.

На рис. 1 наведений план фундаментів. У таблиці 1 наведені фізико-механічні характеристики ґрунтів майданчику.

Для розрахунку обрані стіни по осях А та 5 з вантажною площею для фундаменту $6,0/2 = 3,0$ (м²).

Розрахунок розмірів підшви фундаменту мілкового закладання згідно з [2], виконуємо за другою групою граничних станів. Глибина закладання нижче підлоги підвалу прийнята 1,6 м виходячи з умови можливості розміщення стовпчастих фундаментів під колони. При такій глибині закладання осно-

вою для фундаментів слугує ґрунт ІГЕ 3 - пісок середньої крупності, середньої щільності. Виходячи з розрахунку за другою групою граничних станів прийнята ширина підшви фундаменту $b = 1,3$ м. Положення фундаменту у ґрунті і розрахункова схема наведені на рис. 2.

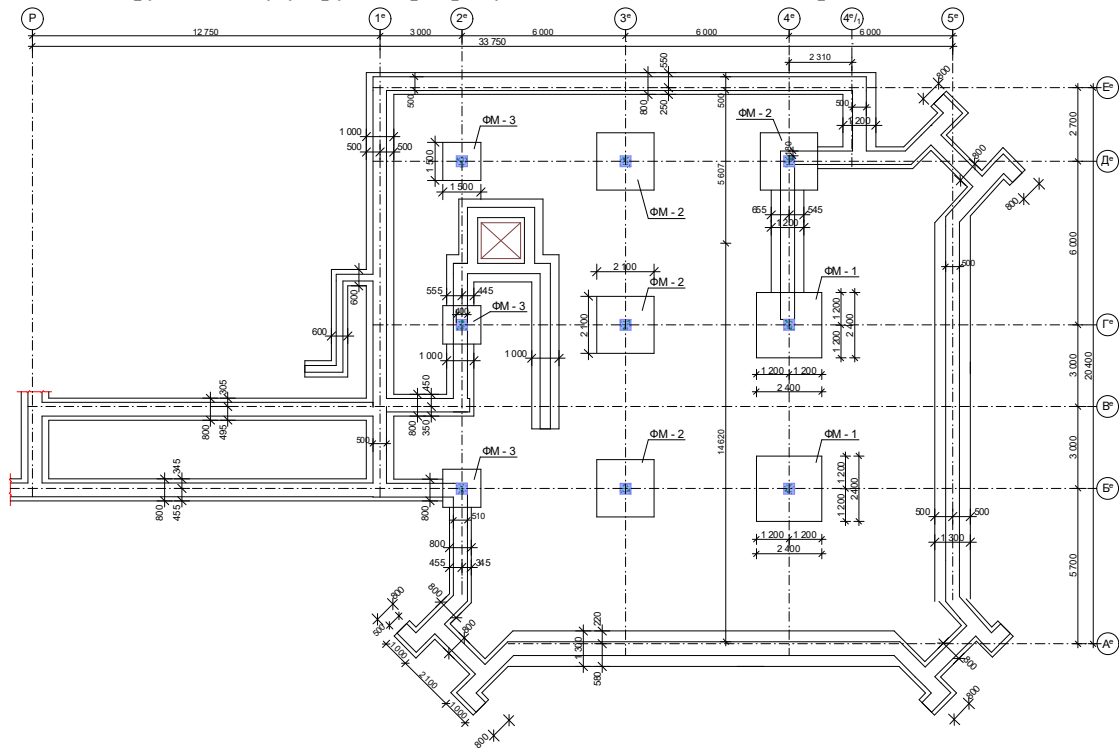


Рис. 1 – План фундаментів будівлі кафе

Таблиця 1 - Фізико-механічні характеристики ґрунтів майданчику

Найменування ґрунту	γ , кН/м ³	γ_s , кН/м ³	W	W ₁	W _p	I _p	I ₁	e	S _r	C _п , кПа	φ _п , град.	E, МПа	Потужність шару, м
Рослинний шар	17,0	-	0,13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3-0,5
Супісок пластичний жовтий	18,5	27,0	0,18	0,18	0,13	0,05	1,0	0,72	0,68	7	26	7,4	3,2-3,7
Пісок середньої крупності, сер. щільності	18,9	26,6	0,21	-	-	-	-	0,70	0,80	1	34	29	2,0-2,4
Суглинок сірий	18,6	26,8	0,26	0,32	0,22	0,10	0,4	0,82	0,85	19	19	12	12,0-14,0

У таблиці 2 наведені результати визначення навантажень на фундаменти по осях А та 5 в рівні низу перекриття над підвалом.

Стіна підвалу з бетонних блоків товщиною $t = 500$ мм. Клас бетону В7,5 ($E_{cm} = 16000$ МПа). Навантаження в рівні низу перекриття над підвалом: $q = 10$ кПа; $N_{c,e} = 271,0$ кН/п.м; $N_{c,m} = 348,0$ кН/п.м;

$$M_{c,e} = (15,0 + 4,5 + 5,4 + 4,5) \cdot (0,5 \cdot 0,5 - 0,12/3) = 6,2 \text{ кНм/п.м};$$

$$M_{c,m} = (15,0 \cdot 1,1 + 4,5 \cdot 1,3 + 5,4 \cdot 1,2 + 4,5 \cdot 1,3) \cdot 0,21 = 7,3 \text{ кНм/п.м.}$$

Розрахунки виконувались при відмітці підлоги підвалу $-3,000$ м, $-4,000$ м та $-5,000$ м. Перевірялись габаритні розміри прийнятої з розрахунку за другою групою граничних станів конструкції фундаменту, визначались згинальні моменти і поперечні сили в елементах стіни [2].

При перевірці мають виконуватись такі граничні нерівності першої групи граничних станів:

Умова стійкості проти зсуву $F_{sa} \leq \frac{\gamma_c F_{sr}}{\gamma_n}$.

Умова міцності ґрунтової основи $F_v \leq \frac{\gamma_c N_u}{\gamma_n}$.

Умова міцності конструкції стіни підвалу на позацинтрый стиск $N_{Ed} \leq \Phi t f_d$.

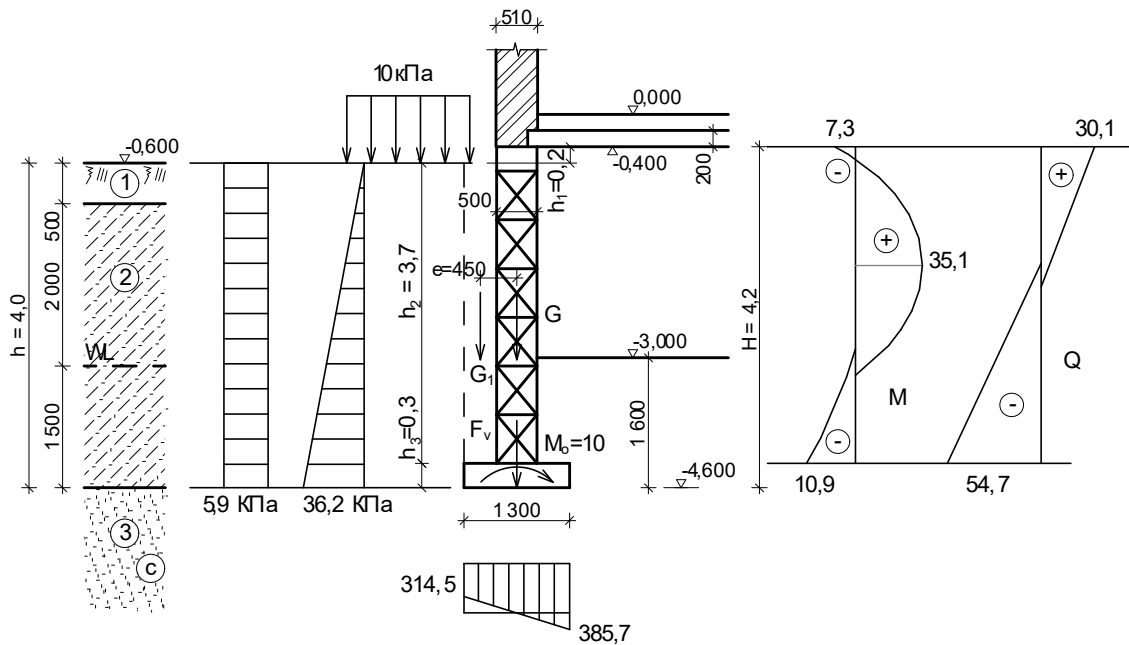


Рисунок 2 - Положення фундаменту у ґрунті і розрахункова схема при відмітці підлоги підвалу -3,000 м

Таблиця 2 – Навантаження на 1 п. м фундаменту під зовнішню несучу стіну по осі А в рівні низу перекриття над підвалом

Вид навантаження	X_e , кН/м	γ_{fm}	X_m , кН/м
Постійні			
1. Вага стіни з цегли 10,9x18,0x0,85	166,8	1,1	183,4
2. Вага плит перекриттів 5,0x3,0x4	60,0	1,1	66,0
3. Вага підлоги 1,5x3,0x3	13,5	1,3	17,6
4. Вага покрівлі 2,5x3,0	7,5	1,3	9,8
Σ пост.	247,8		276,8
Змінні			
1. Перегородки 1,8x3,0x3	16,2	1,2	19,4
2. Вага снігу 1,36x3,0 ($\gamma_{fe}=0,49$)	2,0	1,14	4,7
3. Корисне навантаження 1,5x3,0x3	13,5	1,3	17,6
Σ змін.	31,7		41,7
з урахуванням $\psi_1=0,95$	30,1		39,6
Σ пост.+змін.	277,9		316,4
з урахуванням $\gamma_n=0,975$ (1,1)	271,0		348,0

При зміні параметрів перевіряється і умова другої групи граничних станів - умова неперевищення розрахункового опору ґрунту основи з урахуванням згинального моменту $r_{max} \leq 1,2R$, виходячи з якої були підібрані попередні розміри підшви.

Розрахункові характеристики ґрунту основи (пісок середньої крупності ПЕ №3):

$\gamma_I = 18,8 \text{ кН/м}^3$; $\gamma_{II} = 18,9 \text{ кН/м}^3$; $\gamma_{sb} = 9,76 \text{ кН/м}^3$;

$\varphi_I = 30,9^\circ$; $\varphi_{II} = 34^\circ$;

$c_I = 0,5 \text{ кПа}$; $c_{II} = 1 \text{ кПа}$.

Модуль деформації ґрунту основи $E = 29 \cdot 10^3 \text{ кПа}$.

Розрахункові характеристики ґрунту засипки (супісок пластичний ПГЕ №2):

$$\gamma_I = 18,4 \text{ кН/м}^3; \quad \gamma_{II} = 18,5 \text{ кН/м}^3; \quad \gamma_{sb} = 9,9 \text{ кН/м}^3;$$

$$\varphi_I = 22,6^\circ; \quad \varphi_{II} = 26^\circ;$$

$$c_I = 4,7 \text{ кПа}; \quad c_{II} = 7 \text{ кПа}.$$

$$\gamma'_I = 0,95 \cdot 18,4 = 17,5 \text{ (кН/м}^3\text{)}; \quad \gamma'_{II} = 0,95 \cdot 18,5 = 17,6 \text{ (кН/м}^3\text{)};$$

$$\varphi'_I = 0,9 \cdot 22,6^\circ = 20^\circ; \quad \varphi'_{II} = 0,9 \cdot 26^\circ = 23,4^\circ;$$

$$c'_I = 4,7 \cdot 0,5 = 2,3 \text{ (кПа)}; \quad c'_{II} = 7 \cdot 0,5 = 3,5 \text{ (кПа)}.$$

Результати розрахунків для піщаної основи наведені на рис. 2 – 4.

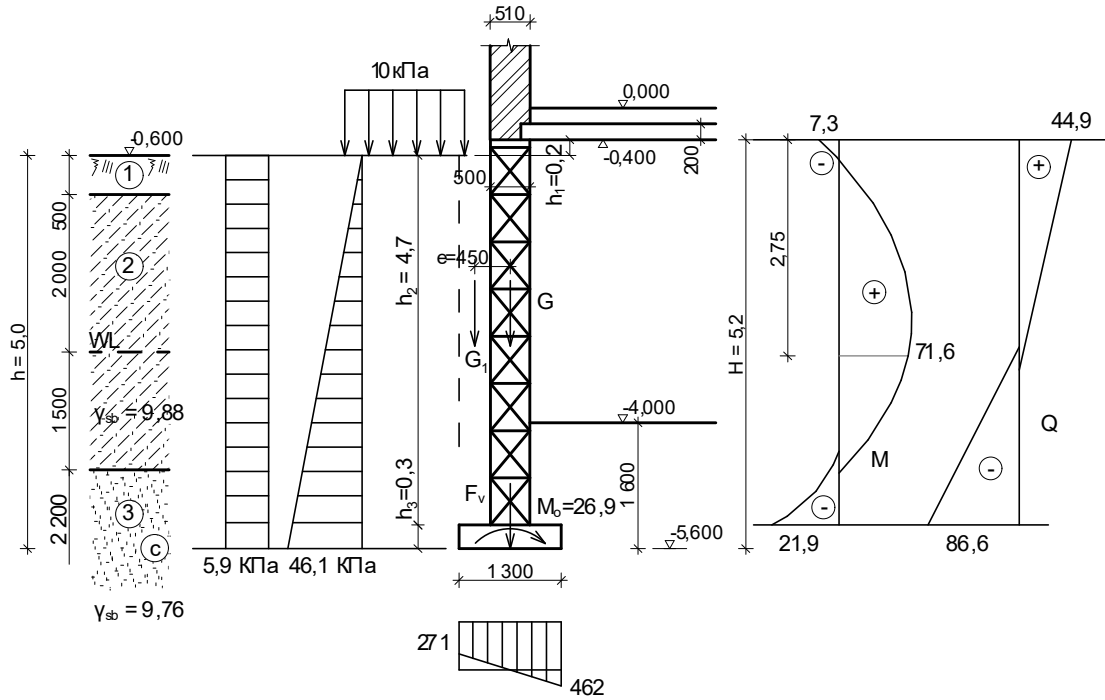


Рисунок 3 - Положення фундаменту у ґрунті і розрахункова схема при відмітці підлоги підвалу -4,000 м

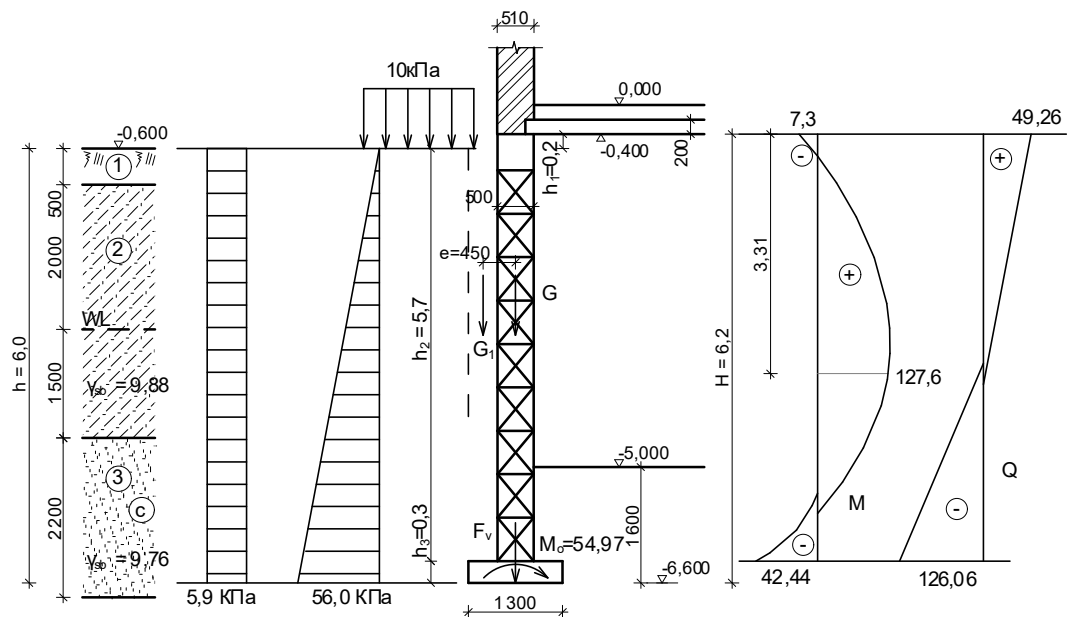


Рисунок 4 - Положення фундаменту у ґрунті і розрахункова схема при відмітці підлоги підвалу -5,000 м

Аналогічні розрахунки були виконані за умови, що ґрунт основи - ПЕ 2 - супісок пластичний. Результати розрахунків зведені у таблиці 3, 4 та показані на рис. 5 – 7.

Аналіз результатів показав, що умова міцності на зсув по підшві виконується у всіх випадках для розміру підшви, підбраного за другою групою граничних станів (рис. 5). Це можна пояснити достатністю вертикального привантаження фундаменту для трьохповерхової будівлі.

Таблиця 3 – Результати розрахунків фундаменту та стіни підвалу при різних глибинах підвалу та ґрунтах основи

Ґрунт основи	Глибина підшви фундаменту від поверхні ґрунту h, м	Зсувна сила F_{sa} , кН	Утримуюча сила F_{sr} , кН	Загальне вертикальне навантаження в рівні підшви фундаменту F_{vm} , кН	Згинальний момент в рівні підшви фундаменту M_0 , кНм	Кут нахилу рівнодіючого навантаження δ , град.	Вертикальна складова сили граничного опору основи N_u , кН	Максимальний прольотний момент в стіні підвалу $M_{c,0}$, кНм	Ексцентриситет прикладання навантаження в стіні $e_{m,0}$, м	Вертикальне зусилля в стіні підвалу N_{Ed} , кН	Навантаження, яке може сприйняти стіна $N_u = \Phi t f_d$
Пісок: $\varphi_1 = 30,9^\circ$ $c_1 = 0,5$ кПа; $E = 29 \cdot 10^3$ кПа	4,0	66,9	257	455,3	10,0	8,4	547,1	35,1	0,11	374,5	862
	5,0	101,8	268	476,5	26,9	12,0	432,7	71,6	0,21	381,0	250
	6,0	144,2	279,1	497,8	55,0	16,1	321,8	127,6	0,348	391,8	0
Супісок: $\varphi_1 = 22,6^\circ$ $c_1 = 4,7$ кПа; $E = 7,4 \cdot 10^3$ кПа	3,0	39,1	163,7	434,0	0,59	5,14	354,1	12,2	0,046	370,2	126 5
	4,0	65,2	170,6	455,3	2,9	8,14	305,3	37,2	0,116	377,4	832
	5,0	98,4	177,5	476,5	8,95	11,7	250,2	77,6	0,223	385,2	166
	6,0	138,4	184,5	497,8	19,0	15,5	198,1	137,0	0,370	392,7	0

Таблиця 4 – Результати перевірки граничних нерівностей при різних глибинах підвалу та ґрунтах основи

Ґрунт основи	Глибина підшви фундаменту від поверхні ґрунту h, м	Умова стійкості проти зсуву $F_{sa} \leq \frac{\gamma_c F_{sr}}{\gamma_n}$	Умова міцності ґрунтової основи $F_v \leq \frac{\gamma_c N_u}{\gamma_n}$	Умова міцності конструкції стіни підвалу на позацентровий стиск $N_{Ed} \leq \Phi t f_d$	Потрібні розміри фундаментної плити, $b \times h$, м	Потрібна товщина стіни з блоків, t, м
Пісок: $\varphi_1 = 30,9^\circ$ $c_1 = 0,5$ кПа; $E = 29 \cdot 10^3$ кПа	4,0	+	+	+	1,3x0,3	0,5
	5,0	+	-	-	1,5x0,3	0,6
	6,0	+	-	-	1,9x0,5	Потрібна монолітна з/б стіна
Супісок: $\varphi_1 = 22,6^\circ$	3,0	+	-	+	1,8x0,5	0,5
	4,0	+	-	+	2,0x0,5	0,5
	5,0	+	-	-	2,5x0,5	0,6

c_1 = 4,7 кПа; $E = 7,4 \cdot 10^3$ кПа	6,0	+	-	-	3,0x0,5	0,6
---	-----	---	---	---	---------	-----

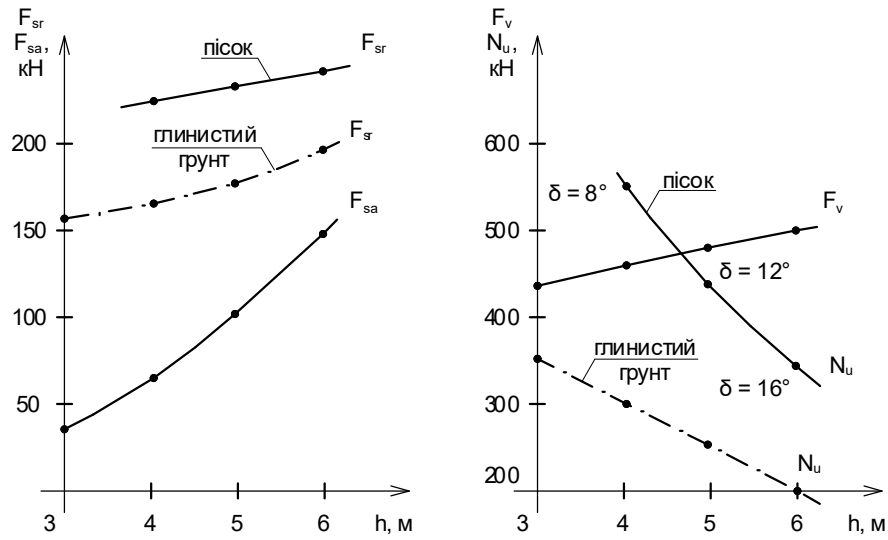


Рисунок 5 – Перевірка виконання граничних нерівностей на зсув по підшві фундамента та за несучої здатністю основи при зміні глибини підвалу та ґрунту основи

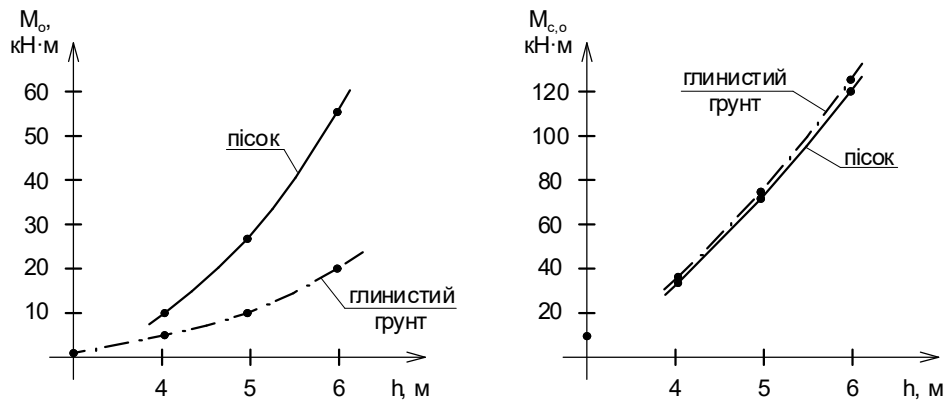


Рисунок 6 – Зміна згинального моменту в рівні підшви фундамента M_o та максимального прольотного моменту в стіні підвалу $M_{c,o}$ в залежності від зміни глибини підвалу та ґрунту основи

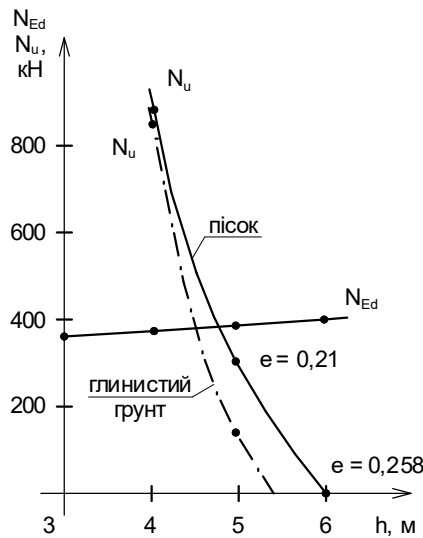


Рисунок 7 – Перевірка виконання граничної нерівності на міцність конструкції стіни підвалу при позacentровому стиску при зміні глибини підвалу та ґрунту основи

При глибині підвалу більше 3,0 м (а для супіску з модулем деформації $E = 7,4$ МПа в основі вже при глибині підвалу 3,0 ґрунту основи м) не виконується умова міцності за несучої здатністю основи при дії вертикального навантаження (рис. 5). Це пояснюється двома факторами:

- низькими значеннями граничного опору ґрунту основи для стрічкових фундаментів, визначеного за вимогами норм [2]. Ці значення іноді несуттєво відрізняються від розрахункового опору ґрунту основи, що дещо протирічить фізичному змісту понять початкового та граничного тисків ґрунту основи;

- наявністю горизонтальної складової навантаження, що збільшується із збільшенням глибини підвалу, в результаті чого зростає кут нахилу рівнодіючого зусилля, δ , який суттєво знижує міцність ґрунту основи при дії вертикальної складової навантаження.

При збільшенні глибини підвалу зростають значення згинального моменту в рівні підшви фундаменту M_0 та максимального прольотного моменту в стіні підвалу $M_{c,0}$ (рис. 6). З рис. 6 видно, що зміна модуля деформації ґрунту основи з 29 до 7,4 МПа (збільшення піддатливості основи) призводить до зміни характеру перерозподілу внутрішніх зусиль між плитою фундаменту та стіною. При жорсткій основі (пісок) плита фундаменту передає на ґрунт значний згинальний момент, який зростає із збільшенням глибини підвалу, а при піддатливій основі (супісок) згинальний момент перерозподіляється у стіну підвалу.

З рис. 7 видно, що при глибині підвалу більше 3 м виникає перевантаження стіни підвалу (внаслідок збільшення ексцентриситету прикладання навантаження), яка при попередніх розрахунках за другою групою граничних станів була передбачена з фундаментних блоків товщиною 500 мм.

Отже, конструктивне рішення стрічкового фундаменту під зовнішню стіну будинку з підвалом, прийняте на підставі розрахунку лише за другою групою граничних станів, при глибині підвалу більше 3 м потребує коригування. У таблиці 4 наведені потрібні значення розмірів підшви плитної частини фундаменту і потрібної товщини стіни підвалу.

Висновки

1. При глибині підвалу більше 3 м не можна підбирати розміри підшви стрічкового фундаменту під зовнішню стіну виходячи тільки з розрахунку за другою групою граничних станів.

2. Конструктивне рішення стрічкового фундаменту під зовнішню стіну будинку з підвалом, прийняте на підставі розрахунку лише за другою групою граничних станів, при глибині підвалу більше 3 м потребує коригування

3. Збільшення глибини підвалу призводить до збільшення зусилля зсуву по підшві і виникнення додаткових згинальних моментів як у плитній частині фундаменту, так і в стіні підвалу.

4. Для трьохповерхового будинку умова міцності на зсув по підшві виконується навіть при значній глибині підвалу завдяки наявності достатнього привантаження від ваги будинку.

5. Збільшення глибини підвалу призводить до зменшення несучої здатності ґрунту основи на дію вертикального навантаження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Основи та фундаменти споруд: ДБН В.2.1-10-2009 зі зміною №1 та №2. - [Чинний від 2012-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 161 с. – (Національні стандарти України).
2. Настанова з проектування підпірних стін: ДСТУ-Н Б В.2.1-31:2014- [Чинний від 2015-10-01]. – К.: Мінрегіон України, 2015. – 83 с. – (Національні стандарти України).

Тихолаз Олена Олександрівна — студент групи Б-17мі, факультет будівництва теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

Науковий керівник: **Маєвська Ірина Вікторівна** — канд. техн. наук, доцент кафедри промислового та цивільного будівництва, Вінницький національний технічний університет.

Tyholaz Olena Oleksandrivna — Student of B-17mi group, Department of Building Heating and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Supervisor: **Irina V. Mayevska** — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Building Heating and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.