

УДК 624.15

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/34>**Блащук Н.В.**

Вінницький національний технічний університет

**Маєвська І.В.**

Вінницький національний технічний університет

**Тихолаз О.О.**

Вінницький національний технічний університет

## ВПЛИВ ГЛИБИНИ ПІДВАЛУ НА КОНСТРУКТИВНЕ РІШЕННЯ СТРИЧКОВОГО ФУНДАМЕНТУ ПІД ЗОВНІШНІ СТІНИ

*Виконано аналіз впливу глибини підвалу на зміну напружено-деформованого стану конструкцій стіни підвалу та стрічкового фундаменту в умовах різної піддатливості основи та різної поверховості будівлі. Показано, що у разі збільшення горизонтального тиску збільшується зсувне зусилля по підшві фундаменту, згинальні моменти в рівні підшви і в конструкції стіни, зменшується несуча здатність основи. За глибини підвалу більше 3 м і поверховості до трьох поверхів потрібні конструктивні заходи щодо підвищення міцності порівняно з розрахунком за другою групою граничних станів, що призводить до збільшення витрат до 30% на відносно жорсткій основі і до 60% на піддатливій основі. Надані рекомендації щодо покращення роботи фундаменту і економії витрат.*

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

**Постановка проблеми.** Останнім часом під час проектування і будівництва будинків та споруд збільшилась частка об'єктів, що мають підвищену глибину підвалів. Під час проектування стрічкових фундаментів під зовнішні стіни будинків з неглибокими підвалами або високим цоколем, коли перепад висот між відміткою підлоги підвалу і зовнішньою відміткою планування незначний (у таких випадках він не перевищує 1,5–2,0 м) досить визначити розмір підшви за умовами другої групи граничних станів. Забезпечивши тиск під підшвою не більше розрахункового опору ґрунту основи і не перевищення 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 негативні наслідки. У результаті впливу тиску ґрунту зворотної засипки у разі недостатньої товщини стіни і ширині фундаменту можливі деформації, зсув і нахил підшви, просідання ґрунту під підшвою з боку підвалу. Це може призвести до втрати стійкості основи або конструкції стіни і її подальшого руйнування [1; 4].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За наявності підвалу фундаментна стіна є одночасно

стіною підвалу, що працює спільно з елементами споруди [1–3]. Зовнішні стіни підвалів, сперті на фундаменти, розраховують за першою групою граничних станів – на стійкість положення стін проти зсуву по підшві фундаментів (за відсутності спеціальних конструктивних заходів, що утримують стіну від зсуву); на стійкість основи фундаменту стіни; на міцність елементів конструкцій; за другою групою граничних станів – на деформації основи фундаментів стін, на утворення тріщин в елементах конструкцій. Усі ці розрахунки виконуються аналогічно до розрахунків вільно стоячих підпірних стін [2–4].

Головними аспектами прийнятності розрахунків є адекватне визначення активного тиску ґрунту на стіну та прийняття розрахункової схеми конструкції стіни та фундаменту [5].

Розрахунковою схемою, прийнятою для стін підвалів у нормативних документах [2; 3], є балкова плита з умовним защемленням на рівні сполучення з фундаментом і з шарнірною опорою в рівні спірання перекриття з урахуванням можливого перерозподілу зусиль від повороту фундаменту, спричиненого піддатливістю ґрунту основи, та переміщення стін у разі завантаження території, прилеглої до підвалу.

Якщо розрахункова схема стіни не відповідає прийнятій у методиках норм, наприклад харак-

тер спирання плити перекриття над підвалом не шарнірний, то визначення внутрішніх зусиль у системі може бути виконане лише за допомогою математичного моделювання у ліцензованих програмних комплексах.

Для проектувальника важливо знати, як у разі використання підвалів великої глибини під малоповерхові будинки змінюється напружено-деформований стан фундаментних конструкцій, яких додаткових витрат потребує забезпечення їх надійної роботи і якими методами можна досягти мінімізації цих витрат.

**Метою** цієї роботи є визначення впливу глибини підвалу на зміну напружено-деформованого стану конструкцій стін підвалу та стрічкового

фундаменту в умовах різної піддатливості основи та різної поверховості будинку.

**Поставлені задачі:**

– порівняти рішення фундаментів та стін підвалу, одержані за другою групою граничних станів, з рішеннями, одержаними з урахуванням граничних нерівностей першої групи;

– запропонувати заходи з покращення роботи стін підвалу та стрічкових фундаментів на дію горизонтального тиску ґрунту з метою одержання більш економічного рішення.

Для вирішення поставлених задач були виконані ручні розрахунки за методикою норм та математичне моделювання будинку стінової конструкції з підвалом.

Таблиця 1

**Програма досліджень напружено-деформованого стану конструкцій стрічкових фундаментів та стіни підвалу**

Серія розрахунків	Поверховість будинку	Вид ґрунту під подошвою	Глибина підвалу, м
1	3 поверхи	Пісок сер. крупності: $\varphi_{II}=34^\circ; c_{II}=1 \text{ кПа}; E=29 \text{ МПа}$	3,0
			4,0
			5,0
2	3 поверхи	Супісок: $\varphi_{II}=26^\circ; c_{II}=7 \text{ кПа}; E=7,4 \text{ МПа}$	2,0
			3,0
			4,0
3	3 поверхи	Суглинок: $\varphi_{II}=21^\circ; c_{II}=23 \text{ кПа}; E=14 \text{ МПа}$ $\gamma_{II}=18,5 \cdot \text{кН/м}^3; I_L=0,4$	5,0
			3,0
			4,0
	2 поверхи		5,0
			3,0
			4,0
	1 поверх		5,0
			3,0
			4,0

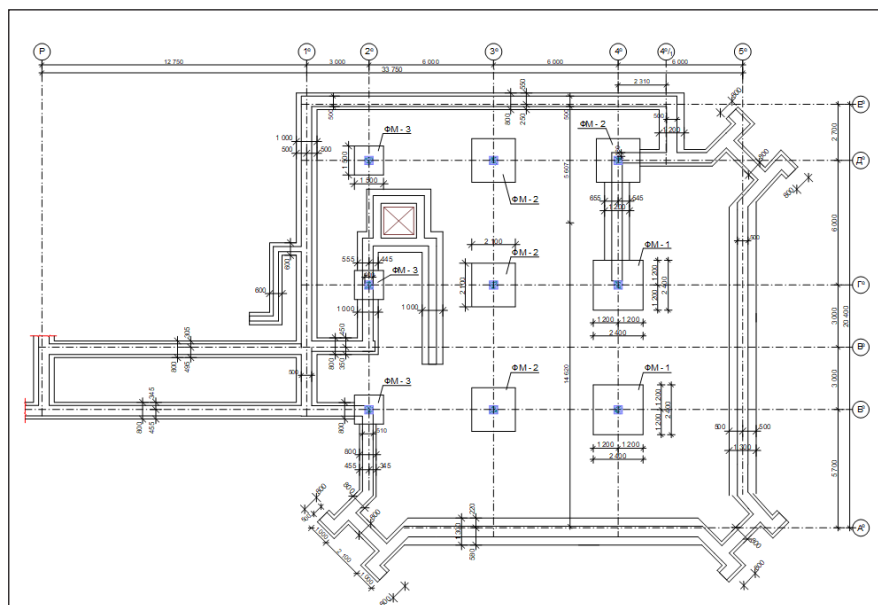


Рис. 1. План фундаментів будівлі

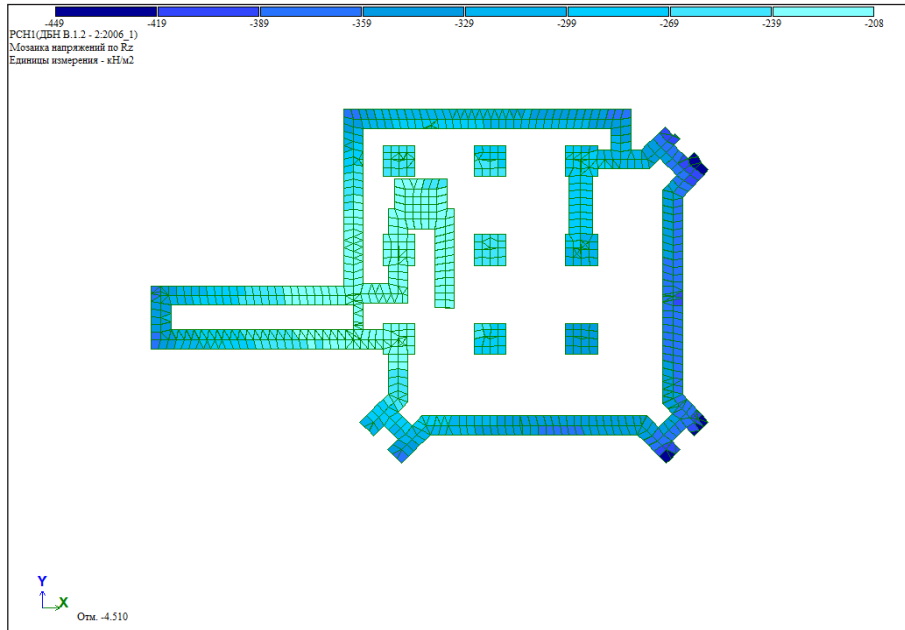
**Виклад основного матеріалу дослідження.**

У таблиці 1 наведена програма досліджень, яка виконана на прикладі конкретного будинку за допомогою програмного комплексу «Ліра-САПР 2017» та паралельних ручних розрахунків за методикою норм.

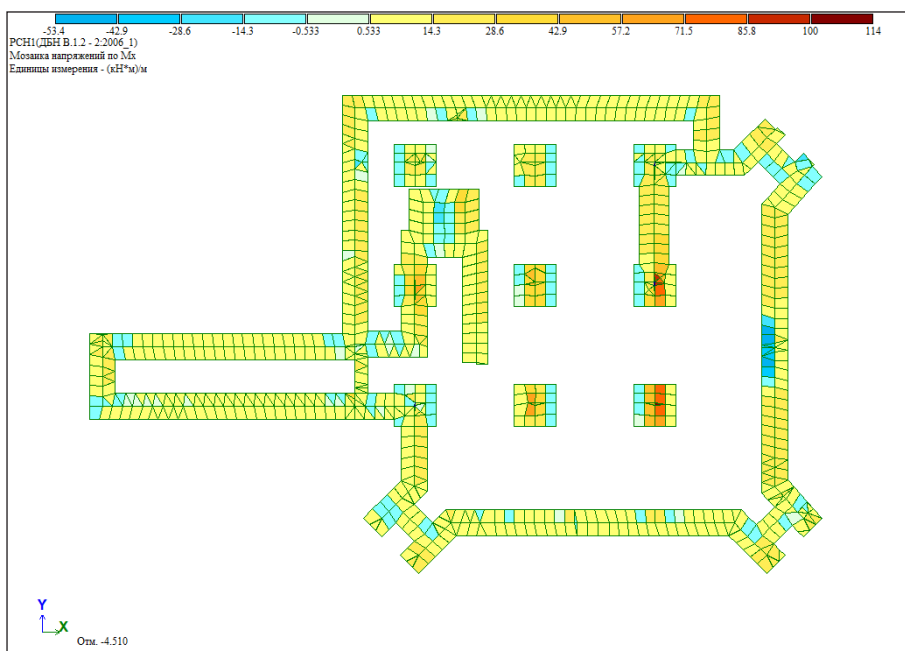
Під час дослідження 1 та 2 серій варіюється глибина підвалу, а також піддатливість ґрунту основи (у першій серії модуль деформації піщаного ґрунту основи  $E = 29$  МПа, в другій серії

модуль деформації глинистого ґрунту основи  $E = 7,4$  МПа). Поверховість будинку (3 поверхи) прийнята сталюю. В 3 серії розрахунків ґрунт основи прийнятий зі сталими характеристиками (середній модуль деформації  $E = 14$  МПа), а варіюється поверховість будинку.

Для аналізу впливу глибини підвалу була обрана неповнокаркасна будівля з внутрішніми залізобетонними колонами з сіткою  $6 \times 6$  м і зовнішніми цегляними стінами товщиною 510 мм.



**Рис. 2. Контактні напруження під подошвою фундаментів триповерхового будинку (основа – пісок) за глибини підвалу -3,000 м**



**Рис. 3. Згинальні моменти  $M_x$  у конструкції фундаментів триповерхового будинку (основа – пісок) за глибини підвалу -3,000 м**

Перекриття монолітні залізобетонні. Дах суміщений. Розміри будівлі 20,4x21,0 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. Для розрахунку обрані стіни по осях А та 5 з вантажною площею для фундаменту  $6,0/2 = 3,0$  (м<sup>2</sup>).

У результаті просторового моделювання у програмному комплексі «ЛІРА-САПР 2017» з вико-

ристанням підпрограми комплексу «Ґрунт» були одержані кольорові діаграми внутрішніх зусиль у фундаментах та стінах підвалу з варіюванням параметрів згідно з програмою досліджень. Паралельно проводились ручні розрахунки, оскільки розрахункова схема стіни підвалу відповідає прийнятій у нормах.

На рис. 2–5 для прикладу наведені результати розрахунків для триповерхового варіанту будівлі на піщаній основі для глибини підвалу 3 м.

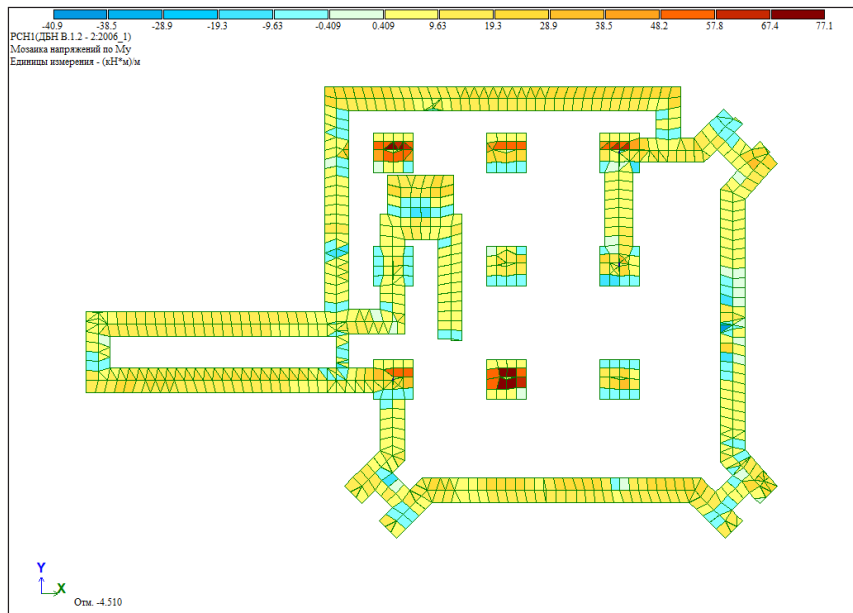


Рис. 4. Згинальні моменти  $M_u$  у конструкції фундаментів триповерхового будинку (основа – пісок) за глибини підвалу -3,000 м

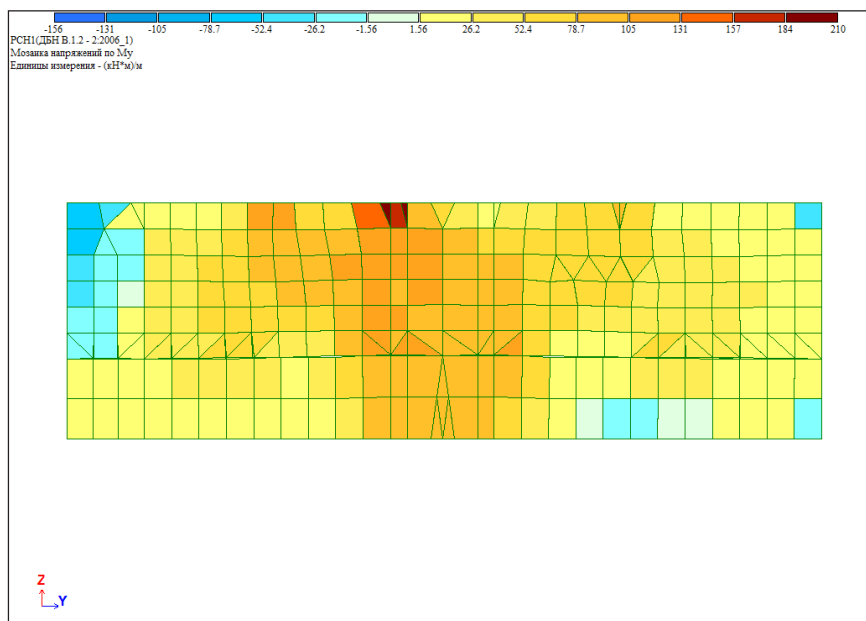


Рис. 5. Згинальні моменти у конструкції стіни підвалу триповерхового будинку (основа – пісок) за глибини підвалу -3,000 м

Розрахунки виконувались у такій послідовності:

1. Підбирались розміри підшови фундаментів лише за другою групою граничних станів без урахування активного тиску ґрунту на стіну підвалу з умови  $p \leq R$ .

2. Перевірялись габаритні розміри прийнятої з розрахунку за другою групою граничних станів конструкції фундаменту розрахунками за першою групою граничних станів з урахуванням активного тиску ґрунту, визначались згинальні моменти і поперечні сили в елементах фундаменту та стіни.

Виконані розрахунки дали змогу проаналізувати вплив глибини підвалу, виду ґрунту під підшовою фундаменту та величини навантаження

(поверховості) будівлі на напружено-деформований стан підземних конструкцій.

Розрахунки перших двох серій, коли розглядалась триповерхова будівля і варіювалась піддатливість ґрунту під підшовою та глибина підвалу, показали такі результати [6].

Умова міцності на зсув по підшові виконується у всіх випадках для розміру підшови, підбраного за другою групою граничних станів (рис. 6). Це можна пояснити достатністю вертикального привантаження фундаменту для триповерхової будівлі.

За глибини підвалу більше 3,0 м (а для супіску з модулем деформації  $E = 7,4$  МПа в основі вже за глибини підвалу 3,0 м) не виконується умова міцності за несучою здатністю основи у разі дії

вертикального навантаження (рис. 6). Це пояснюється переважно наявністю горизонтального складника навантаження, що збільшується із збільшенням глибини підвалу, в результаті чого зростає кут нахилу рівнодіючого зусилля  $\delta$ , який суттєво знижує міцність ґрунту основи у разі дії вертикального складника навантаження.

У разі збільшення глибини підвалу зростають значення згинального моменту в рівні підшови фундаменту  $M_0$  та максимального прольотного моменту в стіні

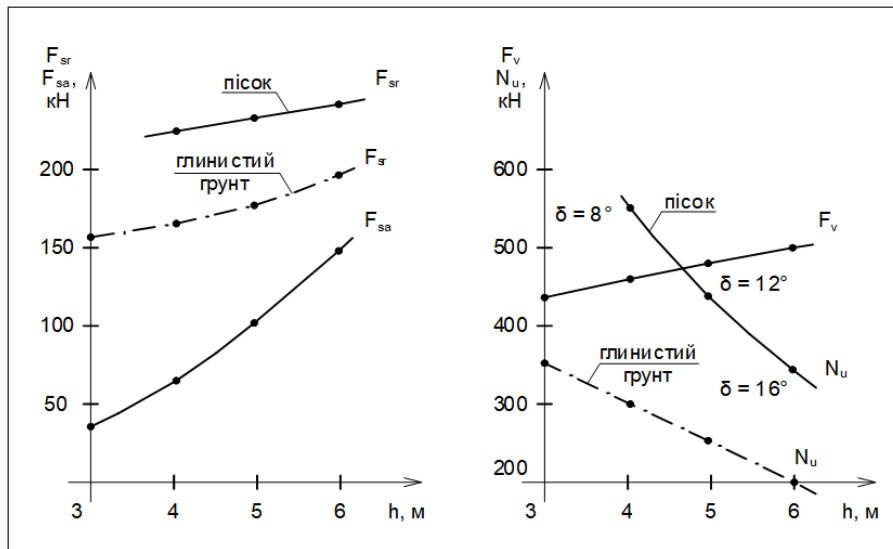


Рис. 6. Перевірка виконання граничних нерівностей на зсув по підшові фундаменту та за несучою здатністю основи у разі зміни глибини підвалу та ґрунту основи

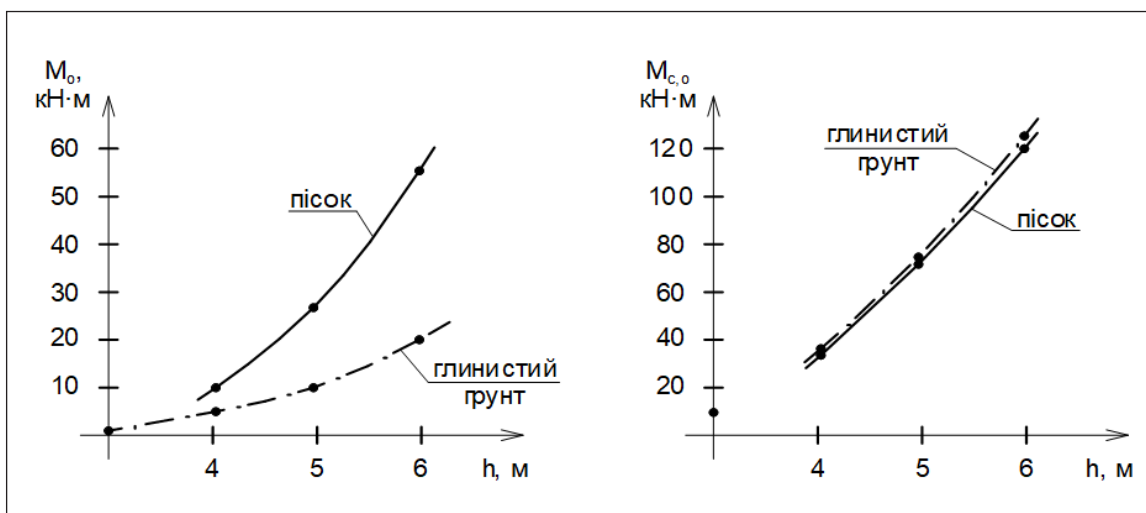


Рис. 7. Зміна згинального моменту в рівні підшови фундаменту  $M_0$  та максимального прольотного моменту в стіні підвалу  $M_{c,0}$  залежно від зміни глибини підвалу та ґрунту основи

підвалу  $M_{c,0}$  (рис. 7), причому зміна згинального моменту у стіні практично не залежить від підатливості основи. За глибини підвалу більше 3 м виникає перевантаження стіни підвалу (внаслідок збільшення ексцентриситету прикладання навантаження).

Розрахунки третьої серії, коли властивості ґрунту основи не мінялись, а варіювалась поверховість будівлі, показали таке:

умова міцності на зсув по підшві для розміру підшви, підбраного за другою групою граничних станів (рис. 8), виконується у всіх випадках для триповерхового будинку. Для двоповерхового будинку відсутність зсуву по підшві забезпечена для відмітки підлоги підвалу -3,000 м та -4,000 м, а для одноповерхового будинку лише для відмітки підлоги підвалу -3,000 м.

Для дво- та одноповерхових будинків наявність горизонтального складника навантаження, що збільшується зі збільшенням глибини підвалу, в результаті чого зростає кут нахилу рівнодіючого зусилля  $\delta$  (рис. 8), керівним фактором втрати несучої здатності основи стає зсув по підшві.

У разі зменшення поверховості зменшуються значення згинального моменту в рівні підшви фундаменту  $M_0$  та зростають значення максимального прольотного моменту в стіні підвалу  $M_{c,0}$  (рис. 9).

Зі зменшенням поверховості і збільшенням глибини підвалу зусилля в стіні стають неприйнятними.

У цілому виконане дослідження дало змогу зробити такі висновки:

1. Конструктивне рішення стрічкового фундаменту під зовнішню стіну будинку з підвалом,

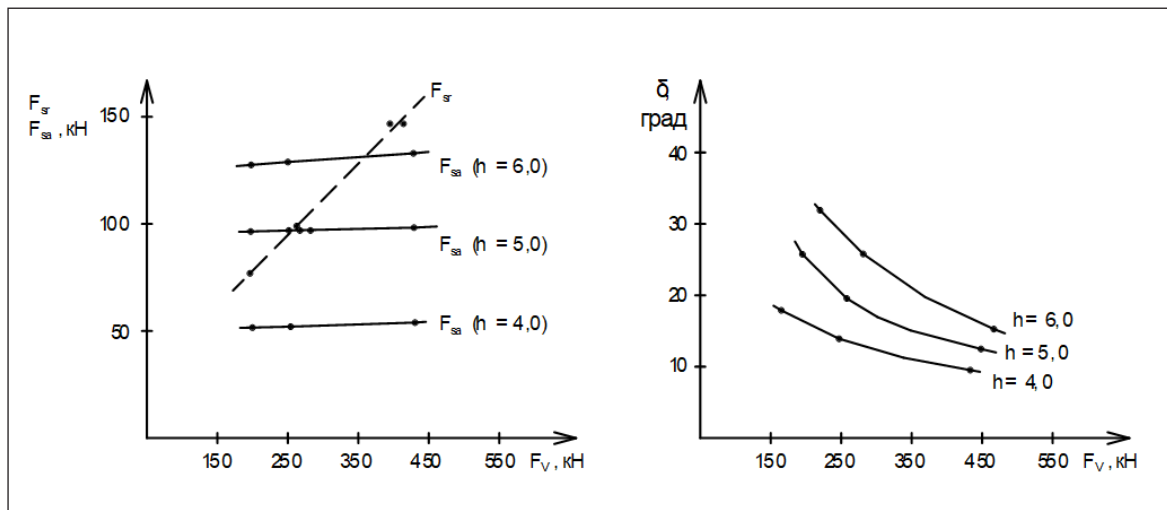


Рис. 8. Перевірка виконання граничних нерівностей на зсув по підшві фундаменту та зміна кута нахилу рівнодіючого навантаження на фундамент у разі зміни глибини підвалу та поверховості будинку

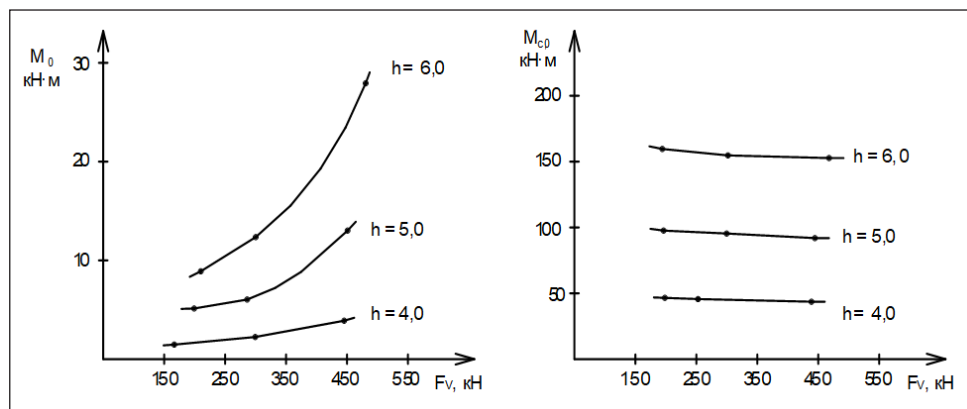


Рис. 9. Зміна згинального моменту в рівні підшви фундаменту  $M_0$  та максимального прольотного моменту в стіні підвалу  $M_{c,0}$  залежно від зміни глибини підвалу та поверховості будинку

прийняте на підставі розрахунку лише за другою групою граничних станів, за глибини підвалу більше 3 м і поверховості будинку менше трьох поверхів, потребує коригування, при цьому для більш жорсткої основи потрібне збільшення об'єму бетону до 34%, для більш піддатливої основи на 26–63%.

2. 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. Для триповерхового будинку умова міцності на зсув по підшві виконується навіть за значної глибини підвалу завдяки наявності достатнього привантаження від ваги будинку.

3. Збільшення глибини підвалу призводить до зменшення несучої здатності ґрунту основи на дію вертикального навантаження за рахунок збільшення кута нахилу рівнодіючого навантаження.

4. Зменшення поверховості призводить до зменшення опору фундаменту на зсув по підшві і

виникнення додаткових згинальних моментів як у плитній частині фундаменту, так і в стіні підвалу.

5. Зменшення поверховості призводить до зростання кута нахилу рівнодіючого навантаження, завдяки чому керівним фактором втрати несучої здатності основи стає зсув по підшві.

6. Для покращення роботи фундаменту та стіни підвалу для глибоких підвалів можна дати такі рекомендації:

- забезпечення у разі зворотної засипки збільшення кута внутрішнього тертя місцевого ґрунту за рахунок його ретельного ущільнення з контролем характеристик міцності або заміни місцевого ґрунту засипки на ґрунт з підвищеним кутом внутрішнього тертя, пісок або щебінь;

- збільшення висоти цоколя будівлі, за рахунок чого зменшується висота засипки;

- влаштування навколо будівлі суцільного приямку, що зменшує висоту засипки;

- для зменшення згинальних моментів у конструкції стіни підвалу встановлення фундаментної плити з ексцентриситетом у бік ґрунту засипки, що надає додаткового оберненого згинального моменту від ґрунту засипки.

#### Список літератури:

1. Основания, фундаменты и подземные сооружения : справочник проектировщика / М.И. Горбунов-Посадов, В.А. Ильичев, В.И. Крутов и др.; под общ. ред. Е.А. Сорочана и Ю.Г. Трофименкова. Москва : Стройиздат, 1985. 480 с.
2. Проектирование подпорных стен и стен подвалов. Москва : Стройиздат, 1990. 104 с.
3. ДСТУ-Н Б В.2.1-31:2014. Настанова з проектування підпірних стін. Київ, Мінрегіон України, 2015. 83 с.
4. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти споруд (зі зміною № 1 та № 2). Київ, Мінрегіонбуд України, 2009. 161 с.
5. Лазебник Г.Е. Давление грунта на сооружения. Разработка аппаратуры и проверка методик экспериментального определения давления. Результаты опытных исследований. Рекомендации для расчетов. Киев, 2005. 243 с.
6. Тихолаз О.О. Особливості розрахунку стрічкових фундаментів будівель з глибокими підвалами. Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 22–23 березня 2019 р. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2019/paper/view/7539> (дата звернення: 21.05.2019).

#### ВЛИЯНИЕ ГЛУБИНЫ ПОДВАЛА НА КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ЛЕНТОЧНОГО ФУНДАМЕНТА ПОД ВНЕШНИЕ СТЕНЫ

*Выполнен анализ влияния глубины подвала на изменение напряженно-деформированного состояния конструкций стены подвала и ленточного фундамента в условиях разной податливости основания и разной этажности здания. Показано, что при увеличении горизонтального давления увеличивается сила сдвига по подошве фундамента, изгибающие моменты в уровне подошвы и в конструкции стены, уменьшается несущая способность основания. При глубине подвала больше 3 м этажности до трёх этажей необходимы конструктивные мероприятия по повышению прочности по сравнению с расчётом по второй группе предельных состояний, что приводит к увеличению затрат до 30% на относительно жёстком основании и до 60% на податливом основании. Даны рекомендации по улучшению работы фундамента и экономии затрат.*

**Ключевые слова:** ленточный фундамент, давление грунтов на ограждения, сдвиг по подошве, несущая способность.

### THE INFLUENCE OF BASEMENT DEPTH ON A CONSTRUCTIVE SOLUTION OF STRIP FOUNDATION UNDER EXTERNAL WALLS

*The analysis of the influence of the basement depth on the change in the stress-strain state of the structures of the basement wall and the strip foundation under the conditions of different pliability of the base and different heights of the building is carried out. It is shown that as the horizontal pressure increases, the shear force along the base of the foundation increases, bending moments in the level of the base and in the wall structure, and the bearing capacity of the base decreases. With a basement depth of more than 3 m and up to three floors, constructive measures are needed to increase strength as compared with the second group of limiting conditions, which leads to an increase in costs of up to 30% on a relatively hard base and up to 60% on a compliant base. Recommendations for improving the work of the foundation and cost savings are given.*

**Key words:** *strip foundation, soil pressure on the fence, offset on the soles, bearing capacity.*