

**І.В. Маєвська, канд. техн. наук, доцент**  
*Вінницький національний технічний університет*

**Н.В. Блащук, канд. техн. наук, доцент**  
*Вінницький національний технічний університет*

**Г.В. Маєвський, інженер**  
*ТОВ “Златограф-проект”*

## **ОПТИМІЗАЦІЯ ПЛИТНИХ ФУНДАМЕНТІВ ЗА ВИТРАТАМИ МАТЕРІАЛІВ**

*АНОТАЦІЯ: Проведено дослідження впливу товщини і форми фундаментної плити на розподіл внутрішніх зусиль та показники витрат матеріалів, вартість та трудомісткість. Були розглянуті три варіанти будівель з різним конструктивним рішенням. Збільшення жорсткості будівлі призводить до меншої чутливості щодо зміни товщини фундаментної плити. Встановлено, що не дивлячись на збільшення кількості арматури і деяке ускладнення технології на теперішній час найбільш оптимальним є плитний фундамент з мінімальною товщиною плити.*

*Ключові слова: ФУНДАМЕНТНА ПЛИТА, РОЗПОДІЛ НАПРУЖЕНЬ, ЖОРСТКІСТЬ ОСТОВУ БУДІВЛІ, ВИТРАТИ МАТЕРІАЛІВ, ВАРТІСТЬ, ТРУДОМІСТКІСТЬ.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями.** Суцільні монолітні залізобетонні плитні фундаменти широко використовуються при будівництві на слабких і неоднорідних ґрунтах багатоповерхових і малоповерхових будинків різного призначення.

При визначенні попередніх розмірів такого фундаменту підбирають його товщину і розміри в плані, товщину місцевих монолітних утовщень під колонами і стінами за методикою норм, а потім уточнюють за результатами статичного розрахунку з умови спільної роботи фундаменту і надфундаментної конструкції.

Жорсткість плити суттєво впливає на розподіл напружень, внаслідок чого отримують різні конструктивні рішення. Головним фактором, що впливає на жорсткість, є товщина плити.

При підборі товщини плити існують рекомендації [1] задавати її для каркасних будівель не менше потрібної з розрахунку міцності на продавлювання бетону без врахування поперечного армування. Для будівель з несучими стінами рекомендувалось приймати товщину не менше потрібної з розрахунку міцності нахилених перерізів на дію поперечних сил також без врахування поперечного армування.

Отже, з цих рекомендацій витікає, що найбільш оптимальною буде товщина плити, яка забезпечує відсутність поперечного армування, а міцність її на продавлювання і поперечну силу забезпечується бетоном.

Але ці рекомендації, надані ще у 80-х роках минулого сторіччя, на теперішній час потребують уточнення в зв'язку з такими факторами:

- а) вдосконалення методик розрахунку плит на пружній основі;
- б) загальна тенденція серед проектувальників до зменшення товщини суцільних плитних фундаментів;
- в) змінення співвідношення цін на бетон і арматуру;
- г) введення нових норм на розрахунок залізобетонних конструкцій, в яких введені більш жорсткі вимоги до роботи залізобетонних конструкцій на дію поперечної сили.

В зв'язку з цим є необхідність дослідити економічну доцільність і технічну можливість зменшення товщини фундаментних плит з одночасним забезпеченням надійної роботи будівлі при експлуатації.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Методи й програми для розрахунку плитних фундаментів розроблені на основі останніх досягнень в області будівельної механіки, теорії розрахунку залізобетонних конструкцій, механіки ґрунтів, теорії пружності, обчислювальної математики й практики фундаментобудування. Програми дозволяють розраховувати плитні фундаменти практично будь-якої форми в плані (прямокутні, круглі, кільцеві, складної форми), змінної товщини з урахуванням впливу будови у вигляді каркаса або стінової системи.

Але аналіз впливу жорсткості фундаментних плит на напружено-деформований стан конструкцій не виконувався і при проектуванні автори змушені підбирати її оптимальне конструктивне рішення шляхом перебору варіантів.

**Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття.** При виборі товщини плити можливі три принципових конструктивних рішення:

1) товщина плити мінімальна, в місцях прикладання зосереджених навантажень від колон або стін влаштовуються утовщення у вигляді підколоники, що забезпечують відсутність продавлювання. При цьому в підколониках може бути або не бути потреба у встановленні поперечної арматури;

2) товщина плити підібрана з умови міцності на продавлювання і дію поперечної сили з врахуванням встановлення поперечної арматури;

3) товщина плити підібрана з умови міцності на продавлювання і дію поперечної сили без необхідності встановлення поперечної арматури.

Очевидно, що за витратами бетону перший варіант буде найкращим. Але він має такі недоліки:

- ускладнення технології улаштування фундаментної плити в зв'язку з наявністю підколоники;

- необхідність улаштування підсіпки з ущільненого ґрунту під підлогу підвалу в межах висоти підколоники;

- збільшення потрібної кількості арматури.

Другий варіант потребує більшої кількості бетону, але простіше в технологічному плані і не потребує підсіпки з ущільненого ґрунту під підлогу. Третій варіант може виграти за рахунок зменшення кількості арматури не дивлячись на найбільші витрати бетону.

**Мета роботи.** Метою даної роботи є виявлення найбільш оптимального конструктивного рішення плитного фундаменту за вартістю і трудомісткістю при різних конструктивних рішеннях несучого остову будівлі, різній його поверховості.

**Виклад основного матеріалу.** Для розгляду були обрані три будівлі з різним конструктивним рішенням:

- двоповерхова каркасна будівля з монолітними колонами перерізом 400х400 мм, пілонами з розмірами в плані 1200×400 мм та монолітними перекриттями;

- чотиріповерхова каркасна будівля з монолітними колонами перерізом 400х400 мм та монолітними перекриттями;

- шестиповерховий монолітний будинок з несучими залізобетонними стінами та перекриттями товщиною 200 мм.

Будівлі підбирались таким чином, щоб їх несучий остов мав різну жорсткість. Найменшу жорсткість має двоповерхова каркасна будівля і найбільшу – безкаркасний шестиповерховий монолітний будинок.

Грунтова основа для всіх будинків прийнята з середніми деформаційними характеристиками.

Для кожної будівлі попередньо виконувались розрахунки фундаментних плит на продавлювання і поперечну силу з метою визначення мінімальної потрібної товщини плити і потрібної товщини плити без поперечного армування. Навантаження на фундамент приймалися за результатами статичного розрахунку роботи просторового каркасу. Загальний вигляд розрахункових моделей в програмі “ЛИРА-САПР” показано на рис. 1-3.

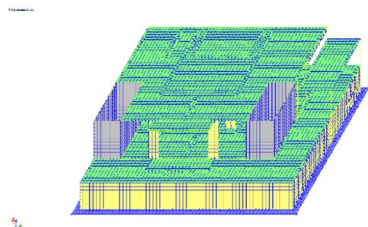


Рис. 1. Загальний вигляд розрахункової моделі двоповерхової каркасної будівлі (будівля ресторану)

Собственный век

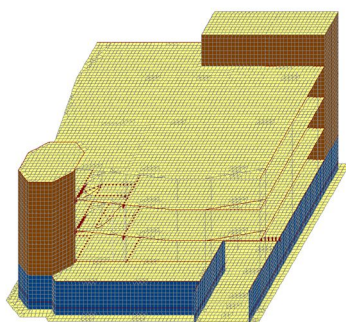


Рис. 2. Загальний вигляд розрахункової моделі чотирьохповерхової каркасної будівлі (будівля банку)

Загрузка 1

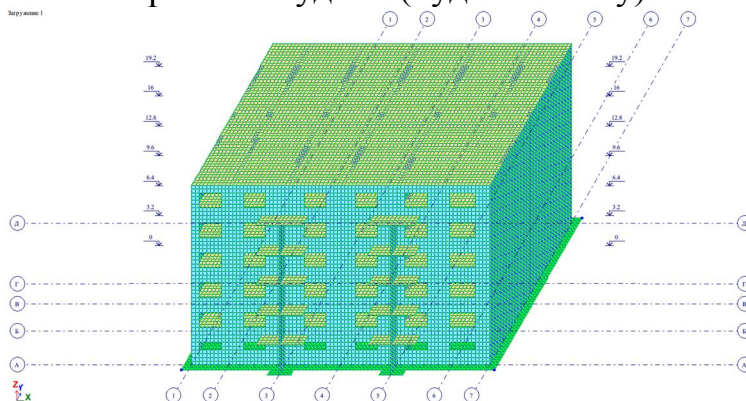


Рис. 3. Загальний вигляд розрахункової моделі шестиповерхового монолітного будинку

Для двоповерхової будівлі були прийняті два варіанти товщини фундаментної плити: 400 мм з поперечним армуванням та 700 мм без поперечного армування.

Для чотириповерхової каркасної будівлі були прийняті три варіанти товщини фундаментної плити. Мінімальна товщина плити за вимогами нових норм з умови забезпечення міцності на продавлювання і поперечну силу з **врахуванням наявності поперечної арматури в місцях обпирання колон виявилася рівною 700 мм** (навантаження значно більші, ніж в попередньому випадку). Тому для техніко-економічного порівняння були обрані такі варіанти конструктивного рішення:

- товщина плити 400 мм, під колони влаштовані утовщення, що доводять її товщину в місцях розміщення колон до 700 мм; (на рис. 4 показана модель плитного фундаменту з підколониками);
- товщина плити 700 мм по всій площі;
- товщина плити 1000 мм по всій площі.

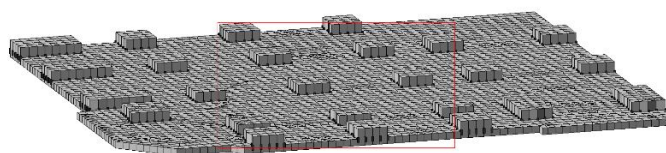


Рис. 4. Моделювання підколонників фундаментної плити

Для шестиповислового монолітного будинку з несучими залізобетонними стінами були прийняті два варіанти товщини фундаментної плити: 300 мм з поперечним армуванням та 600 мм без поперечного армування.

Треба відзначити, що для стінової конструкції потрібна менша товщина плити не дивлячись на значне навантаження від ваги будівлі.

Для всіх перелічених варіантів був виконаний просторовий розрахунок конструкцій на піддатливій основі за допомогою програмного комплексу “ЛИРА-САПР”. У всіх випадках визначені закономірності розподілу реактивних тисків під подошвою фундаменту, визначені осідання і значення коефіцієнту жорсткості основи, виконані розрахунки з підбору армування плит різної товщини, визначена необхідність поперечного армування. На основі отриманих даних виконано економічне порівняння шляхом складання кошторисів.

Далі на діаграмах представлені результати порівняння потрібної кількості бетону, потрібної кількості арматури, вартості та трудомісткості влаштування фундаментів в залежності від прийнятої товщини плити.

Такі діаграми для двоповерхової будівлі (рис. 5) показують, що збільшення товщини плити, що тягне за собою збільшення витрат бетону, практично не призводить до зменшення витрат арматури, як можна було очікувати. Це пояснюється малими навантаженнями, внаслідок чого армування встановлюється з конструктивних міркувань. При цьому при більшій товщині плити потрібно більше монтажної арматури. Результатом є те, що вартість і трудомісткість є найменшими при найменшій товщині плити.

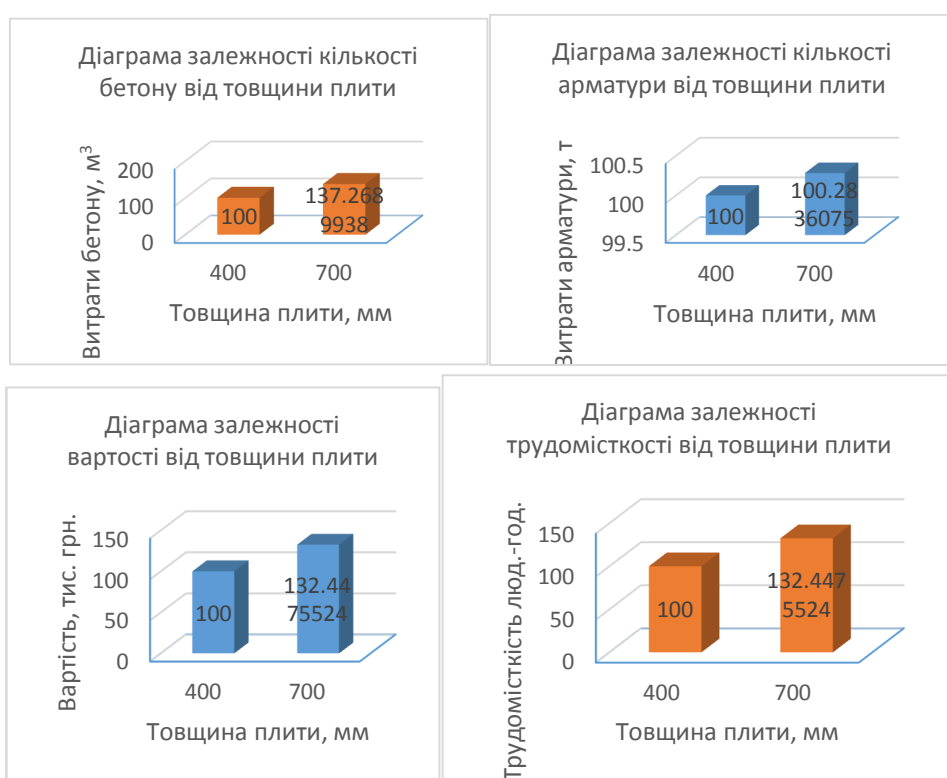


Рис. 5. Будівля ресторану. Графіки залежності витрат бетону, витрат арматури, вартості та трудомісткості від товщини плити в процентному відношенні

Для чотирьохповерхової каркасної будівлі (рис. 6) із збільшенням товщини плити потрібна кількість арматури зменшується. Не дивлячись на це, вартість та трудомісткість фундаменту із збільшенням товщини плити зростає. Аналіз причин цього показав, що головним чинником, який впливає на вартість фундаментної плити, є вартість та об'єм бетону. Економія арматури та спрощення технології при улаштуванні товстої плити не призводять до зниження загальної вартості.

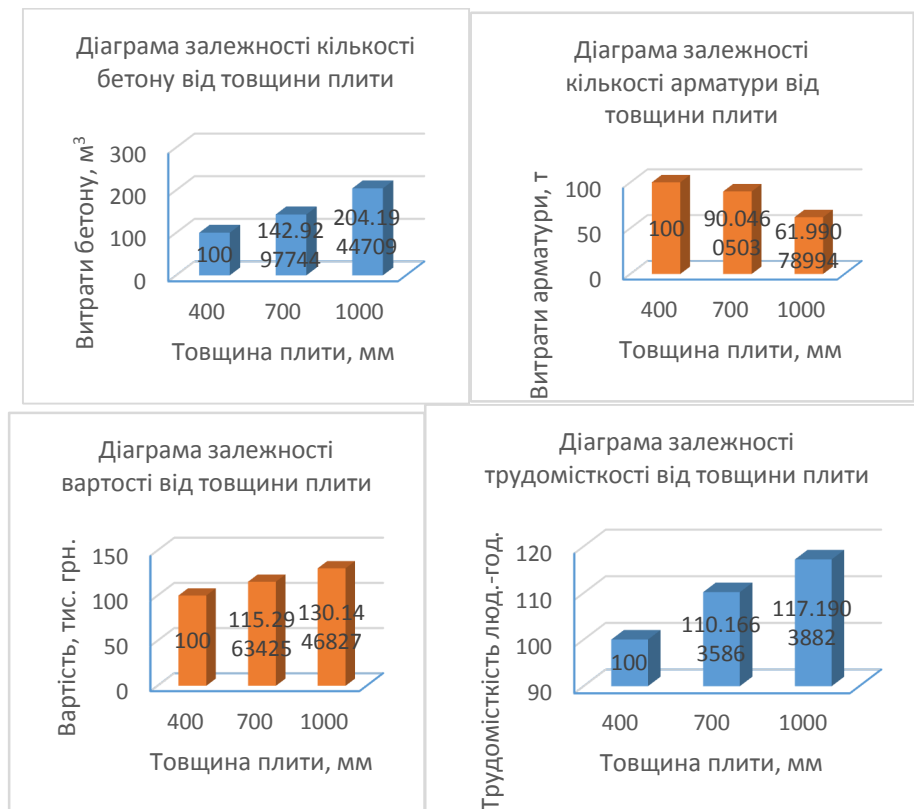


Рис. 6. Будівля банку. Графіки залежності витрат бетону, витрат арматури, вартості та трудомісткості від товщини плити в процентному відношенні

Для шестиповерхового монолітного будинку з несучими залізобетонними стінами (рис. 7) із збільшенням товщини плити потрібна кількість арматури також зменшується, але вартість та трудомісткість фундаменту із збільшенням товщини плити зростає.

У таблиці 1 наведені співвідношення зміни техніко-економічних показників при збільшенні товщини фундаментних плит.

Таблиця 1

**Зміна техніко-економічних показників при збільшенні товщини фундаментних плит відносно мінімальної можливої товщини**

Вид будівлі	Збільшення витрат бетону, %	Зменшення витрат арматури, %	Збільшення вартості, %	Збільшення трудомісткості, %
Двоповерхова каркасна	+37	0	+32	+32
Чотириповерхова каркасна	+43	-10	+15	+10
	+100	-38	+30	+17
Шестиповерхова безкаркасна	+100	-19	+26	+16

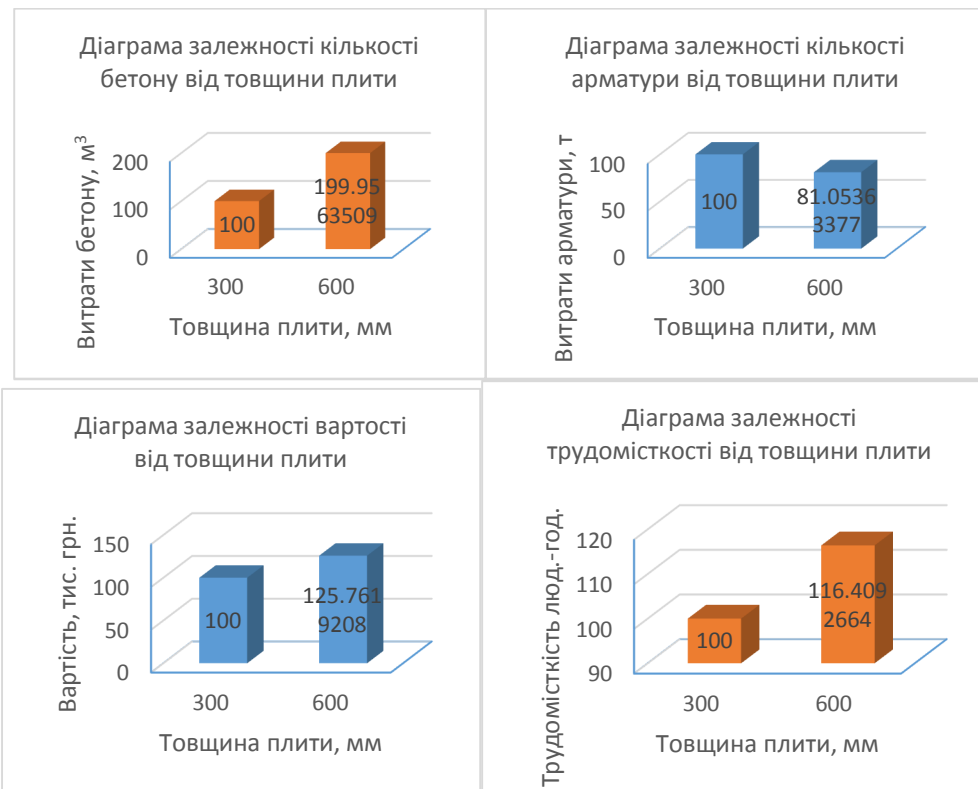


Рис. 7. Будівля №3. Графіки залежності витрат бетону, витрат арматури, вартості та трудомісткості від товщини плити в процентному відношенні

У таблиці 2 наведена зміна внутрішніх зусиль та переміщень в конструкції фундаментної плити при збільшенні товщини.

Таблиця 2

**Зміна внутрішніх зусиль та переміщень в конструкції фундаментної плити при збільшенні її товщини**

Вид будівлі	Товщина плити, мм	M <sub>max</sub> , кНм		Q <sub>max</sub> , кН	R <sub>z</sub> , кПа	S, мм
		в нижній зоні	в верхній зоні			
Двоповерхова каркасна	400	140	120	600-700	158	36
	700	180	180	500-600	150	25
Чотириповерхо-ва каркасна	400 (з підколони-ками)	500-600	120	1000-1300	136	26
	700	360-440	200	860-900	133	25,7
	1000	320-410	240-260	860	131	25,4
Шестиповерхова безкаркасна	300	150	100	400-430	210	139
	600	200	160	270-400	208	139



За результатами розрахунку була також проаналізована зміна внутрішніх зусиль в плитах перекриття при зменшенні товщини фундаментної плити. Аналіз показав, що при зменшенні товщини фундаментної плити згинальні моменти і поперечні сили в плитах перекриття зростають, але це практично не призводить до збільшення кількості арматури в них, оскільки в будівлях на товстих фундаментних плитах армування плит перекриттів переважно конструктивне.

### **Висновки.**

1. Збільшення товщини фундаментних плит призводить до незначного згладжування нерівномірності осідань.

2. У плоских плитах при максимальній товщині розподіл напружень більш рівномірний, максимальні згинальні моменти при збільшенні товщини плити збільшуються, а поперечні сили зменшуються. При більшій товщині плити поперечна сила менше і може сприйматись бетоном і монтажними каркасами.

3. Збільшення жорсткості будівлі призводить до меншої чутливості щодо зміни товщини фундаментної плити.

4. Товщина фундаментної плити, що забезпечує відсутність поперечного армування, не є оптимальною за вартістю та трудомісткістю.

5. Оптимальним варіантом улаштування плитного фундаменту є плита з мінімальною товщиною, при цьому для каркасних будівель доцільний варіант з підсиленням в місцях прикладання навантажень від вертикальних несучих елементів утовщеннями, що забезпечують роботу на продавлювання і зріз.

### *Список літератури*

1. Руководство по проектированию плитных фундаментов каркасных зданий и сооружений башенного типа/НИИОСП им. Н.М.Герсеева. – М.: Стройиздат, 1984. – 263 с.

**И.В. Маевская, канд. техн. наук, доцент**

Винницкий национальный технический университет

**Н.В. Блащук, канд. техн. наук, доцент**

Винницкий национальный технический университет

**Г.В. Маевский, инженер**

ООО “Златограф-проект”

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПЛИТНЫХ ФУНДАМЕНТОВ ПО ЗАТРАТАМ МАТЕРИАЛОВ**

*АННОТАЦИЯ: Проведено исследование влияния толщины и формы фундаментной плиты на распределение внутренних усилий и показатели затрат материалов, стоимость и трудоемкость. Были рассмотрены три варианта зданий с разным конструктивным решением. Увеличение жесткости здания приводит к меньшей чувствительности к изменению толщины фундаментной плиты. Установлено, что несмотря на увеличение количества арматуры и определенное усложнение технологии на настоящее время наиболее оптимальным является плитный фундамент с минимальной толщиной плиты.*

*Ключевые слова: ФУНДАМЕНТНАЯ ПЛИТА, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ, ЖЕСТКОСТЬ Остова здания, ЗАТРАТЫ МАТЕРИАЛОВ, СТОИМОСТЬ, ТРУДОЕМКОСТЬ.*

**Maievska Iryna, PhD., docent**

Vinnitsia National Technical University

**Blashchuk Nataliia, PhD., docent**

Vinnitsia National Technical University

**Maievski Georgii, engineer**

“Zlatograf-project” Corporation

## **OPTIMIZATION OF A SLAB FOUNDATION WITH A COST OF MATERIALS**

*ABSTRACT: Made the research of influence of the thickness and forms of the foundation slab on a distribution of stresses, indicators of materials losses, cost and labor consuming. Three options for buildings with different designs were considered. Increasing of the rigidity of the building leads to decreasing of sensitivity to changes in the thickness of the slab. Defined that despite the increase in the number of armature and some complication in technology at present time the most optimal variant is a slab foundation with a minimum thickness of slab.*

*Keywords: FOUNDATION SLAB, STRESS DISTRIBUTION, THE RIGIDITY OF THE SKELETON OF THE BUILDING, THE COST OF MATERIALS, COST, LABOR-CONSUMING.*