УДК 624.1313

к.т.н., професор Корнієнко М.В.,
Київський національний університет будівництва і архітектури
Поклонський С.В
ДП «Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»

ПРО ВПЛИВ ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦІЇ ҐРУНТУ ОСНОВИ НА НАДІЙНІСТЬ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ НОВОГО БУДІВНИЦТВА В УМОВАХ ЩІЛЬНОЇ МІСЬКОЇ ЗАБУДОВИ

Основний метод отримання Е–одометричний. Отримані величини модуля деформації необхідно контролювати і коригувати. Існує методика отримання Е з результатів моніторингу осідань будівель. Вона дає адекватні величини Е, що в свою чергу дозволяє отримати більш точні значення прогнозованих деформацій, що може впливати на вибір більш економічного типу фундаменту для подібних секцій будівлі.

Ключові слова: модуль деформації, моніторинг осідань будівлі, одометричні випробування ґрунту.

Вступ

Нове будівництво в сучасних архітектурно-планувальних рішеннях як правило пов’язане з значними труднощами. Ці рішення вимагають збереження вимог замовника при умові гарантії умови збереження сусідньої забудови. Серед факторів, що мають значний вплив на прийняття надійних рішень підземної частини і фундаментів будівель є об’єктивність визначення показників фізико-механічних властивостей ґрунтів і перш за все модуля деформації. Цей показник визначає не тільки конструкцію фундаментів, а і вимагає необхідних технологічних підходів до виконання земляних і будівельно-монтажних робіт на новому будівельному об’єкті. В більшості випадків будинок зводиться на пальових фундаментах, чи фундаментах неглибокого закладання (плитних чи стрічкових найчастіше). Практика підказує, що можливість їх використання визначається величиною допустимих деформацій основи, як для нових так і для існуючих сусідніх будівель. Аналіз методик визначення модуля деформації виконаний при комп’ютерному дослідженні часто показує різницю в величинах модулів деформації що можуть перевищувати 1,5…2 рази.

Вважається, що при подібних ґрунтових умовах і тисках на фундаменти досить надійні результати дає метод визначення модуля деформації, на підставі зворотного розрахунку за результатами спостережень за осіданнями споруд. Це

особливо актуально при сучасних забудовах цілих кварталів однаковими за геометрією і висотою секціями будинків.

У Китаї, в зв'язку з труднощами відбору зразків ґрунту з піщаних і галечникових відкладів без порушення їх природного стану, тривалий час значення їх модулів деформації визначали на підставі зворотного розрахунку за даними спостережень за осіданнями зведених споруд (Ма Лань, 1994). Автор (1990) вказував на перспективність використання даного методу для визначення усереднених значень модулів деформації, однак оскільки спостереження за осіданнями споруд практично не велися, його широке впровадження в ті роки виявилося неможливим. В даний час цей метод повинен знайти широке практичне застосування. [9]

Особливо актуальним цей метод може стати для плитних фундаментів великої площі, беручи до уваги те, що модуль деформації ґрунтів таких фундаментів вище, ніж в аналогічних умовах під фундаментами невеликих розмірів. Це можна пояснити меншим впливом на осідання великорозмірних фундаментів: контурних пластичних зон; неоднорідності основи, викликаної місцевими включеннями більш слабкого ґрунту, оскільки в межах стиснутої товщі вони розташовані безсистемно і прояв їх властивостей частково нейтралізується. Однак це питання потребує додаткових досліджень.

А поки прийом підвищення модуля деформації в основах плитних фундаментів може розглядатися як умовний і його застосування можливе лише в поєднанні з певною розрахунковою моделлю. [9]

Загальні дані

Експериментальні дослідження в цьому випадку були виконані при зведенні. Будівля монолітно-каркасна неправильної форми в плані 19-поверхова будівля з цокольним та технічним поверхами в м. Києві. Висота поверху типового – 3.0 м. В плані має розміри близько 15.0 × 30.0 м. Матеріалом несучих конструкцій є монолітний залізобетон. З’єднання конструкцій між собою – жорсткі. Фундамент запроектовано у вигляді плити товщиною 900 мм. Плити між секціями розділені деформаційним швом. Вертикальні несучі конструкції пілонів виконані з залізобетону товщиною 300 мм (бетон класу В30); стіни ліфтових шахт та сходових клітин - 200 мм (бетон класу С25/30). Плити перекриття товщиною160 мм.

В геоморфологічному відношенні вона розташована в межах правобережної заплавної тераси р. Дніпро на відстані 150-200м від річки. Вся заплава піднята шляхом намиву піску Рельєф ділянки відносно спокійний і характеризується абсолютними позначками поверхні в межах 99.50 – 100.50 м. Геологічна будова ділянки будівництва до обстежуваної глибини 30.0 м представлена товщею четвертинних відкладів флювіогляціального генезису, що

підстилаються породами палеогенової системи. Ґрунти представлені дрібними пісками, піщанистими супісками та суглинками. З поверхні вони перекриті рослинним шаром. Ґрунтові води зустрінуті на глибині 5.2 – 8.5 м від поверхні [1]. Випробувана товща ґрунтів по генетичним ознакам і фізико-механічним властивостям поділяється на окремі інженерно-геологічні елементи відповідно, як це показано на інженерно-геологічному розрізі (рис. 1) та мають такі показники будівельних властивостей (табл. 1):

Для визначення напружено-деформованого стану системи основа-фундамент-надземна частина будівлі, перевірки геометричних розмірів несучих конструкцій і прийняття остаточних технічних рішень, була розроблена скінчено-елементна модель будівлі. Модель включає дві підструктури: власні конструктивні елементи і основу, яка має властивості пружного півпростору. Підструктури взаємодіють через контактну поверхню – підошву фундаменту. Розрахунки будинку виконанні з урахуванням піддатливості основи під підошвою плити фундаменту.

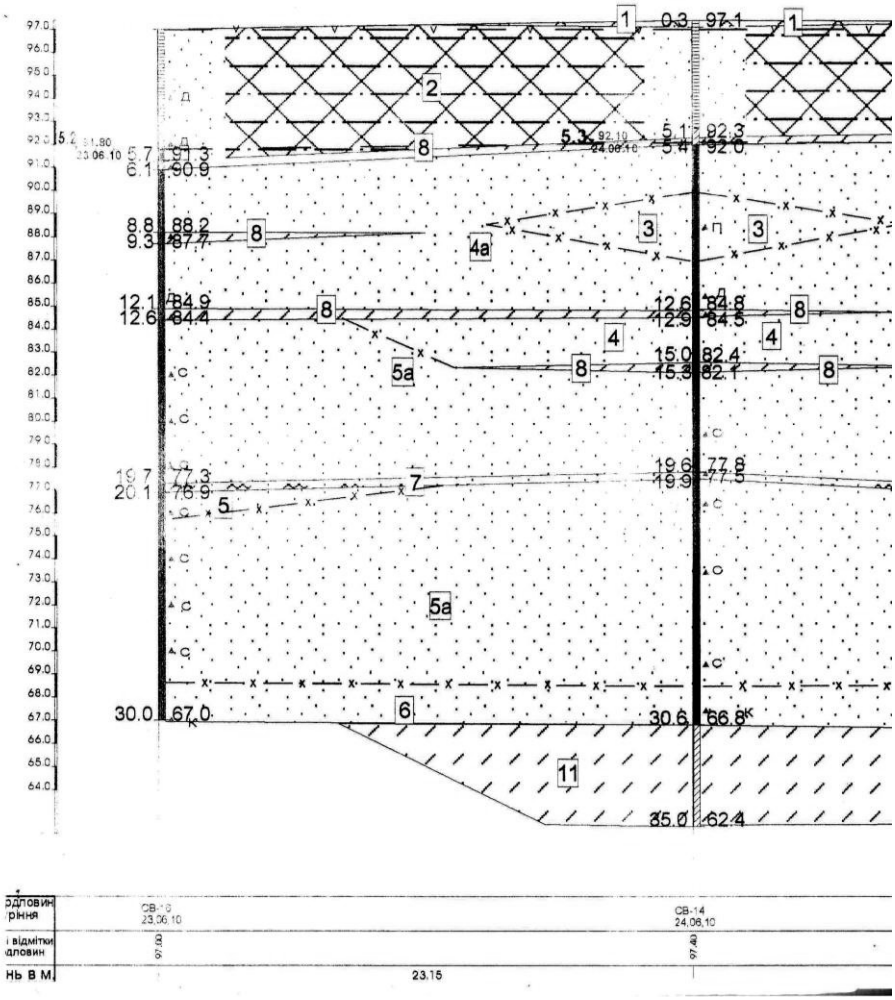

Рис.1. Геологічний розріз

Таблиця 1

Показники фізико-механічних властивостей ґрунтів майданчика

Індес генезису і віку грунту	Номер ІГЕ	Найменування грунту згідно ДСТУ Б В 2.1 – 2 – 96	Число пластичності	Показник консистенції	Коефіцієнт пористості	Модуль деформації, МПа	Коеф. фільтрації, м/добу.	Щільність грунту, т/м³	Питоме зчеплення, МПа	Кут внутр. тертя, град.	Питоме зчеплення, МПа		Кут внутріш-нього тертя, градуси	
			I_P	I_L	e	E	$K_Ф$	ρ	c	φ	C_1	C_2	$φ_1$	$φ_2$
t_{IV}	1	Насипний грунт			0.71			1,53						
t^n_{IV}	2	Намитий грунт			0.68	20		1,69	0.002	27	0.001	0.001	24	27
a_{III-IV}	3	Пісок пилуватий	<0.01		0,65	24	1-3	1,80	0,002	29	0,0001	0,002	27	29
a_{III-IV}	4	Пісок дрібний, середньої щільності	<0.01		0.61	32	3-5	1.90	0.001	33	0.0006	0.001	30	33
a_{III-IV}	4а	Пісок дрібний, щільний.	<0.01		0.58	36	2-4	1,95	0,001	35	0,0006	0,001	32	35
a_{III-IV}	5	Пісок середньої крупності серед. щільності	<0.01		0,55	36	6-9	1,94	0,001	33	0,0006	0,001	30	33
a_{III-IV}	5а	Пісок середньої крупності, щільний.	<0.01		0,49	44	5-8	1.98	0.001	36	0.0001	0.001	33	36
a_{III-IV}	6	Пісок крупний	<0.01		0,57	40	10-15	1,99	0,001	37	0,0001	0,001	36	37
a_{III-IV}	7	Пісок з дом. органічних речовин	<0.01		0,70	12	5-8	1,60	0,001	29	0,0001	0,001	27	29
a_{III-IV}	8	Супісок	0,05	I_L >1	0,68	8	0,5	1,80	0,009	21	0,006	0,009	18	21
a_{III-IV}	9	Суглинок	0,08	0,5<I_L<0,75	0.75	9	0.05	1.85	0.015	18	0,010	0,015	16	18
a_{III-IV}	10	Суглинок з домішками орг. речовин.		0,5<I_L<0,75	0.95	6	0,05	1,55	0,010	17	0,007	0,010	15	17
P_{2kn}	11	Супісок	0,05	I_L >1	0,55	27	0,5	2,00	0,006	20	0,004	0,006	17	20

Комп'ютерна модель будівлі і методика розрахунку

Розрахунок будівлі виконано на основі просторової розрахункової моделі із застосуванням програмного комплексу LIRA 2013.

Просторова розрахункова модель, як єдина структурна система, складається з двох підструктур:

Підструктура № 1 – розрахункова модель, що максимально відповідає технічним рішенням несучих конструкцій будівлі;

Підструктура № 2 – розрахункова модель ґрунтової основи. Контактні умови по підошві плити фундаменту моделюються в підпрограмі ГРУНТ LIRA.

Метою виконання комплексного розрахунку є отримання НДС конструкцій будівлі і основи, що взаємодіють одна з одною.

Розрахунок виконувався ітераційним способом, при якому на першому кроці роботи ПК LIRA збиралися навантаження у вигляді реакцій по підошві

плити фундаменту з урахуванням жорсткості конструкцій будинку та постійних значень коефіцієнтів жорсткості основи.

Для підрахунку осідань плити фундаменту на контакті з основою застосовувався метод пошарового підсумовування деформацій елементарних шарів на розрахункових вертикалях без можливості бічного розширення ґрунтів. При цьому напруження від власної ваги ґрунту підраховувалися загальноприйнятим методом, а додаткові напруження від дії фундаментів обчислювалися на основі замкнутих рішень для моделі лінійно-деформованого півпростору. За результатами цих розрахунків виконано аналіз НДС просторової розрахункової схеми.

Просторова розрахункова модель багатофункціонального житлового комплексу базується на скінчено-елементній апроксимації конструкцій. Основу для побудови розрахункової моделі будинку склали геометричні розміри наземної і фундаментної частин споруди, властивості матеріалів, з яких вони зводяться, та інженерно-геологічні умови на ділянці. Загальний вигляд розрахункової моделі житлового будинку представлено на рис. 2.

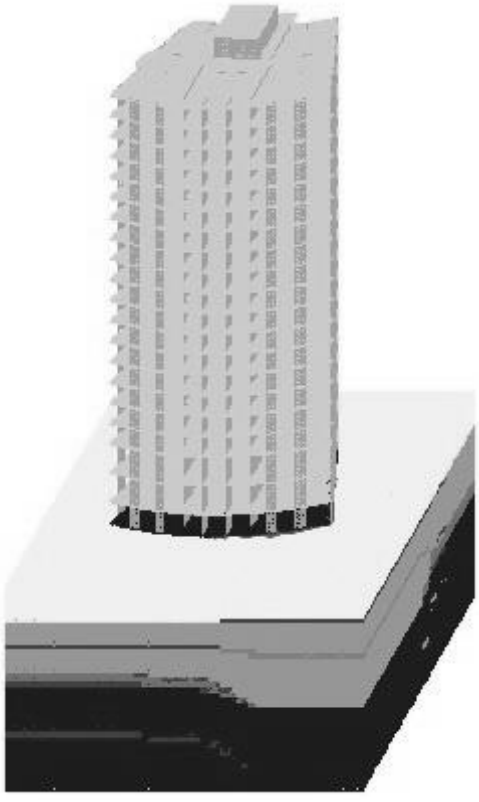

Рис. 2. Загальний вигляд розрахункової моделі житлового будинку

Стіни сходово-ліфтових блоків і діафрагм жорсткості, перекриття та плитний ростверк змодельовані плоскими оболонковими СЕ типів 41 і 44 – універсальними чотирикутними (прямокутними) елементами оболонки.

Ґрунтова основа на контакті з плитним ростверком змодельована коефіцієнтами жорсткості на контакті з основою.

У результаті розрахунків у кожному з СЕ розрахункової моделі обчислюються наступні зусилля і напруження.

Розрахункова модель основи споруди (підструктура № 2) має властивості пружного півпростору з постійними модулями деформації в межах окремих шарів (інженерно-геологічних елементів). Взагалі, програма розрахунку основи дає змогу враховувати зміну модуля деформації з глибиною чи рівнем напруження, але у зв'язку з відсутністю таких вихідних даних, значення *E* прийнято за даними вишукувань [1]. Вхідними даними для створення такої підструктури є дані інженерно-геологічних вишукувань на майданчику і навантаження, передані від підструктури № 1.

Контактні умови між надземними конструкціями та основою моделювалися коефіцієнтами жорсткості, спосіб визначення яких описаний нижче.

Розв'язок контактної задачі полягає у підборі величин коефіцієнтів жорсткості шляхом виконання ітераційних розрахунків. Визначення осідань виконано згідно вимог норм [3, 4].

Загальна площа плитного ростверку розбита на розрахункові ділянки, кількість і розміри яких рівні розмірам СЕ, що моделюють плиту.

У результаті розрахунків в кожному контактному елементі розрахункової моделі отримуємо повні переміщення і зусилля.

Для статичних розрахунків значення початкових модулів пружності бетону при стисненні множилося на коефіцієнт 0.85. Окрім цього, коефіцієнти жорсткості основи для статичних розрахунків визначалися з використанням загального модуля деформації.

Розрахунки

Види навантажень, коефіцієнтів жорсткості та розрахункових сполучень навантажень прийнято відповідно до вимог ДБН [2, 4, 5] з урахуванням змін до них [6, 7, 8].

Розрахунки деформацій основи проведені кількома методами, в кілька етапів, результати розрахунків занесено в табл. 1.

Розрахунок 1 проведено для будівлі без урахування корисного навантаження, що відповідає періоду повного зведення будівлі до здачі в експлуатацію. Модулі деформації ґрунтів підстави взяті з геології, змодельоване підставу відповідне природному. Розрахунок 2 той же, але з корисним навантаженням - етап після здачі в експлуатацію. Обидва розрахунки проведені за допомогою моделювання будівлі повністю в ПК Ліра і ґрунтової основи в Ліра Ґрунт.

Розрахунки 3 та 4 теж розрахунки проведені з корисним навантаженням і без нього, але проведені в ручну по ДБН і з усередненим модулем в межах стиснутої товщі ґрунтів основи деформації підстави рівним Е = 30 МПа.

Розрахунок 5 контрольний розрахунок в калькуляторі С1, С2 в ПК Ліра (методика ДБН).

Розрахунок 6 зворотний розрахунок проведений для отримання реального модуля деформації, знаючи реальні опади будівлі з результату моніторингу осад будівлі. Без урахування корисного навантаження.

Розрахунок 7 без урахування підвальній частині і корисного навантаження, що найближче передає реальну ситуацію на період проведення моніторингу осад будівлі. За методикою ДБН з усередненим модулем E = 30 МПа.

Розрахунок 8 зворотний розрахунок проведений для отримання реального модуля деформації, знаючи реальні опади будівлі з результату моніторингу осад будівлі. Без урахування корисного навантаження і ваги підвальній частині будівлі.

Розрахунок 9 по модулю отриманого при зворотному розрахунку (розрахунок 8) перераховані повні деформації будівлі з урахуванням всіх навантажень. Ізополя переміщень за віссю Z, отпримані за результатом розрахунку приведено на рис. 3.

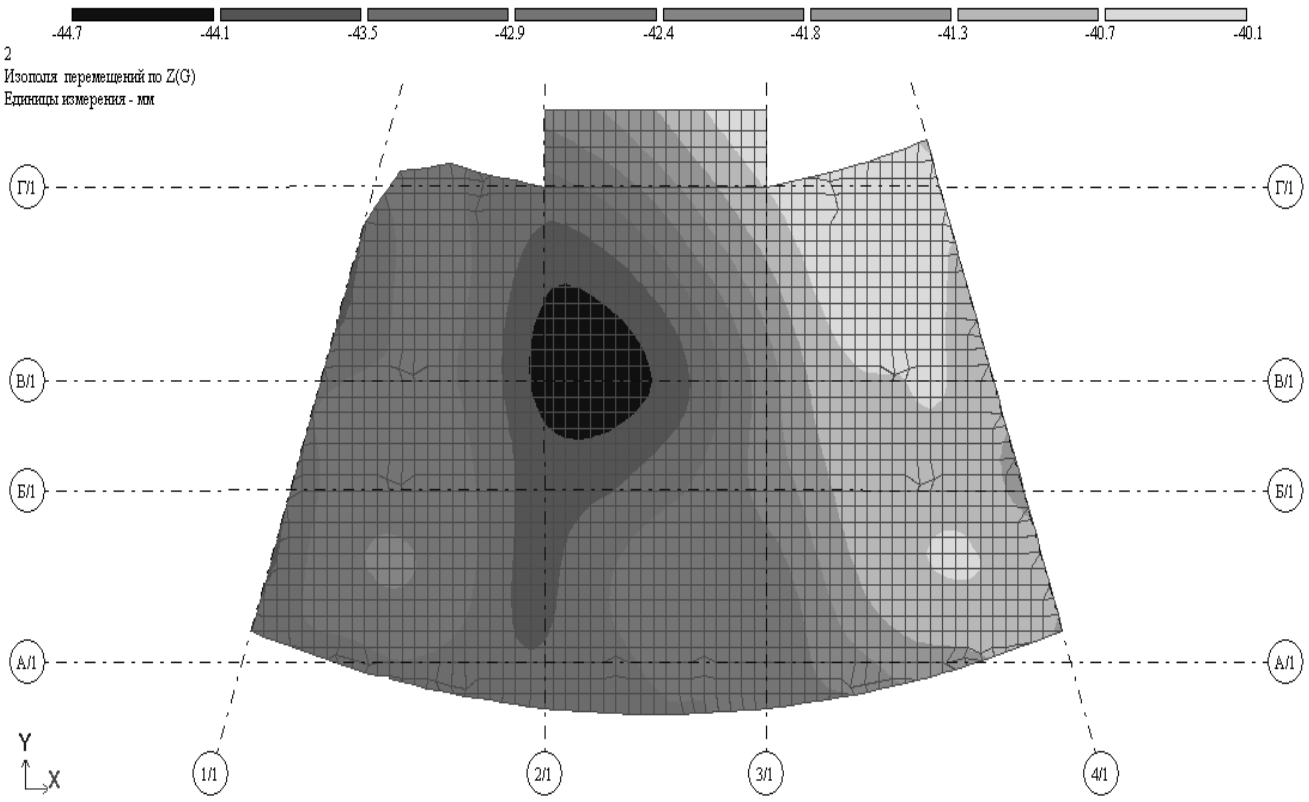

Рис. 3. Ізополя переміщень за віссю Z (Розрахунок 9).

Результати розрахунків

За результатами розрахунків просторової моделі житлового будинку за всіма передбаченими варіантами розрахункових сполучень навантажень (РСН) одержане значення розрахункового осідання основи порівнюють з гранично допустимим значенням осідання S_u, яке визначається за [4].

Таблиця 2

Результати розрахунків

№	Методика розрахунку	$E_{ср}$,*кПа*	P, кН	S, см	Примітки
1	Ліра Ґрунт	24000…	118550	10.2	Без врахування корисного навантаження
2	Ліра Ґрунт	24000…	148000	11.6	Враховуючи корисне навантаження
3	ДБН В.2.1-10	30000	118550	7.6	Без врахування корисного навантаження
4	ДБН В.2.1-10	30000	148000	10.2	Враховуючи корисне навантаження
5	Калькулятор С1, С2 (Ліра)	30000	118550	7.6	Без врахування корисного навантаження
6	ДБН В.2.1-10	86500	118550	2.4	Реальні деформації без врахування корисного навантаження
7	ДБН В.2.1-10	30000	102040	5.0	Без врахування корисного навантаження і підвалу
8	ДБН В.2.1-10	67000	102040	2.4	Без врахування корисного навантаження і підвалу
9	Ліра Ґрунт	67000	148000	4.47	Повне навантаження і реальний модуль $E_{ср}$

Висновки і рекомендації

Модуль деформації отриманий за результатами інженерно-геологічних вишукувань при розрахунках осідань завищує деформації основи в кілька разів порівняно з результатами натурних спостережень. Існує можливість отримати надійні модулі деформації на основі моніторингу осідань будівель.

Прийняття до розрахунків низьких значень E буде забороняти використання більш дешевого і простого плитного типу фундаментів, порівняно з пальовим. З іншого боку необхідно забезпечувати надійність конструктивних рішень, що приймаються.

Перелік посилань

1. Звіт про інженерно-геологічні вишукування на просп. Героїв Сталінграда, 2-б./ ДП «Інститут «Київгео». – К.: 2010. – 73 с.

2. ДБН В.1.2-14-2009. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ / Мінрегіонбуд України. – К. : Укрархбудінформ, 2009. – 37 с.

3. ДБН В.2.2-24:2009. Будинки і споруди. Проектування висотних житлових і громадських будинків / Мінрегіонбуд України. – К. : Укрархбудінформ, 2009. – 133 с.

4. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування / Мінрегіонбуд України. – К. : Укрархбудінформ, 2009. – 104 с.

5. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування / Мінрегіонбуд України. – К. : Укрархбудінформ, 2006. – 59 с.

6. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. Зміна 1 / Мінрегіонбуд України. – К. : Укрархбудінформ, 2011. – 55 с.

7. Зміна № 1 ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування, 2007.

8. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Прогини і переміщення. Вимоги проектування / Мінбуд України. – К. : Сталь, 2006. – 9 с.

9. Кушнер С.Г. Расчет деформаций сданий и сооружений. З.: ООО "ИПО Запорожье", 2008.-67 илл. - 496 с.

Аннотация.

Основной метод определения *E*-одометрический. Полученные величины модуля деформации необходимо контролировать и корректировать. Существует методика получения *E* по результатам мониторинга осадок зданий. Она дает адекватные величины *E*, в свою очередь позволяет получить более точные значения прогнозируемых деформаций, что может влиять на выбор более экономичного типа фундамента для подобных секций здания.

Ключевые слова: модуль деформации, мониторинг осадок здания, одометрические испытания грунта.

Annotation.

The Basic method of obtaining E is oedometer method. The resulting modulus value is necessary to control and adjust. There is a method of obtaining E by base deformations monitoring results. It provides adequate value of E, which in its turn provides a more accurate value predicted deformations that can influence the choice of a more economical foundation type for same sections of the building.

Keywords: deformation modulus, building sediment monitoring, oedometer soil test.