

Визначення модулю деформації ґрунтоцементу лабораторними методами при вишукуваннях для будівництва

Олександр НОВИЦЬКИЙ¹, Євгеній СКРИПКА²

Сумський Національний Аграрний Університет
вул. Герасима Кондратьєва, 160, м. Суми, 40021, Україна.
¹novitskiy.a.p@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5923-9524>
²e.skrypka.gs@snau.edu.ua, orcid.org/0009-0003-1405-8115

DOI: 10.32347/0475-1132.49.2024.95-103

Анотація. У сучасному будівництві багатоповерхових будівель все більше набувають поширення палюві фундаменти в складних умовах слабких ґрунтів. Для сучасних інженерів постає непроста задача вибору проектних рішень, які повинні не лише відповідати сучасним вимогам будівництва, але й забезпечувати економічну доцільність в умовах щільної забудови міст та складної геології. Одним із перспективних методів вирішення цієї проблеми є застосування ґрунтоцементних елементів для підсилення основи, як альтернатива палювим фундаментам. Цей підхід дозволяє значно скоротити витрати на зведення фундаментів та зменшити трудомісткість процесів, пов'язаних із проектуванням і будівництвом, завдяки нескладній технології влаштування таких елементів.

Основною метою дослідження є оцінка фізико-механічних властивостей ґрунтоцементу, виготовленого бурозмішувальним методом, а також визначення його модуля деформації при будівництві житлового будинку.

Для визначення модулю деформації підсиленої основи багатоповерхової житлової будівлі були отримані дані інженерно геологічних вишукувань. В основі геологічної будови території на розвідану глибину беруть участь: суглинки, супіски та глини. Згідно отриманих даних було виявлено просідні властивості ґрунтів на глибині від 7.5 до 8.4 м.

Для досягнення цієї мети було проведено низку підготовчих робіт, серед яких – підготовка обладнання, зокрема прибор МІІ-100 для вимірювання міцності на вигин з робочим діапазоном вимірювань до 100 кгс/см², а також виготовлення зразків призм розмірами 40х40х160 для проведення лабораторних випробувань. Підготовлені зразки дозволили реалізувати повний



Олександр НОВИЦЬКИЙ
завідувач кафедри будівництва та експлуатації будівель, доріг та транспортних споруд
к.т.н..



Євгеній СКРИПКА
аспірант факультету будівництва та транспорту СНАУ

цикл експериментальних досліджень, які включали випробування на міцність та деформаційні характеристики.

Отримані результати дозволили зробити висновок, що модуль деформації основи, посиленої ґрунтоцементними елементами, збільшується у 15 разів порівняно зі звичайними ґрунтами. Це є важливим аргументом на користь застосування ґрунтоцементу в умовах слабких глинистих ґрунтів.

Дослідження підтверджує високу ефективність використання ґрунтоцементу для посилення основ з методикою перевірки модулю деформації при вишукуваннях. Особливу увагу заслуговує практичне значення роботи, що полягає у підвищенні надійності та довговічності конструкцій багатоповерхових будівель. Такий метод може бути успішно впроваджений в сучасне будівництво, що дозволить зменшити матеріальні витрати, оптимізувати технологічні процеси та підвищити експлуатаційні характеристики будівель і споруд.

Ключові слова: ґрунтоцемент, ґрунтоцементні елементи, підсилення основи, модуль деформації, лабораторні випробування.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Будівництво багатоповерхових будівель у складних геологічних умовах супроводжується низкою проблемних аспектів, серед яких особливу увагу привертають складнощі з прийняттям інженерних рішень і підвищенні економічні витрати. Якщо розглядати будівництво в складних умовах з економічної точки зору то виходить, що вартість витрат на пристосування будівель до таких основ може сягати до 30% від загальної вартості будівництва. Тому існує потреба в зменшенні вартості на основі сучасних теоретичних і технічних досягнень які були застосовані в даному дослідженні.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

В роботах М.Л. Зоценко [1], Zotsenko, M [3,] Zotsenko, N [4], О.П.Новицький [7], Nesterenko.T [11], Ю.Л. Винников [12], розглянуто технологію влаштування ґрунтоцементних елементів для підсилення основ та спосіб їх виготовлення. Також були проаналізовані дослідження іноземних вчених, зокрема праці Denies, N [2] та Ahmed Farouk [10].

Висвітлені розрахунки фізико-механічні властивостей ґрунтоцементних основ таких як: напружено - деформованого стану та осідання в дослідженнях Крисан, В.І. [5], Ю.Л. Винников [12].

У працях Zotsenko, N [4], Ларцева, І.І. [6] висвітлено питання економічної ефективності використання ґрунтоцементних паль в будівництві.

Методологію проведення лабораторних досліджень з визначення міцності на згин і стиск прийняті за ДСТУ Б В.2.7-187:2009 [8], методи визначення призмової міцності, модуля пружності і коефіцієнта Пуассона були детально розглянуті в ДСТУ Б В.2.7-217:2009 [9].

МЕТА РОБОТИ

Метою дослідної роботи є визначення модуля деформації ґрунтоцементу як важливого параметра для оцінки фізико-механічних властивостей основи при будівництві багатоповерхового житлового будинку в м. Суми.

Дослідження спрямовані на розробку та вдосконалення технологій зміцнення основ, що дозволяють зменшити витрати на зведення фундаментів у складних геологічних умовах, зокрема ті, що мають просідаючі властивості.

Оцінка модуля деформації дає змогу визначити доцільність застосування бурозмішувального методу створення ґрунтоцементних елементів.

ЗАДАЧІ

- 1) Аналіз даних інженерно-геологічних вишукувань в межах будівельного майданчика;
- 2) Розробка плану проведення випробувань для визначення модуля деформації з урахуванням особливостей ґрунтових умов;
- 3) Підготовка зразків ґрунтоцементу для проведення випробувань на згин, стиск та осьового навантаження. Виконання серії експериментів;
- 4) Аналіз результатів випробувань, розрахувати модуль деформації основи, виконати порівняльний аналіз модуля деформацій до та після підсилення ґрунтоцементними елементами.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Основними методами дослідження були лабораторні випробування, зокрема поступове навантаження зразків призматичної форми осьовим стисковим зусиллям.

Методика випробувань передбачала використання спеціалізованого обладнання МІІ-100 для визначення міцності зразків на вигин.

Надалі виготовлялися зразки, що використовувались для випробувань на стиск із фіксацією деформаційних показників за

допомогою індикаторів за методикою визначення модулю деформації на призмах.

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для визначення модулю деформації підсиленої основи багатоповерхової житлової будівлі в м. Суми були отримані дані інженерно геологічних вишукувань.

В геологічній будові території на розвідану глибину беруть участь: водно-льодовикові флювіогляціальні відкладення - **(fgII_{dn})**- суглинки бурувато - сірі, напівтверді та супіски червонувато – бурі, пластичні; четвертинний погребений ґрунтово – рослинний шар – **(e III)**- суглинки лесовидні, тугопластичні, четвертинні еолово- делювіальні відкладення – **(vd III)** - лесовидні глини, суглинки, суглинки з рослинними домішками, що з поверхні перекриті сучасним **(eIV)** ґрунтово- рослинним шаром,

представленим суглинками та техногенними насипними ґрунтами **(tIV)**.

На ділянці виділено наступні інженерно-геологічні елементи:

ІГЕ 1**(eIV)**: ґрунтово-рослинний шар – суглинки, темно-сірі, тверді, з рослинними домішками.

ІГЕ 2**(vd III)**: Суглинки лесовидні, бурі, темно-бурі, тверді, з рослинними домішками.

ІГЕ 3**(vd III)**: Суглинки лесовидні, палеві, світло-бурі, тверді, високопористі, карбонатні, просідні.

ІГЕ 4**(vd III)**: Суглинки лесовидні, світло-сірі, бурі, сірувато-бурі, напівтверді, з прошарками тугопластичних, просідні, в підшві зі слідами окисів заліза.

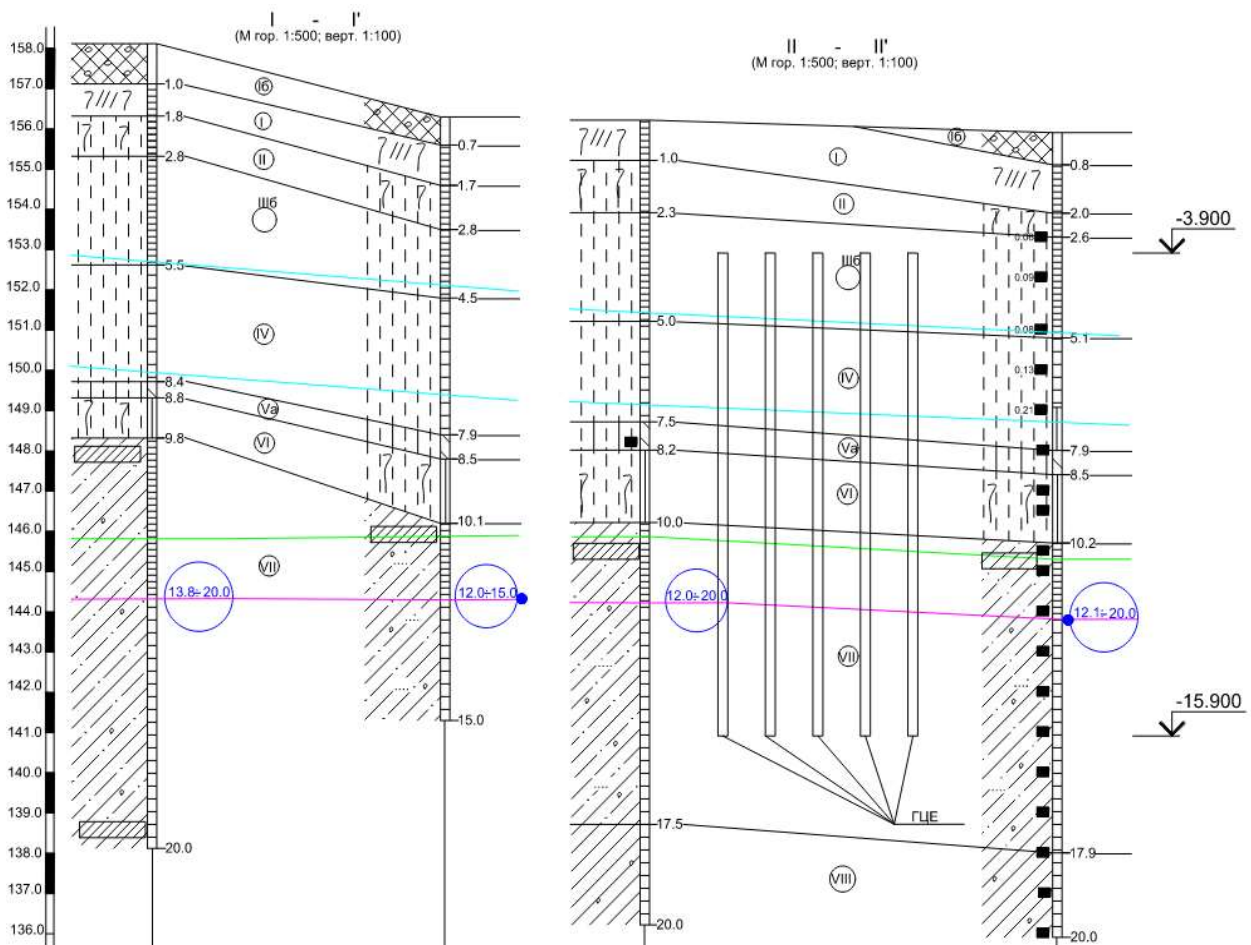


Рис. 1. Інженерно – геологічний розріз
Fig. 1. Engineering-Geological Cross-Section

ІГЕ 5a(vd III): Глини лесовидні, світло-бурі, бурувато-сірі, м'якопластичні, з прошарками тугопластичних, просідних властивостей не проявили.

ІГЕ 6(е III): Суглинки лесовидні, коричневатобурі, темно-коричневі, туголастичні (погребений ґрунтово-рослинний шар), з домішками органічних речовин, просідних властивостей не проявили.

ІГЕ 7(flgII dn): Супіски бурі, червонувато бурі, жовтувато-бурі, в покрівлі тверді, з прошарками суглинків, нижче – пластичні, з жорсткою кристалічних порід, з прошарками пісків та суглинків.

ІГЕ 8(flgII dn): Супіски бурі, бурувато-сірі, напівтверді, рідко з жорсткою кристалічних порід.

Для випробування був відібраний ІГЕ IV, оскільки має просідні властивості та модуль деформації у замоченому стані 2,5 МПа.

Під час дослідження ґрунтоцементу на згин були підготовлені балкові зразки та випробувані на приборі МІІІ-100.

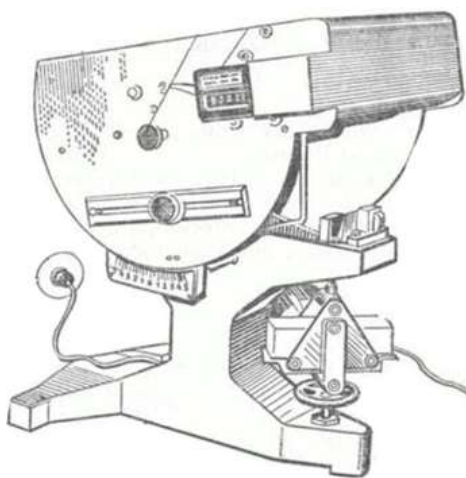


Рис. 2. Прибор МІІІ-100.
Fig. 2. Testing Machine МІІІ-100

Методика випробування на даній машині полягає в наступному – дослідний зразок повинен бути закріплений на опорах рухомих граней кулака. Потім, обертаючи маховик регулювального гвинта коромисла, його необхідно вивести з положення рівноваги так, щоб коромисло в момент руйнування зразка було приблизно протилежно нулю на шкалі.

Зусилля, створюване рухомим вантажем, передається напрямною коромисла за

допомогою важеля рукоятки. Положення вантажу на поворотному плечі, що визначає величину навантаження, прикладеного до зразка, визначається лічильником, що вказує величину напруги на згин. Навантаження передається через редуктор і головний гвинт.

У положенні перемикача «вперед» (нижнє положення ручки управління) електрична ланцюг замикається розмикаючим контактом мікроперемикача МП-8, обмотки ротора, відцентрового регулятора і обмотки стартера. Навантаження передається направляючими коромисел, що призводить до навантаження зразка.

Після руйнування зразка коромисла, що крутиться на стійках, і удару об хвостовик шайби амортизатора, а двигун вимикається мікроперемикачем МП-6, результат випробування фіксується на лічильник.

У положенні тумблера «назад» (верхнє положення ручки управління) – це прискорене повернення вантажу у вихідне положення. Ланцюг замикається розмикаючим контактом мікротрансформатора МП-3 і опором, минаючи відцентровий регулятор. Швидкість обертання електродвигуна збільшується в 2-4 рази. В кінці зворотного ходу вантаж притискає важіль і відпускає штифт міні-трансформатора МР-3, таким чином знову вмикаючи відцентровий регулятор.

Для визначення міцності на вигин використовують три балкові зразки розміром 40x40x160мм, які випробовують за вище описаною методикою.

Шість половин зразків балки, отриманих після випробувань на згин, негайно випробовують на стиск. Половину балки зразка поміщають між двома плитами так, щоб бічні грані, які при виготовленні примикали до стінок форми, були на площині пластин, а упори пластин щільно прилягали до гладкого торця форми.

Пакет зразків із пластинами центрується на базовій плиті випробувальної машини. Середня швидкість збільшення навантаження під час випробування повинна становити (2400 ± 200) Н/с або $(2,4 \pm 0,2)$ кН/с

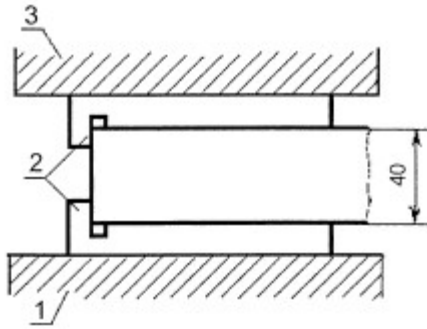


Рис. 3. Розташування зразка між пластинами
Fig. 3. Positioning of the sample between plates

Розташування зразка між пластинами: 1 – напірна нижня пластина; 2 – пластини; 3 – притискна верхня пластина щільно прилягає до гладкого плоского кінця пакета зразків.



Рис. 4. Випробування призми на модуль деформації

Fig. 4. Prism testing for deformation modulus

Табл. 1. Результатами випробувань зразків-балочок

Table. 1. Results of beam-shaped sample tests

№	b, мм	h, мм	l, мм	маса, г	об'єм, мм ³	густина, г/см ³	міцність на згин, н/мм ²	руйнівне зусилля на стиск, н		міцність на стиск, н/мм ²		
								1 половина	2 половина	1 половина	2 половина	
1	40	40	160	357,9	256000	1,398	0,84	5400	6000	2,16	2,4	
2	40	40	160	366	256000	1,430	0,72	6400	6600	2,56	2,64	
3	40	40	160	352,3	256000	1,376	0,65	5600	4400	2,24	1,76	
середня						1,401	0,74			2,32	2,27	2,29

Випробування на згин. Результат випробування на згин розраховується як середнє арифметичне результатів трьох одиниць, отриманих під час випробування трьох зразків балки. Кожен результат повинен бути точностю не менше 0,1 МПа. Середнє значення наводиться з точностю не менше 0,1 МПа.

Міцність на стиск. Міцність на стиск окремого зразка розраховується як частка від поділу руйнівного навантаження на робочу площу пластини, тобто. Результат випробування на міцність та на стиск розраховується як середнє арифметичне результатів шести одиниць, отриманих під час випробування зразків балки. Кожен результат дається з точностю не менше 0,1 МПа.

Середнє значення наводиться з точностю не менше 0,1 МПа. Результати заносяться в таблицю.

Суть методу визначення модуля деформації ґрунтового цементу полягає у випробуванні поступовим навантаженням зразків або циліндрових зразків стандартного розміру осьового навантаження на стиск до руйнування, при визначенні призматичної міцності і до 30% руйнівного навантаження при визначенні модуля пружності і коефіцієнта Пуассона.

Міцність призми, модуль пружності та коефіцієнт Пуассона слід визначати на зразках із співвідношенням висоти до ширини (діаметра) яке дорівнює чотири. Ширина (для циліндрів – діаметр) зразків повинна бути 70 мм, 100 мм, 150 мм, 200 мм, 300 мм залежно від призначення і типу конструкцій і виробів. За основу береться зразок розміром 150 мм x 150 мм x 600 мм.

Наступний крок – тестування. Перед початком випробування зразок з приладами

встановлюють по центру на розмітку прес-пластини і перевіряють зв'язок початкового показання зі шкалою приладу.

Початкова сила стиснення зразка, яка приймається за умовний нуль (повинна становити не більше 2% від очікуваного руйнівного навантаження).

При центруванні зразків необхідно, щоб на початку випробування від умовного нуля до навантаження, що дорівнює $(40 \pm 5\%) N_u$, відхилення деформацій на кожній грані (генеруюча) не перевищували 10% їх середнього арифметичного. Якщо ця вимога не виконується при навантаженні, що дорівнює або перевищує $(10 + 5)\% N_u$, зразок слід розвантажити, змістити відносно центральної осі маркування пресової пластини в бік великих деформацій і знову центрувати.

При центруванні деформації зразків, виміряних між центрами отворів, в яких індикатори кріплення віднесені до граней зразка, визначають за формулами:

$$\Delta_1 = \Delta'_1 + \frac{(\Delta_2 - \Delta'_1)c}{2c + a}; \quad (1)$$

$$\Delta_2 = \Delta'_1 + \frac{(\Delta_2 - \Delta'_1)(a + c)}{2c + a}, \quad (2)$$

де Δ'_1 і Δ'_2 – виміряні деформації за індекаторами, що кріпляться на протилежних гранях зразка;

Δ_1 і Δ_2 – деформації, віднесені до граней зразка;

a – розмір сторони зразка;

c – відстань від грані зразка до центра отворів, у яких кріплять індикатори.

При визначенні призмової міцності, модуля пружності і коефіцієнта Пуассона ґрунтоцементу навантаження зразка до рівня навантаження, яке дорівнює $(40 \pm 5)\% N_u$, слід робити ступенями, що дорівнюють 10% очікуваного руйнівного навантаження, зберігаючи в межах кожного ступеня швидкість навантаження $(0,6 \pm 0,2)$ Мпа/с.

На кожному ступені витримуються навантаження від 4 хв до 5 хв і записуються відліки по приладах напочатку та наприкінці витримки ступеня навантаження в журнал за

Табл. 2. Таблиця контрольних випробувань призми на модуль деформації
Table. 2. Table of prism control tests for deformation modulus

	1 ИЧ	2 ИЧ				кг	кг/см2	мпа
0,00	7,50	8,48	0,00	0,00	0,00	0		
0,05	7,5	8,48	0,00	0,00	55,42	125	0,56	0,05
0,11	7,5	8,48	0,00	0,00	90,83	250	1,11	0,11
0,16	7,5	8,48	0,00	0,00	121,11	375	1,67	0,16
0,22	7,5	8,48	0,00	0,00	140,65	500	2,22	0,22
0,27	7,5	8,48	0,00	0,00	163,50	625	2,78	0,27
0,33	8,36	9,35	0,86	0,87	178,36	750	3,33	0,33
0,38	8,83	9,75	1,33	1,27	176,08	875	3,89	0,38
0,44	9,01	9,93	1,51	1,45	176,76	1000	4,44	0,44
0,49	9,16	10,12	1,66	1,54	178,36	1125	5,00	0,49
0,55	9,35	10,29	1,85	1,81	178,69	1250	5,56	0,55
0,60	9,52	10,43	2,02	1,95	181,21	1375	6,11	0,60
0,65	9,59	10,51	2,09	2,03	190,49	1500	6,67	0,65
0,71	9,64	10,56	2,14	2,08	201,47	1625	7,22	0,71
0,76	9,84	10,77	2,34	2,29	197,75	1750	7,78	0,76
0,82	9,97	10,91	2,47	2,43	200,20	1875	8,33	0,82
0,87	10,04	11,01	2,54	2,53	206,39	2000	8,89	0,87
0,93	10,13	11,11	2,63	2,63	211,37	2125	9,44	0,93
0,98	10,23	11,18	2,73	2,70	216,80	2250	10,00	0,98
1,04	10,3	11,25	2,80	2,77	223,09	2375	10,56	1,04
1,09	10,35	11,32	2,85	2,84	229,88	2500	11,11	1,09
1,14	10,43	11,38	2,93	2,90	235,57	2625	11,67	1,14
1,20	10,45	11,43	2,95	2,95	243,86	2750	12,22	1,20
1,25	10,53	11,49	3,03	3,01	249,04	2875	12,78	1,25
1,31	10,61	11,54	3,11	3,06	254,39	3000	13,33	1,31
1,36	10,64	11,62	3,14	3,14	260,35	3125	13,89	1,36
1,42	10,87	11,81	3,37	3,33	253,79	3250	14,44	1,42
1,47	10,95	11,9	3,45	3,42	257,03	3375	15,00	1,47
1,53	11,04	11,94	3,54	3,46	261,60	3500	15,56	1,53
1,58	11,13	12,04	3,63	3,56	263,78	3625	16,11	1,58
1,64	11,24	12,16	3,74	3,68	264,42	3750	16,67	1,64
1,69	11,33	12,25	3,83	3,77	266,76	3875	17,22	1,69
1,74	11,53	12,47	4,03	3,99	260,95	4000	17,78	1,74
1,80	11,62	12,62	4,12	4,14	261,28	4125	18,33	1,80
1,85	11,8	12,73	4,30	4,25	260,07	4250	18,89	1,85
1,91	11,91	12,81	4,41	4,33	261,90	4375	19,44	1,91
1,96	11,97	12,88	4,47	4,40	265,43	4500	20,00	1,96
2,02	12,05	12,94	4,55	4,46	268,57	4625	20,56	2,02
2,07	12,15	13,12	4,65	4,54	267,51	4750	21,11	2,07
2,13	12,23	13,22	4,73	4,74	269,33	4875	21,67	2,13
2,18	12,35	13,31	4,85	4,83	270,25	5000	22,22	2,18
2,23	12,45	13,4	4,95	4,92	271,67	5125	22,78	2,23
2,29	12,54	13,5	5,04	5,02	273,04	5250	23,33	2,29
2,34	12,66	13,64	5,16	5,16	272,50	5375	23,89	2,34
2,40	12,83	13,8	5,33	5,32	270,20	5500	24,44	2,40
2,45	13	13,93	5,50	5,45	268,77	5625	25,00	2,45
2,51	13,18	14,12	5,68	5,54	265,76	5750	25,56	2,51
2,56	13,33	14,32	5,83	5,84	263,39	5875	26,11	2,56
2,62	13,58	14,51	6,08	6,03	259,22	6000	26,67	2,62
2,67	13,83	14,79	6,33	6,31	253,53	6125	27,22	2,67

формою додатка Г згідно ДСТУ Б В.2.7-217:2009. [9]

Результати випробувань наведені в таблиці №2.

Згідно отриманих результатів випробувань виконуємо розрахунок модулю деформації ґрунтоцементної основи за формулою:

$$E = \frac{E_{ГЦ} * S_{ГЦ} + E_{ГЦ} * (S - S_{ГЦ})}{S} \quad (3)$$



Рис. 5. Графік результатів випробувань
Fig. 5. Graph of test results

Де E – модуль деформації ґрунту, МПа;

$E_{ГЦ}$ – модуль деформації ґрунтоцементу (за результати випробувань приймаємо 260МПа);

$S_{ГЦ}$ – площа поперечного перерізу ґрунтоцементної палі

$E_{ГР}$ – модуль деформації ґрунту за даними інженерно-геологічних вишукувань 2,5МПа.

Проектний діаметр ґрунтоцементних елементів складає 500 мм, крок 1,2x1,2 м.

$$E = \frac{260 * 0.196 + 2.5 * (1.44 - 0.196)}{1.44} \quad (4)$$

$$E = 37.55 \text{ МПа}$$

Отже, за розрахунками модуль деформації основи підсиленої ґрунтоцементними елементами збільшується в 15 разів.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Проведені лабораторні випробування модулю ґрунтоцементу за методикою, що застосовується для будівельних розчинів. Ґрунт відібраний при вишукуванні на будівельному майданчику для лабораторних випробувань та визначень фактичних фізико-механічних показників.

У результаті отриманий показник модулю деформації складає 260 МПа. Отримані дані за результатами лабораторних випробувань прийняті для розрахунку модулю деформації основи підсиленої ґрунтоцементними елементами.

Рекомендується визначати фактичні показники модулю деформації ґрунтоцементу в лабораторних умовах при вишукуванні для отримання точних розрахункових даних для кожного ІґЕ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Зоценко М.Л. Бурові ґрунтоцементні палі, які виготовляються за бурозмішувальним методом: монографія / М.Л. Зоценко– Харків: «Друкарня Мадрид». – 2016
2. Denies, N. (2012). Summary of the short courses of the IS-GI 2012 latest advances in deep mixing. / N. Denies, G.V Lysebetten, // *Proc. Of the Intern. Symposium on Ground Improvement IS-GI. Brussels.* – 2012
3. Zotsenko, M., Vynnykov, Yu., Doubrovsky, M., Oganessian, V., Shokarev, V., Syedin, V., Shapoval, A., Poizner, M., Krysan, V. & Meshcheryakov, G. Innovative solutions in the field of geotechnical construction and coastal geotechnical engineering under difficult engineering-geological conditions of Ukraine. / M. Zotsenko, Yu. Vynnykov, M. Doubrovsky, V. Oganessian, V. Shokarev, V. Syedin, A. Shapoval, M. Poizner, V. Krysan, G. Meshcheryakov // *Proc. Of the 18th Intern. Conf. On Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Paris.* –2013
4. Zotsenko, N., Vynnykov, Yu. & Zotsenko V. Soil-cement piles by boring-mixing technology. Energy, energy saving and rational nature use. // *Oradea University Press,* – 2015.
5. Крисан, В.І. Дослідження напружено- деформованого стану ґрунтового масиву, армованого ґрунтоцементними елементами, що виготовлені по струминно-змішувальній методиці: автореф. дис. канд. техн. наук : 05.23.02 / Крисан, Володимир Іванович – Полтава. Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, 2010 – 23 с.
6. Ларцева, І.І. Економічна ефективність використання ґрунтоцементних паль як фундаментів будівель і споруд. / І.І. Ларцева, Р.В. Петраш, С.С. Петраш // *Економіка і регіон, 1(8).* – 2006 – С. 118-121.
7. Новицький, О.П. (2015). Віб्रोармовані ґрунтоцементні палі, виготовлені за бурозмішувальним методом. // (Автореф. Дис. Канд. Техн. Наук). *Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Полтава.*
8. Цементи. Методи визначення міцності на згин і стиск: ДСТУ Б В.2.7-187:2009. – [Чинний від 01.12.2009]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009.
9. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення призмової міцності, модуля пружності і коефіцієнта Пуассона. ДСТУ Б В.2.7-217:2009. – [Чинний від 01.09.2010]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010.
10. Ahmed Farouk, M. M. Ground improvement using soil–cement columns / M. M. Ahmed Farouk // *Experimental investigation. Alexandria Engineering Journal,* – 2013. – P. 733-740.
11. Tetiana Nesterenko, O. N. Vibrated soilcement piles. // *International Journal of Engineering & Technology,* – 2018. – P. 269-274.
12. Винников Ю. Л, Порівняння осідань ґрунтоцементних основ будівель, визначених аналітично та тривалими геодезичними спостереженнями. / Ю. Л. Винников // *Міжнародна науково-практична конференція / Національний університет цивільного захисту України.* – Харків, 2023 – С. 26-27.

REFERENCES

1. M.L. Zotsenko. (2016) Burovi gruntotsementni pali, yaki vyhotovliaiutsia za burozmishuvalnym metodom [Drilled soil-cement piles manufactured using the drilling and mixing method] Monohrafiia – Kharkiv: «Drukarnia Madryd».
2. Denies, N. & Lysebetten, G.V. (2012). Summary of the short courses of the IS-GI 2012 latest advances in deep mixing. *Proc. Of the Intern. Symposium on Ground Improvement IS-GI. Brussels.*
3. Zotsenko, M., Vynnykov, Yu., Doubrovsky, M., Oganessian, V., Shokarev, V., Syedin, V., Shapoval, A., Poizner, M., Krysan, V. & Meshcheryakov, G. (2013). Innovative solutions in the field of geotechnical construction and coastal geotechnical engineering under difficult engineering-geological conditions of Ukraine. *Proc. Of the 18th Intern. Conf. On Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Paris.*
4. Zotsenko, N., Vynnykov, Yu. & Zotsenko V. (2015) Soil-cement piles by boring-mixing technology. Energy, energy saving and rational nature use. *Oradea University Press.*
5. Krysan, V.I. (2010). Doslidzhennia napruzhenodeformovanoho stanu gruntovoho masyvu, armovanoho gruntotsementnymy elementamy, shcho vyhotovleni po strumynno-zmishuvalnii metodytsi. [Investigation of the stress-strain state of a soil massif reinforced with soil-cement elements made by the jet-mixing method.] *Avtoref. Dys. Kand. Tekhn. Nauk. Poltava: Poltavskyyi natsionalnyi tekhnichnyi universytet imeni Yuriiia Kondratiuk, 23.* (in Ukrainian).

6. Lartseva, I.I., Petrash, R.V. & Petrash, S.S. (2006). Ekonomichna efektyvnist vykorystannia gruntotsementnykh pal yak fundamentiv budivel i sporud. [Economic efficiency of using soil-cement piles as foundations for buildings and structures.] *Ekonomika i rehion*, 1(8). 118-121.
7. Novytskyi, O.P. (2015). Vibroarmovani gruntotsementni pali, vyhotovleni za buruzmishuvalnym metodom. [Vibration-reinforced soil-cement piles made using the drilling and mixing method.] Avtoref. dys. kand. tekhn. nauk. Poltavskiy natsionalnyi tekhnichnyi universytet imeni Yurii Kondratiuka. Poltava.
8. Tsementy. Metody vyznachennia mitsnosti na zhin i stysk: [Cements. Methods for determining flexural and compressive strength] DSTU B V.2.7-187:2009. (2009) K.: Minrehionbud Ukrainy.
9. Budivelni materialy. Betony. Metody vyznachennia pryzmovoï mitsnosti, modulïa pruzhnosti i koefitsiïenta Puassona. [Building materials. Concretes. Methods for determining prismatic strength, elastic modulus and Poisson's ratio.] DSTU B V.2.7-217:2009. – [Chynnyi vid 01.09.2010]. (2010) K.: Minrehionbud Ukrainy.
10. Ahmed Farouk, M. M. (2013). Ground improvement using soil-cement column. *Experimental investigation. Alexandria Engineering Journal*, 733-740.
11. Tetiana Nesterenko, O. N. (2018). Vibrated soilcement piles. *International Journal of Engineering & Technology*, 269-274.
12. Vynnkov Yu. L. (2023). Poryvnyannya osidannya gruntotsementnykh osnov budivel, vyznachenikh analitychno ta tryvalymy heodezychnymy sposterezhennyamy. Mizhnarodna naukovopraktychna konferentsiya [Comparison of settlements of soil-cement foundations of buildings determined analytically and by long-term geodetic observations.] Natsionalnyy universytet tsyvil'noho zakhystu Ukrainy. Kharkiv, 26-27. (in Ukrainian).

Determination of the deformation modulus of soil-cement by laboratory methods during construction site investigations.

*Oleksandr NOVYTSKYI
Yevhenii SKRYPKA*

Summary. In the modern construction of multi-storey buildings, pile foundations are becoming

increasingly common in difficult conditions of weak soils. Modern engineers face the difficult task of choosing design solutions that not only meet modern construction requirements but also ensure economic feasibility in dense urban development and complex geology. One of the most promising methods of solving this problem is the use of soil-cement elements to reinforce the foundation as an alternative to pile foundations. This approach can significantly reduce the cost of constructing foundations and reduce the labor intensity of the processes associated with design and construction due to the simple technology of such elements.

The main purpose of the study is to evaluate the physical and mechanical properties of soil cement produced by the drilling and mixing method, as well as to determine its deformation modulus during the construction of a residential building.

To determine the modulus of deformation of the reinforced base of a multi-storey residential building, data from engineering and geological surveys were obtained. The geological structure of the territory to the explored depth is based on loams, sandy loams and clays. According to the data obtained, the prolific soil properties were revealed at a depth of 7.5 to 8.4 meters.

To achieve this goal, a number of preparatory works were carried out, including the preparation of equipment, in particular the MII-100 device for measuring bending strength with a working range of measurements up to 100 kgf/cm², as well as the manufacture of prism samples measuring 40x40x160 for laboratory tests. The prepared samples made it possible to implement a full cycle of experimental studies, including strength and deformation tests.

The results obtained allowed us to conclude that the deformation modulus of the base reinforced with soil-cement elements increases by 15 times compared to conventional soils. This is an important argument in favor of using soil cement in weak clay soils.

The study confirms the high efficiency of using soil cement to strengthen foundations with a methodology for checking the deformation modulus during surveys. Particularly noteworthy is the practical significance of the work, which is to increase the reliability and durability of multi-story buildings. This method can be successfully implemented in modern construction, which will reduce material costs, optimize technological processes and improve the performance of buildings and structures.

Key words: soil cement, soil-cement elements, base reinforcement, deformation modulus, laboratory tests.