

## МЕХАНІКА ҐРУНТІВ ТА ФУНДАМЕНТИ

УДК 624.13

ПРОГРАМНИЙ РОЗРАХУНОК ОСІДАННЯ ҐРУНТУ ОСНОВ ФУНДАМЕНТІВ  
З УРАХУВАННЯМ ПРУЖНИХ І ЗАЛИШКОВИХ ДЕФОРМАЦІЙ

Мусяєнко В. В., Ткаліч А. П.

*На основі результатів натурних досліджень виконано оцінку нормативного методу розрахунку деформацій основи. Запропоновано метод розрахунку, який доповнює нормативний, з урахуванням пружних та залишкових деформацій, наведено його алгоритм та виконано розрахунок за допомогою програми.*

**Ключові слова:** фундамент; основа; пружні деформації; залишкові деформації; модуль ущільнення; алгоритм; програма.

ПРОГРАММНЫЙ РАСЧЕТ ОСАДКИ ГРУНТА ОСНОВАНИЙ ФУНДАМЕНТОВ С  
УЧЕТОМ УПРУГИХ И ОСТАТОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

Мусяенко В. В., Ткалич А. П.

*На основании результатов полевых исследований выполнена оценка нормативного метода расчета деформаций основания. Предложен метод расчета, который дополняет нормативный, с учетом упругих и остаточных деформаций, приведен его алгоритм и выполнен расчет с помощью программы.*

**Ключевые слова:** фундамент; основание; упругие деформации; остаточные деформации; модуль уплотнения; алгоритм; программа.

SOFTWARE CALCULATION UNDERLYING FOUNDATION SOIL SETTLEMENT IN VIEW  
OF ELASTIC AND PERMANENT DEFORMATION

Musienko V., Tkalich A.

*Based on the results of field research carried out assessment of a standard method of calculation of deformation of the base. The method of calculation complements the regulatory, based on the elastic and permanent deformation, and its algorithm is a calculation made using.*

**Keywords:** foundation; basis; elastic deformations; residual deformations; sealing module; algorithm; program.

**Вступ.** Сучасні методи розрахунку осідання фундаментів дозволяють отримати приблизні значення, які не враховують усі процеси, що відбуваються в ґрунтах. Для одержання більш точних даних був запропонований новий метод розрахунку осідання, який враховує пружні та пластичні деформації у ґрунті. За алгоритмом була написана програма, яка порівнює результати осідання по методу пошарового сумування та отриманими розрахунком за новим методом.

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** У чинному нормативному документі, при визначенні деформацій основи, в розрахунковій формулі всі параметри носять умовний характер. Їх значення прийняті при допущенні пружних властивостей ґрунтового середовища:

- напруження від додаткового навантаження визначені для пружного, ізотропного, лінійно-деформуємого напівпростору. Епюра напружень не залежить від властивостей, стану ґрунтів та їх багатшаровості;
- глибина стисненої товщі визначається за співвідношенням напруження без урахування деформаційних властивостей ґрунтів;
- модуль деформації – величина умовна. Його значення визначається за співвідношенням

приросту тиску до відповідного збільшення осідання у заданому інтервалі навантажень в межах I фази НДС ґрунтів основи, без урахування параметрів їх деформування: ущільнення, поперечного розширення, структурної міцності.

До теперішнього часу немає нормативного методу розрахунку осідання за межами лінійної ділянки залежності  $s=f(p)$ . У запропонованому розрахунку, який доповнює нормативний, використовуються характеристики ґрунту основи, отримані за методикою, яка дозволяє визначати пружні і залишкові деформації ґрунту:

- модуль пружності ( $E_n$ ) [2];
- модуль ущільнення ( $E_n$ ), який визначається за співвідношенням щільності скелету ґрунту в природному та ущільненому стані. Його значення не залежить від площі фундаменту [3; 4];
- поперечне розширення стисненого об'єму від зовнішнього навантаження, що виникає в процесі його ущільнення [4; 5].

Границя стисненої товщі приймається на глибині, де напруження ( $\sigma_z$ ) врівноважуються величиною структурної міцності ( $p_{str}$ ) природного ґрунту.

Результатами польових досліджень з вивчення процесів деформування ґрунтів в основі дослідних фундаментів і фундаментів будівель і споруд підтверджено наявність фаз при напружено-деформованому стані ґрунтів під впливом зовнішнього навантаження. Фактичні процеси їх розвитку у високопористих ґрунтах відрізняються від уявлень висловлених Н.М. Герсевановим [1].

Вимірювання пошарових переміщень і визначення щільності скелету природного ґрунту після його ущільнення, дозволили визначити критерії процесів деформування у межах кожної фази НДС.

*I фаза* (рис.1.а) - спостерігається при  $p \leq p_{str}$ . Це фаза переважно пружних деформацій, при яких пружний стиск не супроводжується руйнуванням структурних зв'язків на контакті між мінеральними частинками. Після зняття навантаження пружні деформації зникають.

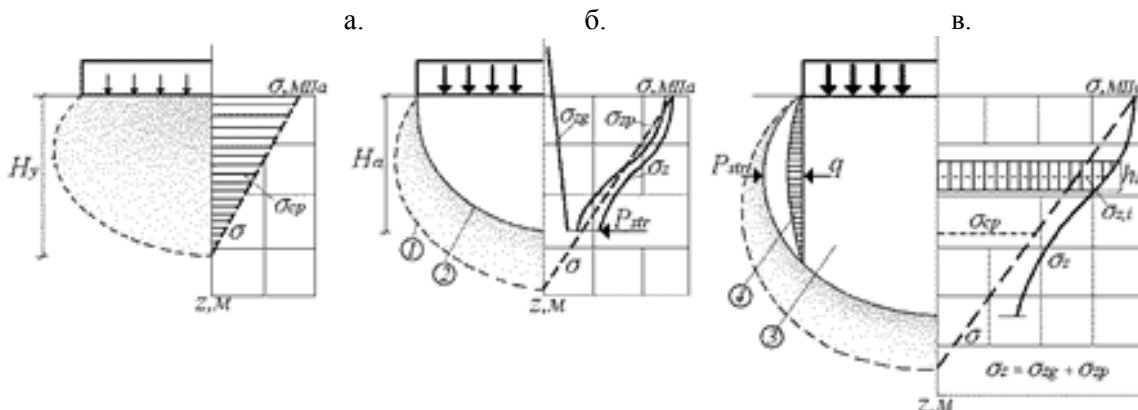


Рисунок 1 – Схеми розвитку деформацій в основі фундаментів:

1 – межа зони пружних деформацій; 2 – межа зони ущільнення; 3 – об'єм стисненого ґрунту; 4 – епюра переміщень від поперечного розширення

*II фаза* (рис.1.б) – фаза залишкових і пружних деформацій. Ущільнення ґрунту відбувається при тиску, який перевищує структурну міцність. Це є наслідком руйнування структурних зв'язків між мінеральними частинками і супроводжується підвищенням щільності скелету ґрунту. Деформації ущільнення спостерігаються в межах стисненого об'єму обмеженого підшовою фундаменту, нижньою межею зони залишкових деформацій і вертикальною поверхнею по периметру фундаменту. Нижня межа зони деформації знаходиться на глибині, де сума напруг від додаткового навантаження і власної ваги ґрунту дорівнює структурній міцності. В межах цієї фази поперечні деформації відсутні. Їх виникненню перешкоджає структурна міцність ґрунту, що оточує стиснений об'єм. Межа цієї зони є тиск по підшві фундаменту  $p_q$  при якому бічний тиск  $q$  врівноважується структурною міцністю.

*III фаза* (рис.1.в) – фаза ущільнення і поперечного розширення, виникає при бічному тиску, що перевищує структурну міцність навколишнього ґрунту. Осадка фундаменту, викликана залишковими деформаціями, є сумою двох складових: ущільненням ( $s_n$ ) і поперечним

розширенням ( $s_v$ ). На величину поперечного розширення впливають тиск, структурна міцність ґрунту і розмір фундаменту. Зі збільшенням площі підшви значення коефіцієнта поперечного розширення зменшується і для фундаментних плит площею більше 400 м<sup>2</sup> наближається до нуля (рис.2).

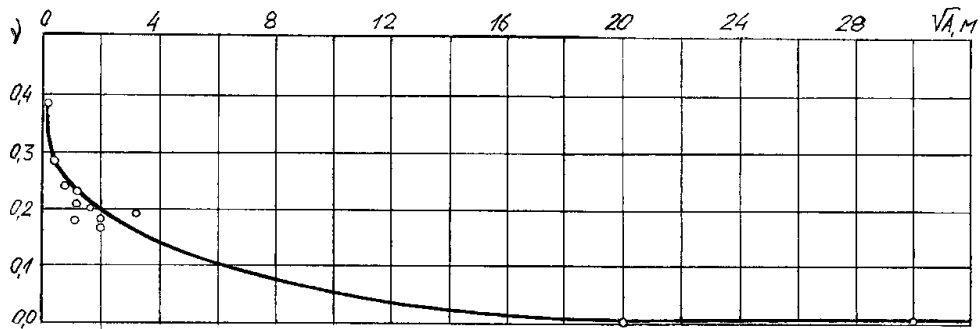


Рисунок 2 – Графік залежності коефіцієнту бічного розширення ґрунту від площі фундаменту

У межах кожної фази можуть виникати деформації характерні для інших фаз. Так наприклад, в межах першої фази, крім пружних, спостерігаються деформації ущільнення в площині підшви фундаменту, викликані відсутністю суцільності примикання ґрунту основи до поверхні підшви. У другій фазі залишкові деформації ущільнення супроводжуються пружними деформаціями. У третій фазі спостерігаються деформації: залишкові, поперечного розширення і пружні.

Алгоритм розрахунку представлений у вигляді блок-схеми (рис.3), за яким складена програма.

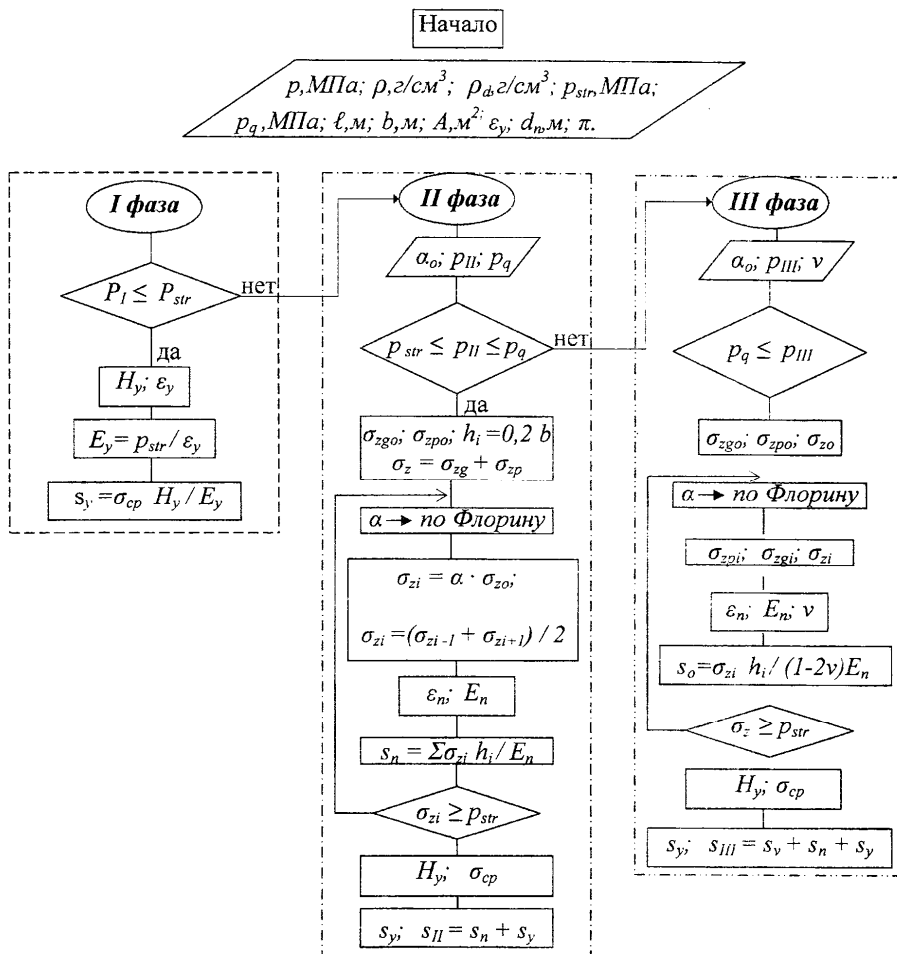


Рисунок 3 – Алгоритм програми

Дана програма написана у середі розробки Delphi, яка дозволяє створювати різні програми: від найпростіших одновіконних додатків до програм управління розподіленими базами даних. В якості мови програмування в Delphi використовується мова Delphi (Delphilanguage), що є прямим нащадком мови Pascal.

Процес створення програми в Delphi складається з двох кроків: спочатку потрібно створити форму програми (діалогове вікно), потім – написати процедури обробки подій. Форма додатка (так прийнято називати прикладні програми, які виконуються у Windows) створюється шляхом додавання на форму компонентів і подальшого їх налаштування [6].

Для написання програми використані наступні компоненти:

- 1) Edit – поле для вводу та редагування тексту;
- 2) Label – поле виводу тексту;
- 3) Button – командна кнопка;
- 4) Memo – багато строкове поле для вводу та виводу тексту;
- 5) TabSheet – компонент, який створює вкладки (для компактного розташування інших компонентів);
- 6) Image – компонент для виводу графічної інформації (епюр);
- 7) StringGrid – компонент для виводу інформації у вигляді таблиці;
- 8) Інші компоненти (меню, діалоги відкриття та збереження даних);

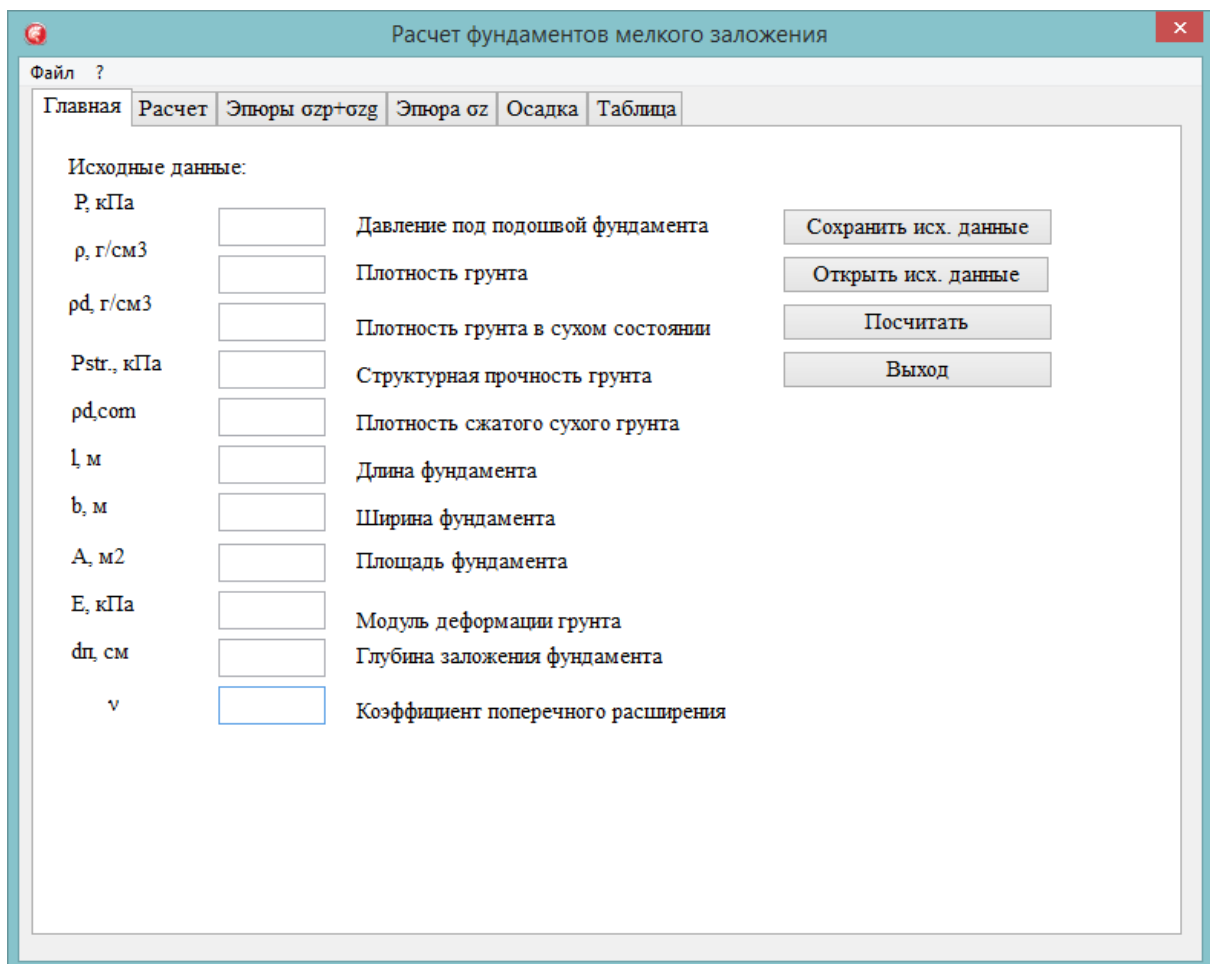


Рисунок 4 – Головне вікно програми

По даним польових випробувань дослідних фундаментів був проведений розрахунок за допомогою програми. Результати розрахунку представлені в таблиці 1 і 2. Вихідні дані для розрахунків взяті з попередніх публікацій [5; С. 90].

Таблиця 1 – Параметри виміряні при випробуваннях ґрунтів штампами

№	A м <sup>2</sup>	d <sub>пр</sub> см	p кПа	s см	H <sub>a</sub> см	ρ <sub>d,ср</sub> г/см <sup>3</sup>	ρ <sub>d,com,ср</sub> г/см <sup>3</sup>	P <sub>str</sub> кПа
1	0,04	22,6	300	10,9	39	1,45	1,64	41
2	0,1	35,7	300	14,0	62	1,45	1,62	45
3	0,25	37,5	300	16,8	88	1,44	1,60	57
4	0,5	80	300	18,5	116	1,46	1,58	67
5	0,5	80	200	17,0	110	1,43	1,54	61
6	1,0	113	200	22,7	125	1,38	1,55	73
7	1,0	113	300	21,9	112	1,39	1,57	100

Продовження таблиці 1 – Показники деформативних властивостей випробуваних ґрунтів

№	ε <sub>n</sub> -	S <sub>n</sub> см	s <sub>v</sub> см	E МПа	E <sub>гр.</sub> МПа	E <sub>n</sub> МПа	ν -
1	0,115	4,5	6,4	4	5,4	1,48	0,29
2	0,105	6,5	7,5	4,9	6,6	1,62	0,27
3	0,100	8,8	8,0	6,6	7,8	1,80	0,24
4	0,082	8,8	9,7	8,3	9,4	2,19	0,26
5	0,071	7,8	9,2	6	6,5	1,83	0,27
6	0,110	13,7	9,0	6,4	5,5	1,24	0,20
7	0,115	13,8	8,1	9,9	7,7	1,74	0,18

Таблиця 2 – Порівняння даних польових досліджень із даними розрахунків

Осідання					
№	S <sub>досл.</sub> , см	S <sub>ф.</sub> , см	похибка, %	S <sub>пошар. сум.</sub> , см	похибка, %
1	10,9	9,30	+14,68	1,2	+88,99
2	14	13,00	+7,14	1,4	+90,00
3	16,8	16,40	+2,38	1,6	+90,48
4	18,5	21,60	-16,76	1,7	+90,81
5	17	14,40	+15,29	1,4	+91,76
6	22,7	33,71	-48,50	1,7	+92,51
7	21,9	25,90	-18,26	5,6	+74,43

Продовження таблиці 2

Глибина стисненої товщі					
№	H <sub>досл.</sub> , см	H <sub>прогр.</sub> , см	похибка, %	H <sub>пошар. сум.</sub> , см	похибка, %
1	39	40	-2,56	146,6	-275,90
2	62	70,4	-13,55	234	-277,42
3	88	100	-13,64	247,5	-181,25
4	116	169	-45,69	170	-46,55
5	110	127	-15,45	306	-178,18
6	125	200	-60,00	393	-214,40
7	112	140	-25,00	433	-286,61

**Висновки**

- Під дією навантаження в ґрунтах основи виникають пружні та залишкові деформації.
- Метод пошарового сумування, наведений в нормативному документі, не враховує всі процеси, які відбуваються у фронті.
- Програма підтверджує, що фазний метод розрахунку осідання є більш точним, ніж метод пошарового сумування.

**Використана література**

1. Герсеванов Н. М. Опыт применения теории упругости к определению допускаемых нагрузок на грунт на основе экспериментальных работ. / Н. М. Герсеванов // – Собрание сочинений. Том I. – Москва. Стройвоенмориздат, 1948. – 269 с.
2. Тугаенко Ю. Ф. Принципы определения осадки фундамента в пределах ее нелинейной зависимости от давления / Ю. Ф.Тугаенко; А. П.Ткалич // Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. Полтава, випуск 4(34) Том. 1. 2012. – С. 268 – 273.
3. Тугаенко Ю. Ф. Модуль деформации в механике грунтов, методы его определения и их достоверность / Ю. Ф. Тугаенко // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Випуск № 34. – Одеса, «Зовнішрекламсервіс». – 2009. – С. 538 – 544.
4. Ткалич А. П. Зависимость показателей деформативных свойств грунтов от способа их определения / А. П. Ткалич // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури Випуск № 36. – Одеса, «Зовнішрекламсервіс». – 2009. – С. 400 – 407.
5. Тугаенко Ю. Ф. Трансформация напряженно-деформируемого состояния грунтов основания и ее учет при проектировании фундаментов / Ю. Ф. Тугаенко // Монография. – Астропринт – Одесса –2011. – 120 с.
6. Культин Н. Delphi в задачах и примерах. Санкт-Петербург, 2012. – 288 с.

**Ткалич Анатолій Павлович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри основ і фундаментів Одеської державної академії будівництва та архітектури.

**Мусієнко В'ячеслав Володимирович** – магістр Одеської державної академії будівництва та архітектури.

**Ткалич Анатолий Павлович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры оснований и фундаментов Одесской государственной академии строительства и архитектуры.

**Мусиенко Вячеслав Владимирович** – магистр Одесской государственной академии строительства и архитектуры

**Tkalich Anatoliy Pavlovich.** – Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Department of Bases and foundations Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture.

**Musienko Viacheslav Vladimirovich** – master Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture