

## ПРОГРАМНИЙ РОЗРАХУНОК ОСІДАННЯ ГРУНТУ ОСНОВ ФУНДАМЕНТІВ З УРАХУВАННЯМ ПРУЖНИХ І ЗАЛИШКОВИХ ДЕФОРМАЦІЙ

В.В. Мусієнко, А.П. Ткаліч

*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

В.В. Мусиенко, А.П. Ткалич

*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

V.V. Musienko, A.P. Tkalic

*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 дають приблизні значення, не враховуючи усіх процесів, що відбуваються в ґрунтах. Для отримання 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 напів-простору. Епюра напружень не залежить від властивостей, стану ґрунтів та їх багатшаровості.

- Глибина стисливої товщі визначається за співвідношенням напруг 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 пропонуваному розрахунку, який доповнює нормативний, використовуються характеристики ґрунту основи, отримані за методикою, яка дозволяє визначати пружні і залишкові деформації ґрунту.

- Модуль пружності ( $E_y$ ) [2].
- Модуль ущільнення ( $E_n$ ), визначається за співвідношенням щільності скелета ґрунту в природному та ущільненому стані. Його значення не залежить від площі фундаменту [3; 4].
- Поперечне розширення стискаємого об'єму від зовнішнього навантаження, що виникає в процесі його ущільнення [4; 5].
- Границя стисливої товщі приймається на глибині, де напруга ( $\sigma_z$ ) врівноважується 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 високо пористих ґрунтах відрізняються від уявлень висловлених Н.М. Герсеванова, що були в той час результатами випробувань [1].

Вимірювання пошарових переміщень і визначення щільності скелета природного ґрунту і 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.

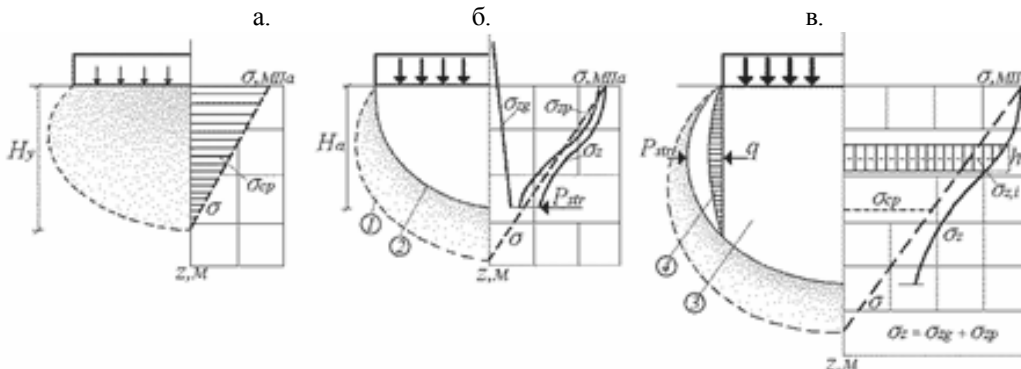


Рисунок 1 – Схеми розвитку деформацій в основі фундаментів

1. Межа зони пружних деформацій.
2. Межа зони ущільнення.
3. Об'єм ґрунту, що стискається.
4. Епора переміщень від поперечного розширення.

*II фаза* (рис.1.б) - фаза залишкових і пружних деформацій. Ущільнення ґрунту настає при тиску, який перевищує структурну міцність. Воно є наслідком руйнування структурних зв'язків між мінеральними частинками і супроводжується підвищенням щільності скелета ґрунту. Деформації ущільнення спостерігаються в межах стискуваного об'єму обмеженого підшоною 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 стискаємий 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).

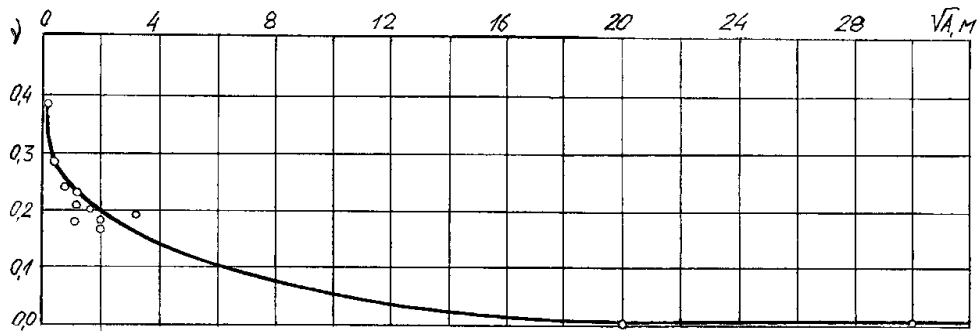


Рисунок 2 – Графік залежності коефіцієнта бокового розширення ґрунту від площі фундаменту

У межах кожної фази можуть виникати деформації характерні для інших фаз. Так наприклад, в межах першої фази крім пружних спостерігаються деформації ущільнення в площині підшови фундаменту, викликані відсутністю суцільності примикання ґрунту основи до поверхні підшови. 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.

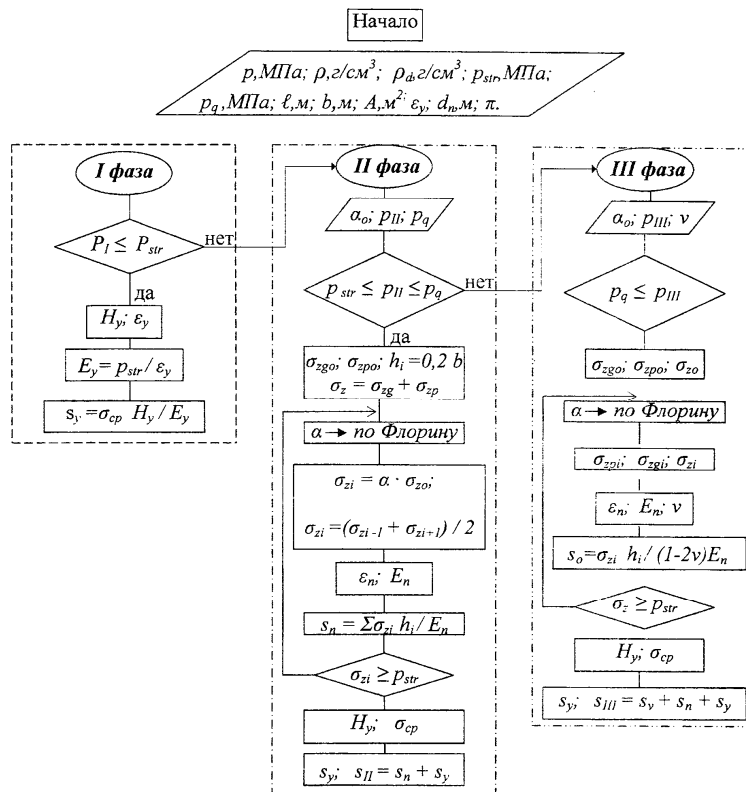


Рисунок 3 – Алгоритм програми

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);

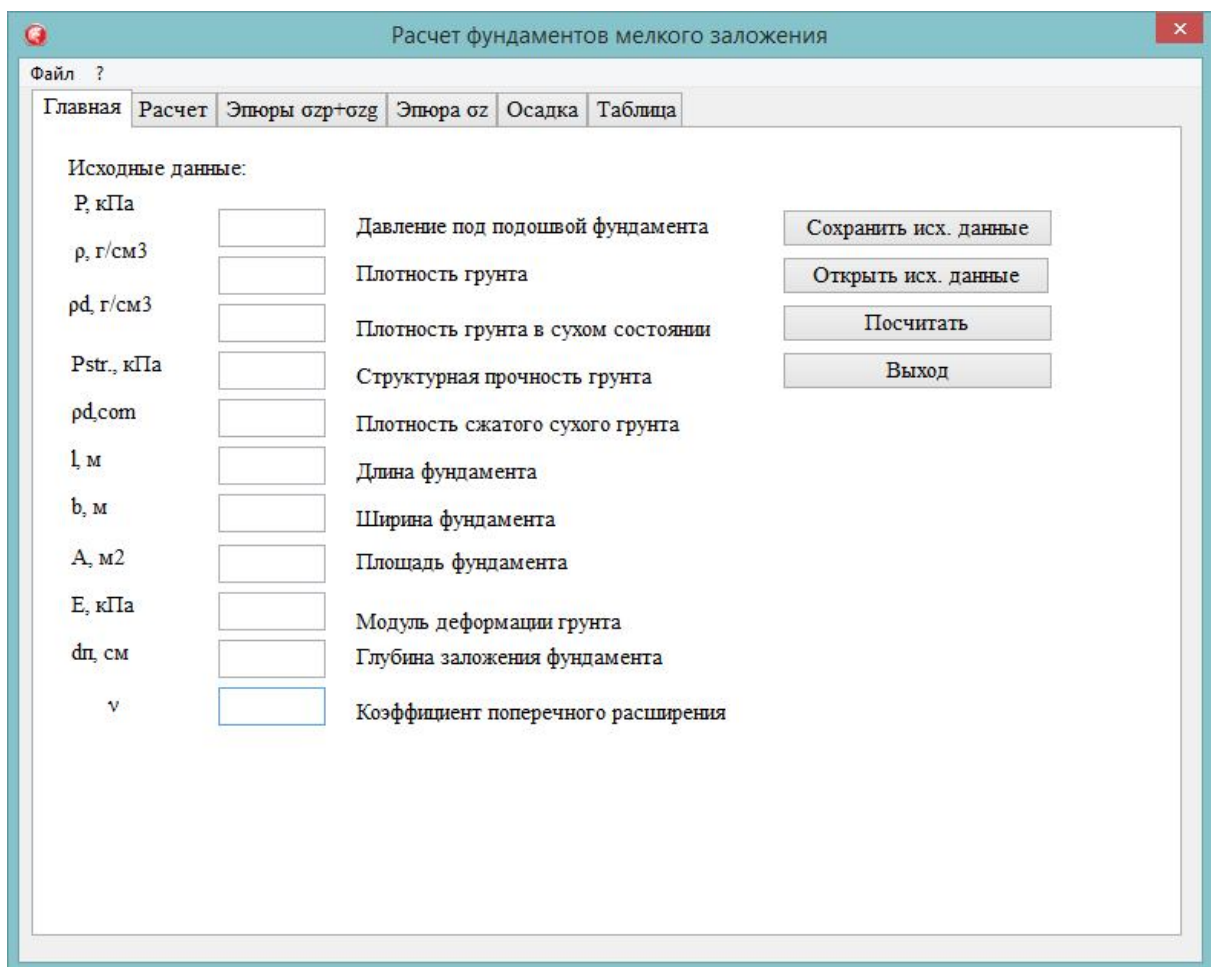


Рисунок 4 – Головне вікно програми

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 в [5; С. 90].

Таблиця 1 – Параметри виміряні при випробуваннях ґрунтів штампами

| № | A<br>м <sup>2</sup> | d <sub>пр</sub><br>см | p<br>кПа | s<br>см | H <sub>a</sub><br>см | ρ <sub>d,ср</sub><br>г/см <sup>3</sup> | ρ <sub>d,com,ср</sub><br>г/см <sup>3</sup> | P <sub>str</sub><br>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><br>- | S <sub>n</sub><br>см | S <sub>v</sub><br>см | E<br>МПа | E <sub>гр.</sub><br>МПа | E <sub>n</sub><br>МПа | ν<br>- |
|---|---------------------|----------------------|----------------------|----------|-------------------------|-----------------------|--------|
| 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,<br>% | S <sub>пошар. сум.</sub> ,<br>см | похибка,<br>% |
| 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 стисливої товщі |                         |                          |               |                                   |               |
|-------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------|-----------------------------------|---------------|
| №                       | H <sub>досл.</sub> , см | H <sub>прогр.</sub> , см | похибка,<br>% | H <sub>пошар. сум.</sub> ,<br>см. | похибка,<br>% |
| 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 ґрунті.
- 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 Анатолій Павлович* – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри 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.

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