

УДК 624.131.537

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.260220.49.610

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ РОЗРАХУНКУ СТІЙКОСТІ РОЗТАШОВАНИХ ПОРУЧ ЗІ СХИЛАМИ ПРОМИСЛОВИХ БУДІВЕЛЬ ДЛЯ ЇХ РЕКОНСТРУКЦІЇ

КОВАЛЬОВ В. В., к. т. н., доц.

Кафедра інженерної геології і геотехніки, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (068) 906-86-42, e-mail: kovvyach12@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6731-4192

Анотація. Постановка проблеми. В містах спостерігається значний дефіцит придатних для будівництва територій, що викликає необхідність проектування будівель у складних умовах – виконувати освоєння під будівництво територій, які раніше вважалися непридатними, все частіше доводиться споруджувати будівлі на нестійких схилах, будувати об'єкти у колишніх промислових зонах після зміни їх функціонального призначення. Тому питання раціонального проектування і будівництва на нестійких схилах досить актуальне. **Мета статті** – розроблення програмного комплексу, за допомогою якого можливо було б виконувати розрахунки найбільш поширеними класичними методами: стійкості укосів без та з армуванням, стійкості будівель, розташованих поруч зі схилами, визначати тиск одного блока ґрунтового масиву на інший, тиск ґрунту на утримувальні споруди, визначати стійкість ухилів за наявності фільтраційного потоку та хвильового тиску. **Висновок.** Розроблено програмний комплекс, що дає можливість під час проектування нових та реконструкції існуючих промислових будівель, розташованих поруч із схилами, виконувати розрахунки стійкості методами Ю. І. Соловйова, К. Терцагі, Маслова–Берера («класичний» і «гідростатичний»), Г. М. Шахунянца, А. Г. Дорфмана. Програма дає можливість цими методами виконувати розрахунки стійкості схилів; споруд, розташованих на схилах; урахувувати ефект армування укосів; розраховувати коефіцієнти стійкості армованих укосів: у разі розриву армувального прошарку, втрати міцності контакту між арматурою і ґрунтом, розриву армувального прошарку та втрати міцності контакту між арматурою і ґрунтом; розраховувати вплив фільтраційного потоку за наявності хвильової дії при розрахунках стійкості схилу. Все це дає можливість достатньо широко застосовувати цей програмний комплекс у сучасній практиці будівництва.

Ключові слова: схил; стійкість; армування; міцність; реконструкція

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ РАСПОЛОЖЕННЫХ РЯДОМ СО СКЛОНАМИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ ПРИ ИХ РЕКОНСТРУКЦИИ

КОВАЛЕВ В. В., к. т. н., доц.

Кафедра инженерной геологии и геотехники, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днiпро, Украина, тел. +38 (068) 906-86-42, e-mail: kovvyach12@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6731-4192

Аннотация. Постановка проблемы. В городах наблюдается значительный дефицит пригодных для строительства территорий, что приводит к необходимости проектирования зданий в сложных условиях – выполнять освоение под строительство территорий, которые ранее считались непригодными, все чаще приходится строить здания на неустойчивых склонах, в бывших промышленных зонах после изменения их функционального назначения. Поэтому вопрос рационального проектирования и строительства на неустойчивых склонах является актуальным. **Цель статьи** – разработка программного комплекса, с помощью которого можно было бы производить расчеты наиболее распространенными классическими методами: устойчивости откосов без и с армированием, устойчивости зданий, расположенных рядом со склонами, определять давление одного блока ґрунтового массива на другой, давление ґрунта на удерживающие сооружения, определять устойчивость склонов при наличии фильтрационного потока, при наличии волнового давления. **Вывод.** Разработан программный комплекс, дающий возможность при проектировании новых и реконструкции существующих промышленных зданий, расположенных рядом со склонами, выполнять расчеты устойчивости методами Ю. И. Соловьева, К. Терцаги, Маслова–Берера («классический» и «гидростатический»),

М. Шахунянца, А. Дорфмана. Программа дает возможность этими методами выполнять расчеты устойчивости склонов; сооружений, расположенных на склонах; учитывать эффект армирования откосов; рассчитывать коэффициенты устойчивости армированных откосов: при разрыве армирующего слоя, при потере прочности контакта между арматурой и грунтом; рассчитывать влияние фильтрационного потока при наличии волнового воздействия при расчетах устойчивости склона. Все это дает возможность достаточно широко применять этот программный комплекс в современной практике строительстве.

Ключевые слова: *склон; устойчивость; армирование; прочность; реконструкция*

DEVELOPMENT OF SOFTWARE COMPLEX FOR CALCULATING STABILITY OF INDUSTRIAL BUILDINGS LOCATED NEAR THE SLOPES OF INDUSTRIAL BUILDINGS DURING THEIR RECONSTRUCTION

KOVALIOV V.V., *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*

Department of Engineering Geology and Geotechnics, State Higher Educational Institution "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (068) 906-86-42, e-mail: kovvyach12@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6731-4192

Abstract. Problem statement. In cities, there is a significant shortage of territories suitable for construction, which leads to the need to design buildings in difficult conditions – to carry out development for the construction of territories that were previously considered to be unsuitable, it is increasingly necessary to construct buildings on unstable slopes, to carry out construction of projects in former industrial areas after changing functional purpose. Therefore, the issue of rational design and construction on unstable slopes is relevant. **Purpose of the article.** Development of a software complex with the help of which it would be possible to carry out calculations by the most common classical methods: stability of slopes without and with reinforcement, stability of buildings located next to slopes, determine the pressure of one block of soil mass on another, soil pressure on holding structures, determine the stability of slopes in the presence of a filtration stream, in the presence of wave pressure. **Conclusion.** As a result, a software package was developed that makes it possible to carry out stability calculations using the methods of Yu.I. Soloviov, K. Tertsahi, Maslov-Berer ("classical" and "hydrostatic"), H.M. Shakhunians, A. Dorfman, when designing new and reconstructing existing industrial buildings located near slopes. The program enables these methods to perform slope stability calculations; structures located on the slopes; take into account the effect of reinforcing slopes; calculate the stability coefficients of reinforced slopes: when the reinforcing layer breaks, when the contact strength between the reinforcement and the soil is lost, when the reinforcing layer breaks and the contact strength between the reinforcement and the soil is lost; calculate the influence of the filtration flow in the presence of wave action in calculating the slope stability. All this makes it possible to use widely this software package in modern construction practice.

Keywords: *slope; stability; reinforcement; strength; reconstruction*

Постановка проблеми. Наразі в містах України спостерігається значне зростання обсягів житлово-цивільного будівництва. З іншого боку, як правило, в містах спостерігається значний дефіцит придатних для будівництва територій, що викликає необхідність проектування будівель у складних умовах – виконувати освоєння під будівництво територій, які раніше вважалися непридатними, все частіше доводиться споруджувати будівлі на нестійких схилах [1; 2; 7; 8; 24], здійснювати будівництво об'єктів у колишніх промислових зонах після зміни їх функціонального призначення [10; 14; 25]. Також, як правило, останнім часом будують будівлі значної поверховості, що значно

впливає на стійкість схилів [4; 12; 15; 20]. Тому питання раціонального проектування і будівництва на нестійких схилах досить актуальне.

Під час проектування будівель, розташованих у таких умовах, виникає необхідність виконувати розрахунки стійкості схилів та вирішувати питання оптимального підвищення стійкості схилів із розглядом різних засобів: уположенням укосів, армуванням укосів, будівництвом різних підтримувальних споруд [3; 5].

Також слід зазначити, що під час проектування будівель і споруд, крім необхідності забезпечення надійності споруджуваних будівель, потрібно вирішувати питання збереження

навколишнього середовища та ощадливого використання території та ресурсів, що викликає необхідність реконструкції існуючих будівель, наприклад, промислових підприємств (які також доволі часто розташовані поруч зі схилами) під цивільні об'єкти.

Все це змушує виконувати розрахунки стійкості укосів та схилів та визначати ступінь стійкості схилу, на якому необхідно вести будівництво.

Аналіз публікацій. Історія розвитку розрахунку стійкості схилів почалася понад 250 років тому. Нині існує понад 200 підходів до розрахунку стійкості схилів. Також на сьогоднішній день розроблена значну кількість програм (GEO5, GeoStsb, Slide, Plaxis, Phase2, Concord) [9; 13; 16; 22; 23], що дають можливість оцінити стійкість схилів різними методами.

Однак, незважаючи на значний досвід у дослідженні стійкості схилів та на значну кількість розроблених методів і методик, оцінювання стійкості схилів, як і раніше, залишається складним завданням у

геотехніці. Крім того, різні методи дають результати розрахунків, що інколи значно відрізняються один від одного.

Також слід зазначити, що, як правило, розроблені програмні комплекси виконують розрахунки стійкості укосів одним методом, що буває не завжди зручно.

Мета статті – розробити програмний комплекс, за допомогою якого можливо було б виконувати розрахунки найбільш поширеними класичними методами: стійкості укосів без та з армуванням, стійкості будівель, розташованих поруч зі схилами, визначати тиск одного блока ґрунтового масиву на інший, тиск ґрунту на утримувальні споруди, визначати стійкість ухилів за наявності фільтраційного потоку, за наявності хвильового тиску.

Результати досліджень. Для розроблення програмного комплексу розглянуто такі методи розрахунку стійкості схилів: Ю. І. Соловйова, К. Терцагі, Маслова–Берера («класичний» і «гідростатичний»), Г. М Шахунянца, А. Г. Дорфмана [6; 11; 17; 18; 21] (рис. 1).

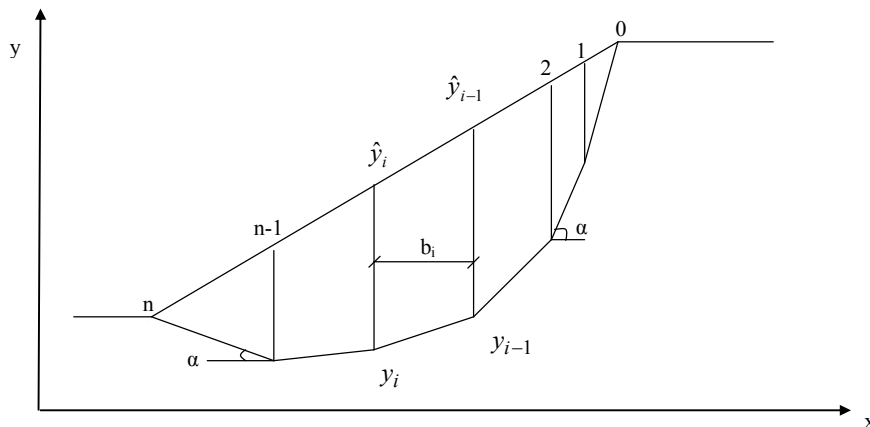


Рис. 1. Схема розрахунку стійкості укосів

Формули для розрахунку такі.

1. Формула Ю. І. Соловйова:

$$k = \frac{\sum S_i}{\sum t_i};$$

$$h_i = y_i - y_{i-1}$$

$$tg \alpha_i = (y_{i-1} - y_i) / b_i$$

$$S_i = P_i tg \varphi_i + c_i \cdot b_i \cdot g_i$$

$$P_i = (h_i + h_{i-1}) \gamma_i \cdot b_i / 2$$

$$t_i = P_i \cdot tg \alpha_i$$

2. Формула К. Терцагі:

$$k = \frac{\sum a_i''}{\sum a_i'}; \quad a_i' = \frac{t_i}{r_i}; \quad a_i'' = \frac{S_i}{r_i}.$$

3. Формула Маслова-Берера («класичний» метод):

$$k_K = \frac{\sum T_{ik}}{\sum t_i}; T_{ik} = \frac{P_i g_i}{tg \alpha_i + P_i / s_i}$$

4. Формула Маслова–Берера («гідростатичний» метод):

$$k_G = \frac{\sum T_{ie}}{\sum t_i}; T_{ie} = \frac{P_i g_i}{tg \alpha_i + P_i / (s_i - c_i \cdot b_i \cdot tg^2 \alpha_i)}$$

5. Формула Г. М. Шахунянца:

$$k = \frac{\sum_1^n (s_i / q_i) + \sum_{m+1}^n (t_i / q_i)}{\sum_1^m (t_i / q_i)}$$

6. Формула А.Г. Дорфмана:

$$k = \frac{A''}{A'}$$

$$A' = (...(a'_1)A_2 + a'_2)A_3 + a'_3 \dots A_n + a'_n$$

$$A'' = (...(a''_1)A_2 + a''_2)A_3 + a''_3 \dots A_n + a''_n$$

де k – коефіцієнт стійкості укосу;
 n – загальна кількість усіх блоків, на які розбивається укіс; α_i – кут нахилу підшви відсіку до горизонту; G_i – вага відсіку, кН;
 \bar{y} – контур укосу, м; y_i – відстань від поверхні ковзання до денної поверхні, м;
 b_i – ширина відсіку, м; Q – величина рівномірно розподіленого навантаження, кН;
 γ_i – питома вага ґрунту, кН/м³;
 $\bar{\gamma}_{1,i}$ – середньозважене значення питомої ваги ґрунту, кН/м³; c_i – зчеплення, кПа;
 $tg \varphi_i$ – коефіцієнт внутрішнього тертя ґрунту; $tg \alpha_i$ – тангенс кута нахилу i -го блока до горизонту.

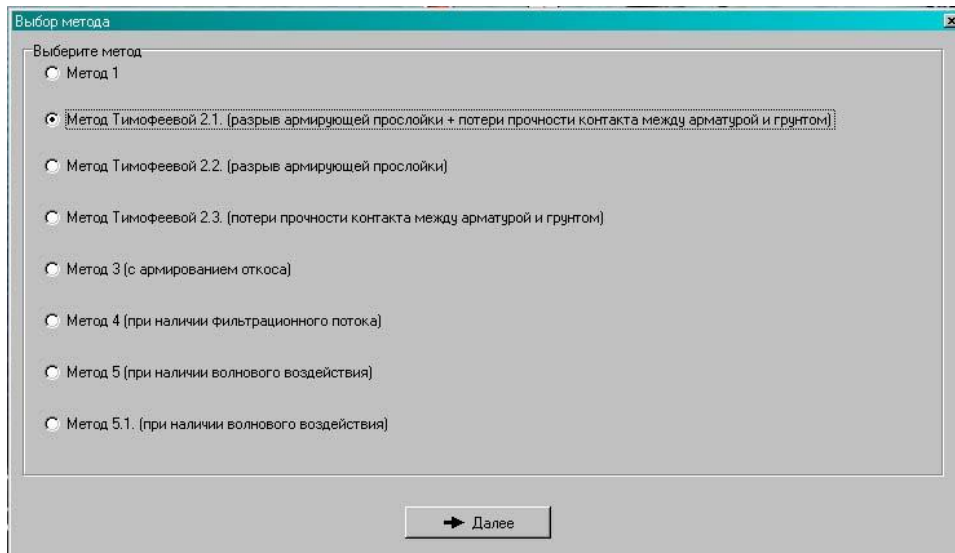


Рис. 2. Вікно «Вибір методу розрахунку»

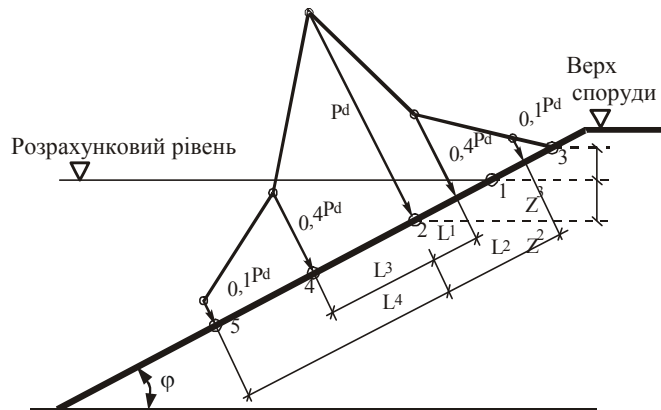


Рис. 3. Етюра максимального розрахункового хвильового впливу на укіс

У програмному комплексі «OTCOS» кожна формула може бути розрахована п'ятьма методами (рис. 2):

Метод 1. Стандартний (без армування укосу) дозволяє: 1) визначати коефіцієнт стійкості укосу за формулами: Ю. І. Соловйова, К. Терцагі, Масло-ва–Берера («класичний» і «гідро-статичний»), Г. М. Шахунянца, А. Г. Дорф-мана; 2) визначати тиск відсіку на відсік.

Метод 2. Врахування армування ґрунту за методикою Л. М. Тимофєєвої (ефективне армування) [19]. Втрата стійкості армованого укосу відбувається за одним із трьох варіантів:

Метод 2.1 – розрив армувального прошарку та втрата міцності контакту між арматурою і ґрунтом;

метод 2.2 – розрив армувального прошарку;

метод 2.3 – втрата міцності контакту між арматурою і ґрунтом.

Метод 3. Розрахунок стійкості армувального укосу.

Метод 4. Врахування фільтраційного потоку в розрахунках стійкості схилу.

Метод 5. Врахування наявності хвильової дії в розрахунках стійкості схилу (рис. 3).

Для підготовки початкових даних програми методами 1–5 необхідно:

- викреслити ґрунтову споруду в масштабі, розбити її на довільні вертикальні блоки (бажано по межі розподіленого навантаження і рівня ґрунтових вод) і пронумерувати їх;

- визначити координати для кожного блока по вертикалі контуру укосу і площини ковзання;

- визначити координати по горизонталі початку і довжину рівномірно розподіленого навантаження;

- визначити об'ємну вагу кожного блока;
- визначити питоме зчеплення і кут внутрішнього тертя ґрунту.

Для інших методів потрібні додаткові початкові дані.

Методи 2.1 – 2.3. Для розрахунку армування методом Л. М. Тимофєєвої необхідно визначити:

- товщину армувального прошарку;
- міцність прошарку при розтягуванні;
- кут зсуву для кожного блока (кут внутрішнього тертя ґрунту);

- модуль деформації E_m і E_f ;

- довжину арматури в утримувальному шарі.

Метод 3. Для визначення коефіцієнта стійкості укосу при армуванні необхідно вказати:

- кількість армованих прошарків (шарів арматури в ґрунтовій споруді);

- відстань від поверхні насипу до армувального прошарку;

- кут внутрішнього тертя ґрунту по арматурі;

- довжину арматури в утримувальному шарі.

Для визначення коефіцієнта стійкості укосу за наявності фільтраційного потоку необхідно вказати (метод 4):

- питому вагу частинок ґрунту;

- питому вагу води;

- вологість;

- зчеплення ґрунту, насиченого водою.

Для визначення коефіцієнта стійкості укосу за наявності хвильової дії (метод 5):

- кут нахилу укосу до горизонту;

- висоту хвилі;

- довжину хвилі;

- питому вагу води;

- прискорення вільного падіння;

- максимально відносний хвильовий тиск на укис;

- безрозмірний коефіцієнт k_f .

Розрахунки методами 2–5 виконуються за такими формулами.

Метод 2.1 – розрив армувального прошарку та втрати міцності контакту між арматурою і ґрунтом.

$$\varphi_{ci} = \varphi_{mi} + \varphi_{oi}$$

$$\varphi_{oi} = 90^\circ - 2 \arctg \sqrt{\frac{\operatorname{tg} \psi_i \cdot L_i [V_{fi} + E_{mi} \cdot E_{fi}^{-1} \cdot (1 - V_{fi})]}{2 \delta_f}}$$

$$C_c = \sigma_{xfui} \operatorname{tg} \phi'_{mi}$$

$$\sigma_{xfui} = \sigma_{fui} \cdot V_{fi} \left[1 + E_{mi} \cdot E_{fi}^{-1} \cdot (V_{fi}^{-1} - 1) \right]$$

$$V_{fi} = 2 \delta_f / \left[(\hat{y}_i - y_i) + (\hat{y}_{i-1} - y_{i-1}) \right]$$

де: φ_{ci} – кут внутрішнього тертя з урахуванням армування; φ_{mi} – кут

внутрішнього тертя; φ_{oi} – ефективний кут внутрішнього тертя ґрунту, еквівалентний дії τ_{np} по контакту арматури з ґрунтом, градуси; C_c – питома зчеплення з урахуванням армування, кПа; σ_{fui} – міцність прошарку при розтягуванні, кПа; E_{mi} – модуль пружності ґрунту, кПа; E_{fi} – модуль пружності армування, кПа; δ_f – товщина армування, м; $tg\psi_i$ – коефіцієнт тертя ґрунту по армувальному прошарку; V_{fi} – об’ємна концентрація арматури; L_i – довжина арматури в утримувальному шарі, м.

Метод 2.2 – розрив армувального прошарку.

$$\varphi_{ci} = \varphi_{mi},$$

$$C_c = \sigma_{xfui} \cdot tg\varphi'_{mi}.$$

Метод 2.3 – втрати міцності контакту між арматурою і ґрунтом.

$$\varphi_{ci} = \varphi_{mi} + \varphi_{oi},$$

$$C_c = C_m.$$

Метод 3 – з армуванням укусу.

$$S_i = (P_i + N_i \cdot tg\alpha_i) \cdot tg\varphi_i + c_i \cdot b_i \cdot g_i + N_i,$$

$$N_i = 2\gamma_{zpi} \cdot h_{zpi} \cdot tg\psi_i \cdot L_i,$$

де: N_i – утримувальне зусилля в арматурі, кН; h_{zpi} – відстань від верху насипу до кожного армувального прошарку, м; n – кількість утримувальних прошарків арматури.

Метод 4. Урахування фільтраційного потоку в розрахунках стійкості схилу.

$$tg\varphi_i = \wp \cdot tg\varphi_i;$$

$$\gamma_u = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1 + e};$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \omega_i}$$

$$\wp = 1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_u}$$

$$e = \frac{\gamma_s}{\gamma_d} - 1$$

$$c = c_w$$

де: γ_s – питома вага частинок ґрунту, кН/м³; γ_w – питома вага води, кН/м³; e – коефіцієнт пористості; γ_d – питома вага сухого ґрунту, кН/м³; γ – питома вага ґрунту, кН/м³; γ_u – питома вага ґрунту в водонасиченому стані, кН/м³; c_w – зчеплення ґрунту насиченого водою, кПа.

Метод 5. Врахування наявності хвильової дії у розрахунках стійкості схилу (рис. 3).

$$P_d = k_s \cdot k_f \cdot P_{rel} \cdot \gamma_w \cdot g \cdot h$$

$$k_s = 0,85 + 4,8 \cdot \frac{h}{\lambda} + ctg\varphi(0,028 - 1,15 \cdot \frac{h}{\lambda}),$$

$$z_2 = A + \frac{1}{ctg^2\varphi} (1 - \sqrt{2ctg^2\varphi + 1}) \cdot (A + B)$$

де A і B – величини, м, що визначаються за формулами:

$$A = h \cdot (0,47 + 0,023 \cdot \frac{\bar{\lambda}}{h}) \cdot \frac{1 + ctg^2\varphi}{ctg^2\varphi}$$

$$B = h \cdot \left[0,95 - (0,84 \cdot ctg\varphi - 0,25) \cdot \frac{h}{\lambda} \right]$$

$$l_1 = 0,0125 \cdot L_\varphi \quad l_3 = 0,0265 \cdot L_\varphi$$

$$P = 0,4P_d,$$

$$l_2 = 0,0325 \cdot L_\varphi \quad l_4 = 0,0675 \cdot L_\varphi$$

$$P = 0,1P_d$$

$$L_\varphi = \frac{\bar{\lambda} \cdot ctg\varphi}{\sqrt[4]{ctg^2\varphi - 1}}$$

де: P_d – максимальний розрахунковий хвильовий тиск, кПа; $ctg\varphi$ – кут нахилу укусу до горизонту, град; h – висота хвилі, м; λ – довжина хвилі, м; g – прискорення вільного падіння, м/с²; γ_w – питома вага води, кН/м³; z_2 – ордината прикладання максимального хвильового тиску; $\frac{h}{\lambda}$ – положистість хвилі.

Курсором вибираємо один із методів і натискаємо кнопку «Далі», після цього з'явиться вікно з назвою вибраного методу. Потім необхідно ввести усі необхідні початкові дані і натиснути кнопку «Вичислити».

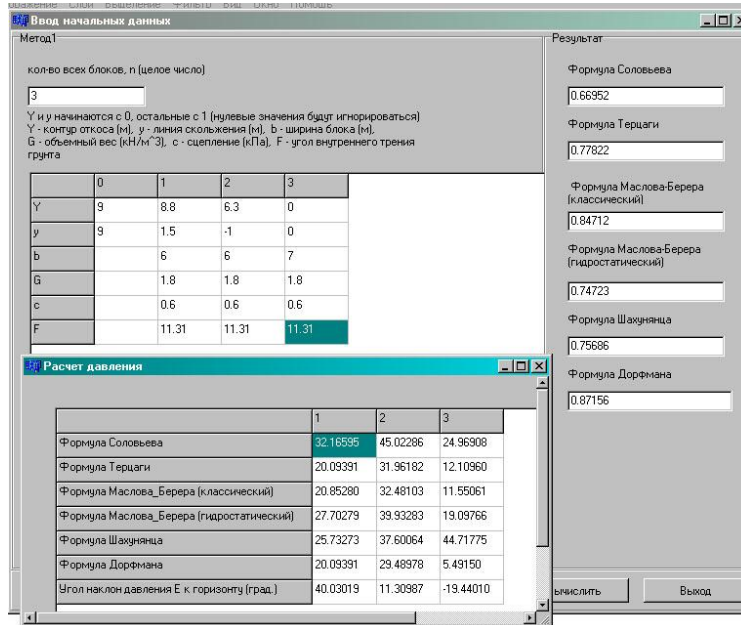


Рис. 4. Отримані результати методом 1

У результаті для методу 1 отримаємо в розділі «Результат» коефіцієнти стійкості без армування ґрунту, розраховані за формулами: Ю. І. Соловйова, К. Терцагі, Маслова–Берера («класичний» і «гідростатичний»), Г. М. Шахунянца, А. Г. Дорфмана. Також методом 1 можна розрахувати величину тиску відсіку на відсік (рис. 4).

Методами 2.1–2.3 отримаємо в розділі «Результат» коефіцієнти стійкості армованого укосу ґрунту для різних варіантів його руйнування.

Для методу 4 отримаємо коефіцієнт внутрішнього тертя і зчеплення ґрунту за наявності ґрунтових вод (рис. 5). Потім, підставивши отримані результати в метод 1, можна розрахувати коефіцієнти стійкості за наявності фільтраційного потоку.

Для методу 5 отримаємо епюру (її розміри і величину) максимального розрахункового хвильового тиску на укис (рис. 6). Потім методом 1 розраховуємо коефіцієнти стійкості за наявності хвильової дії (тобто з урахуванням отриманої методом 5 епюр максимального розрахункового хвильового тиску).

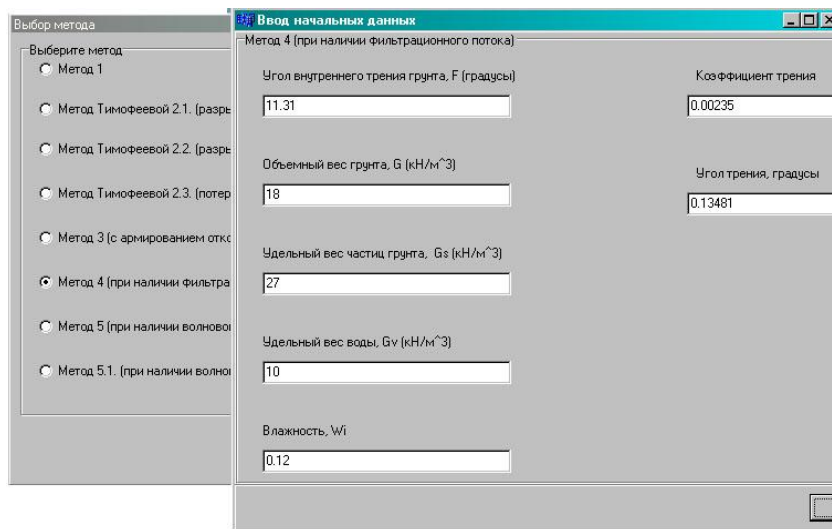


Рис. 5. Коефіцієнт внутрішнього тертя і зчеплення ґрунту за наявності ґрунтових вод

Рис. 6. Еюра (розміри і величина) максимального розрахункового хвильового тиску на укiс

Висновок. Розроблено програмний комплекс, що дає можливість для проектування нових та реконструкції існуючих промислових будівель, розташованих поруч із схилами, виконувати розрахунки стійкості методами Ю. І. Соловйова, К. Терцагі, Масло-ва–Берера («класичний» і «гідростатичний»), Г. М. Шахунянца, А. Г. Дорфмана. Програма дає можливість цими методами виконувати розрахунки стійкості схилів; споруд, розташованих на схилах; враховувати ефект армування укосів; розраховувати коефіцієнти стійкості

армованих укосів: за розриву армувального прошарку, за втрати міцності контакту між арматурою і ґрунтом, за розривом армувального прошарку та втрати міцності контакту між арматурою і ґрунтом; розраховувати вплив фільтраційного потоку за наявності хвильової дії в розрахунках стійкості схилу.

Все це дає можливість достатньо широко застосовувати цей програмний комплекс у сучасній практиці будівництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Броневицкий С., Присяжнюк В., Дьомін М., Целовальник С., Куделін А., Нечаєва Т. Генеральный план м. Києва. Основні положення. Київ : КМДА, 2015. 134 с.
2. Гинзбург Л. К., Швец В. Б. Обрушение склона в жилом микрорайоне. *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 1999. № 3. С. 28–30.
3. Гинзбург Л. К. Противооползневые сооружения : монография. Днепропетровск : ЧП «Лири ЛТД», 2007. 188 с.
4. Грабовець О. М. Дослідження розвитку зсувів на території України : в 2 кн. Київ : ДП НДІБК, 2016. 548 с. Кн. 1. Будівельні конструкції. Вип. 83. С. 292–298.
5. Джоунс К. Д. Сооружения из армированного грунта / пер. с англ. В. С. Забавина. Москва : Стройиздат, 1989. 280 с.
6. Дорфман А. Г. Вариационный метод исследований устойчивости откосов. *Вопросы геотехники*. 1965. № 9. С. 17–25.
7. Зоценко М. Л., Великодний Ю. Й., Біда С. В. Зсувонебезпечні території м. Полтави. *Бетон и железобетон в Украине*. 2001. № 1. С. 14–17.

8. Зрушені землі столиці. Дослідження зсувонебезпечних процесів на території Києва. НАН України : Прес-служба НАН України, 2017. URL : <http://www.nas.gov.ua/UA/Messages/news/Page/View.aspx?MessageID=3001>
9. Клованич С. Ф. Программа «Concord» для решения геотехнических задач методом конечных элементов. *Вісник Одеського національного морського університету*. Одеса : ОНМУ, 2003. Вип. 10. С. 39–46.
10. Ковальов В. В. Обґрунтування доцільності функціонального переосвоєння територій великих міст. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2017. № 4. С. 71–76.
11. Маслов Н. Н. Проблема устойчивости и деформации грунтов : монография. Москва : Госэнергоиздат, 1961. 196 с.
12. Седин В. Л., Головкин С. И., Большаков В. И. Особенности геотехнического строительства в Приднепровском регионе Украины. *Механіка ґрунтів, геотехніка та фундаментобудування*. Кн. 1. Будівельні конструкції. Вип. 83. Київ : ДП НДІБК, 2016. С. 47–57.
13. Першина С. В., Слободяник А. В. PLAXIS – программный пакет для расчета деформаций и устойчивости геотехнических сооружений методом конечных элементов. *Галузеве машинобудування, будівництво*. 2003. Вип. 12. С. 158–163.
14. Кравчуновська Т. С., Броневицький С. П., Ковальов В. В., Данилова Т. В., Ткач Т. В. Планування розміщення і організація будівництва та реконструкції об'єктів доступного житла з урахуванням містоформуючих особливостей територій великих міст : монографія. Дніпро : Літограф, 2019. 228 с.
15. Седин В. Л., Грабовець О. М., Трященко А. Ю. Поширення небезпечних геологічних процесів у Дніпропетровській області. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2015. № 6. С. 60–67.
16. GEO 5. Программы для геотехнических расчетов. URL: <https://www.finesoftware.ru/geotekhnicheskikh-raschetov/>
17. Соловьёв Ю. И. Устойчивость откосов из гипотетического грунта. *Труды НИИЖТ. Вопросы инженерной геологии оснований и фундаментов*. Новосибирск, 1962. Вып. 28. С. 83–96.
18. Терцаги К., Пек Р. Механика грунтов в инженерной практике : учеб. пособ. Москва : Госстройиздат, 1958. 607 с.
19. Тимофеева Л. М. Армированные грунты. Теория и практика применения. Ч. 1: Армированные основания и армогрунтовые подпорные стены. Пермь : Перм. политехн. ин-т, 1991. 478 с.
20. Чернишев Д. О. Методологія, аналітичний інструментарій та практика організації біосферосумісного будівництва : монографія. Київ : КНУБА, 2017. 294 с.
21. Шахунянц Г. М. Железнодорожный путь. Москва : Транспорт, 1969. 536 с.
22. GeoStab6. URL: <https://www.csoft.ru/catalog/soft/geostab/geostab-6.html>
23. Plaxis products. URL: <https://www.plaxis.com/>
24. Sedin V. L., Kovalov V. V., Kravchunovska T. S., Nechepurenko D. S. Trends and approaches to reorganization of urban environment. *Серія: Галузеве машинобудування, будівництво*. 2019. Вип. 1 (52). 2019. С. 179–184. URL: doi: <https://doi.org/10.26906/znp.2019.52.1694>.
25. Zaiats Ye. I., Kovalov V. V., Kravchunovska T. S., Kirnos O. V. Risk level assessment while organizational-managerial decision making in the condition of dynamic external environment. *Науковий вісник Національного гірничого університету*. 2018. Iss. 2 (164). Pp. 123–129.

REFERENCES

1. Bronevitskiy S., Prisyazhniuk V., Domin M., Tselovalnyk S., Kudelin A. and Nechaeva T. *Heneralnyi plan m. Kyiva. Osnovni polozhennia* [General plan of the Kyiv. The main provisions]. Kyiv : KMDA Publ., 2015, 134 p. (in Ukrainian).
2. Ginzburg L.K. and Shvets V.B. *Obrushenie sklona v zhilom dome* [Slope collapse in a residential building]. *Osnovaniya, fundamenti i makhanika gruntov* [Foundations and soil mechanics]. 1999, no. 3, pp. 28–30. (in Russian).
3. Ginzburg L. K. *Potivoopolznevye sooruzheniya* [Landslide constructions]. Dnipropetrovsk : Lira LTD, 2007, 188 p. (in Russian).
4. Hrabovets O. M. *Doslidzhennya rozvitku zsuiv na teritorii Ukraini : v 2 kn.* [Study of landslide development in Ukraine : in 2 books]. *Budivelni konstruktsii* [Building structures]. 2016, iss. 83, p. 1, pp. 292–298. (in Ukrainian).
5. Dzhouns K.D. *Sooryzheniya iz armirovannogo grunta* [Reinforced soil structures]. Moscow : Stroyizdat, 1989, 280 p. (in Russian).
6. Dorfman A.G. *Variatsionnyi metod issledovaniy ustoychivosti otkosov* [A variational method for studying slope stability]. *Voprosi geotekhniki* [Geotechnical Issues]. 1965, no. 9, pp. 17–25. (in Russian).
7. Zotsenko M.L., Velykodnyi Yu.I. and Bida S.V. *Zsvonebezpechni terytorii m. Poltavu* [Landslide areas of Poltava]. *Beton i zhelezobeton v Ukraine* [Concrete and reinforced concrete in Ukraine]. 2001, no. 1, pp. 14–17. (in Ukrainian).

8. *Zrusheni zemli stolytsi. Doslidzhennia zsvonebezpechnykh protsesiv na terytorii Kyieva* [The demolished lands of the capital. Research of landslide processes on the territory of Kyiv]. 2001, no. 1, pp. 14–17. (Accessed : 09 February 2020). (in Ukrainian).
9. Klovaniich S.F. *Programma «Concord» dlya resheniya geotekhnicheskikh zadach metodom konechnikh elementov* [The «Concord» program for solving geotechnical problems using the finite element method]. *Visnyk Odeskoho natsionalnoho morskoho universytetu* [Bulletin of the Odessa National Maritime University]. 2003, iss. 10, pp. 39–46. (in Russian).
10. Kovalov V.V. *Obhruntuvannia dotsilnosti funktsionalnoho pereosvoiennia terytorii velykykh mist* [Substantiation of expediency of functional redevelopment of territories of big cities]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]., 2017, no. 4, pp. 71–76. (in Ukrainian).
11. Maslov N.N. *Problema ustoychivosti i deformatsii gruntov* [The problem of soil stability and deformation]. Moscow : Gosenergoizdat, 1961, 196 p. (in Russian).
12. Sedin V.L., Golovko S.I. and Bolshakov V.I. *Osobennosti geotekhnicheskogo stroitel'stva v Pridneprovskom regione Ukrainy*. [Features of geotechnical construction in the Prydniprovsk region of Ukraine]. *Budivelni konstruktсии* [Building structures]. 2016, iss. 83, p. 1, pp. 47–57. (in Russian).
13. Pershina S.V. and Slobodyanik A.V. *PLAXIS – programmiy paket dlya rascheta deformatsiy i ustoychivosti geotekhnicheskikh sooruzheniy* [PLAXIS – software package for calculating deformations and stability of geotechnical structures using the finite element method]. *Haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo* [Engineering machine building, civil engineering]. 2003, iss. 12, pp. 158–163. (in Russian).
14. Kravchunovska T.S., Bronevytskyi S.P., Kovalov V.V., Danylova T.V. and Tkach T.V. *Planuvannia rozmishchennia i orhanizatsiia budivnytstva ta rekonstruktсии ob'ektiv dostupnoho zhytla z urakhuvanniam mistoformuiuchykh osoblyvostei terytorii velykykh mist* [Placement planning and organization of construction and reconstruction of affordable housing, taking into account the city-forming features of large cities]. Dnipro : Litohraf, 2019, 228 p. (in Ukrainian).
15. Siedin V.L., Hrabovets O.M. and Triashchenko A.Yu. *Poshyrennia nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv u Dnipropetrovskii oblasti* [Dissemination of dangerous geological processes in Dnipropetrovsk region]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2015, no. 6, pp. 60–67. (in Ukrainian).
16. *Programmy dlya geotekhnicheskikh raschetov* [Programs for geotechnical calculations]. (Accessed : 09 February 2020). (in Russian).
17. Solovev Yu.I. *Ustoychivost otkosov iz gipoteticheskogo grunta* [Stability of slopes from hypothetical soil]. *Voprosi inzhenernoy geologii i geotekhniki* [Issues of engineering geology of foundations and foundations]. 1962, iss. 28, pp. 83–96. (in Russian).
18. Tertsagi K. *Mekhanika gruntov v inzhenernoy praktike* [Soil mechanics in engineering practice]. Moscow : Gosstroyizdat, 1958, 607 p. (in Russian).
19. Timofeeva L.M. *Armirovannii grunti. Teoriya i praktika primeneniya. Armirovannii osnovaniya i armogruntovie podpornie steni* [Reinforced soils. Theory and practice of application. Reinforced bases and armored retaining walls]. Perm : PPI, 1991, 478 p. (in Russian).
20. Chernyshev D.O. *Metodolohiia, analitychni instrumentarii ta praktyka orhanizatsii biosferosumisnoho budivnytstva* [Methodology, analytical tools and practice of organization of biosphere-compatible construction]. Kyiv : KNUBA, 2017, 294 p. (in Ukrainian).
21. Shachunyantz G.M. *Zheleznodorozhnii put* [Railroad]. Moscow : Transport, 1969, 536 p. (in Russian).
22. GeoStab6. (Accessed: 09 February 2020).
23. Plaxis products. (Accessed: 09 February 2020).
24. Sedin V.L., Kovalov V.V., Kravchunovska T.S. and Nechepurenko D.S. Trends and approaches to reorganization of urban environment. *Seriya : Galuzeve mashinobuduvannia, budivnictvo* [Series : Engineering machine building, civil engineering]. 2019, iss. 1 (52), pp. 179–184.
25. Zaiats Ye.I., Kovalov V.V., Kravchunovska T.S. and Kirnos O.V. Risk level assessment while organizational-managerial decision making in the condition of dynamic external environment. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho Hirnychogo Universytetu*. 2018, iss. 2 (164), pp. 123–129.

Надійшла до редакції: 10.02.2020 .