

ДОСЛІДЖЕННЯ ЧОТИРЬОХ ВАРІАНТІВ ВИЗНАЧЕННЯ ГІДРОСТАТИЧНОГО ТИСКУ НА ПЛОСКУ ПОВЕРХНЮ МЕТОДОМ ТРЬОХ КОМАНД K123

Юрій Копаниця¹, Оксана Нечипор², Нестан Таварткіладзе³

Київський національний університет будівництва і архітектури³¹,
Повітрофлотський пр., м. Київ, Україна, 03037

¹ канд. техн. наук, kopanytsia.iud@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0002-9470-1902

² канд. техн. наук, okschena@ukr.net, orcid.org/0000-0001-8635-2231

³ knucavv20@gmail.com, orcid.org/0000-0002-6712-9576

DOI: 10.32347/2524-0021.2022.41.31-41

Анотація. Досліджено чотири різних варіанти сучасного інженерного розрахунку для вирішення однієї стандартної задачі. Чотири різних сучасних варіанти вирішення однієї стандартної задачі на базі нового авторського методу трьох команд K123. В основу авторського методу покладено геометричний зміст й постановка задачі визначення гідростатичного тиску на плоску поверхню на прикладі стандартної типової задачі гідростатики. Алгебраїчна складова реалізації вирішення задачі використовується як допоміжна розрахункова технологія. Мета представленої роботи – показати актуальність розробки наукових основ, нових алгоритмів та відповідних розрахункових технологій в сучасних інженерних гідравлічних розрахунках, які включають окремі досягнення – на жаль пропущеного у вітчизняній навчальній літературі – п'ятого технологічного укладу: кібернетика, комп'ютери, чисельні методи, комунікації.

Ключові слова: сила гідростатичного тиску, метод трьох команд K123, епюра, центр ваги, центр тиску.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

У якості ілюстрації використано типову навчальну задачу із розділу гідростатика – визначення сили гідростатичного тиску на плоску поверхню [1]. На рис. 1 наведено приклад умови й повний об'єм типового класичного розрахунку представленої задачі, який наводиться у всіх без виключення вітчизняних підручниках Технічної механіки рідини та газу. На протязі всього XX-го й майже чверті XXI-го століть цей алгоритм незмінно перетікає із одного підручника в інший.

Ми не ставимо мету порівнювати запропоновані чотири альтернативних алгоритми розрахунку із стандартною методикою. Ми не будемо порівнювати ефективність використання старого алгоритму в сучасних умовах на мікропроцесорних персональних гаджетах. Наша задача представити додаткові

чотири альтернативні варіанти сучасного розрахунку однієї задачі на розсуд шановного читача. Треба зауважити, що основа авторського методу трьох команд K123 – у разі визначення тиску на плоску поверхню – базується на добре всім відомих геометричних фактах: об'єм епюри гідростатичного тиску дорівнює модулю вектору рівнодійної сили тиску; центр тиску у перетині проєкції сили тиску по нормалі до поверхню, яка проходить через центр ваги епюри.

Авторський метод трьох команд K123 включає єдині три стандартні формули й чисельні прикладні аспекти інженерних розрахунків на поверхні будь-якої форми із криволінійними напрямними й твірними представлено у роботах автора [2-9]. Дослідження розмірності й одиниць виміру епюри гідростатичного тиску на криволінійну тривимірну поверхню представлено у

роботах автора методу [7]. Узагальнено універсальних формат запису трьох команд методу K123 в роботах автора [6].

У даній публікації розглянемо самий простий випадок інженерного розрахунку типової навчальної задачі із позиції сучасного технологічного розвитку, який відповідає – на жаль пропущеному – п'ятому техноло-

гічному укладу. Розвиток кібернетики, комп'ютерів й відповідне відновлення інтересу й потужній розвиток аналітичних та прикладних розділів математики із пакетами комп'ютерної алгебри дозволяє представити наступні варіанти розрахунків виснаженої навчальної задачі.

3. Основные случаи давления на плоские фигуры. Рассмотрим погружающуюся под давлением воды трапециевидную площадку высотой l (рис. 1.13). Верхнее основание этой площадки B погружено под свободную поверхность на глубину h_0 , а нижнее основание b – на глубину H . Площадка составляет с горизонтом угол α . Ордината верхнего основания и высота трапеции могут быть выражены следующими зависимостями:

$$z_0 = \frac{h_0}{\sin \alpha}, \quad (1.46)$$

$$l = \frac{H - h_0}{\sin \alpha}. \quad (1.47)$$

Коэффициент откосов трапециевидной площадки

$$m = \frac{B - b}{2l}. \quad (1.48)$$

Учитывая эти зависимости, найдем площадь трапеции и координату ее центра тяжести относительно оси y :

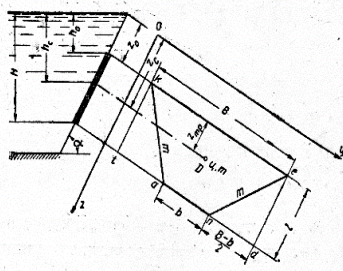


Рис. 1.13

$$\omega = \frac{B + b}{2} l = \frac{B + b}{2} \cdot \frac{H - h_0}{\sin \alpha}, \quad (1.49)$$

$$z_c = z_0 + z_{тр} = z_0 + \frac{B + 2b}{B + b} \cdot \frac{l}{3}, \quad (1.50)$$

где $z_{тр}$ – расстояние от центра тяжести трапеции D до ее верхнего основания.

Если все члены уравнения (1.50) умножить на $\sin \alpha$ и учесть равенства (1.46) и (1.47), получим глубину погружения точки D :

$$h_c = h_0 + \frac{B + 2b}{B + b} \cdot \frac{H - h_0}{3}. \quad (1.50a)$$

Силу избыточного давления на трапециевидную площадку определим по формуле (1.416) с учетом зависимостей (1.49) и (1.50a):

$$P = \gamma \left(h_0 + \frac{B + 2b}{B + b} \cdot \frac{H - h_0}{3} \right) \frac{B + b}{2} \cdot \frac{H - h_0}{\sin \alpha}.$$

После некоторых преобразований эта формула примет следующий вид:

$$P = \frac{\gamma (H - h_0)}{6 \sin \alpha} [H (B + 2b) + h_0 (2B + b)]. \quad (1.51)$$

Положение центра давления определяется по зависимости (1.44a). Момент инерции трапеции $aken$ относительно оси y можно получить как разность момента инерции прямоугольника $iked$ и моментов инерции треугольников tka и ned :

$$I_y = \frac{B l^3}{12} + B l \left(z_0 + \frac{l}{2} \right)^2 - \left[\frac{(B - b) l^3}{36} + \frac{B - b}{2} l \left(z_0 + \frac{2}{3} l \right)^2 \right]. \quad (1.52)$$

В этом уравнении $\frac{B l^3}{12}$ – момент инерции прямоугольника $iked$ относительно оси, проходящей через его центр тяжести, а второй член – произведение площади прямоугольника $iked$ на квадрат расстояния от его центра тяжести до оси y . В квадратных скобках даны аналогичные величины, относящиеся к треугольникам tka и ned .

После преобразования уравнение (1.52) может быть представлено в следующем виде:

$$I_y = \frac{l^3}{12} (B + 3b) + \frac{l z_0^2}{2} (B + b) + \frac{l^2 z_0}{3} (B + 2b). \quad (1.52a)$$

Найдем I_y , определяем ординату центра давления по формуле (1.44a). Значения ω и z_c подставляем по зависимостям (1.49) и (1.50):

$$z_d = \frac{\frac{l^3}{12} (B + 3b) + \frac{l z_0^2}{2} (B + b) + \frac{l^2 z_0}{3} (B + 2b)}{\frac{B + b}{2} \cdot \frac{H - h_0}{\sin \alpha} \left(z_0 + \frac{B + 2b}{B + b} \cdot \frac{l}{3} \right)}. \quad (1.53)$$

В этой формуле z_0 и l удобнее заменить H и h_0 [зависимости (1.46) и (1.47)]:

$$z_d = \frac{\frac{(H - h_0)^3}{12 \sin^3 \alpha} (B + 3b) + \frac{(H - h_0)^2 h_0^2}{2 \sin^2 \alpha} (B + b) + \frac{(H - h_0)^2 h_0}{3 \sin^2 \alpha} (B + 2b)}{\frac{B + b}{2} \cdot \frac{H - h_0}{\sin \alpha} \left(\frac{h_0}{\sin \alpha} + \frac{B + 2b}{B + b} \cdot \frac{H - h_0}{3 \sin \alpha} \right)}.$$

или после преобразований

$$z_d = \frac{(H - h_0) [H (B + 3b) + h_0 (3B + 5b)] + 6 h_0^2 (B + b)}{2 [h_0 (b + 2B) + H (B + 2b)] \sin \alpha}. \quad (1.53a)$$

Рис. 1. Стандартний розрахунок
Fig. 1. Standard calculation

ЗАПРОПОНОВАНІ МЕТОДИ

ВАРІАНТ № 1. Аналітичний

Приклад скріншота розрахункових формул методу K123 наведеної задачі у системі CAS MAXIMA на рис. 2. На рисунку вихідні данні й три стандартні команди.

Приклад скріншота результатів розрахунку методом K123 наведеної задачі у системі CAS MAXIMA на рис. 3. На рисунку вихідні данні й три стандартні команди.

Приклад команд визначення сили гідростатичного тиску на плоску трапецієдальну поверхню в CAS MAXIMA методом трьох команд K123 (враховано прошарок води висотою h_1) на рис. 4. Загальна форма

запису формул не змінилась. Додали величину прошарку води, який позначено h_1 .

Скріншот розрахунку команд авторським методом K123 у середовищі системи комп'ютерної алгебри CAS MAXIMA. Варіант розрахунку включає прошарок води між вільними поверхнею води й верхньою граню плоскої поверхні на рис. 5.

Враховуємо прошарок води шляхом додавання відповідної величини до елементу, який характеризує глибину занурення відповідної точки на поверхні рідини. Загальна формула має стандартний формат запису.

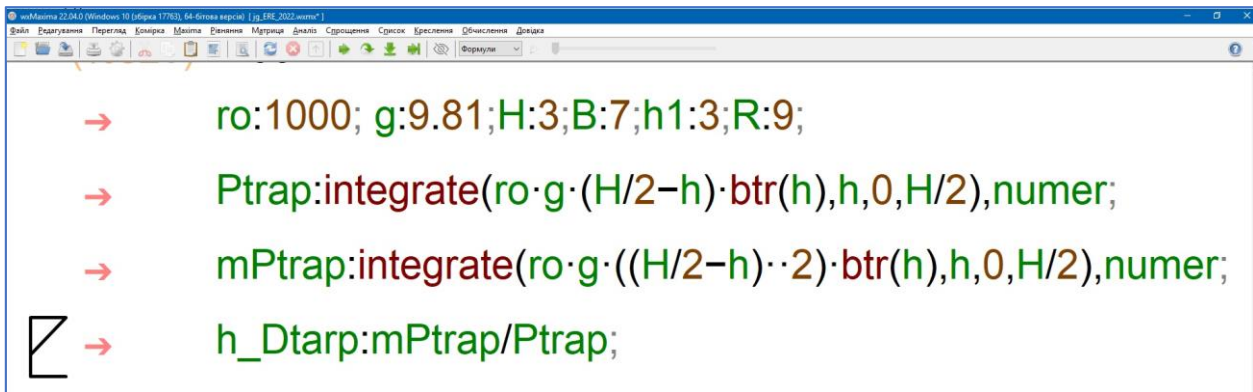


Рис. 2. Метод трьох команд K123. Варіант №1. скріншота розрахункових формул методу K123
Fig. 2. Method of three commands K123. Option #1. screenshot of the calculation formulas of the K123 method

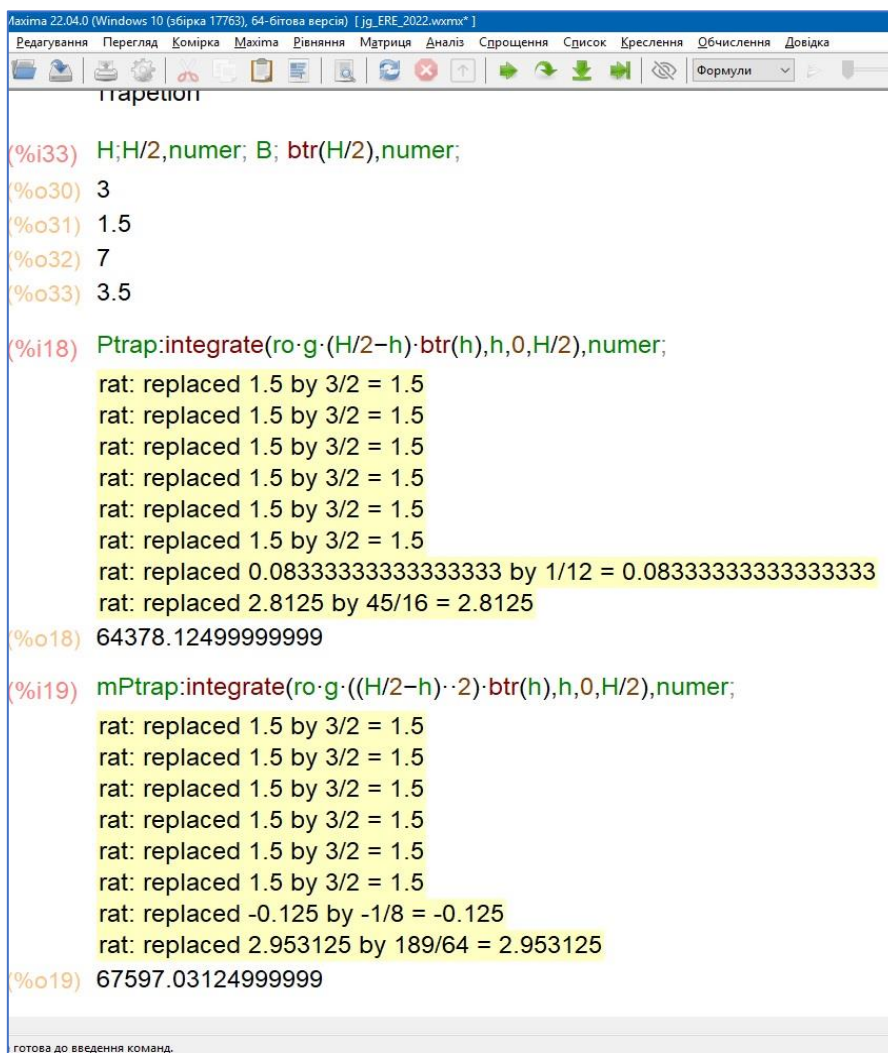


Рис. 3. Метод трьох команд K123. Варіант №1. Аналітичний розрахунок сили тиску на вертикальну проекцію поверхні трапецоїдальної форми
Fig. 3. Method of three commands K123. Option #1. Analytical calculation of the pressure force on the vertical projection of the trapezoidal surface

```
(%i50) ro:1000;g:9.81;H:3;B:7;h1:3;R:9;h1:2;
(%i51) Ptrap:integrate(ro*g*(H/2-h+h1)*btr(h),h,0,H/2),numer;
(%i52) mPtrap:integrate(ro*g*((H/2-h+h1)*h)*btr(h),h,0,H/2),numer;
(%i53) h_Dtarp:mPtrap/Ptrap;
```

Рис. 4. Скріншот команд в CAS MAXIMA визначення сили гідростатичного тиску на плоску трапеціюдальну поверхню авторським методом K123 (додано прошарок води висотою h_1)

Fig. 4. Screenshot of the commands in CAS MAXIMA for determining the force of hydrostatic pressure on a flat trapezoidal surface by the author's method K123 (added a layer of water with a height of h_1)

```
(%i40) ro:1000;g:9.81;H:3;B:7;h1:3;R:9;h1:2;
(%o40) 1000
(%o41) 9.81
(%o42) 3
(%o43) 7
(%o44) 3
(%o45) 9
(%o46) 2

(%i41) Ptrap:integrate(ro*g*(H/2-h+h1)*btr(h),h,0,H/2),numer;
rat: replaced 1.5 by 3/2 = 1.5
rat: replaced 1.5 by 3/2 = 1.5
rat: replaced 1.5 by 3/2 = 1.5
rat: replaced 3.5 by 7/2 = 3.5
rat: replaced 3.5 by 7/2 = 3.5
rat: replaced 3.5 by 7/2 = 3.5
rat: replaced 0.0833333333333333 by 1/12 = 0.0833333333333333
rat: replaced 9.5625 by 153/16 = 9.5625
(%o41) 21885.625

(%i42) mPtrap:integrate(ro*g*((H/2-h+h1)*h)*btr(h),h,0,H/2),numer;
rat: replaced 1.5 by 3/2 = 1.5
rat: replaced 1.5 by 3/2 = 1.5
rat: replaced 1.5 by 3/2 = 1.5
rat: replaced 3.5 by 7/2 = 3.5
rat: replaced 3.5 by 7/2 = 3.5
rat: replaced -0.0416666666666666 by -1/24 = -0.0416666666666666
rat: replaced 27.703125 by 1773/64 = 27.703125
(%o42) 634124.5312499999

(%i43) h_Dtarp:mPtrap/Ptrap;
(%o43) 2.897058823529412
```

Рис.5. Скріншот розрахунку в CAS MAXIMA визначення сили гідростатичного тиску на плоску трапеціюдальну поверхню авторським методом K123 (додано прошарок води висотою h_1)

Fig.5. A screenshot of the calculation in CAS MAXIMA of determining the force of hydrostatic pressure on a flat trapezoidal surface by the author's method K123 (a layer of water with a height of h_1 is added)

Величина кута відхилення поверхні відносно горизонтальної (або вертикальної) осі не впливає на формат запису формул методу K123. На рис. 6 представлено розрахунок поправки на величину сили тиску в залежності від кута нахилу поверхні.

На рис. 6 представлено кут нахилу поверхні відносно горизонтальної осі. Відповідно й величина модуля рівнодійної сили гідростатичного тиску на нахилену поверхню збільшується оберненопропорційно синусу кута відносно горизонтальної осі, або косинусу у разі позначення відхилення відносно

вертикальної осі. У такий спосіб ми уникаємо ускладнення головних розрахункових формул, які записано за стандартним алгоритмом методу трьох команд K123. Розрахунок проводиться за стандартними формулами (три стандартні команди – рис. 4, або із урахуванням прошарку води – рис. 5.), а далі вводимо поправку на кут нахилу поверхні за формулою на рис. 6.

Проаналізуємо першу формулу методу K123 для розрахунку величини модуля сили гідростатичного тиску. На рис. 7 позначено перша формула авторського алгоритму.

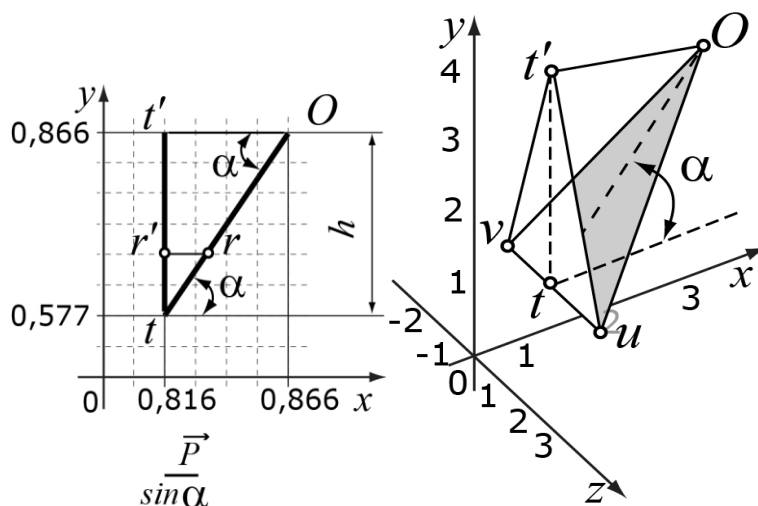


Рис. 6. Поправка на кут нахилу плоскої поверхні відносно горизонтальної осі
Fig. 6. Correction for the angle of inclination of a flat surface relative to the horizontal axis

Перша строчка – вводу вихідних даних задачі. Друга строчка – перша команда авторського алгоритму для аналітичного розрахунку. Момент сили – третя строчка – відрізняється виключно додатком величини важеля, який позначає положення точки відносно, у даному випадку, вільної поверхні рідини.

Оскільки важіль співпадає із глибиною занурення, ми возводимо цей елемент у другу ступінь. Іншими словами, нам

необхідно вводити тільки першу формулу. Друга формула вводиться комбінацією клавіш “Ctrl”+”C” й “Ctrl”+”V” – копіюванням із додаванням другої ступені у формулу. Формулу не потрібно набирати. Означена особливість команд дозволяє нам суттєво економити час й уникати появи помилок ручного вводу. По суті – на практиці – ми вводимо тільки першу команду авторського алгоритму K123.

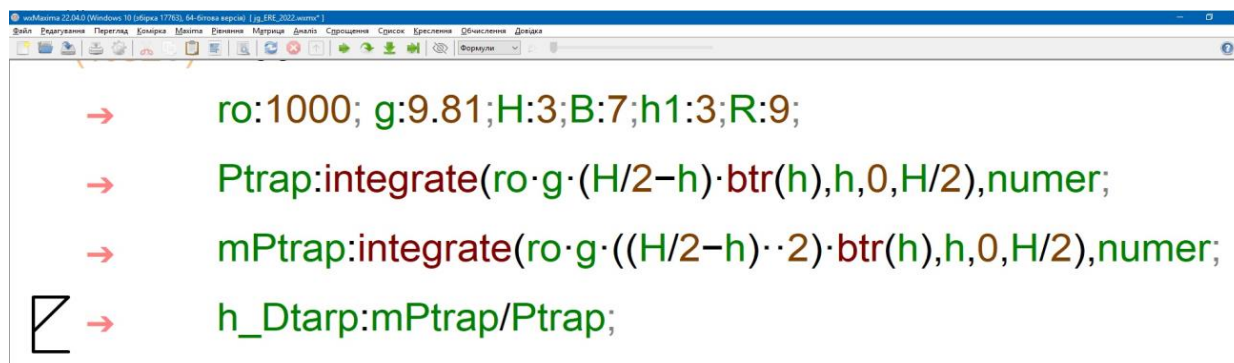


Рис. 7. Скріншот команд в CAS MAXIMA визначення сили гідростатичного тиску на плоску трапеціюдалну поверхню авторським методом K123

Fig. 7. Screenshot of commands in CAS MAXIMA for determining the force of hydrostatic pressure on a flat trapezoidal surface by the author's method K123

Нескладно побачити, що враховано величину прошарку води h_1 (дивись рис. 4), який не впливає на загальний алгоритм корегування другої команди. Третя строчка на скріншоті – друга команда алгоритму відрізняється від другої строчки – першою

команди – тільки наявністю другої ступені члена, який відповідає за глибину занурення даної точки поверхні. У разі визначення глибини занурення центру тиску (четверта строчка скріншоту – третя формула методу K123) ми у будь-якому випадку

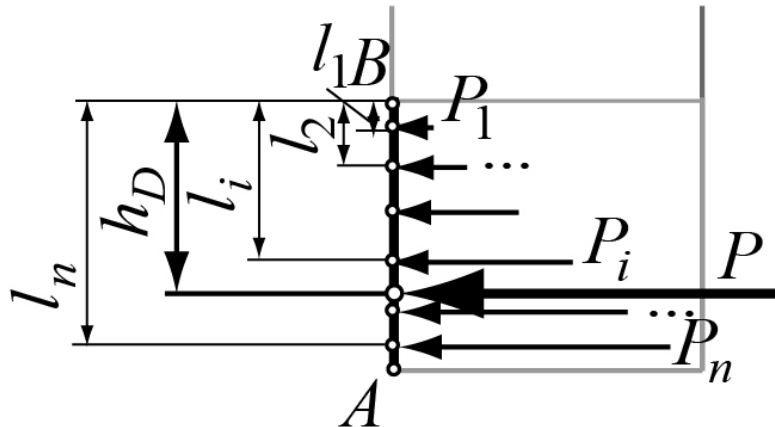


Рис.9. Система паралельних сил приведена до рівнодійної
Fig.9. The system of parallel forces is brought to equilibrium

Стандартна задача, яку не згадують в жодному сучасному підручнику гідравліки, за винятком окремих випадків. А стандартний алгоритм, представлений на рис. 1, не має нічого спільного із вирішенням цієї стандартної для багатьох предметів задачі приведення системи паралельних сил до рівнодійної або визначення центру тиску фігури довільної форми.

Чисельний алгоритм методу трьох команд K123 можна реалізувати у будь-якому програмному пакеті електронних таблиць, систем комп'ютерної алгебри. Для інженерного оціночного розрахунку достатньо ручного розрахунку 5-10 ітерацій. Такий варіант дозволяє проводити розрахунки для поверхні будь-якої довільної форми (загальний варіант далі).

ВАРІАНТ №3. Геометричний

Розвиток систем комп'ютерного моделювання, висока складність аналітичного апарату точного завдання об'єктів реального світу породила нові алгоритми. По аналогії із спрощенням розрахунків в чисельних алгоритмах порівняно із аналітичними викладками, розроблено апарат апроксимації будь-якої поверхні стандартними примі-

тивами. Універсальний примітив у 3D моделюванні є трикутна плоска поверхня.

Скористаємось цією універсальною та потужною ідеєю й апроксимуємо нашу трапецеїдальну поверхню різними примітивами. Наприклад, представимо нашу задану поверхню у вигляді трикутних плоских поверхонь. Для кожної окремої плоскої трикутної поверхні визначення сили гідростатичного тиску можна реалізувати вручну й без залучення складних формул. На рис. 10 представлено нашу трапецеїдальну поверхню у вигляді різниці двох простих трикутних примітивів. Додатково скористаємось ідеями Варіанту №2 – як знайти центр ваги фігури довільної форми. Шукану фігуру можна утворити композицією відомих простих примітивів, або їх різницею.

В нашому випадку ми маємо різницю сили тиску на загальну трикутну й верхню трикутну поверхні.

Для моменту сили тиску (за заданою умовою задачі) обираємо відстань між окремою точкою поверхні та вільною поверхнею рідини. Приклад можна прорахувати за стандартними формулами для трикутної поверхні.

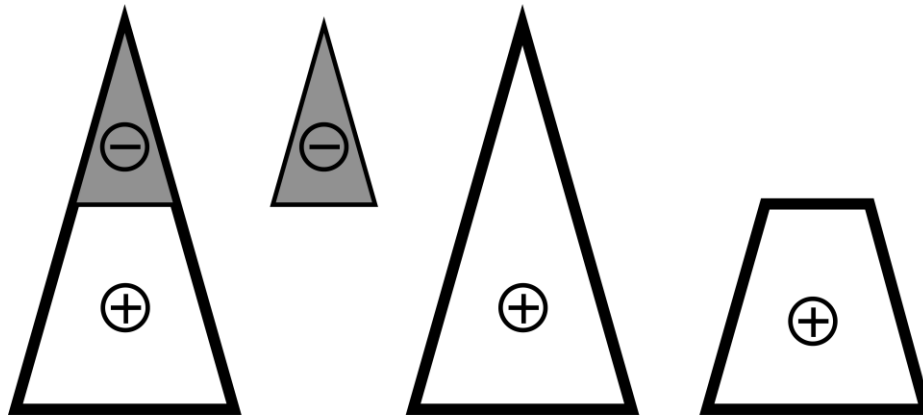


Рис. 10. Визначення різниці сили й моментів сили тиску відносно вільної поверхні рідини

Fig. 10. Determination of the difference in force and moments of the pressure force relative to the free surface of the liquid

ВАРИАНТ №4. Загальний.
Криволінійна трапеція

У загальному випадку ми маємо можливість розглянути елемент криволінійної

трапеції. У разі відомого аналітичного запису граней трапеції, ми маємо можливість скористатись відомою формулою Ньютона-Лейбніца. На рис. 11 представлено елемент криволінійної трапеції.

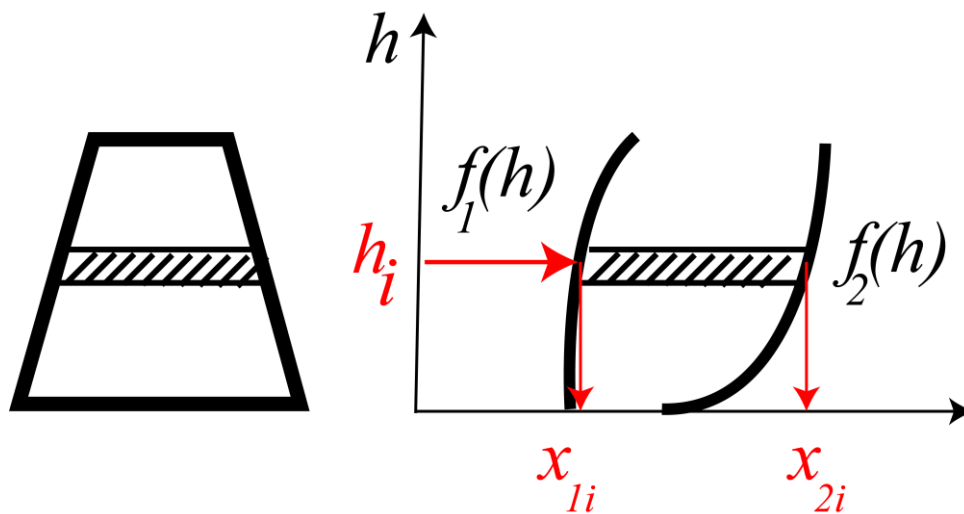


Рис. 11. Криволінійна трапеція
Fig. 11. Curvilinear trapezoid

Якщо нам відомі обернені функції $x_1=f(h_i)$ залежності абсциси (грань 1 прошарку) “ x ” від “ y ”(заданої глибини прошарку h_i) та відповідні координати другої грані – $x_2=f(h_i)$, ми маємо можливість розраховувати ширину горизонтального прошарку в залежності від глибини “ h ”. У нашому випадку ми маємо знати координати верхньої та нижньої точки бокових граней

заданої трапеціодальної поверхні. Обернену функцію ми отримаємо записавши рівняння прямої (яка описує бокову грань трапеції) яка проходить через дві точки. Різниця цих функцій дає залежність ширини горизонтального прошарку від глибини занурення. У такий спосіб ми маємо записати залежність, яка позначена $btr(h)$ на рисунках 2, 3, 4, 5, 7. Приклад формули на рис. 12.

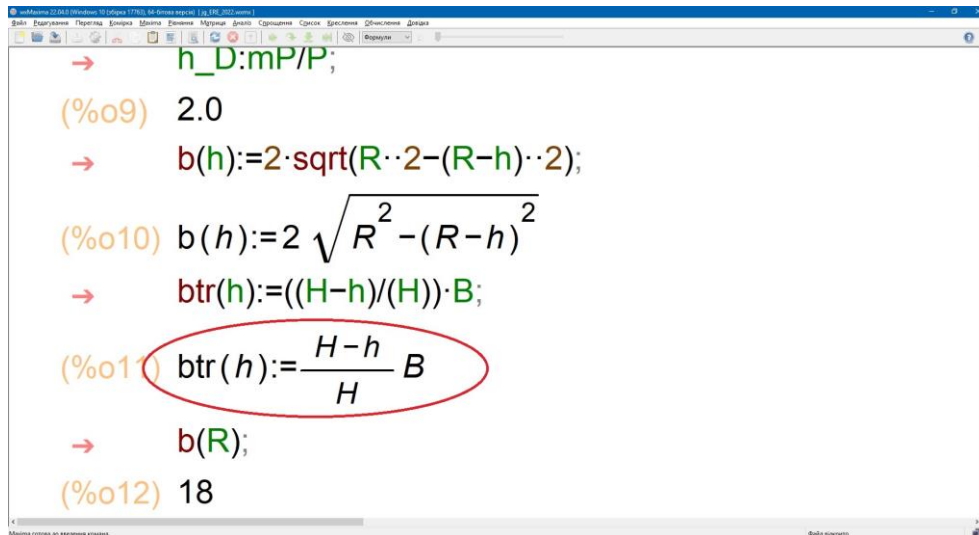


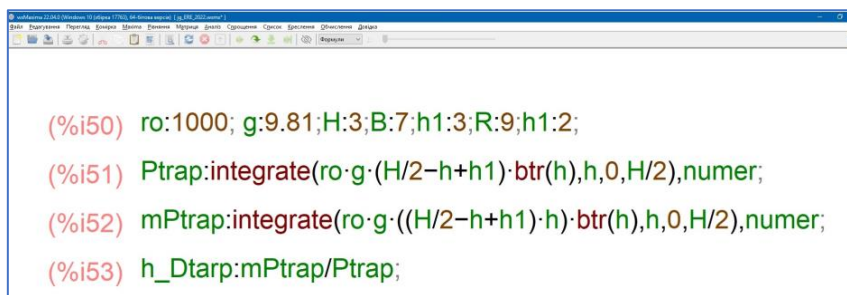
Рис. 12. Скріншот формул залежності ширини горизонтального прошарку від глибини для трикутної, трапецеїдальної поверхні та півкола

Fig. 12. Screenshot of the formulas for the dependence of the width of the horizontal layer on the depth for a triangular, trapezoidal surface and a semicircle

Для запису верхньої формули – для півкола – достатньо знати теорему Піфагора. Для трикутної та трапецеїдальної форми поверхні – формулу обведено – записати співвідношення у подібних трикутниках. Змінюючи межі інтегрування ми маємо або трикутну поверхню, або трапецеїдальну поверхню при інтегруванні на величину частини висоти трикутника. Іншими словами, ми скористались простими відомими

формулами. Відсутня необхідність у чисельних довідкових формулах, які ми вимушені використовувати у стандартному алгоритмі на рис. 1.

Порівняємо формулу розрахунку глибини занурення центру тиску на скріншоті методом K123 (команда (%i53 “*h_Dtarp*”, рис. 13.a) й стандартним алгоритмом (“*z_д*” на рис. 13.b).



a) Метод K123 - команда (%i53) – визначення глибини занурення “*h_Dtarp*”

$$z_{\text{д}} = \frac{(H - h_0) [H (B + 3b) + h_0 (3B + 5b)] + 6h_0^2 (B + b)}{2 [h_0 (b + 2B) + H (B + 2b)] \sin \alpha}$$

b) Стандартний алгоритм - визначення глибини занурення – “*z_д*”

Рис.13. Формули визначення глибини занурення центру тиску: a) Метод K123; b) Стандартний алгоритм

Fig.13. Formulas for determining the depth of immersion of the center of pressure: a) Method K123; b) Standard algorithm

ВИСНОВКИ

Який варіант обрати нам – викладачам – для сучасного навчального процесу:

– чотири варіанти вирішення задачі на основі ручних та комп'ютерних розрахунків із використанням базового геометричного змісту задачі та єдиних базових принципів, які лежать в основі багатьох інженерних дисциплін й мають спільні рішення;

– стандартний алгоритм, перевірений 120 роками незмінного викладання стандартного набору обмеженої кількості задач?

Який варіант сучасного інженерного розрахунку може обрати молодь? Сучасне покоління молоді налаштоване на швидкий результат. Вони добре володіють всім арсеналом п'ятого технологічного укладу: паралельне вирішення задач, використання сучасних мікропроцесорних гаджетів, комунікації соціальних мереж, хмарові технології та серверні розрахунки. Вибір – прагматичний й раціональний – молодь зробить самостійно. Наприклад, порівняйте 20 символів у строчку методом K123 (команда (%i53) на рис.13.a) проти 73 символи із чисельними парними дужками у формулі стандартного алгоритму (“z_d” на рис.13.b) для визначення глибини занурення центру тиску. Для стандартного алгоритму означена формула буде унікальною для кожної задачі. В методі K123 для будь-якої поверхні означена формула **о д н а к о в а** – відношення моменту сили до її величини.

Сучасні підручники ведучих світових Вишів у розділі гідростатика включають формули за наведеним Варіантом №1 (тільки варіанти аналітичних розрахунків тиску на плоску поверхню).

Авторський алгоритм методу трьох команд K123 передбачає використання трьох стандартних команд для визначення тиску на плоску та криволінійну поверхні будь-якої форми. На відміну від стандартних загальноприйнятих алгоритмів (рисунок 1), **в основі всіх розрахунків авторським методом трьох команд K123 (рисунки 2-13) лежать три стандартні форми запису команд: єдиний підхід, єдині формули й простота реалізації [3,8].**

Ми маємо розробляти нові наукові основи й положення, впроваджувати нові алгоритми, які використовують сучасні комп'ютерні й комунікаційні та програмні технології, а формули стандартних алгоритмів (рис. 1) дозволять нам в окремих випадках перевіряти тестові розрахунки й роботу програмного коду.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Богомолов А. И., Михайлов К. А.** Гидравлика. Учебник для вузов. Изд. 2-е, перераб. И доп. Москва: Стройиздат, 1972. 648 с.
2. **Копаниця Ю. Д.** Визначення сили гідростатичного тиску на сферичну поверхню в умовах відносної рівноваги рідини методом K123 / Ю. Д. Копаниця // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2020. Вип. 34. С. 12-18. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2020.34.12-18>
3. **Копаниця Ю. Д.** Аналіз алгоритмів визначення гідростатичного тиску на поверхню довільної форми за стандартними формулами і методом трьох команд k123 // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2017. Вип. 28. С. 187-195. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/bitstream/handle/987654321/3048/201728-187-195.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
4. **Копаниця Ю. Д.** Розрахунок гідростатичного тиску на несиметричну плоску поверхню. універсальний алгоритм трьох команд K123 // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2016. Вип. 27. С. 177-186. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/PVVG_2017_27_26.
5. **Копаниця Ю. Д.** Визначення гідростатичного тиску на плоский сегмент методом трьох команд K123 // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2016. Вип. 26. С. 148-152. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/PVVG_2016_26_22.
6. **Копаниця Ю. Д.** Інтегральні рівняння метода трьох команд K123 // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2013. Вип. 22. С. 161-173. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/PVVG_2013_22_20.
7. **Копаниця Ю. Д.** Аналіз виміру епюри гідростатичного тиску на криволінійну поверхню. Універсальний метод розрахунку K123 // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2013. Вип. 21. С. 165-180. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/PVVG_2013_21_20.
8. **Копаниця Ю. Д.** Розрахунок гідростатичного тиску на криволінійну поверхню. Універсальний алгоритм трьох команд - K123 //

Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2012. Вип. 20. С. 105-119. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/PVVG_2012_20_13.

9. **Копаниця Ю. Д.** Комп'ютерний розрахунок сили тиску. Універсальний алгоритм трьох команд - K123 // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2012. Вип. 18. С. 148-163. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/PVVG_2012_18_17.

REFERENCES

1. **Bogomolov, A., & Mihaylov, K. (1972).** Hydraulics. Moskva: Stroyizdat. [in Russian]

2. **Kopanytsia, Y. D. (2020).** Determination of the force of hydrostatic pressure on a spherical surface under conditions of relative equilibrium of a liquid by the K123 method. *Problems of water supply, sewage and hydraulics*, 34. 12-18. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2020.34.12-18>

3. **Kopanytsia, Y. D. (2017).** Analysis of algorithms for determining hydrostatic pressure on a surface of arbitrary shape according to standard formulas and the method of three commands k123. *Problems of water supply, sewage and hydraulics*, 28. 187-195. Retrieved from <https://repository.knuba.edu.ua/bitstream/handle/987654321/3048/201728-187-195.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [in Ukrainian]

4. **Kopanytsia, Y. D. (2016).** Calculation of hydrostatic pressure on an asymmetric flat surface. universal algorithm of three commands K123. *Problems of water supply, sewage and hydraulics*, 27. 177-186. [in Ukrainian]

5. **Kopanytsia, Y. D. (2016).** Determination of hydrostatic pressure on a flat segment by the method of three commands K123. *Problems of water supply, sewage and hydraulics*, 26. 148-152. [in Ukrainian]

6. **Kopanytsia, Y. D. (2013).** Integral equations of the method of three commands K123. *Problems of water supply, sewage and hydraulics*, 22. 161-173. [in Ukrainian]

7. **Kopanytsia, Y. D. (2013).** Analysis of hydrostatic pressure plot measurement on a curved surface. Universal calculation method K123. *Problems of water supply, sewage and hydraulics*, 21. 165-180. [in Ukrainian]

8. **Kopanytsia, Y. D. (2012).** Calculation of hydrostatic pressure on a curved surface. Universal algorithm of three commands - K123. *Problems of water supply, sewage and hydraulics*, 20. 105-119. [in Ukrainian]

9. **Kopanytsia, Y. D. (2012).** Computer calculation of pressure force. Universal algorithm of three commands - K123. *Problems of water supply, sewage and hydraulics*, 18. 148-163. [in Ukrainian]

Study of four options for determining hydrostatic pressure on a plane surface by the three-command method K123

Yuri Kopanytsia, Olena Gizha, Oksana Nechypor, Nestan Tavartkiladze

Abstract. Four different options of modern engineering calculation for solving one standard problem were studied. Four different modern options for solving one standard problem based on the new author's method of three K123 commands. The basis of the author's method is the geometric content and formulation of the problem of determining the hydrostatic pressure on a flat surface using the example of a standard typical problem of hydrostatics. The algebraic component of the implementation of the problem solution is used as an auxiliary calculation technology.

A full factorial experiment was conducted. According to the results of the work, the set goal was achieved - the total number of factors was reduced. Based on the methods of statistical analysis, the following conclusions were obtained: a statistically significant relationship was established between the use of concrete pipes at a low speed and the largest number of pipeline accidents. The material of the pipeline and the speed in it turned out to be the most influencing factors on the life of the pipeline and the number of accidents on the pipeline. The purpose of the presented work is to show the relevance of the development of scientific foundations, new algorithms and corresponding calculation technologies in modern engineering hydraulic calculations, which include individual achievements - unfortunately missed in the domestic educational literature - of the fifth technological order: cybernetics, computers, numerical methods, communication

Key words: force of hydrostatic pressure, method of three commands K123, plot, center of gravity, center of pressure.

Стаття надійшла до редакції 06.11.2022