

ВИЗНАЧЕННЯ СИЛИ ГІДРОСТАТИЧНОГО ТИСКУ НА ПЛОСКУ ПОВЕРХНЮ ДОВІЛЬНОЇ НЕСИМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ МЕТОДОМ ТРЬОХ КОМАНД K123

Юрій Копаниця¹, Олена Гіжа², Оксана Нечипор³, Олександр Кормільцин⁴

Київський національний університет будівництва і архітектури
31, проспект Повітряних Сил, Київ, 03037, Україна

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

² канд. тех. наук., gizha.oo@knuba.edu.ua, orcid.org//0000-0003-4878-6850

³ канд. тех. наук., nechypor.om@knuba.edu.ua, orcid.org//0000-0001-8635-2231

⁴ kormiltsin_ov-2022@knuba.edu.ua, orcid.org//0009-0004-0530-350X

DOI: 10.32347/2524-0021.2024.47.12-22

Анотація. Конкурентна боротьба в умовах широкого доступу до необмежених об'ємів інформації та комп'ютеризація всіх галузей виробництва й сервісів висуває жорсткі вимоги до спеціалізованих знань, практичних навиків та загальної математичної культури майбутніх інженерів.

Представлено онлайн програму сучасного багатоваріантного інженерного розрахунку задачі визначення сили гідростатичного тиску на елемент плоскої несиметричної поверхні із криволінійною гранню – <https://www.k123.org.ua/jeh5.html>. Алгоритми реалізовано за авторським методом трьох команд K123 © Копаниці Ю.Д (далі метод K123). Реалізовано клієнт-серверне рішення на базі технології CGI із веб-формою вводу вихідних даних.

Результати он-лайн розрахунку виконано за новими аналітичними залежностями, які отримано на основі авторського методу K123. Паралельно впроваджено чисельні алгоритми авторського методу трьох команд K123 й виводи відповідних розрахунків у табличній формі. Серверна програма генерує графіку на основі координат точок, які отримано ітераційними розрахунками за алгоритмами чисельної реалізації методу K123. Автоматично визначається відносна похибка ітераційних розрахунків та оцінка точності результату на основі запропонованих точних аналітичних залежностей.

Ключові слова: метод трьох команд K123, сила гідростатичного тиску, чисельні методи, онлайн розрахунок.

ВСТУП

Розвиток та впровадження сучасних інформаційних технологій у всі сфери народного господарства суттєво розширює та змінює характер вимог до працівників. Конкурентна боротьба в умовах широкого доступу до необмежених об'ємів інформації та комп'ютеризація всіх галузей виробництва й сервісів висуває жорсткі вимоги до спеціалізованих знань, практичних на-

вичок та загальної математичної культури майбутніх інженерів.

Представлено роботу онлайн програми сучасного багатоваріантного інженерного розрахунку задачі визначення сили гідростатичного тиску на елемент плоскої несиметричної поверхні із криволінійною гранню – <https://www.k123.org.ua/jeh5.html>. Алгоритми реалізовано за авторським методом трьох команд K123 (с) Копаниці Ю.Д (далі метод K123) [1-3,6-13]. Запропоновано

клієнт-серверне рішення на базі технології CGI із веб-формою вводу вихідних даних [4,5].

Генерація результатів он-лайн розрахунку за новими аналітичними залежностями на основі авторського методу K123 дозволяє отримати точне рішення. Паралельно реалізована чисельна реалізація авторського методу трьох команд K123 й виводи відповідних розрахунків у табличній формі. Серверна програма відтворює візуалізацію графічного рішення задачі на основі координат точок, які отримано ітераційними розрахунками за алгоритмами чисельної реалізації методу K123.

МЕТА І МЕТОДИ

В роботі представлено :

- дослідження варіантів програмування статичної веб-сторінки із постановкою задачі для мобільних та стаціонарних платформ;
- розроблено формати аудіо, відео й текстової подачі довідкової інформації, яка включає три варіанти вирішення поставленої задачі: функціональні залежності для точного аналітичного розрахунку, презентація графічного рішення задачі та алгоритм й формули чисельної реалізації розрахунку задачі за авторським методом K123;
- динамічне форматування та вивід результатів розрахунків в інтерактивному онлайн режимі за клієнт-серверною технологією із урахуванням вимог до сучасних мобільних платформ;
- передбачено вивід результатів окремого ітераційного розрахунку за методом K123 для налагодження, тестування й отладки програмного коду у разі використання у навчальному процесі елементів програмування в системі комп'ютерної математики (на прикладі CAS MAXIMA);
- реалізовано вивід у табличному форматі всіх проміжних ітераційних розрахунків (без обмеження кількості ітерацій);
- серверна частина програми нальоту масштабує й генерує відповідне до заданої кількості ітерацій графічне відображення результатів ітераційних розрахунків;

– впроваджено аналіз та генерацію рекомендацій щодо оцінки точності розрахунків у відносних одиницях для аналітичного точного рішення та чисельного результату із заданою кількістю ітерацій;

– програмно реалізована автоматична підвищена точність розрахунків шляхом подвоєної та збільшеної вчетверо кількості ітерацій. Паралельно проведено порівняльний аналіз оцінки точності розрахунку за чисельною реалізацією методу K123 із вищезначеними кількостями ітерацій та відповідними результатами за запропонованими аналітичними залежностями.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Задача визначення сили гідростатичного тиску на плоску поверхню має єдину проблематику із чисельними навчальними прикладами у курсах:

- Фізика - визначення центру ваги тіла та моменту сили;
- Теоретична механіка - приведення системи паралельних сил до рівнодійної;
- Вища математика, розділі Інтегральне обчислення – знаходження центру ваги тіла.

В статті представлено прикладні аспекти використання універсального авторського методу K123 © Копаниці Ю.Д. на прикладі визначення сили гідростатичного тиску на плоску несиметричну трикутну поверхню із одною криволінійною гранню – трикутник MOE (рис.1).

Впроваджено елементи “**users experience**” (загальноприйняте скорочення «UX») та “**Usability**” (ISO/TR 16982:2002) інтерфейси для мобільних додатків [20,23-25]:

- приклад скріншоту екрану Full HD 1920x1080 веб-інтерфейсу програми онлайн розрахунків на рис. 1 включає горизонтальну прокрутку п'яти малюнків;
- плаваючий блок типу “aside” додатково інформує які параметри вектору сили тиску треба визначити;
- підкреслені елементи включають спливаючі визначення.

ГІДРОСТАТИКА. МЕТОД ТРЬОХ КОМАНД K123

Визначення гідростатичного тиску на плоску поверхню довільної несиметричної форми методом трьох команд K123

Задача

Розрахувати силу гідростатичного тиску на плоский криволінійний елемент кришки (на рисунку 1.а. позначено крапками MOE), який утворено квадратною кришкою та трубою радіусом $R = 1\text{ м}$. Плоский криволінійний трикутний елемент "MOE" має несиметричну форму (дивись рис.1 б).

Розрахувати силу гідростатичного тиску на плоский криволінійний елемент кришки (на рисунку 1.а. позначено крапками MOE), який утворено квадратною кришкою та трубою радіусом $R = 1\text{ м}$. Плоский криволінійний трикутний елемент кришки "MOE" має несиметричну форму (дивись рис.1 б).

Визначення параметрів вектору сили гідростатичного тиску передбачає визначення трьох параметрів: величини, напрям дії, координати центру тиску - позначено крапкою "D" (див. рис.1.б) відносно двох ортогональних напрямів в локальній системі координат "AOE": ордината - h_{Dy} , та абсциса h_{Dx} .

Необхідно визначити параметри вектору сили гідростатичного тиску:

- модуль вектору сили - \vec{P} ;
- напрям дії;
- координати центру тиску.

<p>а) "MOE", де:</p> <p>п - п - п</p>	<p>б) чисельні розрахунки. Визначення залежності $b = f(h)$, де b - довжина лінії "sv" - змінної ширини прошарку "svtu" з певною висотою Δh, яка залежить від ординати h у локальній системі координат AOE;</p>	<p>в) чисельні розрахунки. Визначення моменту сили гідростатичного тиску у локальній системі координат AOE: де $(R - \frac{b}{2})$ - важіль моменту сили відносно вертикальної осі; h - важіль моменту сили відносно горизонтальної осі;</p>	<p>г) координати центру тиску в локальній системі координат AOE. h_{Dy} - координата відносно вертикальної осі; h_{Dx} - координата відносно горизонтальної осі;</p>
---	--	---	---

Рис. 1. Скріншот подання умови задачі на сайті - <https://www.k123.org.ua/jeh5.html>

Fig. 1. Screenshot of the task condition screen on the website -

<https://www.k123.org.ua/jeh5.html>

Сучасний тренд розвитку підручників включає нові теоретичні дослідження, враховує використання технології обчислювальної математики та її реалізації у системах комп'ютерної математики для прикладів розв'язування типових навчальних задач [14]. Саме у такий спосіб з'являється можливість задіяти потужний графічний потенціал команд у програмах розрахунку (електронні таблиці, системи комп'ютерної алгебри тощо), які також вже переведено на мобільні платформи смартфонів [14-26]. Розроблена програма генерації навчальної задачі та миттєвого онлайн розрахунку з елементами моделювання та аналізу є прикладом в мережі Інтернет елемента сучасного електронного навчального курсу «Технічна механіка рідини та газів» розділ «Гідростатика».

Універсальні он-лайн форми дозволяють генерувати необмежену кількість задач з відкритим доступом в мережі Інтернет. Для кожного окремого типу навчальних задач достатньо чотирьох (максимум п'ятишести) універсальних форм он-лайн розрахунків. У такий спосіб розширюється стандартний набір умов задач із широкою варіативністю вихідних даних, доступними

методами й оцінкою точності розрахунків. Програму реалізовано із урахуванням мобільного використання й тому вигляд скріншотів елементів екрану має різний формат відповідно до роздільної здатності екрану [15-19].

В статті представлено технологію реалізації програмного клієнт-серверного онлайн розрахунку прикладу «нестандартної» навчальної задачі на визначення сили гідростатичного тиску за посиланням – <https://www.k123.org.ua/jeh5.html>. На базі авторського універсального методу трьох команд K123 представлено нові аналітичні розрахункові формули та результати вирішення представленої задачі <https://www.k123.org.ua/jeh5.html> (загальний скріншот статичної сторінки інтерфейсу програми – роздільна здатність SVGA 800x600 – на рис. 2).

Інтерфейс програми, який представлено на статичній сторінці (роздільна здатність SVGA 800x600 рис.1.), включає:

- умову задачі;
- блок типу “aside” уточнення елементів завданням;

ГІДРОСТАТИКА. МЕТОД ТРЬОХ КОМАНД К123

Визначення гідростатичного тиску на плоску поверхню довільної несиметричної форми методом трьох команд K123

Задача

1) Розрахувати силу гідростатичного тиску на плоский криволінійний елемент кришки (на рисунку 1.а. позначено крапками МОЕ), який утворено квадратною кришкою та трубою радіусом $R = 1\text{ м}$. Плоский криволінійний трикутний елемент кришки "МОЕ" має несиметричну форму (дивіться рис.1.б).

2) Необхідно визначити параметри вектору сили гідростатичного тиску:

- модуль вектору сили - P ;
- напрям дії;
- координати центру тиску.

Визначення параметрів вектору сили гідростатичного тиску передбачає визначення трьох параметрів: величину, напрям дії, координати центру тиску - позначено крапкою "D" (див. рис.1.б) відносно двох ортогональних напрямів в локальній системі координат "AOE": ордината - h_{Dy} та абсциса h_{Dx} .

7) QUICK REFERENCE CARD

Формули. Метод K123. Аналітичний розрахунок,

за умовою величини радіусу $R=1\text{ м}$

1. Функціональна залежність у канонічній формі (Canonical Rational Expression, дає CRE):

$$P_{\text{-rat}}(h) := -\left(3270\sqrt{2h - h^2}\right) - 4905h^2 + 9810h;$$
2. Функціональна залежність координати центру тиску по осі ординат у форматі CRE:

$$h_{\text{-D_rat}}(h) = \frac{-(3 \cdot \pi - 8)}{16\sqrt{2h - h^2} + 24h^2 - 48h};$$
3. Функціональна залежність координати центру тиску по осі абсцис у форматі CRE:

$$h_{\text{-D_rat}}(x) = \frac{3h^4 - 12h^3 + 18h^2 - 12h}{8\sqrt{2h - h^2} + 12h^2 - 24h};$$

8) Графік функціональної залежності:

Залежність сили гідростатичного тиску $P(h)$ від положення вільної поверхні рідини відносно локальної системи координат AOE (рис.1.б), за умовою радіусу кола $R=1\text{ м}$

9) Метод K123. Чисельні методи (окрема ітерація):

- Визначення сили гідростатичного тиску:

$$B(h) = R - \sqrt{R^2 - (R - h)^2}$$
- Визначення моменту сили гідростатичного тиску відносно вертикальної осі:

$$mP(h) = \rho \cdot g \cdot (R - h) \cdot B(h) \cdot dh;$$
- Визначення моменту сили гідростатичного тиску відносно горизонтальної осі:

$$mP_x(h) = \rho \cdot g \cdot (R - h) \cdot B(h) \cdot \left(R - \frac{B(h)}{2}\right) \cdot dh;$$
- Визначення координати центру тиску відносно вертикальної осі:

$$h_{Dy} = \frac{mP_y}{P_h};$$
- Визначення координати центру тиску відносно горизонтальної осі:

$$h_{Dx} = \frac{mP_x}{P_h};$$

3) Чисельні розрахунки. Визначення залежності $b = f(h)$, де b - довжина ліній "sv" - змінної ширини пропарки "sv" з певною висотою Δh , яка залежить від ординати h у локальній системі координат AOE;

д) Чисельні розрахунки. Визначення моменту сили гідростатичного тиску у локальній системі координат AOE: де $(R - \frac{b}{2})$ - важіль моменту сили відносно вертикальної осі; h - важіль моменту сили відносно горизонтальної осі;

е) Координати центру тиску координат AOE, h_{Dx} - координата відносно осі; h_{Dy} - координата відносно осі

4) Представлено дуальніваріантний комп'ютерний розрахунок параметрів векторної величини \vec{P} - сили гідростатичного тиску на плоску поверхню довільної форми включає:

- Аналітичний розрахунок методом K123 (формули - натисні іконку ORC);
- Графік функціональної залежності на основі методу K123 (прислав графіку - натисні іконку ORC);
- Чисельні алгоритми методу K123 (формули - натисні іконку ORC).

10) Форма вводу даних:

Радіус труби $R = 1.0\text{ м}$

Десятичні розряди відокремлено крапкою. Натуралю, 4.5 (4#)

Нульове значення 0, 0.0, 0) не вводимо. Нульове значення представляємо малим числом. Натуралю 0.000000001

Радіус труби $R = 1.0\text{ м}$ (1 to 4 characters):

Густина рідини $\rho = 1000.0 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ (1 to 4 characters):

Кількість ітерацій розрахунку $n = 10$ (1 to 4 characters):

[- НА ГОЛОВНУ -](#)

Рис. 2. Скріншот статичної сторінки (роздрібна здатність SVGA 800x600) із функціональними залежностями, приклад графіку та онлайн форма задачі на сайті: <https://www.k123.org.ua/jeh5.html>

Fig. 2. Screenshot of a static page (SVG resolution 800x600) with functional dependencies, a graphic example and an online task form on the site: <https://www.k123.org.ua/jeh5.html>

- горизонтальна прокрутка блоку із малюнками;
- перелік довідкової інформації із формулами та алгоритмами;
- блоки QRC типу «жалюзі» із формулами та графіком;
- відео – методичні рекомендації до роботи с програмою;
- розгорнутий блок QRC «Формули. Метод K123. Аналітичний розрахунок» (пункт 4);
- розгорнутий блок QRC «Графік аналітичної залежності» (пункт 4);
- розгорнутий блок QRC «Чисельні методи. Окрема ітерація» (пункт 4);
- онлайн форма вводу вихідних даних: густина, кількість ітерацій.

В загальному випадку Метод трьох команд K123 © Копаниці Ю.Д. має в основі єдину форму побудови розрахунку сили тиску на поверхню довільної форми, яку утворено криволінійними твірними та напрямними або її проекції на будь-який напрям в локальній системі координат у тривимірному просторі [6-13].

ПРИКЛАД РЕАЛІЗАЦІЇ МОБІЛЬНОГО УНІВЕРСАЛЬНОГО ВЕБ-ІНТЕРФЕЙСУ ТА ОН-ЛАЙН РОЗРАХУНКІВ

Постановку задачі: умова, рисунок, формули, алгоритми, графіки та он-лайн форма (рис. 2) – представлено в мережі Інтернет за посиланням <https://www.k123.org.ua/jeh5.html>. Для спрощення навчальної розрахункової задачі прийнято фіксовані величини: зафіксовано рівень вільної поверхні рідини відносно розглянутого трикутного елемента “МОЕ” та зафіксовано значення радіусу на рівні 1 м (рис.1). На прикладі даної постановки задачі запропоновано розглянути багатоваріантний (аналітичний, графічний, чисельний) підхід у вирішенні даної задачі. Представлено вирішення задачі із використанням нових функціональних залежностей (рис.2, пункт 7), які отримано методом K123. Спрощення умови задачі – зафіксоване положення вільної поверхні рідини та величина радіусу - дозволяє сконцентрува-

ти увагу на розрахунковому аспекті даного завдання.

Отримані методом K123 функціональні залежності (рис.2, пункт 7), дозволяють реалізувати графічний потенціал систем комп’ютерної алгебри (на прикладі програмування в системі CAS MAXIMA) та мати визначення сили гідростатичного тиску на будь-який горизонтальний прошарок розглянутої поверхні (рис.2, пункт 8). В системах комп’ютерної математики рішення отримується за допомогою однієї стандартної графічної команди (на прикладі CAS MAXIMA –команда «plot2d»). Ми уникаємо будь-яких розрахунків. Зчитування результату розрахунку з графічного зображення функціональної залежності – фактично, це зчитування координат точки на графіку – відбувається простим позиціонуванням положення миші на графіку (рис.2, пункт 8). Різниця показників ординат (відповідає величині сили тиску) для відповідних значень абсцис (відповідає висоті положення границі горизонтального прошарку в локальній системі координат) для двох крапок на графіку в обраній локальній системі координат “АОЕ” (рис. 1) – аналог розрахунків визначеного інтегралу за правилом Ньютона-Лейбніца. На малюку за посиланням – Quick Reference Card (іконка QRC «Графік функціональної залежності» на рис. 2, пункти 5, 8) <https://www.k123.org.ua/jeh5.html#qrc2> – представлено величину сили тиску на нижній горизонтальний прошарок елемента плоскої поверхні із криволінійною гранню висотою 0.2 метри (рис. 2, пункт 8). Початок локальної системи координат АОЕ визначає нижню грань прошарку (рис. 1. за посиланням <https://www.k123.org.ua/jeh5.html>). Максимальна висоту будь-якого прошарку угору обмежено у даному випадку радіусом кола в 1 м. Формули та алгоритм ітераційних розрахунків представлено на рис. 2 пункт 9. Скріншот сторінки із онлайн формою вводу вихідних даних на рис. 2 пункт 10.

Динамічна сторінка включає (рис.3):

- умову задачі;

1) **ГІДРОСТАТИКА. МЕТОД ТРЬОХ КОМАНД K123**
Визначення гідростатичного тиску на плоску поверхню довільної форми
Задача
 Мультиваріантний комп'ютерний розрахунок сили гідростатичного тиску на плоску поверхню довільної форми. Радіус труби $R=1$ м. Густина рідини $\rho = 1000.0 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Кількість ітерацій розрахунку $n=10$. Відповідно крок зміни глибини $dh = \frac{z}{n} = 0.1$ м.
 Необхідно визначити параметри вектора сили гідростатичного тиску \vec{P} : величину (координати початку в кінець вектору з дотриманням обраного масштабу), напрям дії, координати центру тиску відносно двох ортогональних напрямів (в обраній локальній системі координат).

2)

3) **Рис.1. Плоский криволинійний трикутний елемент кришки "МОЕ"**
 а) горизонтальний проширков поверхні "титу" в локальній системі координат AOE;
 б) координати центру тиску трикутного елементу кришки "МОЕ" в локальній системі координат AOE:
 • h_{Dx} - координата відносно вертикальної осі;
 • h_{Dy} - координата відносно горизонтальної осі.

4) **Визначити величини:**
 1. модуль вектору сили гідростатичного тиску $|\vec{P}|$;
 2. координати центру тиску відносно двох ортогональних напрямів (в обраній локальній системі координат - AOE).

Тестова відповідь
4) **Спрощені формули (для R=1 м):**
 • модуль величини вектору сили $|\vec{P}| = - (3270 \cdot \sqrt{2 \cdot R - R^2}) - 4905 \cdot R^2 + 9810 \cdot R = 1635 H$;
 • розрахунок вертикальної координати центру тиску відносно горизонтальної осі (в обраній локальній системі координат, дивись рис.5 умови задачі): $h_{Dy} = \frac{-(3 \cdot \pi - 8)}{(16 \cdot \sqrt{2 \cdot R - R^2}) + (24 \cdot R^2 - 48 \cdot R)} = 0.178$ м;
 • розрахунок вертикальної координати центру тиску відносно горизонтальної осі (в обраній локальній системі координат, дивись рис.5 умови задачі): $h_{Dx} = \frac{3h^4 - 12h^3 + 18h^2 - 12h}{8\sqrt{2h - h^2} + 12h^2 - 24h} = 0.75$ м.

5) **Перша ітерація. Результат розрахунку для $h_1 = dh = 0.1$ м**
 Перша ітерація. Таблиця №1

n	h	b	P	mP _h	mP _x
1	0.1	0.564	498.052	49.805	357.574

6) **Результати розрахунку сили тиску (n=10 ітерацій)**
Команда K1 - Сила гідростатичного тиску - $P_{T_n} = 2223.476$ Н;
Команда K2 - Момент сили відносно осі:
 • ординат - $mP_{T_y} = 284.182$ м · Н;
 • абсцисс - $mP_{T_x} = 1483.762$ м · Н.
Команда K3 - Координати центру тиску по осі:
 • ординат - $h_{D_y} = 0.127$ м;
 • абсцисс - $h_{D_x} = 0.667$ м.
Метод трьох команд K123:
 • K1 - модуль вектору сили;
 • K2 - момент сили;
 • K3 - координати центру тиску.

7) **Результати розрахунку 10 ітерацій Таблиця №2**

n	h	b	P	mP _h	mP _x	P _t
0	1	0.981	0	490.5	981	
1	0.1	0.564	498.052	49.805	357.574	1479.052
2	0.2	0.4	313.92	62.784	251.136	1792.972
3	0.3	0.285	196.298	58.889	168.241	1989.27
4	0.4	0.2	117.72	47.088	105.948	2106.99
5	0.5	0.133	65.714	32.857	61.312	2172.704
6	0.6	0.083	32.759	19.655	31.392	2205.463
7	0.7	0.046	13.555	9.488	13.243	2219.018
8	0.8	0.02	3.964	3.171	3.924	2222.982

8) **Важливість $P = f(h)$ сили гідростатичного тиску P від висоти поверхні h у локальній системі координат AOE**

9) **Розрахункові формули:**
 • **Визначення сили гідростатичного тиску:**
 $B(h) = R \cdot \sqrt{R^2 - (R-h)^2}$
 $P(h) = \rho \cdot g \cdot (R-h) \cdot B(h) \cdot dh$
 • **Визначення моменту сили гідростатичного тиску відносно вертикальної осі:**
 $mP(h) = \rho \cdot g \cdot (R-h) \cdot B(h) \cdot h \cdot dh$
 • **Визначення моменту сили гідростатичного тиску відносно горизонтальної осі:**
 $mP_x(h) = \rho \cdot g \cdot (R-h) \cdot B(h) \cdot (R - \frac{B(h)}{2}) \cdot dh$

10) **Відносна похибка розрахунку:**
 1. відносна похибка розрахунку, яке точним тестовим $P=1635$ та наблизеними ітераційними $P_{10} = 2223.476$ розрахунками: $\Delta_{10} = \frac{2223.476 - 1635}{1635} \cdot 100 = 35.99\%$ для $n=10$ ітерацій;
 2. відносна похибка визначення сили тиску між 10 та 20 ітераційними $P_{20} = 1914.29$ $P_{10} = 2223.476$ розрахунками: $\Delta_{10-20} = \frac{2223.476 - 1914.29}{1914.29} \cdot 100 = 16.151\%$ для $n=20$ ітерацій;
 3. відносна похибка визначення сили тиску P між 20 та 40 ітераційними розрахунками: $\Delta_{20-40} = \frac{2223.476 - 1914.29}{1914.29} \cdot 100 = 8.183\%$ для $n=40$ ітерацій
Аналіз відносного відхилення результату для 40 ітерацій
 4. відносне відхилення величини сили тиску P , яке визначено за точними формулами та наблизене значення, яке отримано за 40 ітераційними розрахунками: $\Delta_{40-t} = \frac{2223.476 - 1635}{1635} \cdot 100 = 8.225\%$ для $n=40$ ітерацій

11) 10 ітерацій
12) похибка - 35.99 %
 Kopanytsia Y.D. (c) 2024
<https://www.k123.org.ua/>

13) **Відносна похибка розрахунку:**
 1. відносна похибка розрахунку, яке точним тестовим $P=1635$ та наблизеними ітераційними $P_{10} = 2223.476$ розрахунками: $\Delta_{10} = \frac{2223.476 - 1635}{1635} \cdot 100 = 35.99\%$ для $n=10$ ітерацій;
 2. відносна похибка визначення сили тиску між 10 та 20 ітераційними $P_{20} = 1914.29$ $P_{10} = 2223.476$ розрахунками: $\Delta_{10-20} = \frac{2223.476 - 1914.29}{1914.29} \cdot 100 = 16.151\%$ для $n=20$ ітерацій;
 3. відносна похибка визначення сили тиску P між 20 та 40 ітераційними розрахунками: $\Delta_{20-40} = \frac{2223.476 - 1914.29}{1914.29} \cdot 100 = 8.183\%$ для $n=40$ ітерацій
Аналіз відносного відхилення результату для 40 ітерацій
 4. відносне відхилення величини сили тиску P , яке визначено за точними формулами та наблизене значення, яке отримано за 40 ітераційними розрахунками: $\Delta_{40-t} = \frac{2223.476 - 1635}{1635} \cdot 100 = 8.225\%$ для $n=40$ ітерацій

14) **ВИСНОВКИ**
 Оцінка точності розрахунку для 10 ітерацій:
 відносна похибка розрахунку складає 35.99 %.
 Рекомендація: повернутись до форми вводу даних, збільшити кількість ітерацій та повторити розрахунок.
 Задля оптимізації відносна похибка розрахунку повинна бути менше 5 %.

15) **Відносна похибка розрахунку Таблиця №3**

n	Відносна похибка	Сила тиску
0	0 %	1635 Н
test	0 %	2223.47 Н
1	35.99 %	2223.47 Н
2	16.151 %	1914.29 Н
3	8.183 %	1769.49 Н
4	8.225 %	test - 1769.49

16) <https://www.k123.org.ua/jeh5.html>

17) <https://www.k123.org.ua/cgi-bin/jeh5.pl>

Рис. 3. Скріншот динамічної, згенерованої програмно, сторінки задачі на сайті - <https://www.k123.org.ua/jeh5.html> -> <https://www.k123.org.ua/cgi-bin/jeh5.pl>

Fig. 3. A screenshot of a dynamic, programmatically generated task page on the site- <https://www.k123.org.ua/jeh5.html> -> <https://www.k123.org.ua/cgi-bin/jeh5.pl>

- малюнок із позначеними координатами центру тиску;
- завдання;
- результати аналітичного точного розрахунку;
- результати першого ітераційного розрахунку;
- результати чисельних розрахунків команд K1,K2, K3 для заданої кількості ітерацій;
- блок типу "aside" визначення команд K123;
- результати ітерацій чисельних розрахунків команд K1,K2, K3;
- блок типу "aside" - ітераційні розрахункові формули
- програмно генероване графічне рішення;
- кількість ітерацій, які задано у формі вводу;
- відносна оцінка похибки розрахунку відносно точного аналітичного розрахунку;
- результати автоматичного моделювання
- блок типу "aside" висновки та методичні рекомендації на основі отриманої точності розрахунку;

- таблична форма аналізу відносної похибки результату для підвищеної точності розрахунку;
- URL статичної front-end сторінки програми;
- URL серверної back-end сторінки програми.

Програмне моделювання та оцінка точності розрахунків у графічному вигляді представлено на скріншотах для 20 та 100 ітерацій на рис. 4.

Три варіанти вирішення однієї задачі на основі авторського методу трьох команд K123 © Копаниця Ю.Д. об'єднують й розкривають особливості та переваги сучасного єдиного інженерного багатоваріантного підходу до розрахунків нестандартних задач [2,3,6-13].

Спеціальні навички інженерних розрахунків, розробка нових теоретичних положень та прикладних алгоритмів вирішення стандартних інженерних задач із обов'язковим використанням потужного апарату систем комп'ютерної математики сприяють впровадженню нових інформаційних технологій в навчальний процес.

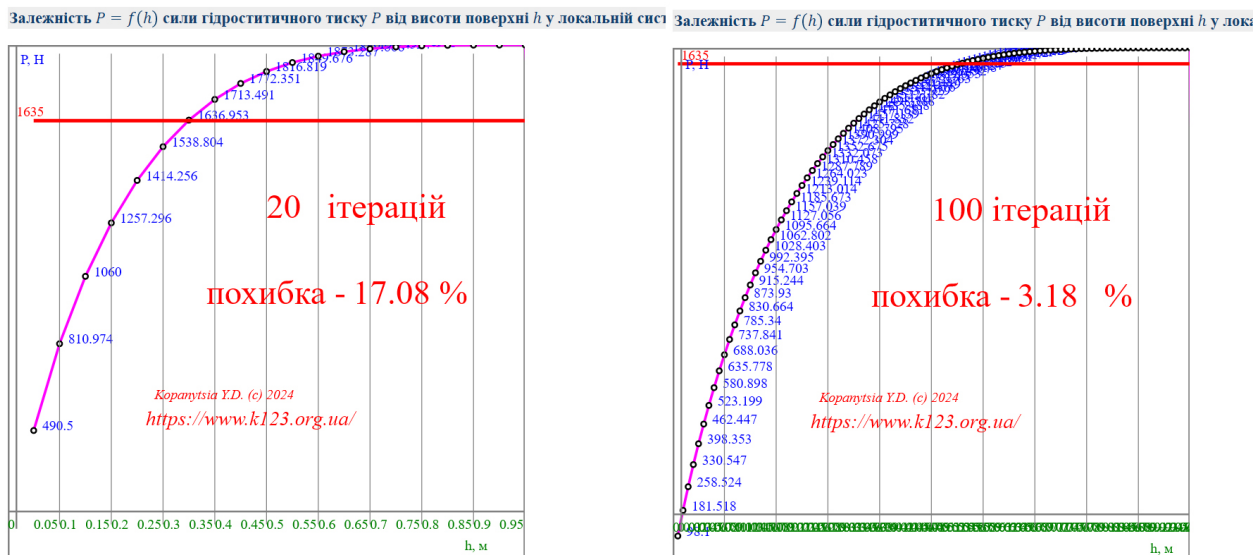


Рис. 4. Скріншот сторінки з програмно генерованою візуалізацією та оцінкою відносної похибки ітераційних розрахунків на сайті для 20-100 ітерацій - -

<https://www.k123.org.ua/jeh5.html> -> <https://www.k123.org.ua/cgi-bin/jeh5.pl>

Fig. 4. Screenshot of the page with software-generated visualization and estimation of the relative error of iterative calculations on the site for 20-100 iterations - -

<https://www.k123.org.ua/jeh5.html> -> <https://www.k123.org.ua/cgi-bin/jeh5.pl>

Запропоновані нові теоретичні основи й розглянуті технології дозволяють вивести означену задачу із розряду «нестандартних» до типової та звичайної. Розглянуто варіант реалізації онлайн технології на прикладі стандартної але «нетипової» задачі та розроблена клієнт-серверна програма дозволяють об'єднати означену триєдину задачу, яка базується на загальній математичній культурі та використанні стеку сучасних інформаційних технологій в мобільних розрахунках, не прив'язаних до стаціонарних комп'ютерів та комп'ютерних класів [14-27].

Впровадження відкритої системи комп'ютерної математики CAS MAXIMA на мобільних платформах, розробка онлайн сервісів на базі нових теоретичних досліджень та прикладні чисельні й графічні методи дозволяють сформувати відкриті, мобільні, незалежні, універсальні навчальні курси з елементами сучасного інженерного розрахунку та моделювання на прикладі розширеного набору «нестандартних» навчальних задач.

ВИСНОВКИ

Представлено реалізацію елемента навчального онлайн проекту «Визначення сили гідростатичного тиску на плоску поверхню довільної несиметричної форми методом трьох команд K123» за посиланням <https://www.k123.org.ua/jeh5.html>. За даними Google Analytics на навчально-методичному сайті http://www.k123.com.ua/knuca_all_24_25.html підтверджено тренд - частка мобільних користувачів зростає та з кінця 2015 року їх кількість в Мережі вперше перевищила кількість користувачів стаціонарних комп'ютерів.

Розробку клієнт-серверного програмного продукту створено в першу чергу із урахуванням вимог до адаптивних сайтів і мобільних додатків - здатність сайту підлаштовуватися під екрани різних пристроїв і відображатися однаково добре як на широких моніторах, так на планшетах або мобільних телефонах. Обмін інформації між статичною веб-формою та динамічною змінною

частиною сайту, яку згенеровано серверною частиною реалізовано за технологією CGI.

Представлено три варіанти (аналітичний, графічний та чисельний) розрахунку сили гідростатичного тиску на несиметричну плоску поверхню із криволінійною гранню, які реалізовано на базі авторського методу трьох команд K123 (с) Копаниця Ю.Д. Запропоновану методику розрахунку без обмежень можна виконувати в середовищі електронних таблиць, в системах комп'ютерної математики тощо. Апробація прикладу розрахунку із елементами програмування реалізовано в системі CAS MAXIMA, яка належить до вільного програмного забезпечення, безкоштовна й має порти для всіх відомих операційних систем для стаціонарних комп'ютерів та мобільних гаджетів. Система розповсюджується, підтримується й використовується у багатьох закордонних Вишах.

Розглянутий онлайн ресурс дозволяє впроваджувати у навчальний процес елементи прикладних інженерних розрахунків, опановувати методики багатоваріантних технологій сучасних розрахунків, знайомить із новими технологіями, новими теоретичними положеннями й прикладними розрахунками. Реалізація відкритого онлайн сервісу й миттєвого розрахунку із відображенням результатів дозволяє впроваджувати сучасні інформаційні технології у навчальний процес.

ЛІТЕРАТУРА

1. Копаниця Ю., Павлов Є., Гіжа О., Кострич Б., Матвієнко О. Моделювання елементів розгалуженої мережі в CAS MAXIMA та серверні онлайн розрахунки у навчальному процесі // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2023, 45. 24-31.
2. Копаниця Ю., Павлов Є., Толмачова Т. Аналіз варіантів розрахунку сили гідростатичного тиску методом K123 // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2023, 43. 4-15.
3. Копаниця Ю., Гіжа О., Нечипор О., Таварткіладзе Н. Веб-інтерфейс – приклад універсальної платформи інженерних розрахунків у навчальному процесі // Проблеми

водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2022, 39. 11-32.

4. **Копаниця Ю., Гіжа О., Нечипор О., Таварткіладзе Н.** ВЕБ інтерфейс для визначення критичної глибини у відкритих руслах // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2021, 37. 29-41.

5. **Копаниця Ю., Гіжа О., Нечипор О., & Таварткіладзе Н.** Визначення нормальної глибини потоку в системі CAS MAXIMA // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2021, 35. 21-30.

6. **Копаниця Ю. Д.** Визначення сили гідростатичного тиску на сферичну поверхню в умовах відносної рівноваги рідини методом K123 // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2020, 34. 12-18.

7. **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.

8. **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.

9. **Копаниця Ю. Д.** Визначення гідростатичного тиску на плоский сегмент методом трьох команд K123 // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2016. Вип. 26. С. 148-152.

10. **Копаниця Ю. Д.** Інтегральні рівняння метода трьох команд K123 // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2013. Вип.22. С. 161-173.

11. **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.

12. **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.

13. **Копаниця Ю. Д.** Комп'ютерний розрахунок сили тиску. Універсальний алгоритм трьох команд - K123 // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2012. Вип. 18. С. 148-163.

14. **Kreyszig E.** Advanced Engineering Mathematics. Wiley, 2011. - 1280 p.

15. **Guelich S., Gundavaram S. & Birznieks G.** CGI Programming with Perl: Creating Dynamic Web Pages. O'Reilly Media, 2000. – 472 p.

16. **Hanegan K.** Custom CGI Scripting with Perl. Wiley, 2009. – 304 p.

17. **Spraul A.** How Software Works: The Magic Behind Encryption, CGI, Search Engines, and Other Everyday Technologies. No Starch Press, 2015. – 216 p.

18. **Stanek W.R., DeRose S.J.** HTML, Java, CGI, VRML, SGML Web Publishing Unleashed Paperback. Sams, 2016. – 916 p.

19. **Forsythe K., Ubelhor L.** HTML for the Business Developer: with JavaServer Pages, PHP, ASP.NET, CGI, and JavaScript. Mc Press. 2008. - 863 p.

20. **Buley L.** The User Experience Team of One: A Research and Design Survival Guide Paperback. Rosenfeld Media, 2013. – 246 p.

21. **Forta B.** Learning Regular Expressions. Addison-Wesley Professional, 2018. – 144 p.

22. **Goyvaerts J., Levithan S.** Regular Expressions Cookbook: Detailed Solutions in Eight Programming Languages. O'Reilly Media, 2012. – 612 p.

23. **Gothelf J., Seiden J.** Lean UX: Designing Great Products with Agile Teams. O'Reilly Media, 2021. – 256 p.

24. **Yablonski J.** Laws of UX: Using Psychology to Design Better Products & Services. O'Reilly Media, 2020. – 152 p.

25. **Dong, Y. Zhu, R. Tian, Q. Liu, W. & Penga, W.** A Scenario Interaction-centered Conceptual Information Model for UX Design of User-oriented Product-service System // Procedia CIRP, 2019. 83. 335-338.

26. **Gauchat J.D.** HTML5 for Masterminds, 3rd Edition: How to take advantage of HTML5 to create responsive websites and revolutionary applications Paperback. – CreateSpace Independent Publishing Platform, 2017. – 624 p.

27. **Frain B.** Responsive Web Design with HTML5 and CSS: Develop future-proof responsive websites using the latest HTML5 and CSS techniques. Packt Publishing, 2020. – 408 p.

REFERENCES

1. **Kopanytsia, Y., Pavlov, Y., Gizha, O., Kostrych, B., & Matvienko, O. (2023).** Simulation of distributed network elements in CAS MAXIMA and server online calculations in the educational process method. *Problems of Water supply, Sewerage and Hydraulics*, 45. 24-31. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2023.45.24-31>

2. **Kopanytsia, Y., Pavlov Y., & Tolmachova, T. (2022).** Analysis of calculation options of hydrostatic pressure by the K123 method. *Problems of Water supply, Sewerage and Hydraulics*, 43. 4-15. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2022.43.4-15>
3. **Kopanytsia, Y., Gizha O., Nechypor, O., & Tavartkiladze, N. (2022).** Web interface - an example of the universal platform of engineering calculations in the educational process. *Problems of Water supply, Sewerage and Hydraulics*, 39. 11-32. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2022.39.11-32>
4. **Kopanytsia, Y., Gizha O., Nechypor, O., & Tavartkiladze, N. (2021).** Web interface for determining critical depth in open channel. *Problems of Water supply, Sewerage and Hydraulics*, 37. 29-41. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2021.37.29-41>
5. **Kopanytsia, Y., Gizha, O., Nechypor, O., & Tavartkiladze, N. (2021).** Determination of normal flow depth in CAS MAXIMA system. *Problems of Water supply, Sewerage and Hydraulics*, 35. 21-30. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2021.35.21-30>
6. **Kopanytsia, Y. (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>
7. **Kopanytsia, Y. (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]
8. **Kopanytsia, Y. (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]
9. **Kopanytsia, Y. (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]
10. **Kopanytsia, Y. (2013).** Integral equations of the method of three commands K123. *Problems of water supply, sewage and hydraulics*, 22. 161-173. [in Ukrainian]
11. **Kopanytsia, Y. (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]
12. **Kopanytsia, Y. (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]
13. **Kopanytsia, Y. (2012).** Computer calculation of pressure force. Universal algorithm of three commands - K123. *Problems of water supply, sewage and hydraulics*, 18. 148-163. [in Ukrainian]
14. **Kreyszig, E. (2011).** *Advanced Engineering Mathematics*. Wiley.
15. **Guelich, S. Gundavaram, S. & Birznieks, G. (2000).** *CGI Programming with Perl: Creating Dynamic Web Pages*. O'Reilly Media.
16. **Hanegan, K. (2009).** *Custom CGI Scripting with Perl*. Wiley.
17. **Spraul, A. (2015)** *How Software Works: The Magic Behind Encryption, CGI, Search Engines, and Other Everyday Technologies*. No Starch Press.
18. **Stanek, W.R. & DeRose, S.J. (1996).** *HTML, Java, CGI, VRML, SGML Web Publishing Unleashed* Paperback. Sams.
19. **Forsythe, K., & Ubelhor, L. (2008).** *HTML for the Business Developer: with JavaServer Pages, PHP, ASP.NET, CGI, and JavaScript*. Mc Press.
20. **Buley, L. (2013).** *The User Experience Team of One: A Research and Design Survival Guide* Paperback. Rosenfeld Media.
21. **Forta, B. (2018).** *Learning Regular Expressions*. Addison-Wesley Professional.
22. **Goyvaerts, J., & Levithan, S. (2012).** *Regular Expressions Cookbook: Detailed Solutions in Eight Programming Languages*. O'Reilly Media.
23. **Gothelf, J., & Seiden, J. (2021).** *Lean UX: Designing Great Products with Agile Teams*. O'Reilly Media.
24. **Yablonski, J. (2020).** *Laws of UX: Using Psychology to Design Better Products & Services*. O'Reilly Media.
25. **Dong, Y., Zhu, R., Tian, Q., Liu, W., & Peng, W. (2019).** A Scenario Interaction-centered Conceptual Information Model for UX Design of User-oriented Product-service System. *Procedia CIRP*. 83. 335-338. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.096>
26. **Gauchat, J.D. (2017).** *HTML5 for Masterminds, 3rd Edition: How to take advantage of*

HTML5 to create responsive websites and revolutionary applications Paperback. CreateSpace Independent Publishing Platform.

27. **Frain, B. (2020).** *Responsive Web Design with HTML5 and CSS: Develop future-proof responsive websites using the latest HTML5 and CSS techniques.* Packt Publishing.

Determination of hydrostatic pressure on the plane surface of an arbitrary non-simmetrical form by the three-command method K123

Yuriy Kopanytsia, Olena Gizha, Oksana Nechypor, Oleksandr Kormilcin

Abstract. Competitive struggle in the conditions of wide access to unlimited amounts of information and computerization of all branches of production and services imposes strict requirements on specialized knowledge, practical skills and general mathematical culture of future engineers.

The online program of modern multivariate engineering calculation of the problem of determining the force of hydrostatic pressure on an element of a flat asymmetric surface with a curvilinear face is presented - <https://www.k123.org.ua/jeh5.html>. Algorithms are implemented according to the author's method of three commands K123 (c) Yu.D. Kopanytsia (hereinafter the K123 method). A client-server solution based on CGI technology with a web form for inputting source data has been implemented.

The results of the online calculation were performed according to the new analytical dependencies obtained on the basis of the author's method K123. In parallel, the numerical algorithms of the author's method of three K123 commands and the conclusions of the corresponding calculations in tabular form were implemented.

Realized generation of graphics by the server program based on the coordinates of the points obtained by iterative calculations according to the algorithms of the numerical implementation of the K123 method. The relative error of iterative calculations and the estimation of the accuracy of the result are automatically determined based on the proposed exact analytical dependencies.

Key words: method of three commands K123, force of hydrostatic pressure, numerical methods, online calculation.

Стаття надійшла до редакції 06.06.2024