ВИЗНАЧЕННЯ СИЛИ ГІДРОСТАТИЧНОГО ТИСКУ НА КРИВОЛІНІЙНУ ПАРАБОЛІЧНУ ПОВЕРХНЮ МЕТОДОМ К123

Юрій Копаниця[1], Олена Гіжа[2], Оксана Нечипор[3], Ігор Мар'єнко[4], Богдан Линок[5], Дмитро Васянович[6]

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] maryenko_iv-2023@knuba.edu.ua, orcid.org/0009-0009-1246-4754
[5] lynok_bi-2023@knuba.edu.ua, orcid.org/0009-0000-8258-8060
[6] vasianovych_do-2023@knuba.edu.ua, orcid.org/0009-0009-6648-2317

DOI: 10.32347/2524-0021.2025.50.38-48

Анотація. Застосування мікропроцесорних технологій у персональних гаджетах й комп'ютерах, поширення в мережі Інтернет відкритих клієнт-серверних розрахункових сервісів майже всіх відомих систем комп'ютерної математики (Wolfram Mathematica, Waterloo Maple, MATHLAB,PTC Mathcad, R, CAS MAXIMA тощо) дозволяє використовувати сучасні інженерні розрахунки. Але це теоретичне твердження має певні практичні обмеження.

Складність сучасних інженерних розрахунків суттєво спрощено для типових задач щляхом розвитку програмної компоненти.

Стандартний механізм розширення функціоналу програм для визначення нетипових рішень також відомий й реалізовано вбудованою мовою програмування, додатковими модулями та бібліотеками. Саме цей стандартний механізм використання сучасних програмних продуктів вимагає суттєвого підвищення загальної математичної культури, яка поєднує аналітичні, чисельні, графічні методи розрахунку в алгоритмах реалізації в межах одної сучасної інженерної задачі.

В статті представлено дослідження методів розрахунку на прикладі, на перший погляд, простої гідравлічної задачі визначення величини, напряму й координат центру тиску для вектору сили тиску на бокову криволінійну поверхню параболічного каналу. Запропоноване рішенні базуються на новій теоретичній базі й відповідних методах, які лежать в основі універсального авторського методу трьох команд К123 © Копаниця Ю.Д. [1-14].

Розглянутий принцип багатоваріантності вирішення прикладів стандартних задач шляхом проведення обчислювального експерименту в системах комп'ютерної математики із використанням методів з різних розділів математики має бути покладено в основу навчального процесу. Паралельно розроблено захищену програму клієнт-серверних розрахунків на технології CGI з веб формою вводу вихідних даних для мережі Інтернет із відкритим доступом. Веб форма програми доступна в мережі Інтернет без обмежень за посиланням - https://www.k123.org.ua/_jh_ex2b_3b.html. Програма реалізує розрахунки за всіма запропонованими новими алгоритмами, генерує детальні звіти проміжних результатів, дозволяє моделювати й проводити обчислювальні експерименти на широкому наборі даних для даного класу задач. Візуалізацію графічної складової рішення реалізовано у векторному форматі SVG, математична нотація записів у форматі TEX. Передбачено різні режими роботи програми, забезпечено парольний доступ, обмеження вихідного набору даних, перевірка формату та розмірності вихідних та результуючих даних, яка базується на технології регулярних виразів. Інтерфейс програми розроблено із урахуванням використання мобільних пристроїв із обмеженою шириною каналу в мережі Інтернет.

© Копаниця Ю., Гіжа О., Нечипор О.,
Мар'єнко В., Линок Б., Васянович Д., 2025

Запропоновано нові розрахункові формули для певного класу задач, що базуються на авторському методі трьох команд К123 © Копаниця Ю.Д. На цей момент означені задачі відсутні у сучасних навчальних підручниках.

Ключові слова: метод трьох команд К123, сила гідростатичного тиску, криволінійна поверхня.

ВСТУП

Представлено використання аналітичних, чисельних та графічних методів в системі комп'ютерної математики на базі опенсорсного проекту CAS MAXIMA для реалізації прикладу розрахунку однієї стандартної задачі, що базуються на авторському методі трьох команд К123 © Копаниця Ю.Д. [1-14] Програма розрахунку тестового прикладу в CAS MAXIMA доступна в мережі Інтернет без обмежень за посиланням - https://www.k123.org.ua/data/_jh_ex2b_3a_v2.html.

Набор стандартних задач на визначення сили гідростатичного тиску на криволінійну поверхню у сучасних підручниках обмежено прикладом секторного затвору. Розрахунок такого затвору проводиться по спрощеній схемі. Не приділяється увага методам розрахунку центру ваги об'єму тіла тиску та визначенню координат центру тиску на поверхні для іншого типу, наприклад, параболічному профілю.

Для прикладу розглянемо параболічний канал (рис.1.*a*). Для розрахунку вертикальної проекції сили гідростатичного тиску на боковий елемент (рис.1.*a*) такого каналу стандартні формули відсутні. Питання визначення координат центру тиску відносно будь-якої локальної системи координат (рис.1.*b*), яка прив'язана до певних елементів каналу також не підіймаються в сучасних підручниках.

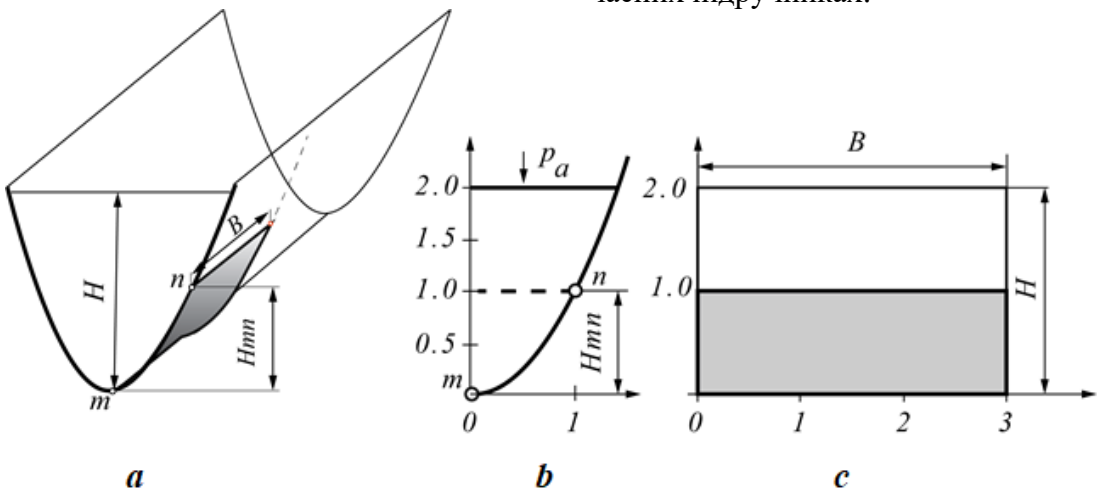


Рис.1. Бокова кришка параболічного каналу: ***a*** – загальний вигляд; ***b*** – переріз; ***c*** – бокова сторона

Fig. 1. Side cover of the parabolic channel: ***a*** – general view; ***b*** – cross-section; ***c*** – side view.

Запропоновано розглянути приклад сучасного інженерного розрахунку трьох параметрів: величина, напрям, координати центру тиску для вектору сили гідростатичного тиску на боковий елемент поверхні. У прикладі запропоновано формули для вертикальної проекції елементу у вигляді прямокутника (рис.1.*c*).

Сучасний тренд розвитку технологій у навчальному процесі базується на використанні універсальних алгоритмів, які поєднують аналітичні, чисельні та графічні методи на базі систем комп'ютерної математики для вирішення та аналізу результатів розрахунків інженерних задач. Впроваджено нові алгоритми для обчислювального експерименту. Запропоновано програму розрахунку на

мобільних мікропроцесорних гаджетах в системі CAS MAXIMA та розроблено відповідне клієнт-серверне програмне забезпечення із веб інтерфейсом.

МЕТА І МЕТОДИ

В роботі представлено варіант реалізації елементів проблемного навчання на прикладі задачі гідростатики із визначенням параметрів вектору сили гідростатичного тиску на криволінійний елемент бокової грані лотка із параболічним поперечним перерізом (рис.1.а).

Проблема вирішення запропонованої навчальної задачі полягає:

– у відсутності повного набору стандартних формул розрахунку;
– відсутність теоретичної бази для реалізації аналітичних або чисельних розрахунків даного типу задач;
– відсутні сучасні стандартизовані комп'ютерні алгоритми, які дозволяють задіяти програмні засоби мікропроцесорних гаджетів: системи комп'ютерної математики (далі СКМ), клієнт-серверні онлайн сервіси тощо.

Сутність сучасної парадигми проблемного навчання полягає в постановці таких навчальних задач, які вимагають залучення методів й принципів розрахунку із споріднених технічних дисциплін: теоретичної механіки, фізики, вищої математики, опору матеріалів, аналітичної геометрії, основ інформаційних технологій.

Золоте правило механіки, теорема Варіньона, визначення рівнодійного вектору сили для системи векторів, визначення координат центру ваги тіла, сили гідростатичного тиску й координати центру тиску, або алгебраїчний та геометричний зміст задачі визначення властивостей епюри гідростатичного тиску (її об'єм й центр ваги) – по суті це одна й та сама задача, а не набір задач із різних технічних дисциплін.

Мета дослідження – систематизувати чисельні прикладні методи розрахунків задач статики у вище означених навчальних дисциплінах й показати єдину методологічну базу науки, універсалізм застосування методів в інженерних розрахунках.

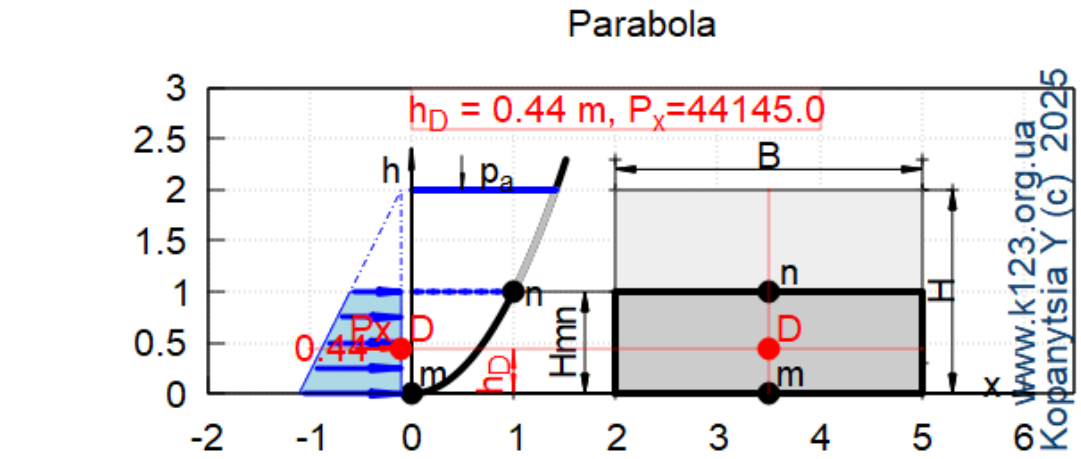
Мета дослідження – на базі авторського «Методу трьох команд К123» © Копаниця Ю.Д. отримано нові універсальні спрощені формули визначення сумарної сили гідростатичного тиску та координат центру тиску. Всі розрахунки проводяться в єдиній системі координат.

Запропоновано програмну реалізацію сучасного розрахунку нетипової інженерної задачі. На основі нових теоретичних досліджень отримано універсальні розрахункові формули, які враховують розширені можливості комп'ютерного розрахунку в СКМ та удосконалюють навчальний процес.

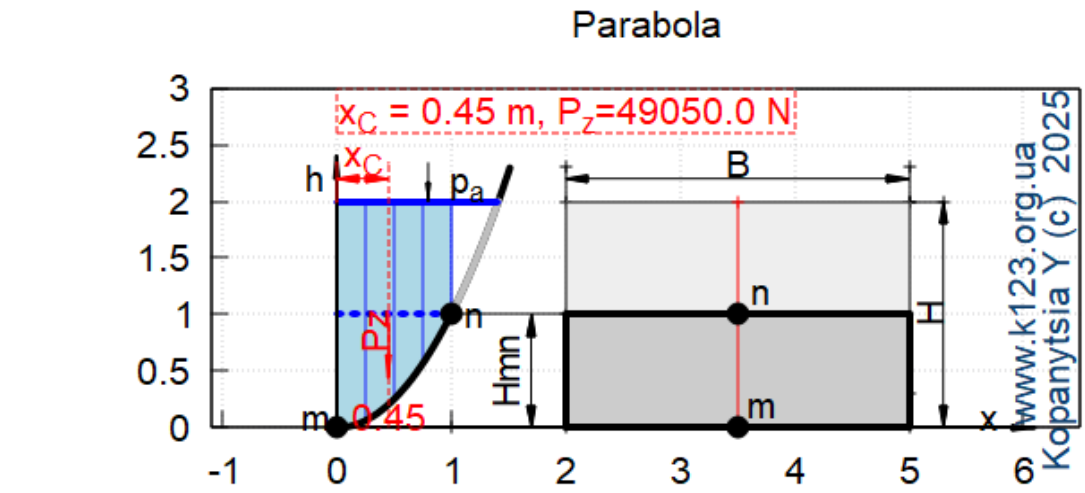
Мета дослідження – представити альтернативні варіанти поєднання нових сучасних алгоритмів й різних методів розрахунку задач гідростатики. На базі авторського методу трьох команд К123 © Kopanytsia Y.D. у комп'ютерному розрахунку тестового прикладу об'єднано стандартні алгоритми, нові спрощені формули, аналітичні та чисельні методи й програмна генерація візуалізації інженерного рішення. Приклад задачі розрахунку в CAS MAXIMA сили гідростатичного тиску на елемент бокової поверхні параболічного русла, який знаходиться під певним прошарком рідини представлено на рис. 2.

Метод дослідження – розробити універсальну програму комп'ютерного розрахунку в системі CAS MAXIMA тестового обчислювального експерименту та моделювання загального рішення даного класу задачі гідростатики. Програма розрахунку тестового прикладу в CAS MAXIMA доступна в мережі Інтернет без обмежень за посиланням - https://www.k123.org.ua/data/_jh_ex2b_3a_v2.html.

Особливості форми поверхні вимагають визначення всіх параметрів вектору сумарної сили гідростатичного тиску разом із координатами точки проекції центру тиску на поверхню параболічної кришку із прив'язкою до єдиної системи координат. В основу представлених варіантів розрахунку для тестового обчислювального експерименту покладено авторський «Метод трьох команд К123» © Копаниця Ю.Д. Показано, як



a



b

Рис. 2. Координати проекції сили гідростатичного тиску: ***a*** – горизонтальна; ***b*** – вертикальна
Fig. 2. Coordinates of the projection of hydrostatic pressure force: ***a*** – horizontal; ***b*** – vertical

CAS MAXIMA дозволяє реалізувати багатоваріантність алгоритмів на основі методу К123 та об'єднати широкий спектр аналітичних, графічних та чисельних методів в рамках однієї вищеозначеної задачі [2,4,5,7,8,10,13,]. Приклад програмної генерації виводу в форматі векторної SVG графіки або піксельної графіки на тестовому наборі даних представлено на рис. 2. Ординату центру тиску *h_D* за алгоритмом К123 розраховано відносно дна русла (точка m із координатами [0,0]) (рис. 2.а).

Паралельно розроблено захищену клієнт-серверну програму моделювання та розрахунку даного класу задач в мережі Інтернет, посилання - https://www.k123.org.ua/_jh_ex2b_3b.html. Програма включає веб-форму, що дозволяє вводити набори вихідних даних, моделювати різні умови даного класу задач та проводити обчислювальні експерименти. Захищена серверна частина програма генерує різну ступінь деталізації проміжних розрахунків із розділенням доступу по паролю, виводить графічну візуалізацію результатів розрахунків в SVG форматі (аналог роботи CAS MAXIMA, посилання - https://www.k123.org.ua/data/_jh_ex2b_3a_v2.html). Клієнт-серверна програма передбачає детальний структурований вивід послідовності розрахунків, довідкову інформацію всіх формул в форматі TEX та деталізацію розрахунків.

Реалізація програмного коду CAS MAXIMA та розробка відкритої клієнт-серверної програми в мережі Інтернет дозволяє

використовувати різні сучасні технології й забезпечує перевірку результатів комп'ютерного розрахунку. На базі авторського «Методу трьох команд К123» © Копаниця Ю.Д. реалізовано обов'язковий багатоваріантний підхід в паралельних розрахунках: аналітичних, чисельних та перевірка за стандартними формулами – окремих блоків загального алгоритму. Все це дозволяє контролювати кожний етап розрахунків та збільшує ймовірність виявлення широкого класу помилок: алгоритму, запису аналітичних залежностей, реалізації програмного коду, особливості чисельних методів тощо.

Постановка задачі

Розрахунок сили гідростатичного тиску на бокову поверхню параболічного каналу включає п'ять універсальних формул 2,4,5,6,7. Розрахунок сумарної сили тиску проводимо за формулою (5). Кут нахилу (коефіцієнт k в рівнянні вектору сили) визначається за спрощеною формулою 6 (рис. 3.*a*).

За бажанням маємо можливість додатково визначати відповідні проекції сили.

Виведені нові універсальні формули, спрощено й приведено до канонічного виводу(рис. 3.*a*). Останнє дозволяє максимально спростити набір формул та оптимізувати мобільні розрахунки в CAS MAXIMA на смартфонах й планшетах в системі Android. Приклад розрахунку в програмі в мережі Інтернет за формулами 1-7 представлено на рис. 3.*b*.

На практиці можуть бути поставлені питання визначення сумарної сили тиску рідини за умови відсутності прошарку води над верхньою гранню криволінійної поверхні. За такими умовами приймаємо однакові величини глибини каналу й висоти кришки *H = Hmn*.

РОЗРАХУНКОВИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ В CAS MAXIMA

Розроблена програма комп'ютерного розрахунку у системі CAS MAXIMA включає послідовну реалізацію наступних алгоритмів розрахунку:

I. Три алгоритми розрахунку горизонтальної проекції сили тиску із контролем результатів й оцінкою точності для чисельного методу:

– стандартний алгоритм визначення горизонтальної проекції сили тиску із додатковим визначенням координати центру тиску відносно початку обраної єдиної системи координат (рис. 2.*a*);

– розрахунок за новими запропонованими формулами (1,2);

– аналітичний розрахунок за методом К123 горизонтальної проекції;

– розрахунок чисельними методами за алгоритмом К123 горизонтальної проекції;

– програмування комп'ютерної генерації графічної візуалізації результатів розрахунку горизонтальної проекції сили тиску (рис.2.*a*).

II. Розрахунок вертикальної проекції сили тиску:

– розрахунок за новими запропонованими формулами (3,4);

– аналітичний (інтегральний) метод розрахунку вертикальної проекції на базі авторського «Методу трьох команд К123» © Копаниця Ю.Д. ;

– чисельний метод розрахунку вертикальної проекції на базі авторського «Методу трьох команд К123» © Копаниця Ю.Д. ;

– оцінка точності чисельного методу для тисячі ітерацій склала 0,3%;

– програмування комп'ютерної генерації графічної візуалізації результатів розрахунку вертикальної проекції сили тиску (рис.2.*b*).

III. Розрахунок сумарної сили тиску:

– за класичним алгоритмом;

– за новою універсальною формулою (5).

IV. Визначення параметрів рівняння прямої (вектору сумарної сили):

– розрахунок кута нахилу – канонічна формула (6) – параметр *k*.

V. Розрахунок координат точки проекції центру тиску по напряму дії вектору сумарної сили тиску відносно початку обраної єдиної системи координат (рис.4, **"точка D_all"**):

– рівняння (7) вирішено в CAS MAXIMA стандартним модулем.

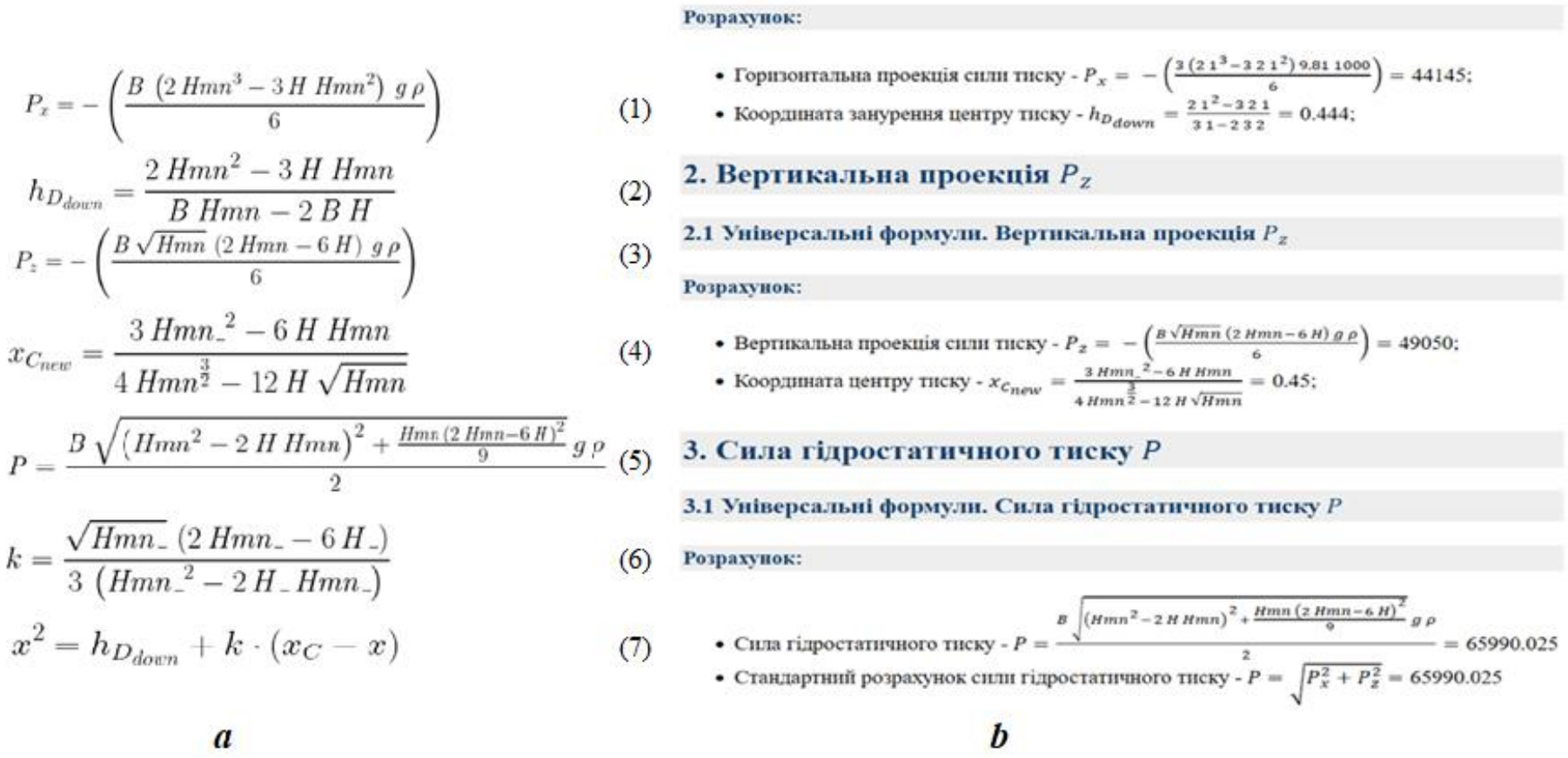


Рис. 3. Координати проекції сили гідростатичного тиску: ***a*** – (1) горизонтальна проекція сили тиску; (2) ордината центру тиску горизонтальної проекції; (3) вертикальна проекція сили тиску; (4) абсциса центру риску вертикальної проекції; (5) рівнодійна сили тиску; (6) кут нахилу сили тиску; (7) рівняння параболічної напрямної поверхні та вектору сили тиску у неявному вигляді; ***b*** – скріншот результатів онлайн розрахунків за формулами (1-7) клієнт-серверної програми в мережі Інтернет

Fig. 3. Coordinates of the projection of the hydrostatic pressure force: ***a*** – (1) horizontal projection of the pressure force; (2) ordinate of the center of pressure of the horizontal projection; (3) vertical projection of the pressure force; (4) abscissa of the center of the vertical projection; (5) resultant pressure force; (6) angle of inclination of the pressure force; (7) equation of the parabolic guide surface and the pressure force vector in implicit form; ***b*** – screenshot of the results of online calculations using formulas (1-7) of the client-server program on the Internet

– рівняння (7) реалізовано методом ізоляції кореня на 1000 ітерацій забезпечило 0.1% відносну похибку, що практично виключило необхідність реалізації додатково методу дихотомії;

– можливо , як варіант, реалізувати альтернативне рішення рівняння (7), яке представлено в неявному вигляді методом ітерацій;

– програмування комп'ютерної генерації графічної візуалізації результатів розрахунку сумарної сили тиску (рис. 4).

VI. Оцінка відносної похибки розрахунку параметрів вектору сумарної сили тиску:

– оцінка похибки наближених чисельних розрахунків в межах 0,029-0,3%.

На практиці можуть бути поставлені питання визначення сумарної сили тиску рідини за умови відсутності прошарку води над верхньою гранню криволінійної поверхні. За такими умовами приймаємо однакові величини глибини каналу й висоти кришки $H = Hmn$.

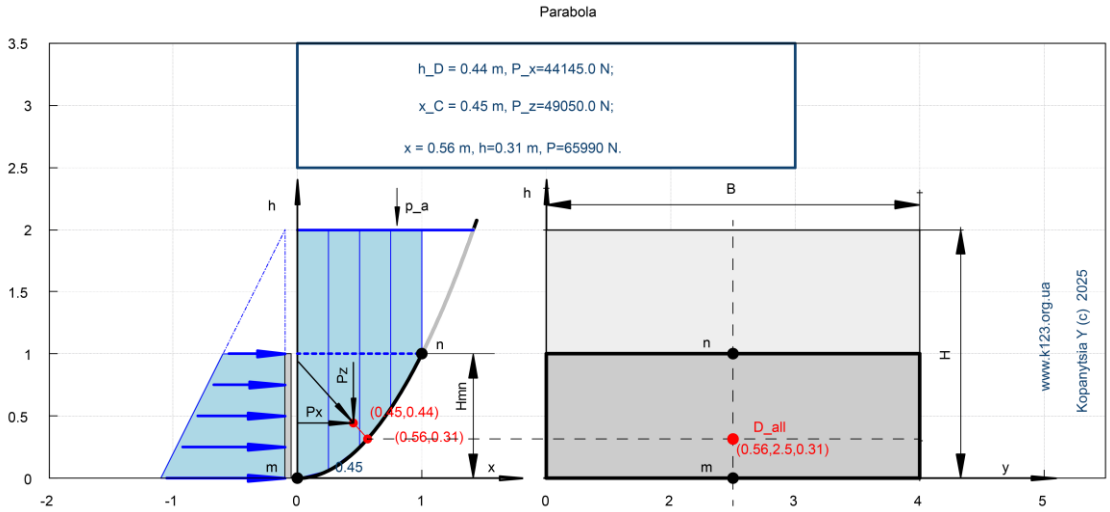


Рис. 4. Програмна візуалізація CAS MAXIMA координат проекції сумарної сили гідростатичного тиску на криволінійній параболічній поверхні

Fig. 4. CAS MAXIMA software visualization of the coordinates of the projection of the total hydrostatic pressure force on a curved parabolic surface

РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ОНЛАЙН РОЗРАХУНКІВ

Наближення навчальних задач до сучасних інженерних розрахунків, впровадження сучасних методів розрахунку є надзвичайно актуальною задачею.

Практично всі сучасні СКМ із пропрієтарним та відкритим програмним кодом (Wolfram Mathematica- WolframAlpha LLC, Waterloo Maple – Online Help, MATHLAB – MATLAB for Students PTC Mathcad – Mathcad Student and Educator Portal , R – https://www.r-project.org/, CAS MAXIMA https://maxima.sourceforge.io/ тощо) мають свої сторінки онлайн клієнт-серверних розрахунків в мережі Інтернет.

Можливості онлайн розрахунків сучасних інженерних задач в режимі онлайн практично не обмежено сучасним технологічним рівнем.

Програмна складова та архіви спеціалізованих бібліотек до будь-якої мови програмування дозволяє реалізовувати інженерні проекти без обмеження на складність відповідних математичних моделей та методів розрахунку. Актуальний список діючих СКМ – List of computer algebra systems – включає опис та посилання на 39 діючих програмних комплекси із підтримкою дев'яти основних операційних систем: DOS, Windows, macOS, Linux, BSD, Solaris, Android, iOS, SaaS та широкого спектру спеціалізованих – Operating system support.

Сучасні світові тренди розвитку навчальних технологій передбачають доповнення теоретичних положень повноцінним програмним компонентом, який забезпечує

розгляд всього класу прикладних розрахунків у вигляді коду програми, компактного формату та точності, згенерованих комп'ютером графічних матеріалів. У такий спосіб досягається глибина викладення матеріалу, суттєво скорочується об'єм надрукованого матеріалу, підвищується якість та прискорюється оновлення матеріалів за рахунок посилання на задачі, приклади, що завантажено в мережі Інтернет й зберігаються у зручному сучасному форматі.

Розроблено клієнт-серверне програмне забезпечення за технологією CGI (Common Gateway Interface) із веб формою (web form or HTML form) вводу вихідних даних на мові PERL - https://www.perl.org/ із спеціалізованими пакетами архіву CPAN https://www.cpan.org/. Відкрита частина програми доступна без обмежень за посиланням - https://www.k123.org.ua/_jh_ex2b_3b.html . Програма реалізує розрахунки за новими формулами на базі авторського «Методу трьох команд К123» © Копаниця Ю.Д. Реалізовано обов'язковий багатоваріантний підхід в паралельних розрахунках за аналітичними, чисельними або стандартними формулами, що дозволяють здійснювати поточний контроль результатів. Серверна програма генерує спрощену структуру *html* сторінки для мобільних пристроїв, детально прописаними даними, результатами у форматі TEX https://en.wikipedia.org/wiki/TeX , а графічна частина представлена у форматі SVG (Scalable Vector Graphics (SVG)).

В інтерфейс програми вбудовано парольний доступ та розмежування варіантів деталізації виводу для різних груп користувачів. Передбачено формування певного обмеженого набору індивідуальних вихідних даних із персональним парольним доступом за умови попереднього вводу власного результату розрахунку в режимі тестів.

Захист та контроль вихідних даних користувачів у веб формі перевіряється регулярними виразами (Regular expression).

програми й варіант частини розрахунків параметрів вектору рівнодійної сили гідростатичного тиску представлено на рис. 3.*b*.

Кожна запропонована функціональна залежність передбачає зміну висоти криволінійного елементу від мінімальної $Hmn > 0$ до рівня вільної поверхні рідини $Hmn = H$. Контроль особливих ситуацій – заборона ділити на нуль – означає відсутність у вихідних даних нульової висоти та ширини поверхні. За умови зменшення рівня води $H < Hmn$ в онлайн програмі передбачено перевірку коректності вихідних даних, й призначення висоти $Hmn = H$. Реалізовано контроль та перевірка коректного формату вихідних даних. Вихідні дані повинні відповідати стандарту американської нотації відокремлення десятинних знаків крапкою.

ВИСНОВКИ

Запропоновано нові універсальні розрахункові формули для представленого класу задач. Формули виведено на базі авторського «Методу трьох команд К123» © Копаниця Ю.Д. Спеціальними командами символьної математики CAS MAXIMA формули спрощено й приведено до канонічного вигляду. Останнє спрощує набір розрахункових формул на малоформатних мобільних пристроях й зменшує ймовірність помилки.

Розробка нових теоретичних основ, комплексне застосування універсальних аналітичних та дискретних (чисельних) алгоритмів та методів в інженерних розрахунках на базі СКМ дозволить впроваджувати сучасні інформаційні технології у навчальний процес.

Представлено приклад використання системи комп'ютерної математика на базі опенсорсного проекту CAS MAXIMA для реалізації багатоваріантного розрахунку певного класу нових задач.

Паралельно розроблено клієнт-серверну програму, яка дозволяє проводити розрахунки й формувати відповіді для необмеженого набору вихідних даних для певних задач. Варіант реалізації єдиного універсального методу, що базуються на різних розділах математики: аналітична геометрія, інтегральне числення, чисельні методи, структури даних та алгоритми, об'єднання континуальної та дискретної математики спрощує впровадження у навчальний процес елементів комп'ютерного розрахунку в СКМ. [14-19].

Запровадження принципу багатоваріантності вирішення задач, використання стандартних формул у розрахунках, проведення обчислювального експерименту в СКС й миттєва перевірка власних розрахунків через веб-форму в мережі Інтернет є основою сучасного навчального процесу, який базується на математичній культурі використання різних розділів математики.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Копаниця Ю. Д., Гіжа О. О., Нечипор О. М., Голобородько О. В., Гаврилюк А. В.** Онлайн моделювання розрахунку каналів гідрвлічно найвигіднішого перерізу // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2025. Вип. 49. С. 4-16. https://doi.org/10.32347/2524-0021.2025.49.4-16 .
2. **Копаниця Ю. Д., Гіжа О.О., Нечипор О. М., Кормільцін О. В.** Визначення сили гідростатичного тиску на плоску поверхню довільної несиметричної форми методомтрьох команд К123 // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2024. Вип. 47. С. 12-22. https://doi.org/10.32347/2524-0021.2025.47.12-22
3. **Копаниця Ю. Д., Павлов Є. І., Кострич Б. О., Матвієнко О. П.** Моделювання елементів розгалудженої мережі в CAS MAXIMA та серверні онлайн розрахунки у навчальному процесі // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. К.: КНУБА, 2023, вип.45. С. 24-31. https://doi.org/10.32347/2524-0021.2023.45.24-31
4. **Копаниця Ю. Д., Павлов Є. І., Толмачова Т. Ю.** Аналіз варіантів розрахунку сили гідростатичного тиску методом к123 // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. К.: КНУБА, 2023, вип.43. С. 4-15. https://doi.org/10.32347/2524-0021.2023.43.4-15
5. **Копаниця Ю. Д., Гіжа О. О., Нечипор О. М., Тавартkіладзе Н. І.** Дослідження чотирьох варіантів визначення гідростатичного тиску на плоску поверхню методом трьох команд - К123 // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2022. Вип. 39. С. 11-32. https://doi.org/10.32347/2524-0021.2022.39.11-32
6. **Копаниця Ю. Д.** Визначення сили гідростатичного тиску на сферичну поверхню в умовах відносної рівноваги рідини методом К123 / 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
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. URL: https://repositary.knuba.edu.ua/bitstream/handle/987654321/3048/201728-187-195.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
8. **Копаниця Ю. Д.** Розрахунок гідростатичного тиску на несиметричну плоску поверхню. Універсальний алгоритм трьох команд К123 // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2016. Вип. 27. С. 177-186. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/PVVG_2017_27_26 .
9. **Копаниця Ю. Д.** Визначення гідростатичного тиску на плоский сегмент методом трьох команд К123 // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2016. Вип. 26. С. 148-152. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/PVVG_2016_26_22.
10. **Копаниця Ю. Д.** Інтегральні рівняння метода трьох команд К123 // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2013. Вип.22. С. 161-173. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/PVVG_2013_22_20.
11. **Копаниця Ю. Д.** Аналіз виміру епюри гідростатичного тиску на криволінійну поверхню.Універсальний метод розрахунку К123 // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2013. Вип. 21. С. 165-180. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/PVVG_2013_21_20.
12. **Копаниця Ю. Д.** Розрахунок гідростатичного тиску на криволінійну поверхню. Універсальний алгоритм трьох команд - К123 // Проблеми водопостачання, водовідведення тагідравліки, 2012. Вип. 20. С. 105-119. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/PVVG_2012_20_13.
13. **Копаниця Ю. Д.** Комп'ютерний розрахунок сили тиску. Універсальний алгоритм трьох команд - К123 // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2012. Вип. 18. С. 148-163. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/PVVG_2012_18_17.
14. **Kirk D.** Contemporary mathematics. Rice University, 2023. ISBN :978-1-711470-55-9. 1565.
15. **Lin C.** Intellectual Development and Mathematics Learning. Springer, 2023. https://doi.org/10.1007/978-981-19-8757-1_2.
16. **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. Vol(83). 335-338. https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.096
17. **Yilmaz F., Queiruga-Dios A., Vaquero J., Mierluş-Mazilu I., Rasteiro D., Martínez**

V. Mathematical Methods for Engineering Applications. Springer, 2023. https://doi.org/10.1007/978-3-031-21700-5.293 .
18. **Clark-Wilson A., Robutti O., Sinclair N.** The Mathematics Teacher in the Digital Era. International Research on Professional Learning and Practice.. Springer, 2023. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4638-1.
19. **Gonzalez O.** Topics in Applied Mathematics and Modeling. *AMS*, 2023. ISBN: 978-1-4704-6991-7. 211.

REFERENCES

1. **Kopanitsa, Y. D. Gizha, O. O. Nechipor, O. M. Goloborodko, O. V. & Gavrilyuk, A. V. (2025).** Online modeling of the calculation of hydraulically most advantageous cross-section channels. *Problems of water supply, sewage and hydraulics, 49*. 4-16. https://doi.org/10.32347/2524-0021.2025.49.4-16.
2. **Kopanitsa, Y. D. Gizha, O. O. Nechipor, O. M. Kormiltzin, O. V. (2024).** Determination of hydrostatic pressure on a flat surface of arbitrary asymmetrical shape using the three-command method K123. *Problems of water supply, sewage and hydraulics, 47*. 12-22. https://doi.org/10.32347/2524-0021.2024.47.12-22
3. **Kopanytsia, Y. D. Pavlov, Ye.,I. Kostrych, B.O. Matvienko, O.P. (2023).** Modeling of elements of a branched network in CAS MAXIMA and server online calculations in the educational process. *Problems of water supply, sewage and hydraulics, 45*. 24–31. https://doi.org/10.32347/2524-0021.2023.45.24-31
4. **Kopanitsa, Y.D. Pavlov, Ye.I. Tolmacheva, T.Yu. (2023).** Analysis of options for calculating hydrostatic pressure using the k123 method. *Problems of water supply, sewage and hydraulics, 43*. 4–15. https://doi.org/10.32347/2524-0021.2023.43.4-15
5. **Kopanytsia, Y. D, Nechypor, O. Tavartkiladze, N. (2022)**. Study of four options for determining hydrostatic pressure on a plane surface by the three command method K123. *Problems of water supply, sewage and hydraulics, 34*. 12-18. https://doi.org/10.32347/2524-0021.2022.41.31-41
6. **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
7. **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://repositary.knuba.edu.ua/bitstream/handle/987654321/3048/201728-187-195.pdf?sequence=1&isAllowed=y [in Ukrainian].
8. **Kopanytsia, Y. D. (2016).** Calculation of hydrostatic pressure on an asymmetric flat sur-face. universal algorithm of three commands K123. *Problems of water supply, sewage and hydraulics, 27*. 177-186. [in Ukrainian].
9. **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]
10. **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].
11. **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].
12. **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].
13. **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].
14. **Kirk, D. (2023).** *Contemporary mathematics*. Rice University. ISBN :978-1-711470-55-9. 1565.
15. **Lin, H. (2023)**. *Intellectual Development and Mathematics Learning*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-19-8757-1
16. **Dong, Y. Zhu, R. Tian, Q. Liu, W. & Penga, 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
17. **Yilmaz, F. Queiruga-Dios, A. Vaquero, J. Mierluş-Mazilu, I. Rasteiro & D. Martínez, V. (2023)**. *Mathematical Methods for Engineering Applications*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-21700-5. 293.
18. **Clark-Wilson, A. Robutti, O. & Sinclair, N. (2023).** *The Mathematics Teacher in the Digital Era. International Research on Professional Learning and Practice*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-05254-5 423.

19. **Gonzalez, O. (2023)**. *Topics in Applied Mathematics and Modeling*. AMS. ISBN: 978-1-4704-6991-7. 211.

Options for calculating the hydrostatic pressure force using the K123 method on the walls of a paraboloidal channel

Yuriy Kopanytsia, Olena Gizha, Oksana Nechypor,
Ihor Marienko, Bohdan Lynok, Dmytro Vasyanovich

Abstract. The development of modern microprocessor technologies in personal gadgets and computers, the distribution on the Internet of open client-server calculation services of almost all known computer mathematics systems (Wolfram Mathematica, Waterloo Maple, MATHLAB, PTC Mathcad, R, CAS MAXIMA, etc.) allows anyone to use modern engineering calculations in open access. But this theoretical statement has certain practical limitations.

The complexity of modern engineering calculations, due to the development of the software component, has been significantly simplified for typical tasks and increases or goes beyond the capabilities of the program for any atypical or non-standard task.

The standard mechanism for expanding program functionality to define non-standard solutions is also known and implemented by a built-in internal programming language, additional modules, and libraries. It is this standard mechanism for using modern software products that requires a significant increase in the general mathematical culture, which combines analytical, numerical, and graphical calculation methods in implementation algorithms within the framework of one modern engineering problem.

The article presents a study of calculation methods using the example of a seemingly simple standard problem of determining the magnitude, direction, and coordinates of the center of pressure for a hydrostatic pressure force vector on the lateral curved surface of a parabolic channel. The proposed solutions are based on a new theoretical basis and corresponding methods, which underlie the universal author's method of three commands K123 (c) Kopanitsa Y.D. [1-14].

The principle of multi-variant solutions to standard problems by conducting computational experiments in computer mathematics systems using methods from different branches of mathematics should be the basis of the educational process. At the same time, a secure client-server calculation program based on CGI technology with a web form for entering input data for the Internet with open access has been developed. The web form of the program is available on the Internet without restrictions at https://www.k123.org.ua/_jh_ex2b_3b.html. The program implements calculations for all proposed new algorithms, generates detailed reports of intermediate results, and allows modeling and conducting computational experiments on a wide range of data for this class of problems. The graphical component of the solution is visualized in SVG vector format, and mathematical notation is in TEX format. Various operating modes, password access, output data set restrictions, and format and dimension checks of input and output data based on regular expression technology are provided. The program interface is designed with the use of mobile devices with limited Internet bandwidth in mind.

New calculation formulas are proposed for a certain class of standard problems based on the author's method of three commands K123 (c) Kopanitsa Yu.D. Until now, this class of standard problems was absent from modern textbooks.

Key words: K123 three-command method, hydrostatic pressure force, curved surface.

Стаття надійшла до редакції 19.06.2025