

Ю.Д. КОПАНИЦЯ, кандидат технічних наук
Київський національний університет будівництва і архітектури

АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ ВИЗНАЧЕННЯ ГІДРОСТАТИЧНОГО ТИСКУ НА ПОВЕРХНЮ ДОВІЛЬНОЇ ФОРМИ ЗА СТАНДАРТНИМИ ФОРМУЛАМИ І МЕТОДОМ ТРЬОХ КОМАНД K123

Проведено порівняльний аналіз використання універсального авторського метода K123 і класичної методики розрахунку тиску в системі комп'ютерної алгебри CAS MAXIMA.

Ключові слова: сила тиску; епюра; центр ваги; метод K123; інтеграл.

Проведено сравнительный анализ использования универсального авторского метода K123 и классической методики расчёта давления в системе компьютерной алгебры CAS MAXIMA.

Ключевые слова: сила давления; епюра; центр тяжести; метод K123; интеграл.

The comparative analysis of the use of the Universal Author's method K123 and classical technique for pressure calculation in CAS MAXIMA has been carried out.

Key words: pressure force; pressure diagram; center of pressure; method K123; integral.

Проведено порівняльний аналіз використання універсального авторського метода K123 [1-4] й стандартного алгоритму розрахунку рівнодійної сили тиску на криволінійну поверхню на прикладі задачі, яку наведено в підручнику [5] в якості зразка. Підручник затверджено Міністерством освіти і науки України у 2002 році.

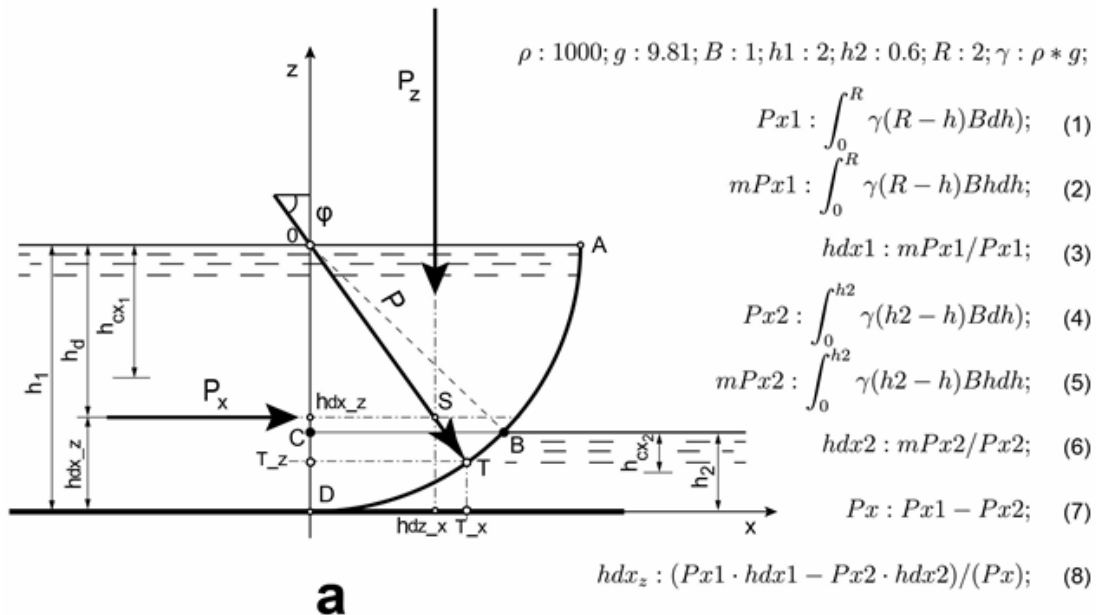
Умова задачі (рис.1,а) включає діаметр циліндричного затвору, рівні води й стандартне завдання – визначити величину й напрям дії рівнодійної сили тиску на метр ширини означеної поверхні. Формули стандартного алгоритму наведено на рисунку (рис.1,б).

Запропонований у підручнику типовий приклад розрахунку включає стандартні пункти: розрахунок ортогональних проекцій вектору сили, визначення модуля рівнодійної сили й кут напрямку дії. Рисунок із геометричним зображенням вектору рівнодійної сили тиску (далі РСТ) є стандартним й тому в статті не приведено [1, рис. 1.26].

Тестову задачу паралельно розраховано за авторським методом трьох команд K123 в системі комп'ютерної математики CAS MAXIMA [8-10]. Повний

алгоритм (послідовність 15-ти формул й одну систему алгебраїчних рівнянь) наведено на рисунку 1,с.

Універсальний інтегральний метод трьох команд K123
комп'ютерного розрахунку рівнодійної сили гідростатичного тиску
на поверхню довільної форми



a

Стандартний алгоритм розрахунку
рівнодійної сили гідростатичного
тиску на один метр затвора

$$Px1 : \rho \cdot g \cdot hx1 \cdot w1; \quad (1)$$

$$Px2 : \rho \cdot g \cdot hx2 \cdot w2; \quad (2)$$

$$Pz : \rho \cdot g \cdot W; \quad (3)$$

$$P : \sqrt{Px^2 + Pz^2}; \quad (4)$$

$$tg(\varphi) : Pz/Px; \quad (5)$$

$$fb(h) := \sqrt{(R^2 - (R-h)^2)}; \quad (9)$$

$$Pz : \int_{h2}^R (fb(h)\gamma)Bdh; \quad (10)$$

$$mPz : \int_{h2}^R fb(h)\gamma B(fb(h)/2)dh; \quad (11)$$

$$hdx_z : mPz/Pz; \quad (12)$$

$$P : \sqrt{(Px^2 + Pz^2)}; \quad (13)$$

$$fi : (180/\pi \cdot arctg(Pz/Px)); \quad (14)$$

$$\begin{cases} z = -\frac{Pz}{Px} \\ z = -\sqrt{4-x^2} \end{cases} \quad (15)$$

c

b

Рис. 1.Стандартний та універсальний K123 методи
визначення рівнодійної сили гідростатичного тиску
а - умова задачі; б - стандартний алгоритм; с - метод K123

Розрахунок за методом K123 дозволяє визначити:

- модулі ортогональних проєкцій рівнодійної сили тиску (далі РСТ);
- модуль РСТ;

- відповідні ортогональні координати центрів ваги тривимірних (далі 3D) вертикальної й горизонтальної проєкцій чотирьох вимірної (далі 34) епюри тиску;
- розрахунок кута напряду дії РСТ;
- координати відповідних ортогональних проєкцій центрів ваги 3D епюр й кут напряду дії РСТ визначають аналітично визначене рівняння напряду;
- система рівнянь криволінійної напрядної поверхні й рівняння напряду дозволяють знайти останній – третій параметр векторної величини РСТ.

У такий спосіб нами визначено всі три параметри векторної величини РСТ. В порівнянні із стандартним алгоритмом метод K123 дозволяє визначати координати центрів ваги ортогональних проєкцій 3D епюр відносно початку координат. Методом K123 ми маємо можливість визначати координати відносно будь-якої довільної точки, яка лежить на лінії дії РСТ. Інші особливості універсального авторського методу трьох команд K123 ми наведемо після аналізу типів задач, що наводяться в сучасних підручниках [5,6].

Всі учбові задачі в підручниках й посібниках гідравліки із розділу «Гідростатика. Визначення гідростатичного тиску на плоску поверхню» з 1960-х по 2017-й роки укладаються в наступну умовну схему класифікації:

- за геометричною формою змоченої поверхні [рис. 2, a-f];
- за рівнем вільної поверхні рідини відносно верхньої кромки означеної поверхні – прошарок рідини, вакууметричний або манометричний тиски.

Вся варіативність учбових задач обмежено стандартними формами змоченої поверхні (рис. 2, a-f): квадрат або прямокутник (рис. 2, a), трикутна поверхня й трапеція (рис. 2, b, c), коло (рис. 2, d-e), парабола (рис. 2, f). Всі фігури обов'язково симетричні відносно вертикальної осі.

Рівень вільної поверхні рідини для поверхні у вигляді кола обов'язково тільки на рівні центру (рис. 2, d) або не нижче (рис. 2, e) лінії верхньої кромки.

Інші умови задачі: наявність атмосферного, вакууметричного, манометричного тисків; наявність прошарку рідини над розглядаємо поверхнею – створюють варіації в учбових завданнях. Але форма змоченої поверхні залишається незмінною (рис. 2, a-f).

Для вирішення означених варіантів учбових завдань, в якості прикладу, у посібнику [6] наведено чотири десятка стандартних формул: центр ваги, площа, момент інерції. Кожна формула використовується для конкретного варіанта задачі.

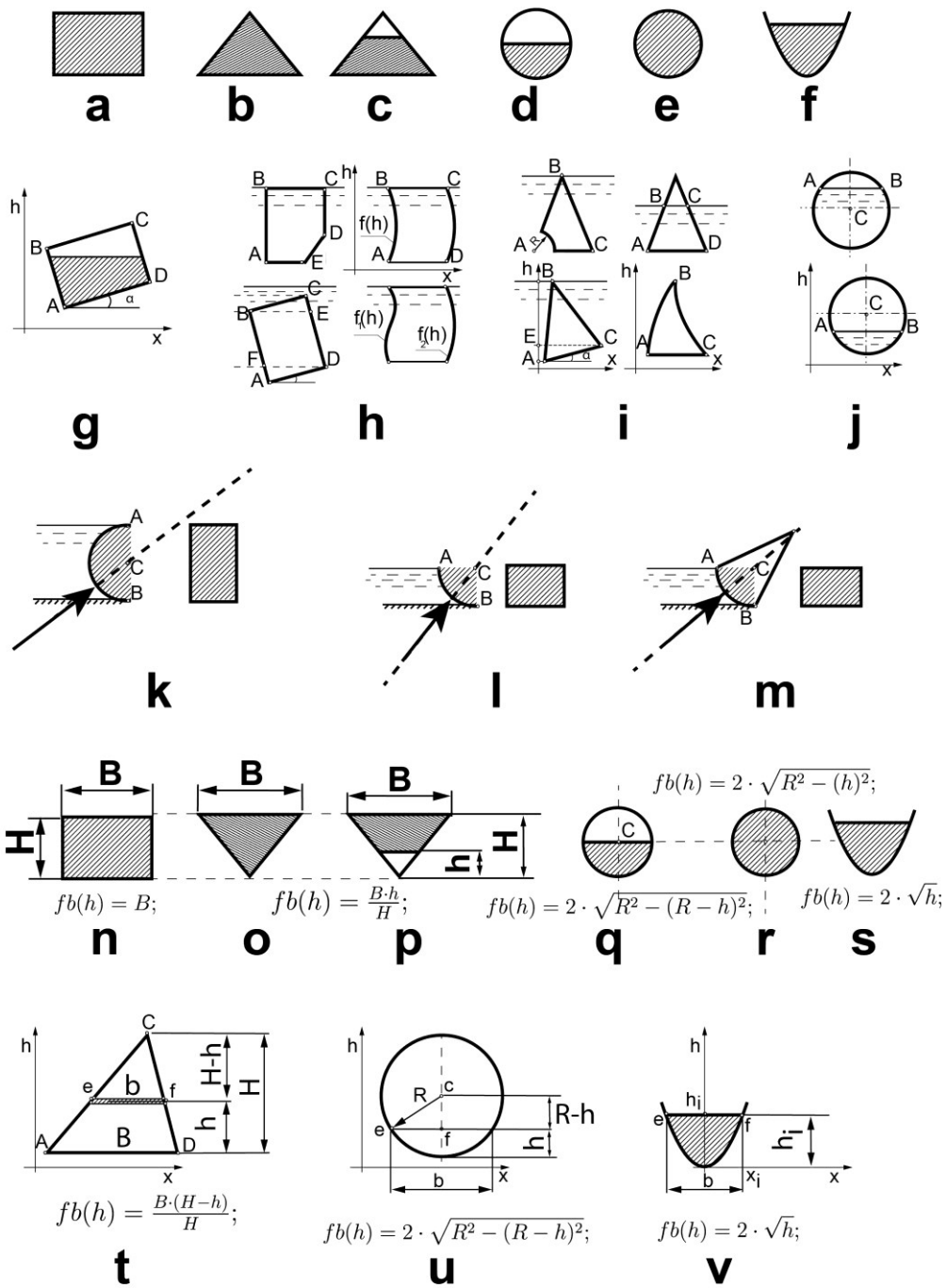


Рис. 2. Варіанти поверхні довільної форми в задачах гідравліки

В реальних умовах при проектуванні або експлуатації об'єктів водопостачання та водовідведення ми маємо справу із «нестандартними» плоскими кришками, боковими стінками, елементами конструкції або засувками на які діє гідростатичний тиск. Не всі реальні плоскі поверхні: мають абсолютну симетрію відносно вертикальної осі (рис 2.g); правильну геометричну форму (рис 2.h-i); рівень води відхиляється відносно центру кришки (рис 2.j) , яка прикриває круглий патрубок, трубу (або бокова стінка

бака) тощо. В інженерній й науковій практиці варіантів може бути набагато більше.

Всі «нестандартні» варіанти (рис 2,*g-j*) не можуть бути розраховані за стандартною методикою – нема готових формул. В підручниках не приведено алгоритмів розрахунку «нестандартних» задач.

Слово «нестандартні» взято у дужки тому, що саме ці задачі є самими реальними. А свідомо обмежений набір умовних учбових задач просіяно через сито вищеозначеного набору відомих формул [2]. Останні сімдесят років триває процес штучного відбору – стандартна формула підходить для розрахунку задачі й задача включається до посібника або підручника.

Традиція вилучення цікавих інженерних задач із посібників гідравліки з'явилась після 30-х років ХХ століття.

В стандартних підручниках представлено тільки три набори криволінійної поверхні – півкола (рис 2,*k*), чверть кола (рис 2,*l*), сектор (рис 2,*m*). Як правило розрахунок задано проводити на метр ширини затвора. Останнє означає, що вертикальна проекція криволінійної поверхні обов'язково має форму прямокутника. Спеціальне спрощення умови задач виключає необхідність проводити повний розрахунок із визначенням координат центрів ваги епюри й тіла тиску.

В реальних умовах поперечний перерізи каналів або лотків має форму трапеції (рис 2,*p*), кола (рис 2,*q-r*), параболічну форму (рис 2,*s*), або їх композицію. За такими умовами ні в одному підручнику ми не зустрінемо учбових задач. Причина проста – зазвичай приведені в підручниках готові формули діють тільки для одного типу задач – напрямна криволінійної поверхні обмежена формою півкола, чверть кола, або сектор (рис 2,*k-m*). Для всіх задач вертикальна проекція прямокутник (рис 2,*n*). Що робити й які алгоритми використовувати майбутньому інженеру в розрахунках реальних споруд із поперечним перерізом не тільки прямокутник(рис 2,*o-s*)?

Метод трьох команд K123 дозволяє за єдиним правилом запису універсальної формули визначити величини вертикальної й горизонтальної проекції сили гідростатичного тиску на поверхню будь-якої форми. У такий спосіб – за єдиним алгоритмом – визначається глибина занурення центру тиску, або координати останнього відносно будь-якого ортогонального напрямку. Будь-яка реальна задача для поверхні довільної форми вирішується за єдиним універсальним алгоритмом для плоскої або криволінійної поверхні.

Реалізація методу K123 дозволяє проводити аналітичні або (в складних випадках) чисельні розрахунки векторної величини РСТ за повним алгоритмом визначення всіх трьох параметрів: величина, напрям дії й координати центру тиску (далі КЦТ).

На рисунку представлено результати визначення сили тиску на циліндричну поверхню: проекції на осі, величину самої сили, кут напрямку дії й координати перетину центрів ваги вертикальної й горизонтальної епюр

означеної сили. Метод трьох команд K123 дозволяє аналітично або за чисельним алгоритмом визначати: об'єм епюри горизонтальної проекції сили тиску й координату проекції її центру ваги на ортогональний напрям відносно довільної точки (яка лежить на лінії дії сили). На рисунку представлений варіант визначення далі КЦТ.

Саме наявність одної універсальної форми запису розрахункової формули суттєво відрізняє універсальний метод трьох команд K123 від жорстко запрограмованого стандартного алгоритму визначення сили тиску, які приводяться в сучасних підручниках.

Наприклад, для представлених на рисунку стандартних типів поверхні – прямокутник, трикутник, парабола й коло – в посібнику приведено 40 допоміжних формул. Кожна формула використовується для одного особистого випадку.

Будь яка зміна стандартних умов задачі (рис.2,g-j) робить ці спеціалізовані формули неробочими. При зміні рівня води відносно центру для кола (рис.2,j), криволінійні бокові грані (рис.2,h-i), проста відсутність симетрії відносно вертикальної осі за рахунок повороту відносно вертикалі (рис.2,g), асиметрія фігури (рис.2,h-i) тощо призводить до того, що виключається сама можливість скористатись стандартними алгоритмами. Причина – відсутність готових стандартних формул в стандартному загальноприйнятому алгоритмі.

В підручнику приведено зразковий приклад розрахунку тиску на затвор. Повний розрахунок за методом K123 – із визначенням КЦТ – показав, що вектор рівнодійної сили тиску проходить через центр. Для об'єктивного висновку доцільно порівняти рисунок підручника [1,.35] й результати комп'ютерного розрахунку за методом K123 (рис.1,a).

Повний комп'ютерний розрахунок задачі за методом трьох команд K123 дозволив отримати додатково координати центрів ваги тіла тиску й епюри. Побудований в масштабі рисунок відрізняється від схематичного зображення у підручнику – інше положення горизонтальної проекції сили тиску, не точно показано глибину занурення центру ваги епюри й відповідне положення горизонтальної проекції сили тиску. Дійсно, кут напрямку дії рівнодійної сили гідростатичного тиску проходить через центр кола. Але, використовуючи координати центрів ваги й продовження їх проекцій на відповідні ортогональні напрями ми отримали точку їх перетину. Вектор рівнодійної сили тиску проходить через цей перетин й проектується на поверхню. Реальне положення вектору на рисунку суттєво відрізняється від дуже умовної схеми у підручнику.

Причина такого неточного й дуже умовного схематичного рисунку в підручнику, можливо полягає в тому, що автори не проводять точний інженерний розрахунок у повному обсязі. Не визначають обов'язковий третій параметр вектору – дуже важливий на практиці – координати точки прикладання рівнодійної сили тиску.

Зазвичай аналогічні умови задач зустрічаються в задачниках, но пропонують тільки визначити величину й напрям дії сили тиску. Ні в одному навчальному посібнику не приділяється увага повному розрахунку із визначенням всіх трьох параметрів векторної величини: модуль, напрям дії й координати точки тиску. А саме в практичній діяльності необхідні координати точки на яку проектується вектор рівнодійної сили тиску, який проходить через перетин ортогональних проекцій центрів ваги епюри й тіла тиску або ортогональних проекцій центрів ваги вертикальної й горизонтальної епюр.

Відповідь на всі ці запитання дуже проста – за останні 90 років із задачників вилучені всі задачі із елементами «обчислення нескінченно малих». Приклади складання рівняння в диференціалах й подальше інтегрування взагалі не розглядаються після 1927 року [7]. Ми маємо дуже обмежений набір умовних учбових задач. Існуючи приклади алгоритмів розрахунку сили гідростатичного тиску на плоску й криволінійну поверхні не відповідають ні сучасному рівню розвитку програмного забезпечення, ні вибуховому розвитку персональних мікропроцесорних гаджетів (планшети, смартфони).

Ще один приклад спрощеного підходу до розрахунку учбових задач у навчальному підручнику [6]. Представлена на рис. 3 стандартна задача визначення тиску на циліндричну поверхню. Для порівняння аналогічний рисунок для цієї задачі представлено в навчальному посібнику [6]. Центри ваги показано умовно й не використовуються для визначення координати центра тиску. Розрахунок координат центрів ваги епюри й тіла тиску не приводиться.

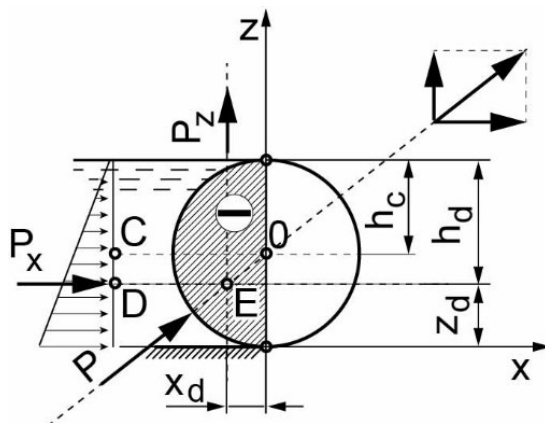


Рис.3. Результат розрахунку стандартної задачі методом трьох команд K123. Визначення координат “ x_d ”, “ z_d ” – проекції центру ваги епюри й тіла тиску на ортогональні напрями

На відміну від стандартного алгоритму, розрахунок задачі проведено у повному обсязі методом трьох команд K123. Додатково визначено координати “ x_d ”, “ z_d ”. В стандартних учбових прикладах обмежуються тільки визначенням сили тиску й її напрямом. Аргумент – недоцільно ускладнювати учбові розрахунки. Умови всіх учбових задач підібрані так, що напрям дії сили тиску обов’язково буде проходить через центр кола. Рішення задачі

закінчується умовним зображенням вектору рівнодійної сили тиску під розрахованим кутом проведеним через центр кола.

Смартфони із сучасними операційними системами, із портованими пакетами систем комп'ютерної алгебри, із виходом в Інтернет й доступом до необмежених об'ємів інформації, доступом до хмарових сервісів із *WEB*-інтерфейсами *CAS MAXIMA* [8-10], *MAPLE*, *MATHEMATICA*, *MathCAD*, *MathLab*, *Derive*, *Octave*, *R* [10] дозволяють проводити наукові й інженерні розрахунки будь-якої складності. Програми *R*, *CAS MAXIMA* належать до відкритого програмного забезпечення. В навчальному процесі доцільно використовувати саме безкоштовне відкрите програмне забезпечення. В європейських країнах держустанови використовують виключно відкрите програмне забезпечення.

Ми не готуємо майбутніх інженерів до розрахунку реальних задач. Не вирішується задача розробки теоретичних основ й реалізації нових сучасних алгоритмів й прикладів розрахунку нестандартних задач. Всі учбові розрахунки останні 90 років орієнтовано на використання дуже обмеженої кількості стандартних формул. Відсутня систематична практика використання апарата «обчислення нескінченно малих» в аналітичних й чисельних розрахунках індивідуальних завдань широкого кола інженерних дисциплін. Майже відсутня культура використання систем комп'ютерної математики в розрахунках учбових задач.

В учбовому процесі за браком часу й скороченням учбових годин не приділяється увага звичайним правилам комп'ютерного розрахунку – обов'язковий розрахунок да двома альтернативними алгоритмами, або аналітичні й чисельні розрахунки одної задачі, розробка й розрахунок обов'язкового тестового прикладу для перевірки результатів, оцінки точності в ітераційних розрахунках тощо. За такими умовами сучасна інженерна освіта не в повній мірі відповідає вимогам й задачам які стоять перед молодими фахівцями у XXI-му столітті.

Автор розробив прототип авторського учбового сайту www.k123.com.ua Копаниця Ю.Д. © [11] для впровадження інноваційних технологій в учбовий процес. На прикладі курсів «Технічна механіка рідини і газів», «Спецпитання гідравліки», «Масопередача», «Метрологія, стандартизація, сертифікація», «Сертифікація наукової продукції» відпрацьовується технологія розміщення в он-лайні учбових матеріалів, он-лайн розрахунків, прикладів типових задач, елементів програмного коду для виконання індивідуальних завдань. Окремі зразки індивідуальних робіт з дозволу студентів розміщено на сайті. Студенти знайомляться із основами публікації даних в мережі Інтернет й оформляють роботи із використанням стандартів *HTML 5*, *CSS 3.0*. Завдання по курсу «Сертифікація наукової продукції» приймаються в електронному форматі у вигляді файлів *HTML*.

З метою поліпшення якості електронних учбових матеріалів проводиться анкетування й опитування студентів. До сайту підключено сервіс *Google Analytics*, що дозволяє досліджувати процес використання матеріалів учбового сайту. На сайті діють три універсальні он-лайн форми розрахунку

двох задач гідростатики (плоска й криволінійна поверхня) й розрахунок задачі розділу гідродинаміка – «Рівняння Д. Бернуллі для в'язкої рідини».

Висновки

Відкриття границь із Європейськими державами ставить питання відповідності Евростандартам якості національної освітньої програми. В вирішенні означеної задачі можна виділити два аспекти – інноваційні технології й реклама досягнень в мережі Інтернет. У такий спосіб ми маємо шанс виграти час у боротьбі за нашу молодь й майбутнє національної освіти. На думку автора ми маємо вирішувати задачі:

– впровадження сучасних інноваційних технологій в учбовий процес – розробка теоретичних основ для нових універсальних алгоритмів розрахунку інженерних задач, що сприяє розвитку культури комп'ютерних розрахунків в технічних дисциплінах;

– представництво всіх елементів учбового процесу в мережі Інтернет – розробка онлайн-ових учбових курсів (відео лекцій, вебінарів, інтерактивних учбових матеріалів, тестів, он-лайн розрахунків учбових задач й типових прикладів тощо).

Список літератури

1. *Копаниця Ю.Д.* Комп'ютерний розрахунок сили тиску. Універсальний алгоритм трьох команд – K123. // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. К.: КНУБА. Вип.18. 2012. С.148–163.
2. *Копаниця Ю.Д.* Розрахунок гідростатичного тиску на криволінійну поверхню. Універсальний алгоритм трьох команд – K123. // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. К.: КНУБА. Вип.20. 2012. С.105–119.
3. *Копаниця Ю.Д.* Аналіз виміру епюри гідростатичного тиску на криволінійну поверхню. Універсальний метод розрахунку K123. // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. К.: КНУБА. Вип.21. 2013. С.165–180.
4. *Копаниця Ю.Д.* Інтегральні рівняння універсального методу трьох команд K123 // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. К.: КНУБА. Вип.22. 2013. С.159–171.
5. *Константинов Ю.М.* Технічна механіка рідини і газу: Підручник / Ю.М. Константинов, О.О.Гіжа. К: Вища шк., 2002. 277 с.
6. *Константинов Ю.М.* Гідростатика. Приклади і задачі: навчальний посібник / Ю.М. Константинов, О.О.Гіжа, Ю.Д.Копаниця. К: КНУБА, 2012. 112 с.
7. *Горчин Н.К.* Гидравлика в задачах / Н.К. Горчин, М.Д. Чертоусов. Л: Кубуч, 1927. 430 с.
8. http://ru.wikipedia.org/wiki/GNU_General_Public_License
9. <http://maxima.sourceforge.net/>
10. <http://maxima-online.org/>
11. *Копаниця Ю.Д.* <http://www.k123.com.ua> ©

Стаття надійшла до редакції 29.11.17