



УДК 624.042.1:621.311.21

DOI: 10.37128/2520-6168-2020-1-13

## ЗНАХОДЖЕННЯ ВЕЛИЧИН СИЛИ ТИСКУ НА ПІДВОДНІ ГІДРОСПОРУДИ У ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКІЙ ПРАКТИЦІ Й АГРОІНЖЕНЕРНІЙ ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ

Пришляк Віктор Миколайович, к.т.н., доцент  
Дубчак Віктор Миколайович, к.т.н., доцент  
Вінницький національний аграрний університет

V. Pryshliak, PhD, Associate Professor  
V. Dubchak, PhD, Associate Professor  
Vinnytsia National Agrarian University

*У статті представлено результати наукових аналітичних досліджень, котрі забезпечують знаходження сили тиску на підводні гідроспоруди, такі як, наприклад, дамби гідроелектростанцій, відстійники рідких органічних добрив і стічних вод, берегові укріплення озер, річок, ставків, водоймищ тощо.*

*Практичний досвід виробничої та педагогічної діяльності й аналіз винахідницьких і науково-дослідних робіт вітчизняних, а також закордонних вчених показав, що конструктивно-технологічна й економічна доцільність, експлуатаційна безпечність підводних гідроспоруд потребує подальших аналітико-розрахункових досліджень на основі математичних методів оптимізації. Особливо великий науковий інтерес викликають досягнення китайських вчених. Їх здобутки з розрахунку, проектування, будівництва та експлуатації гідроспоруд малих і великих гідроелектростанцій визнані науковцями, конструкторами та виробничниками у світі.*

*В основу роботи покладено дослідження, спрямовані на математичне обґрунтування параметрів прямокутного й трапецеподібного шлюза та кругового люка, котрий розташований на довільній, оптимально конструктивно обґрунтованій глибині.*

*Враховано, що в університети щороку зараховуються на навчання нові студенти, котрі потребують отримання знань з розрахунку на міцність конструкцій об'єктів із залученням інноваційних методик, що ґрунтується на фундаментальному математичному апараті. Формування фахових компетентностей агроінженера повинно забезпечити здатність застосовувати ним у своїй діяльності теоретичні основи та базові методи фізики й математики, гідростатики, динаміки, механіки рідини для розрахунку та проектування технічних об'єктів, і, звичайно, підводних гідроспоруд. Агроінженер повинен уміти виконувати розрахунки на міцність стінок місткостей будь-яких геометричних профілів для зберігання рідин, а також бокових стінок і днищ гідроспоруд, тіл, які розміщені у рідинах.*

**Ключові слова:** підводна гідроспоруда, сила тиску, дамба, круговий люк.

**Ф. 9. Рис. 6. Літ. 21.**

### 1. Постановка проблеми

Підводні гідроспоруди мають різні конструкції. На них діють різноманітні сили, котрі викликають внутрішні напруги, серед яких переважають статичні, котрі повільно змінюються в часі, і, в цьому випадку, силами інерції нехтують. Статичні навантаження зазвичай приймають постійними [1]. Методи розв'язування прикладних задач математичного аналізу [2] із застосування інтегральних функцій для різноманітних геометричних профілів доречно розраховувати декількома методами, а отримані результати порівнювати між собою для отримання найбільш об'єктивної оцінки стану об'єкта. Для отримання оптимального об'єктивного результату важливо адекватно до реальної конструкції сформулювати прикладну математичну задачу [3], проінтегрувати та обчислити цей інтеграл. Не усі інженерно-технічні працівники спроможні це робити. А тому, знаходження величини сили тиску на підводні гідроспоруди із застосуванням математичного апарату важливо як в проектній виробничій діяльності так і у навчальному процесі в інноваційних педагогічних технологіях підготовки інженерно-технічних фахівців.



## 2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблемним питанням загальної і предметно орієнтованої теорії, розрахунку, проектування, конструювання та будівництва підводних гідроспоруд присвячено чимало друкованих праць (наукових статей, монографій, навчальних посібників та підручників, патентів тощо) в нашій країні і за кордоном. Так задачі аналітичної та прикладної вищої математики механіки представлено в працях В.А. Балаш [1], Б.П. Демидовича [2], В.М. Дубчака, В.М. Пришляка, Л.І. Новицької [3], Н.С. Пискунова [17] і багатьох інших науково-педагогічних працівників. Основи інженерних методів розрахунків на міцність і жорсткість розглядалися авторами Г.М. Калетніком, М.Г. Чаусовим, В.М. Швайко, А.В. Пилипенком А.Г. Куценко, М.М., Бондар, В.М. Пришляком, Л.С. Шимко [8, 9, 15, 18] та ін. Проблемним питанням гідромеханіки, машинам та обладнанню в сільськогосподарській меліорації присвячена низка праць [4, 5, 6, 10-14, 16, 19] авторів А.Г. Куценко, С.М. Бондар, Г.М. Калетніка, М.Г. Чаусова, М.М. Бондар, В.М. Пришляка, В.Л. Курила, Л.В. Остапчука, В.Є. Дишлюка, Е.Г. Дегодюка, Салиева Энвера, Liu Zhong та ін. В [5] зазначається, що гідромеханіка – це розділ механіки, в якому вивчаються закони руху і рівноваги рідин, а також закони взаємодії рідини з тілами. У гідромеханіці, інколи з деякими припущеннями, для розв'язування прикладних задач можна використовувати класичну механіку Ньютона [5].

Авторами Калетніком Г.М. і Пришляком В.М. в [4] розглянуто питання малої гідроенергетики, зокрема: техніко-економічні та екологічні аспекти використання малих гідроенергетичних станцій та установок, стан малої гідроенергетики в Україні та в світі. Тут [4] зазначається, що підвищення ролі малої гідроенергетики як альтернативного (до звичного нам вугілля, нафти, газу) джерела прийматиме розвитку енергетичної безпеки держави. Перелік потенційних джерел електроенергії для малої гідроенергетики надзвичайно великий: це річки, перепади висот на зрошувальних каналах іригаційних систем і т. п. Загалом, на території України протікає понад 20000 малих річок загальною довжиною близько 200000 км [4]. А тому потенційні можливості виробництва електроенергії в нашій державі значні.

Розрахунок підводних гідроспоруд у агропромисловому виробництві може проводитись для розрахунку, проектування, конструювання та будівництва спеціальних ємкостей, для виробництва і зберігання органо-мінеральних добрив на основі осаду стічних вод для окультурених ґрунтів [10]. Так вчені і винахідники В. Л. Курило, Л. В. Остапчук, В. Є. Дишлюк, Е. Г. Дегодюк пропонують спосіб виробництва органо-мінерального добрива на основі осаду стічних вод для окультурення ґрунтів, який включає виділення рідкого осаду в процесі очищення міських стічних вод, зневоднення осаду стічних вод шляхом витримування його на мулових майданчиках, які можна розглядати при розв'язуванні математичних задач як підводні гідроспоруди, у котрих і відбувається формування зневодненого осаду стічних вод у бурт для компостування. Варто зазначити, що для знезараження зневодненого осаду стічних вод від збудників інфекційних і паразитарних захворювань та для стерилізації насіння бур'янів додають до нього при формуванні в бурт для компостування у відповідності до ступеня зараження необхідну масу вуглеамонійної солі, а для зв'язування і переведення рухомих форм хімічних забруднювачів у фіксований стан до нього додають необхідну, науково обґрунтовану масу адсорбенту [10]. Аналіз винахідницьких і науково-дослідних робіт вітчизняних, а також закордонних вчених показав, що конструктивно-технологічна й економічна доцільність, експлуатаційна безпечність підводних гідроспоруд потребує подальших аналітико-розрахункових досліджень на основі математичних методів оптимізації [7].

Особливо великий науковий інтерес розвитку гідроенергетики викликають досягнення китайських вчених [19]. Їх здобутки з розрахунку, проектування, будівництва та експлуатації гідроспоруд малих і великих гідроелектростанцій визнані науковцями, конструкторами та виробничниками в усьому світі. Варто зазначити, що найбільша гідроелектростанція світу з річним виробництвом електроенергії близько 100 млн. кВт · год. електроенергії побудована саме в Китаї. Ця ГЕС розташована у провінції Хубей на річці Янцзи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій дає підстави зробити висновок, що доцільно провести наукові аналітичні дослідження, котрі забезпечать знаходження сили тиску на підводні гідроспоруди, такі як, наприклад, дамби гідроелектростанцій, берегові укріплення озер, річок, ставків, водоймищ, відстійників, стічних вод, рідких органічних добрив тощо. Стратегію прикладних досліджень доцільно спрямувати на математичне обґрунтування параметрів прямокутного й трапецеподібного шлюза та кругового люка, котрий розташований на довільній глибині. Варто



зазначити, що методика розрахунку важлива також для навчального процесу під час підготовки майбутніх інженерів до інноваційної проектної діяльності.

### 3. Мета досліджень

Метою досліджень є знаходження на основі методів математичного аналізу та оптимізації параметрів величини сили тиску на підводні гідропороди, а саме, на шлюз, форма котрого може бути прямокутна чи трапецеподібна, а також люк у вигляді круга, котрий розташований на необхідній, оптимально обґрунтованій глибині річки, ставка, водосховища тощо.

Для досягнення поставленої мети передбачається виконати наступні завдання: проаналізувати, систематизувати й узагальнити результати наукових досліджень вчених щодо сучасних технологій проектування та конструювання дамб і люків технологічного призначення; уточнити параметри, режими роботи й експлуатаційні показники удосконалених конструкцій підводних гідропород; адаптувати методику математичного розрахунку як для виробничих умов будівництва та експлуатації підводних гідропород, так і до інноваційних педагогічних технологій навчального процесу.

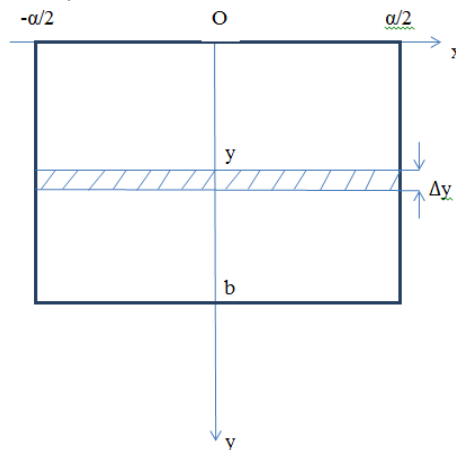
### 4. Результати досліджень

Накопичений науково-практичний досвід, огляд літературних джерел і результати патентного пошуку показали, що високопродуктивне сільськогосподарське виробництво, розвинута соціальна інфраструктура базується на системному комплексному підході до формування ландшафтного середовища, раціонального використання водних ресурсів з використанням досягнень науково-технічного прогресу, у тому числі в сфері будівництва гідроелектростанцій, укріплення берегів річок, створення водосховищ, відстійників рідких органічних відходів тваринництва, переробної промисловості, стічних вод тощо. Під час будівництва підводних гідропород використовуються сучасні меліоративні машини та обладнання. Без застосування сучасних комплексів машин неможливо побудувати надійні, довготривалі в експлуатації підводні гідропороди. Щодо розширення розвитку малої гідроенергетики, будівництва дамб, як базисної основи гідропороди, то варто відмітити таку особливість як вибір місця розташування.

Вимоги до системи внутрішнього забезпечення якості вищої освіти передбачають проходження стажування науково-педагогічних працівників [20], як в нашій країні так і за кордоном. Однією з таких форм підвищення кваліфікації була інноваційна навчальна підготовка в Китаї з відновлюваної енергетики для учасників країн, що розвиваються. Під час цього тренінг-курсу вивчались також і питання математичного розрахунку дамб і шлюзів різноманітних конструкцій.

Проведемо, з використанням математичного апарату, теоретичний аналіз і розрахунок деяких конструкцій підводних гідропород за таким нижче приведеним алгоритмом.

Спочатку зобразимо схему еквівалентної моделі прямокутного шлюза з обраною системою координат і виділеною елементарною площадкою, на яку розраховується елементарна сила тиску з боку рідини (рис. 1). Також це може бути місткість прямокутної форми, котра заповнена рідиною. Розрахуємо тиск  $P$  цієї рідини на одну із стінок місткості чи на бокову стінку шлюза, що аналогічно.



**Рис. 1.** Прямокутний шлюз із обраною системою координат і виділеною елементарною площадкою, на яку розраховується елементарна сила тиску з боку рідини



Нехай  $a$  і  $b$  геометричні розміри заданого прямокутного шлюзу ( $a$  – горизонтальна, а  $b$  – вертикальна складова). Якщо визначаємо тиск на бокову стінку місткості, у котрій знаходиться рідина, то  $a$  – це основа стінки, а  $h$  – висота [21]. Варто зазначити, що тиск на всю стінку складається із суми тисків на окремі її ділянки. Виділяємо на довільній глибині у елементарну площадку  $\Delta S$  з її висотою  $\Delta y$ , і встановимо величину елементарної сили тиску з боку рідини на цю площадку. Маємо:

$$\Delta P \approx \gamma y \Delta S = \gamma a y \Delta y,$$

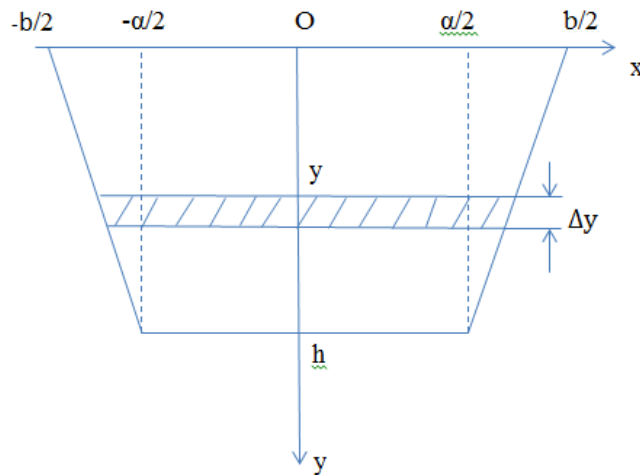
де  $\gamma$  – густина чи питома маса води або будь-якої рідини, що діє на стінку шлюзу,  $\text{н/м}^3$ .

Якщо в граничному переході спрямувати  $\Delta y \rightarrow 0$ , то отримаємо за допомогою інтегралу сумарне значення бокової сили тиску на весь вертикально розташований шлюз, котру передбачалось визначити у даних теоретичних наукових дослідженнях аналітичним шляхом із залученням методологій математичного апарату. І так, елементарна сила тиску з боку рідини рівна:

$$P = \int_0^h \gamma a y dy = \gamma a \frac{y^2}{2} \Big|_0^h = \frac{\gamma a h^2}{2}. \quad (1)$$

Важливо зазначити, що цей тиск рівний тиску рідини на площадку тих же розмірів занурену горизонтально на глибину свого центру тяжіння.

Дамби гідроелектростанцій переважно мають трапецеподібну форму. Визначимо елементарну силу тиску з боку рідини на стінку дамби, еквівалентна схема котрої представлена на рис. 2



**Рис. 2.** Дамба у вигляді рівнобічної трапеції з обраною системою координат і виділеною елементарною площадкою, на яку розраховується елементарна сила тиску з боку рідини

Тут  $a$  і  $b$  – основи рівнобічної трапеції ( $a < b$ ),  $h$  – її висота. В основі розв'язку даної задачі покладено відомий закон Паскаля [1]:

$$P = \gamma h S,$$

де  $\gamma$  – питома вага рідини,  $h$  – глибина занурення деякої площадки площі  $S$ ,  $P$  – величина шуканої сили тиску.

Виділивши елементарну площадку  $\Delta S$  цієї трапеції, що знаходяться на глибині занурення у рідину  $y$  з її елементарною висотою  $\Delta y$ . Величина сили тиску з боку рідини на цю елементарну площадку буде рівною:

$$\Delta P \approx \gamma y \Delta S = 2\gamma x y \Delta y. \quad (2)$$

Нехай  $x = \frac{a}{2} + t$ , тоді  $\frac{2t}{b-a} = \frac{h-y}{h}$ , або

$$t = \frac{1}{2}(b-a)\left(1 - \frac{y}{h}\right), \quad x = \frac{a}{2} + \frac{b-a}{2}\left(1 - \frac{y}{h}\right) = \frac{1}{2}\left(b - \frac{y}{h}(b-a)\right).$$

Маємо:

$$\Delta P \approx \gamma y \left(b - \frac{y}{h}(b-a)\right) \Delta y, \quad (3)$$

і при умові, коли  $\Delta y \rightarrow 0$ , отримуємо величину шуканої сили тиску за допомогою означеного інтегралу наступного вигляду:



$$\begin{aligned}
 P &= \int_0^h \gamma \left( by - (b-a) \frac{y^2}{h} \right) dy = \gamma \left( \frac{1}{2} by^2 - \frac{1}{3} (b-a) \frac{y^3}{h} \right) \Big|_0^h = \\
 &= \gamma h^2 \left( \frac{b}{2} - \frac{b}{3} + \frac{a}{3} \right) = \gamma h^2 \left( \frac{a}{3} + \frac{b}{6} \right) = \\
 &= \frac{1}{6} \gamma h^2 (2a + b).
 \end{aligned} \tag{4}$$

Наслідок: Для прямокутної дамби ( $a = b, h$  – висота)

$P = \frac{1}{6} \gamma h^2 (2a + a) = \frac{\gamma a h^2}{2}$ , що співпадає з результатом попереднього пункту встановлення сили тиску на шлюз.

Знайдемо силу тиску  $P$ , що діє на вертикальний круговий люк радіуса  $R$ . Спочатку розглянемо випадок, коли дуга кола дотикається поверхні рідини і вдовж цієї поверхні направимо горизонтальну вісь  $Ox$  (рис. 3). Маємо очевидні алгебраїчні співвідношення:

$$r^2 + (y - R)^2 = R^2 \Rightarrow r = \sqrt{R^2 - (y - R)^2}, \tag{5}$$

$$\Delta P \approx \gamma y \Delta S \approx 2\gamma r y \Delta y \approx 2\gamma y \sqrt{R^2 - (y - R)^2} \Delta y, y \in [0, 2R]. \tag{6}$$

Зробивши в останній рівності традиційний граничний перехід  $\Delta y \rightarrow 0$ , маємо:

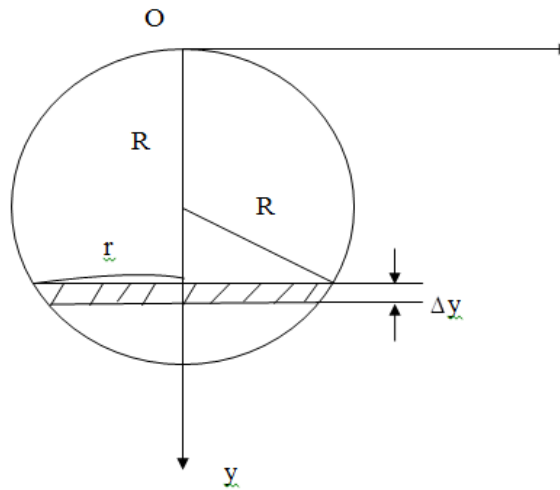


Рис. 3. Вертикальний круговий люк радіуса  $R$

$$\begin{aligned}
 P &= 2\gamma \int_0^{2R} y \sqrt{R^2 - (y - R)^2} dy = \left\{ \begin{array}{l} t = y - R \\ y = t + R \\ y = 2R \Rightarrow t = R \\ y = 0 \Rightarrow t = -R \end{array} \right\} = 2\gamma \int_{-R}^R (t + R) \sqrt{R^2 - t^2} dt = \\
 &= 2\gamma \int_{-R}^R t \sqrt{R^2 - t^2} dt + 2\gamma R \int_{-R}^R \sqrt{R^2 - t^2} dt = \\
 &= 4\gamma R \int_0^R \sqrt{R^2 - t^2} dt = 4\gamma R \left[ \frac{t\sqrt{R^2 - t^2}}{2} + \frac{R^2}{2} \arcsin \frac{t}{R} \right] \Big|_0^R = 2\gamma R^3 (\arcsin 1 - \arcsin 0) = 2\gamma R^3 \left( \frac{\pi}{2} \right) = \pi \gamma R^3.
 \end{aligned} \tag{7}$$

Зауваження:  $2\gamma \int_{-R}^R t \sqrt{R^2 - t^2} dt = 0$ , як інтеграл від непарної  $t$  по функції по симетричному відносно 0 проміжку.

На рис. 4 приведено узагальнену модель знаходження величини сили тиску на круговий люк, занурений в рідину на довільну глибину

$y \in [H, H + 2R]$ .

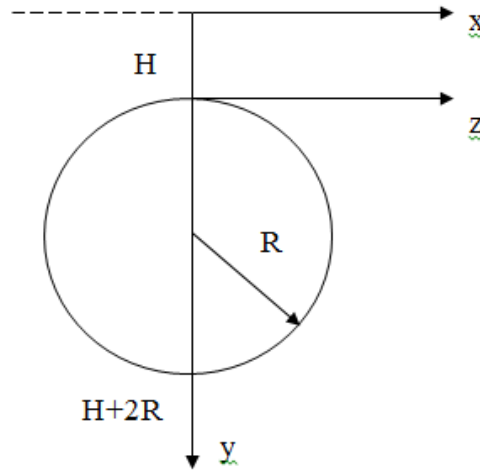


Рис. 4. Круговий люк радіуса  $R$ , розташований на довільній глибині  $H$  рідини

В цьому випадку сила тиску з боку рідини визначається наступним чином:

$$\begin{aligned}
 P &= 2\gamma \int_H^{H+2R} y \sqrt{R^2 - (y - R - H)^2} dy = \\
 &= \left\{ \begin{array}{l} z = y - H \\ y = z + H \\ y = H + 2R \Rightarrow z = 2R \\ y = H \Rightarrow z = 0 \end{array} \right\} = 2\gamma \int_0^{2R} (z + H) \sqrt{R^2 - (z - R)^2} dz = \\
 &= \left\{ \begin{array}{l} t = z - R \\ z = t + R \\ z = 2R \Rightarrow t = R \\ z = 0 \Rightarrow t = -R \end{array} \right\} = 2\gamma \int_{-R}^R (t + H + R) \sqrt{R^2 - t^2} dt = \\
 4\gamma \int_0^R (t + H + R) \sqrt{R^2 - t^2} dt &= 4\gamma(H + R) \left[ \frac{t\sqrt{R^2 - t^2}}{2} + \frac{R^2}{2} \arcsin \frac{t}{R} \right] \Big|_0^R = \pi\gamma R^2(H + R). \quad (8)
 \end{aligned}$$

До речі, якщо круговий люк занурено в рідину горизонтально на глибину  $H$ , тоді сила тиску з боку рідини на нього визначається безпосередньо законом Паскаля без складань та обчислень відповідних інтегралів, а саме:

$$P = \pi\gamma R^2 H. \quad (9)$$

У разі рухомої нестисливої рідини можна умовно говорити про справедливість закону Паскаля, бо додавання довільної сталої величини до тиску не змінює виду рівняння руху рідини, це рівняння Ейлера або, якщо враховується дія в'язкості, то рівняння Нав'є-Стокса. У цьому випадку термін закон Паскаля зазвичай не застосовується. Як відомо, для стисливих рідин закон Паскаля застосовувати не рекомендується.

Кінетична енергія води перетворюється в електроенергію за допомогою гідротурбін. Під дією напору води лопаті гідротурбіни обертаються, що приводить в дію генератор, який виробляє електроенергію. Необхідний напір води утворюється за допомогою будівництва греблі. У будівлі гідроелектростанції розташовується гідроагрегат, які безпосередньо перетворюють енергію струму води в електричну енергію. Гідроелектричні станції залежно від потужності відповідно до Закону України «Про електроенергетику» поділяються на: потужні – виробляють від 25 МВт до 250 МВт і вище, середні – до 25 МВт, малі гідроелектростанції – 1 ... 10 МВт, міні гідроелектростанції – 200 КВт ... 1 МВт, мікрогідроелектростанції – потужність яких не перевищує 200 КВт. Потужність ГЕС безпосередньо залежить від натиску води, а також від ККД генератора, що застосовується. Гідроелектростанції також діляться залежно від максимального використання напору води: висонапірні – понад 60 м, середньо напірні – від 25 м, низьконапірні – 3 ... 25 м. Принцип роботи усіх видів турбін схожий – вода, що подається під тиском надходить на лопаті турбіни через переважно кругові люки, які обертаючись виробляють електроенергію. На рис. 5 наведено фото діючої моделі гідроелектростанції з круговим люком.



*Рис. 5. Діюча модель гідроелектростанції з круговим люком подачі води до турбіни*

На одній і тій же річці із багатьма її притоками можуть будуватись гідроелектростанції, котрі мають різноманітні потужності. По мірі віддалення від верхів'я річки до гирла потужність водного потоку зростає – відповідно, зростають і водні потенційні можливості виробництва електроенергії. Вода також може зберігати потенційні запаси енергії у водоймищах, які знаходяться на певній висоті. При потребі ця вода може використовуватись спеціальними технічними системами для отримання електричної чи механічної енергії приводу машин, установок тощо. Колеса, що приводяться в дію потоком води мають глибоку історію їх застосування. З часом з'являлись інші конструктивні рішення перетворення силової дії потоку води в обертальний рух. Науковий і виробничий досвід використання технічних об'єктів з використанням потенціальної та кінетичної енергії води показав, що більш ефективними є турбіни. На невеликих гідроелектростанціях все ще можна використовувати водяні колеса але більш сучасними є турбіни головки, для котрих в дамбах створюють спеціальні люки. Їх застосування особливо ефективно за наявності потужного потоку води. Будівництво споруд може мати різні масштаби, у тому числі, це можуть бути як малі так і великі гідроелектростанції (Рис. 6).



*Рис. 6. Широкомасштабне будівництво гідроелектростанції в Китаї*



В Україні побудована значна кількість підводних гідроспоруд, а тому є достатньо великий науково-практичний досвід такої діяльності. Однак, в університети щороку приходять молодь, зараховуються на навчання нові студенти, котрі потребують отримання знань з розрахунку на міцність конструкцій об'єктів із залученням інноваційних методик розрахунково-математичної проектної підготовки, що ґрунтується на фундаментальному методологічному апараті. Формування спеціальних фахових компетентностей майбутнього агроінженера [20] повинно забезпечити здатність ним використовувати теоретичні основи та базові методи фізики й математики, гідростатики, динаміки, механіки твердого тіла і рідини, міцності матеріалів тощо для розрахунку, конструювання, проектування технічних об'єктів, і, звичайно, підводних гідроспоруд. Агроінженер повинен володіти знаннями та вміло застосовувати у виробничій проектній діяльності основні поняття і методи математичного аналізу [3], лінійної алгебри та аналітичної геометрії, дискретної математики, теорії диференціальних рівнянь, теорії ймовірності й математичної статистики, методами обробки експериментальних даних та ін. [20]. Агроінженер повинен уміти виконувати розрахунки на міцність місткостей будь-яких геометричних профілів для зберігання рідин, а також бокових стінок і днища гідроспоруд, деталей, вузлів, механізмів, тіл, які розміщені у рідині [20], використовувати при цьому математичний апарат для обробки й аналізу даних, пов'язаних з надійністю технічних виробів, визначати параметри режимів роботи гідравлічних систем.

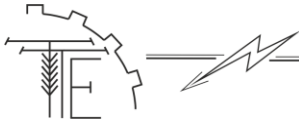
## 5. Висновок

У результаті проведення науково-практичних досліджень розроблено методику знаходження величини сили тиску на підводні гідроспоруди у проектно-конструкторській практиці й агроінженерній підготовці майбутніх фахівців агропромислового виробництва. Враховано, що агроінженер повинен уміти виконувати розрахунки на міцність місткостей будь-яких геометричних профілів для зберігання рідин, а також бокових стінок і днища гідроспоруд, використовувати при цьому математичний апарат для розрахунку конструкцій на надійність та довговічність. На прикладі Китаю проаналізовано особливості проектування та будівництва дамб гідроелектростанцій різних потужностей виробництва електроенергії.

## Список використаних джерел

1. Балаш В. А. *Задачи по физике и методы их решения*. Москва: Просвещение, 1974. 430 с.
2. Демидович Б. П. *Задачи и упражнения по математическому анализу*. Москва: Наука, 1971. 472 с.
3. Дубчак В. М., Пришляк В. М., Новицька Л. І. *Вища математика в прикладах та задачах : навч. посіб.* Вінниця: ВНАУ, 2018. 254 с.
4. Калетнік Г. М., Пришляк В. М. *Біопаливо: ефективність його виробництва та споживання в АПК України : навч. посіб.* Київ, Хай-Тек Прес, 2010. 312 с.
5. Куценко А. Г., Бондар С. М., Пришляк В. М. *Біомеханіка суцільних середовищ : монографія.* Київ : НУБіП України, 2014. – 512 с.
6. *Машини та обладнання в сільськогосподарській меліорації : підручник* / Калетнік Г. М., Чаусов М. Г., Бондар М. М., Пришляк В. М. та ін. ; за ред. Г. М. Калетніка та М. Г. Чаусова. Київ, Хай-Тек Прес, 2011. 488 с.
7. *Оптимізація конструкцій технічних систем : навч. посіб.* / Човнюк Ю. В., Пришляк В. М., Шимко Л. С., Приходько С. П. Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект – Поліграф», 2006. 464 с.
8. *Основи інженерних методів розрахунків на міцність і жорсткість. Ч.І, ІІ : підручник* / Г. М. Калетнік, М. Г. Чаусов, В. М. Швайко, В. М. Пришляк та ін.; за ред. Г. М. Калетніка, М. Г. Чаусова. Київ : Хай Тек-Прес, 2011. 616 с.
9. *Основи інженерних методів розрахунків на міцність і жорсткість. Ч.ІІІ : підручник* / Г. М. Калетнік, М. Г. Чаусов, В. М. Швайко, В. М. Пришляк та ін.; за ред. Г. М. Калетніка та М. Г. Чаусова. Київ: Хай Тек-Прес, 2013. – 528 с.
10. Пат. на корисну модель 114648 Україна, МПК С05F 7/00. Спосіб виробництва органо-мінерального добрива на основі осаду окультурених ґрунтів / В. Л. Курило, Л. В. Остапчук, В. С. Дишлюк, Е. Г. Дегодюк. Опубл. 10.03.2017., Бюл. № 5.
11. Пат. на корисну модель 114649 Україна, МПК С02F 9/00, С05F 7/00, С05F 17/00. Спосіб виробництва органо-мінерального добрива на основі осаду стічних вод для удобрення рослин





- сільськогосподарських культур / Е. Г. Дегодюк, В. Л. Курило, Л. В. Остапчук, В. Є. Дишлюк. Опубл. 10.03.2017., Бюл. № 5.
12. Пат. на корисну модель 105234 Україна, МПК C05F 17/00, C02F 1/52. Спосіб формування осадів стічних вод у бурт для компостування / В. Є. Дишлюк, В. Л. Курило. Опубл. 10.03.2016., Бюл. № 5.
  13. Пат. на корисну модель 104695 Україна, МПК C05F 17/00, C02F 1/52. Спосіб компостування осадів стічних вод / В. Л. Курило, В. Є. Дишлюк, Опубл. 10.02.2016., Бюл. № 3.
  14. Пат. на корисну модель 104694 Україна, МПК C05F 11/00, C05F 7/00. Спосіб підготування осадів стічних вод до застосування у сільському господарстві як стабілізованого органічного добрива / В. Л. Курило, В. Є. Дишлюк., Опубл. 10.02.2016., Бюл. № 3.
  15. *Прикладна механіка в прикладах та задачах : підручник* / Куценко А. Г., Бондар М. М., Пришляк В. М., Шимко Л. С. Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект – Поліграф», 2015. 804 с.
  16. Салиев Энвер Проблемы развития малой гидроэнергетики на системах водопроводно-канализационного хозяйства автономной республики Крым. *MOTROL: Motoryzacja i energetyka rolnictwa, Motorization and power industry in agriculture. Lublin–Symferopol: Mot. I Energ. Rol. PAN Oddz., w Lublinie, Lublin, 2009. Том 11А. С. 31-34.*
  17. Пискунов Н. С. *Дифференциальное и интегральное исчисление*. Москва: Наука, 1978. 575 с.
  18. Kutsenko A., Bondar M., Pryshliak V. *Mechanics of materials: Theory and Problems : textbook*. Kyiv : ТОВ «Центр учбової літератури», 2018. 598 p.
  19. Liu Zhong. Hydropower generation unit and its selection *Training course on renewable energy for developing countries. Changsha: Ministry of Commerce of the People's Republic of China, 2011. С. 178-274.*
  20. Стандарт вищої освіти України першого (бакалаврського) рівня освіти ступеня вищої освіти – «бакалавр», галузі знань – 20 «Аграрні науки та продовольство спеціальності» – 208 «Агроінженерія» // Затверджено та введено в дію наказом Міністерства освіти і науки України від 05.12.2018, № 1340. – Режим доступу: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/12/21/208-agroinzheneriya-bakalavr>.
  21. Бермант А. Ф., Араманович И. Г. *Краткий курс математического анализа для втузов : учебник*. Москва : Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1966. 736 с.

### References

- [1] Balash, V. A. (1974). *Zadachi po fizike i metody ikh resheniya [Problems in physics and methods for their solution]*. Moscow: Education. [in Russian].
- [2] Demidovich, B. P. (1971). *Zadachi i uprazhneniya po matematicheskomu analizu [Tasks and exercises in mathematical analysis]*. Moscow: Nauka. [in Russian].
- [3] Dubchak, V. M., Pryshlyak V.M., Novitskaya, L.I . (2018). *Vyshcha matematyka v prykladakh ta zadachakh [Higher Mathematics in Examples and Tasks]*. Vinnytsia: VNAU. [in Ukrainian].
- [4] Kaletnik, G. M., Pryshlyak, V. M. (2010). *Biopalyvo: efektyvnist' yoho vyrobnytstva ta spozhyvannya v APK Ukrayiny [Biofuels: Efficiency of its Production and Consumption in Agroindustrial Complex of Ukraine]*. K .: High-tech Press. [in Ukrainian].
- [5] Kutsenko, A. G., Bondar, S. M., Pryshlyak, V. M. (2014) *Biomekhanika sutsil'nykh seredovyshch: monografiya [The biomechanics of continuous media: a monograph]*. Kyiv: NULES of Ukraine. [in Ukrainian].
- [6] Kaletnik, G. M., Chausov, M. G., Bondar, M. M., Pryshlyak, V. M. and others. (2011). *Mashyny ta obladnannya v sil's'kohospodars'kij melioratsiyi [Machines and equipment in agricultural land reclamation]*. K .: High-tech Press. [in Ukrainian].
- [7] Chovnyk, Yu. V., Pishlyak, V. M., Shymko, L. S., Prykhodko, S. P. (2016). *Optyimizatsiya konstruktivnykh system [Optimization of designs of technical systems]*. Nizhin: Aspect - Polygraph Publishing House LLC. [in Ukrainian].
- [8] Kaletnik, G. M., Chausov, M. G., Shvaiko, V. M., Alien, V. M. and others (2011). *Osnovy inzhenernykh metodiv rozrakhunkiv na mitsnist' i zhorstkist'. Ch. I, II [Fundamentals of engineering methods for calculating strength and rigidity]*. K .: High Tech Press. [in Ukrainian].



- [9] Kaletnik, G. M., Chausov, M. G., Shvaiko, V. M., Alien, V. M. and others (2011). *Osnovy inzhenernykh metodiv rozrakhunkiv na mitsnist' i zhorstkist'. Ch. III [Fundamentals of engineering methods for calculating strength and rigidity]*. K. : High Tech Press. [in Ukrainian].
- [10] Kurilo, V. L., Ostapchuk, L. V., Dyshlyuk, V. E., Degodyuk, E. G. (2011). Pat. for utility model 114649 Ukraine, IPC C02F 9/00, C05F 7/00, C05F 17/00. *Sposib vyrobnytstva orhano-mineral'noho dobryva na osnovi osadu okul'turenykh gruntiv [Method of production of organic-mineral fertilizers based on sediment of cultivated soils]*. Ukraine: State Intellectual Property Service of Ukraine. [in Ukrainian].
- [11] Degodyuk, E. G., Kurilo, V. L., Ostapchuk, L. V., Dyshlyuk, V. E. (2017). Pat. for utility model 114649 Ukraine, IPC C02F 9/00, C05F 7/00, C05F 17/00. *Sposib vyrobnytstva orhano-mineral'noho dobryva na osnovi osadu stichnykh vod dlya udobrennya roslyn sil's'kohospodars'kykh kul'tur [The method of production of organic-mineral fertilizers based on sewage sludge for fertilization of crops]*. Ukraine: State Intellectual Property Service of Ukraine. [in Ukrainian].
- [12] Dyshlyuk V. E., Kurilo V. L. (2016). Pat. for utility model 105234 Ukraine, IPC C05F 17/00, C02F 1/52. *Sposib formuvannya osadiv stichnykh vod u burt dlya kompostuvannya [A method of forming sewage sludge into a composting bin]*. Ukraine: State Intellectual Property Service of Ukraine. [in Ukrainian].
- [13] Kurilo, V. L. Dyshlyuk, V. E. (2016). Pat. for utility model 104695 Ukraine, IPC C05F 17/00, C02F 1/52. *Sposib kompostuvannya osadiv stichnykh vod [A method of composting sewage sludge]*. Ukraine: State Intellectual Property Service of Ukraine. [in Ukrainian].
- [14] Kurilo, V. L. Dyshlyuk, V. E. (2016). Pat. for utility model 104694 Ukraine, IPC C05F 11/00, C05F 7/00. *Sposib pidhotuvannya osadiv stichnykh vod do zastosuvannya u sil's'komu hospodarstvi yak stabilizovanoho orhanichnoho dobryva [A method of preparing sewage sludge for use in agriculture as a stabilized organic fertilizer]* Ukraine: State Intellectual Property Service of Ukraine. [in Ukrainian].
- [15] Kutsenko, A. G., Bondar, M. M., Pishlyak, V. M., Shimko, L. S. (2015). *Prykladna mekhanika v prykladakh ta zadachakh: pidruchnyk [Applied mechanics in examples and tasks]*. Nizhin: Aspect - Polygraph Publishing House LLC. [in Ukrainian].
- [16] Saliyev Enver (2009). Problemy razvitiya maloy gidroenergetiki na sistemakh vodoprovodno-kanalizatsionnogo khozyaystva avtonomnoy respubliky Krym [Problems of development of small hydropower in the water supply and sewage systems of the Autonomous Republic of Crimea]. *MOTROL: Motoryzacja i energetyka rolnictwa, Motorization and power industry in agriculture. – Lublin-Symferopol: Mot. I Energ. Rol. PAN Oddz., W Lublinie, Lublin.- Volume 11 A*.
- [17] Piskunov, N. S. (1978). *Differentsial'noye i integral'noye ischisleniye [Differential and integral calculus]*. Moscow: Nauka. [in Russian].
- [18] Kutsenko, A. M., Bondar, M. M., Pryshliak, V. M. (2018). *Mechanics of materials: Theory and Problems*. Kyiv: TOV “Tsentr Uchbovoi Literatury”.
- [19] Liu Zhong (2011). Hydropower generation unit and its selection. Training course on renewable energy for developing countries. Changsha: Ministry of Commerce of the People’s Republic of China.
- [20] The standard of environmental education of Ukraine at the first (bachelor's) level of education of the stage of secondary education - “bachelor”, the knowledge degree - 20 “Agricultural science and food specialties” - 208 “Agricultural engineering” // The practice of Ukrainian science has been introduced into the history 12/05/2018, No. 1340. - Access mode: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/12/21/208-agroinzheneriya-bakalavr>.
- [21] Bermant, A. F. (1966). *Kratkiy kurs matematicheskogo analiza dlya vtuzov [A short course in mathematical analysis for technical colleges]*. M. : Nauka, Main Edition of Physics and Mathematics Literature.



## НАХОЖДЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ НА ПОДВОДНЫЕ ГИДРОСООРУЖЕНИЯ В ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКОЙ ПРАКТИКЕ И АГРОИНЖЕНЕРНОЙ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ

*Представлены результаты научных аналитических исследований, которые обеспечивают нахождения силы давления на подводные гидросооружения, такие как, например, дамбы гидроэлектростанций, отстойники жидких органических удобрений, сточных вод, береговые укрепления озер, рек, прудов, водоемов и др. В основу работы положены исследования, направленные на математическое обоснование параметров прямоугольного и трапециевидного шлюза и кругового люка, который расположен на произвольной, оптимально обоснованной глубине.*

*Практический опыт производственной и педагогической деятельности и анализ изобретательских и научно-исследовательских работ отечественных, а также зарубежных ученых показал, что конструктивно-технологическая и экономическая целесообразность, эксплуатационная безопасность подводных гидросооружений требует дальнейших аналитико-расчетных исследований на основе математических методов оптимизации. Особенно большой научный интерес вызывают достижения китайских ученых. Их достижения из расчета, проектирования, строительства и эксплуатации гидросооружений малых и больших гидроэлектростанций признаны учеными, конструкторами и производственниками в мире.*

*Учено, что в университеты ежегодно зачисляются на обучение новые студенты, нуждаются в получении знаний из расчета на прочность конструкций объектов с привлечением инновационных методик, основанных на фундаментальном математическом аппарате. Формирование профессиональных компетенций агроинженеров должно обеспечить способность применять в их деятельности теоретических основ физики и математики, гидростатики, механики жидкости для расчета и проектирования технических объектов, и, конечно, подводных гидросооружений. Агроинженеры должны уметь выполнять расчеты на прочность стенок геометрических профилей емкостей для хранения жидкостей, а также боковых стенок и днищ гидросооружений, тел, расположенных в жидкостях.*

**Ключевые слова:** подводные гидросооружения, сила давления, дамба, круговой люк.

**Ф. 9. Рис. 6 Лит. 21**

## FINDING THE SIZE OF PRESSURE FORCE ON UNDERWATER HYDRAULIC STRUCTURES IN DESIGN AND AGRICULTURAL TRAINING OF SPECIALISTS

*The article presents the results of scientific analytical studies that provide finding the pressure force on underwater hydraulic structures, such as, dams of hydroelectric power stations, sedimentation tanks for liquid organic fertilizers, sewage, coastal fortifications of lakes, rivers, ponds, etc.*

*Practical experience in industrial and pedagogical activity and the analysis of inventive and scientific research of domestic as well as foreign scientists showed that constructive, technological and economic feasibility, operational safety of underwater hydraulic structures requires further analytical and calculation studies based on mathematical optimization methods. Of particular great scientific interest are the achievements of Chinese scientists. Their achievements from the calculation, design, construction and operation of hydraulic structures of small and large hydroelectric power stations are recognized by scientists, designers and manufacturers in the world.*

*The work is based on research aimed at the mathematical justification of the parameters of a rectangular and trapezoidal airlock and a circular hatch, which is located at an arbitrary, optimally justified depth.*

*It was taken into account that new students are enrolled in universities annually for training, they need to obtain knowledge based on the strength of the structures of objects with the use of innovative techniques based on the fundamental mathematical apparatus.*

*The formation of professional competencies of agricultural engineers should ensure the ability to apply in their work the theoretical foundations and basic methods of physics and mathematics, hydrostatics, dynamics, fluid mechanics for the calculation and design of technical objects, and, of course, underwater hydraulic structures. Agroengineers should be able to perform strength calculations on the walls of tanks of any geometric profiles for storing liquids, as well as side walls and bottoms of hydraulic structures, bodies located in liquids.*

**Key words:** underwater hydraulic structures, pressure force, dam, circular hatch.

**F. 9. Fig. 6. Ref. 21.**



**ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ**

**Пришляк Віктор Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри агроінженерії та технічного сервісу Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: [viktor.prishlyak@i.ua](mailto:viktor.prishlyak@i.ua)).

**Дубчак Віктор Миколайович:** кандидат технічних наук, доцент кафедри математики, фізики та комп'ютерних технологій Вінницького національного аграрного університету (вул. Пирогова, 111/21, м. Вінниця, Україна, 21037, e-mail: [viktor\\_dubchak@rambler.ru](mailto:viktor_dubchak@rambler.ru)).

**Пришляк Виктор Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры агроинженерии и технического сервиса Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, e-mail: [viktor.prishlyak@i.ua](mailto:viktor.prishlyak@i.ua)).

**Дубчак Виктор Николаевич:** кандидат технических наук, доцент кафедры математики, физики и компьютерных технологий Винницкого национального аграрного университета (ул. Пирогова, 111/21, Винница, Украина, 21037, e-mail: [viktor\\_dubchak@rambler.ru](mailto:viktor_dubchak@rambler.ru)).

**Viktor Prishlyak** – PhD, Associate Professor of the Department of Agroengineering and technical service of Vinnytsia National Agrarian University (3, Solnyshchaya St., Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: [viktor.prishlyak@i.ua](mailto:viktor.prishlyak@i.ua)).

**Dubchak Viktor Nikolayevich:** Ph.D., Associate Professor of the Department of Mathematics, Physics and Computer Technologies of Vinnitsa National Agrarian University (Pirogov St., 111/21, Vinnitsa, Ukraine, 21037, e-mail: [viktor\\_dubchak@rambler.ru](mailto:viktor_dubchak@rambler.ru)).