

УДК 621.22 (6.04)

## УТОЧНЕНИЙ МЕТОД РОЗРАХУНКУ ВТРАТИ ТИСКУ В НАПІРНИХ ТРУБОПРОВОДАХ ГІДРОТРАНСПОРТУ

ДЕНЬГУБ В. І.<sup>1</sup> *к.т.н., доц.*

<sup>1</sup> Кафедра теплогазоводопостачання, водовідведення і вентиляції. Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет», вул. В.Матусевича 11, г. Кривий Ріг, Україна, 50050, тел. 0564-09-06-39, e-mail: vden-gub@inbox.ru. ORCID ID: 0000-0003-0380-2466

**Анотація.** Вихідними даними для проектування і експлуатації систем напірного і безнапірного гідротранспорту зернистих частинок, оцінки замулення відстійників та хвостосховищ є значення гідравлічної крупності твердих зависів. Через складну залежність лобового опору частинок від чисел Рейнольдса виникає необхідність виконання наближених розрахунків значного об'єму при відсутності необхідної методики обчислень. На основі використання відомої формули в наявному вигляді розрахунку гідравлічної крупності частинок та її математичного перетворення розроблено і запропоновано алгоритм наближених розрахунків вище зазначеного параметра. Рекомендований алгоритм розрахунків дозволяє визначити: а) значення першого наближення; б) порядок та ряд послідовних значень наближень, що забезпечує збіжність розрахунків до найменшої похибки. При визначенні витрати тиску в напірних трубопроводах рекомендовано графічну залежність опору руху від концентрації зависів замінити емпіричною формулою автора.

*Ключові слова:* гідротранспорт, інженерна гідравліка, гідравлічна крупність, метод розрахунку

## УТОЧНЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЁТА ПОТЕРИ ДАВЛЕНИЯ В НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ ГИДРОТРАНСПОРТА

ДЕНЬГУБ В. И.<sup>1</sup> *к.т.н., доц.*

<sup>1</sup> Кафедра теплогазоводоснабжения, водоотведения и вентиляции. Государственное высшее учебное заведение «Криворожский национальный университет», ул. В.Матусевича 11, г. Кривой Рог, Украина, 50050, тел. 0564-09-06-39, e-mail: vdengub@inbox.ru. ORCID ID: 0000-0003-0380-2466

**Аннотация.** Исходными данными для проектирования и эксплуатации систем напорного и безнапорного гидротранспорта зернистых частиц, оценки заиления отстойников и хвостохранилищ является значение гидравлической крупности твердых взвесей. Из-за сложной зависимости лобового сопротивления частиц от чисел Рейнольдса возникает необходимость проведения приближенных расчетов значительного объема при отсутствии необходимой методики вычислений. На основе использования известной формулы в существующем виде расчета гидравлической крупности частиц и ее математического преобразования разработаны и предложен алгоритм приближенных расчетов выше указанного параметра. Рекомендуемый алгоритм расчетов позволяет определять: а) значение первого приближения; б) порядок и ряд последовательных значений приближений, обеспечивает сходимость расчетов в малейшей погрешности. При определении потери давления в напорных трубопроводах рекомендуется графическую зависимость сопротивления движению от концентрации взвесей заменить эмпирической формулой автора.

*Ключевые слова:* Гидротранспорт, инженерная гидравлика, гидравлическая крупность, метод расчета

## REFINED METHODS OF CALCULATING LOSS OF PRESSURE IN THE PRESSURE PIPE HYDROTRANSPORT

DENGUB. V. I.<sup>1</sup> *Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Prof.*

<sup>1</sup> Department of the heat gas supply, water drainage and ventilation, State Higher Education Establishment "Krivij Rig National University", V.Matusevicha 11, Krivij Rig, Ukraine, 50050, phone 0564-09-06-39, e-mail: vdengub@inbox.ru. ORCID ID: 0000-0003-0380-2466

**Annotation.** The initial data for the design and operation of systems of pressure and gravity Hydrotransport granular particles assess sedimentation lagoons and tailings is the value of the hydraulic size of suspended solids. Due to the complex dependence of drag on the particle Reynolds numbers it is necessary to conduct a significant amount of approximate calculations in the absence of the necessary computing techniques. On the basis of the use of the well-known formula in its current form for calculating the hydraulic size of particles and its mathematical transformation developed and the algorithm approximate calculations above this parameter. Recommended calculation algorithm allows to determine: a) the value of the first approximation; b) order and a series of successive

approximations of values ensures the convergence of the calculations in the slightest error. When determining the pressure loss in the pressure lines recommended a graph of the resistance movement of sediment concentration replace the empirical formula of the author.

**Keywords:** Hydrotransport, engineering hydraulics, hydraulic size, the method of calculation

### Вступ

Кінцевою метою підготовки фахівців напрямку «Будівництво» є вміння проектувати і експлуатувати системи безнапірного та напірного гідротранспорту зернистих зависів. Вихідними даними для ряду задач транспортування твердих частинок та оцінки їх осідання в відстійниках та хвостосховищах є визначення гідравлічної крупності в залежності від розмірів частинок, форми та густини. При проектуванні систем гідротранспорту важливим моментом є визначення втрат тиску.

**Результати дослідження.** Питанню розрахунків гідравлічної крупності зернистих та шароподібних частинок присвячено цілий ряд досліджень [1,2,3,4]. Відомі як теоретичні, так і експериментальні залежності безпосереднього визначення гідравлічної крупності окремих видів зернистих частинок для обмеженого інтервалу зміни чисел Рейнольдса [5,6]. Але найбільш загальнозживаним і точним є метод послідовних наближень з використанням значень коефіцієнта лобового опору [4,7]. При обчисленні втрат тиску в напірних трубопроводах використовуються графічні залежності зростання опору від концентрації зернистих зависів [6].

**Метою** даних досліджень є використання формули розрахунку гідравлічної крупності в неявному вигляді від значень коефіцієнта лобового опору і розробка на її основі алгоритму виконання послідовних наближень, а також заміни графічної залежності опору транспортування зависів емпіричною формулою.

Гідравлічна крупність  $V_{г.к.}$  (м/с) частинок розраховується за формулою

$$V_{г.к.} = \sqrt{\frac{4(\rho_m - \rho)gd}{3\rho C_T}}, \quad (1)$$

де:  $\rho_m, \rho$  - густина частинок і рідини, відповідно, кг/м<sup>3</sup>;  $g=9,81$  Н/кг;  $d$  - діаметр частинок, м;  $C_m$  - коефіцієнт опору при русі частинок в рідині.

Коефіцієнт опору  $C_m$  частинок залежить від числа Рейнольдса, що пов'язане зі швидкістю  $V_{г.к.}$

$$Re = \frac{aV_{г.к.}}{v}, \quad (2)$$

де  $v$  - кінематична в'язкість рідини, м<sup>2</sup>/с.

Експериментальні дані А.П. Зегджа залежності опору частинок неправильної форми від числа Рейнольдса наведені на рис. 7.2 [7]. Розрахункова формула (1) має неявну залежність між параметрами  $V_{г.к.}$  та  $C_m$ , а тому значення  $V_{г.к.}$  визначаються шляхом послідовних наближень з використанням графіку на рис. 7.2 [7]. Відомі методики розрахунку  $V_{г.к.}$  не містять алгоритму послідовних наближень, а тому для досягнення необхідної точності треба виконати значний об'єм обчислень. Для усунення вказаного

недоліку автором застосовані наступні математичні перетворення.

Спочатку ліву і праву частину формули (1) було домножено на вираз  $d/v$ , а потім прологарифмовано при десятковій основі логарифмів. В результаті була отримана формула послідовних наближень

$$\lg Re = \lg \sqrt{\frac{4(\rho_m - \rho)gd^3}{3\rho v^2}} - 0,5 \lg C_T. \quad (3)$$

Формула (3) є незручною, бо для її використання необхідно звертатися до графічної залежності  $C_m=f(Re)$  на рис. 7.2 [7], яка при послідовних наближеннях не дає необхідної точності. Для підвищення точності розрахунків графічна залежність замінена емпіричною формулою в вигляді квадратного тричлена. На основі використання відомого «методу середніх» отримана наступна залежність

$$\begin{cases} 0,5 \lg C_T = 0,725 - 0,37 \lg Re + 0,055 \lg^2 Re; \lg Re \leq 2,4 \\ 0,5 \lg C_T = 0,15; \lg Re > 2,4 \end{cases} \quad (4)$$

Аналіз формули (3) показує, що перший доданок правої частини не залежить від параметра  $Re$  і приймає сталі значення  $A=const$ .

$$A = \lg \sqrt{\frac{4(\rho_m - \rho)gd^3}{3\rho v^2}} \quad (5)$$

В зв'язку з введенням нового параметру  $A$  алгоритм наближених обчислень полягає в застосуванні методу «стиснених відображень». Розрахунки ведуть наступним чином.

Перше наближення лівої частини приймається  $\lg Re_1 = 0,5A$  і за цією величиною обчислюють значення  $0,5 \lg C_T$  за системою (4). В результаті отримують нерівність, наприклад,

$$\lg Re_1 < 1,185A - 0,725 - 1,375 * 10^{-2} A^2$$

Значення правої частини отриманої нерівності приймають за  $\lg Re_2$  і оцінюють наступну нерівність вигляду

$$\lg Re_2 < A - (0,725 - 0,37 \lg Re_2 + 0,055 \lg^2 Re_2) \quad (6)$$

Знов отримане значення правої частини нерівності (7) приймають за  $\lg Re_3$  і оцінюють наступну нерівність аналогічного вигляду (6). Вказаний алгоритм розрахунків повторюють  $n$  раз і оцінюють нерівність вигляду

$$\lg Re_{n-1} < \lg Re_n \quad (7)$$

Розрахунки закінчують при співпаданні значень лівої і правої частини в третій цифрі після коми. Отриманий результат приймають за остаточний  $\lg Re_{n-1} = \lg Re_n$ .

Значення  $Re_n$  буде отримане внаслідок потенціювання

$$Re_n = 10^{lg Re_n} \quad (8)$$

а гідравлічна крупність  $V_{г.к}$  (за лівою частиною формули (1)) буде складати

$$V_{г.к} = Re_n * v/d \quad (9)$$

А значення коефіцієнта  $C_m$  лобового опору розраховується за формулою

$$C_T = 10^{lg C_T} \quad (10)$$

Після обчислення гідравлічної крупності  $V_{г.к}$  втрата тиску в напірних трубопроводах обчислюється за наступною методикою [7].

Критична швидкість  $V_k$  руху двофазного потоку визначається за формулою А.С. Іванова

$$V_k = 1,88 \sqrt[3]{\frac{g D V_{г.к} * \rho_n - \rho_w}{\lambda * \rho_w}}, \quad (11)$$

де:  $D$  - діаметр трубопроводу, м;  $\rho_n, \rho_w$  - густина пульпи і води, відповідно, кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda$  - гідравлічний коефіцієнт тертя, який для сталевих труб приймається 0,028. Втрата напору на довжині  $l$  трубопроводу при русі чистої води обчислюється за формулою Дарсі

$$h_1 = \lambda V_k^2 / (2gD), \quad (12)$$

а при наявності в воді твердих частинок (пульпи) на основі залежності

$$h_n = (1 + \varphi C_x) h_1, \quad (13)$$

де:  $\varphi$  - коефіцієнт, що залежить від діаметра трубопроводу, розміру твердих часток  $d$ , м;  $C_x$  - відносному об'ємі твердих частинок в пульпі, гідравлічної крупності  $V_{г.к}$ .

Автором пропонується внести змінну  $x$

$$x = V_k^2 \sqrt{d} / (D V_{г.к} \sqrt{g}), \quad (14)$$

за рахунок якої коефіцієнт  $\varphi$  буде функцією  $\varphi = f(x)$ . На основі обробки графічної залежності  $\varphi = f(x)$ , яка наведена на рис.7.11 [7 с. 354], і використанню метода підбора емпіричних формул, автором отримана наступна залежність

$$\varphi = \begin{cases} 65,28 \exp(-0,22x), & \text{при } 1,0 < x \leq 15,8 \\ 2,0 & \text{при } x > 15,8 \end{cases}, \quad (15)$$

В табл. 1 наведені графічні дані та результати розрахунків за формулою (15).

Таблиця 1.

**Порівняння графічних даних та емпіричних розрахунків / Comparison of image data and empirical calculations**

Значення параметра $x$	1,0	1,20	3,5	8,0	10,0	12,5	15,5	15,8
$\varphi = f(x)$ , за графіком	-	50	30	10	7,0	4,0	2,0	2,0
$\varphi = f(x)$ , за ф.(15)	52,39	50,19	30,22	11,23	7,23	4,17	2,16	2,02

Аналіз даних, які наведені в таблиці 1 показує, що емпірична залежність (15) достатньо коректно відображає графічну залежність і є більш зручною при розрахунках.

Для ілюстрації викладеного матеріалу статті в практичному застосуванні автором розглянуто наступний приклад за даними [7].

Приклад. Визначити втрату напору в сталевому пульпопроводі, що працює без намулу при таких даних: довжина пульпопроводу  $l=1000$ м; діаметр 0,3м (300 мм); середній діаметр частинок, що транспортуються  $d=0,9 \cdot 10^{-3}$  м; густина пульпи  $\rho_n=1030$  кг/м<sup>3</sup>; густина частинок  $\rho_m=1270$  кг/м<sup>3</sup>; відносний зміст частинок у пульпі за об'ємом  $C_x=0,11$ .

Результати розрахунків необхідних параметрів  $V_{г.к}$ ,  $V_k$ ,  $x$ ,  $\varphi$ ,  $h_n$  за рекомендованим нами методом та загально відомою методикою [7] наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

**Значення розрахункових параметрів, отриманих на основі обчислень за методиками різних авторів / Determination of the design parameters obtained by calculations based on techniques of different authors**

Позначення параметра	$V_{г.к}$ , м/с	$V_k$ , м/с	$h_1$ , м	$x$	$\varphi$	$h_n$ , м
Значення параметра за матеріалами статті	$7,34 \cdot 10^{-3}$	0,54	1,39	1,27	49,38	8,94
Значення параметра за даними [7]	$8,7 \cdot 10^{-3}$	0,57	1,55	1,2	50,0	10,0

Аналіз значень параметрів, отриманих за розрахунками автора статті, та за відомою методикою [7] показує про їх задовільне співпадання. Але уточнений метод розрахунку дозволяє скоротити об'єм обчислень значення гідравлічної крупності і замість графічних залежностей використовувати більш зручні аналітичні (емпіричні) формули. Це дає змогу економити час на вивчення викладеної теми студентами та приділити більше уваги на опанування інших розділів гідравліки.

**Висновки**

1. Внаслідок проведених досліджень отримано розрахункову формулу і алгоритм виконання послідовних наближень, що дозволяє визначити параметр першого наближення розрахунку і подальші значення наступних наближень величини гідравлічної крупності зернистих зависів.

2. Для забезпечення швидкої збіжності результатів розрахунку рекомендується експериментальні дані залежності лобового опору  $C_T$  від числа Рейнольдса для різних зернистих матеріалів подавати в вигляді емпіричної формули в системах координат  $(lg C_T, lg Re)$ .

3. З метою зручності виконання розрахунків втрати тиску в напірних трубопроводах графічну залежність опору руху від концентрації домішок рекомендовано замінити емпіричною формулою.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Великанов М.А. Динамика русловых потоков. 3 изд., т.1-2 – М.: Гостехиздат, 1954-1955г.
2. Гончаров В.Н. Динамика русловых потоков. – Л.: Гидрометеиздат, 1962, 374с.
3. Леви И.И. Динамика русловых потоков, 2 изд., – М.: Госэнергоиздат, 1957.
4. Гидравлика, под общей редакцией проф. И.И. Агроскина, изд. четвертое – М.: «Энергия», 1964. 352с. с черт.
5. Зегжа А.П. Гидравлические потери на трение в каналах и трубопроводах – М.: Стройиздат, 1957, 278с.
6. Криль С.И. Напорные взвесенесущие потоки. – К.: Наукова думка, 1990.
7. Константинов Ю.М., Гижа О.О. Инженерна гідравліка. Підручник для студентів вищих навч. закладів. – К.: Видавничий дім «Слово», 2006, - 432с.

## REFERENCES

1. Giants M.A. Dynamic channel flow. 3rd ed t.1-2 -. M .: Gostekhizdat 1954-1955g.
2. Goncharov V.N. Dynamic channel flow. - L .: Gidrometeoizdat 1962, 374s.
3. Levy I.I. Dynamic channel flow, 2nd ed, -. M .: Gosenergoizdat 1957.
4. Hydraulics, under the general editorship of prof. I.I. Agroskin, ed. fourth - M .: "Energy", 1964. 352s. with features.
5. Zegrze A.P. Hydraulic friction loss in canals and pipelines - M .: Stroyizdat 1957, 278s.
6. Krill S.I. Pressure slurry bear flows. - K .: Naukova Dumka, 1990.
7. Konstantinov Y.M., Gizha O.O. Hydraulics engineering. Textbook for students of higher educational institutions. - K .: Vidavnichy Dim "Slovo", 2006 - 432s.

Статья поступила в редколлегию 20.09.2016

УДК 331.45

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ГИДРОНОЖНИЦ С ЭКСЦЕНТРИКОВЫМ ИНТЕНСИФИКАТОРОМ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ПОНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ

БЕЛИКОВ А. С. <sup>1</sup>, *д.т.н., проф.*,  
МЕЛАШИЧ В. В. <sup>2</sup>, *к.т.н.*,  
СИЧКО И. Н. <sup>3</sup>, *аспирант.*

<sup>1</sup> Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина

<sup>2</sup> Кафедра реконструкции и управления в строительстве. Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина

<sup>3\*</sup> Кафедра реконструкции и управления в строительстве. Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38(067)1800830, e-mail: derger@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2210-8333

**Аннотация.** *Цель.* Существует большое количество различного оборудования для разрушения бетона при проведении реконструкции или сноса. Общим недостатком большинства из этого оборудования является то, что они осуществляют процесс разрушения только за счет сил сжатия. Как известно, бетон хорошо работает на сжатие, и, следовательно, для его разрушения необходимо большое усилие. Необходимо создание нового или усовершенствование известного оборудования для разрушения бетона при сносе зданий и сооружений для повышения эффективности процесса сноса с учетом безопасности ведения работ. **Методика.** Исследование работы оборудования осуществлялось методом физического моделирования процесса разрушения бетона. **Результаты.** По результатам исследования процесса разрушения бетона установлены рациональные параметры работы гидроразрушителей с интенсификатором. Усовершенствование оборудования для сноса позволит разрушать бетон с большей производительностью и экономичностью, обеспечивая при этом высокий уровень безопасности. **Научная новизна.** Известное оборудование для разрушения бетона имеет общий недостаток – они работают только на сжатие. Существует необходимость совершенствования известного и создания нового оборудования для разрушения бетона при сносе зданий и сооружений. Предложенное оборудование позволит повысить производительность **Практическая значимость.** Применяя оборудование для разрушения бетона с интенсификацией можно повысить эффективность процесса разрушения бетона при сносе зданий и сооружений, при этом снизить энергозатраты и увеличить ресурс гидроразрушителей.

**Ключевые слова:** снос зданий и сооружений; интенсификация; Эксцентриковый интенсификатор; разрушение бетона; реконструкция; повышение безопасности.