

УДК 628.113: 532.595

Назаров С. М., к.т.н., доцент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ПАРАМЕТРІВ ІМПУЛЬСНОЇ ПРОМИВКИ САМОПЛИВНОЇ ЛІНІЇ РУСЛОВОГО ВОДОЗАБОРУ ВІД ДОВЖИНИ ЦІЄЇ ЛІНІЇ

Наведено методику і результати визначення залежностей максимальної швидкості в самопливній лінії руслового водозабору та максимального заглиблення рівня у вакуум-колоні під рівень в джерелі від довжини самопливної лінії при її імпульсній промивці.

Ключові слова: імпульсна промивка, вакуум-колона, самопливна лінія.

При експлуатації руслових водозаборів систем водопостачання одним з найефективніших засобів звільнення їх самопливних ліній та решіток водоприймальних отворів від забруднень є імпульсна промивка [1, С. 117; 2, С. 18, 34], суть якої полягає в створенні черги змінних за напрямком дії хвиль підвищеного тиску на площину водоприймального отвору – з боку берегового водоприймально-сіткового колодязя та з боку водного джерела. Найбільш досконалим варіантом проведення імпульсної промивки є її варіант з встановленням вакуум-колони на кінці самопливної лінії водозабору (рис. 1, а). Необхідний ефект при цьому досягається збудженням коливання рівня у вакуум-колоні навколо рівня в джерелі та зміни напрямку руху води в самопливній лінії після підняття стовпа води в колоні на певну висоту і зриву вакууму. Змінні за напрямком хвилі тиску на площину отвору розпушують затримані решіткою забруднення і полегшують їх подальше видалення промивною течією в джерело. Графіки затухаючих коливань швидкості в самопливній лінії та рівня у вакуум-колоні наведені на рис. 1, б. При влаштуванні імпульсної промивки практично важливим є визначення максимальної швидкості в лінії V_{\max} та максимального заглиблення рівня в колоні під рівень в джерелі Z_{\max} . За першим параметром оцінюється ефективність видалення наносів із самопливної лінії, за другим – необхідність заглиблення лінії.

В результаті проведених попередніх досліджень [3] було розроблено гідромеханічну модель для дослідження процесу імпульсної промивки та методику числового розрахунку величин V_{\max} і Z_{\max} . Методика базується на розв'язанні рівняння Бернуллі для несталого руху

води в системі «вакуум-колона – самопливна лінія – водне джерело».

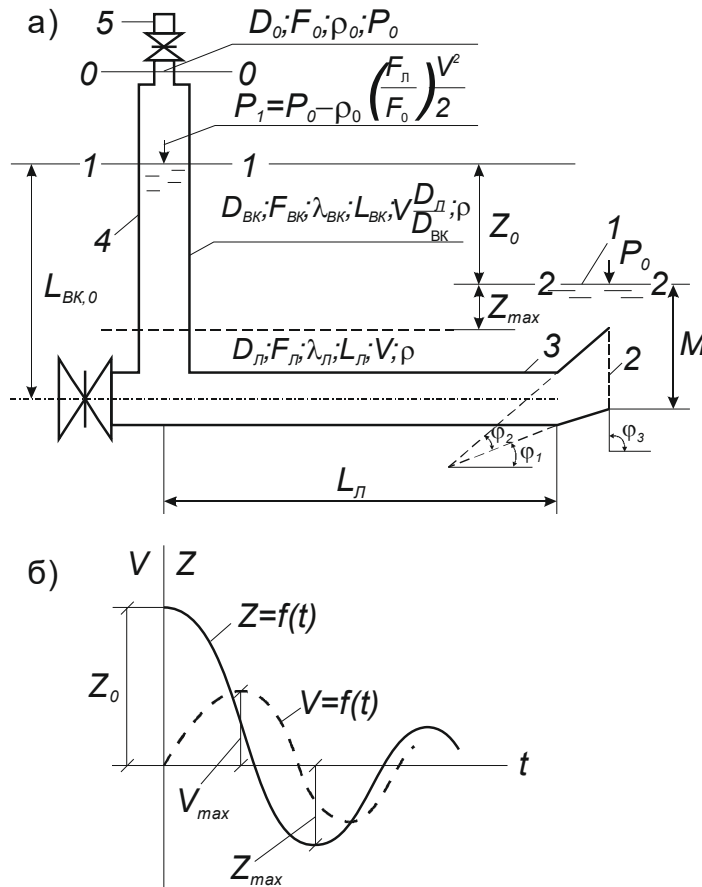


Рис. 1. Схема до розрахунків при імпульсній промивці (а) та графіки залежностей $V = f(t)$, $Z = f(t)$ (б):

1 – поверхнєве джерело; 2 – сміттєзатримувальна решітка на водоприймальному отворі; 3 – самопливна лінія; 4 – вакуум-колона; 5 – трубка для зриву вакууму

В результаті розрахунків на ПЕОМ за розробленою програмою були визначені залежності величин V_{max} і Z_{max} від діаметра самопливної лінії $D_Л$, графіки яких наведені на рис. 2. Вертикальними штрихами на графіках відмічені граничні значення діаметра самопливної лінії, при якому в ній забезпечується швидкість, достатня для змиву часток наносів розміром 2 мм [4, С. 130].

Метою даних досліджень є встановлення впливу довжини самопливної лінії $L_Л$ на величини параметрів V_{max} і Z_{max} .

Методика числового розрахунку шуканих параметрів і визначен-

ня залежностей $V_{\max} = f(L_{\text{л}})$ і $Z_{\max} = f(L_{\text{л}})$ передбачає використання рівняння Бернуллі для несталої руху води в кінцевих різниціях, записаного для створів 1-1 та 2-2 (див. рис. 1).

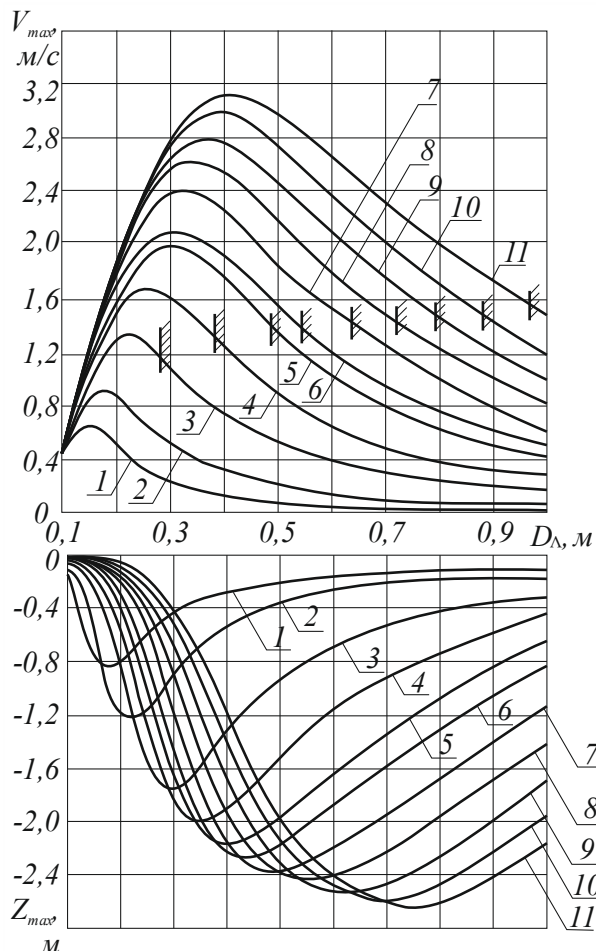


Рис. 2. Графіки залежностей $V_{\max} = f(D_{\text{л}})$, $Z_{\max} = f(D_{\text{л}})$:

діаметри вакуум-колони $D_{\text{вк}}$: 1 – 0,1 м; 2 – 0,15 м; 3 – 0,25 м; 4 – 0,35 м;
5 – 0,4 м; 6 – 0,5 м; 7 – 0,6 м; 8 – 0,7 м; 9 – 0,8 м; 10 – 0,9 м; 11 – 1 м;

Вихідне рівняння має вигляд [5, С. 344, 348]

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} + h_{\text{тр}} + \frac{L}{g} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t}, \quad (1)$$

де Z_1, Z_2 – висотні положення створів; $P_1/\rho \cdot g$, $P_2/\rho \cdot g$ – п'єзометричні висоти в створах; $\alpha_1 \cdot V_1^2/2g$, $\alpha_2 \cdot V_2^2/2g$ – швидкісні напори в створах; $h_{\text{тр}}$ – втрати напору при русі води в колоні і лінії від створу 1-1 до джерела; $L/g(\Delta V/\Delta t)$ – інерційний напір (L – довжина



шляху руху води в напірній системі; ΔV – приріст швидкості в системі; Δt – заданий приріст часу).

Для адаптації рівняння для розрахунку на ПЕОМ за розробленим алгоритмом проводимо певні перетворення. Змінні параметри у вакуум-колоні (швидкість руху води і висоту стовпа води) приводимо через швидкість у самопливної лінії.

П'єзометрична висота в створі 1-1 визначається з врахуванням того, що тиск в цьому створі на межі повітря і води при відкритті вентиля на трубі зриву вакууму і впуску повітря в колону буде менше атмосферного тиску на величину швидкісного напору повітря. Вона може бути записана у вигляді

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} = \frac{P_0 - (\alpha_1 \cdot V_{\text{пов}}^2 / 2g)}{\rho \cdot g} = \frac{P_0 - \rho_0 (V_i^2 / 2) \cdot (F_{\text{л}} / F_0)^2}{\rho \cdot g}, \quad (2)$$

де P_0 – атмосферний тиск; ρ, ρ_0 – густина відповідно води і повітря; $(V_i^2 / 2) \cdot (F_{\text{л}} / F_0)^2$ – швидкість руху повітря, приведена до швидкості руху води в лінії; $F_{\text{л}}, F_0$ – площі перерізів відповідно самопливної лінії і трубки, V_i – змінна швидкість в самопливної лінії.

Швидкісний напір в створі 1-1 може бути записаний через швидкість у вакуум-колоні у вигляді

$$\frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} = \frac{\alpha_1 \cdot V_i^2}{2g} \left(\frac{F_{\text{л}}}{F_{\text{вк}}} \right)^2, \quad (3)$$

де α_1 – коефіцієнт Коріоліса; $V_i \cdot F_{\text{л}} / F_{\text{вк}}$ – змінна швидкість у вакуум-колоні, приведена до швидкості в самопливної лінії; $F_{\text{вк}}$ – площа перерізу вакуум-колони.

П'єзометрична висота в створі 2-2, що відноситься до джерела, записується як

$$\frac{P_2}{\rho \cdot g} = \frac{P_0}{\rho \cdot g}. \quad (4)$$

Оскільки швидкість в створі 2-2 $V_2 = 0$ швидкісний напір в цьому створі $\alpha_2 \cdot V_2^2 / 2g \rightarrow 0$.

Втрати напору при русі води у вакуум-колоні і самопливної лінії визначається за відомими формулами гідравліки [5, С. 159, 183-194]:

втрати напору по довжині вакуум-колони

$$h_{\text{довж.вк}} = \lambda_{\text{вк}} \frac{L_{\text{вк.і}}}{D_{\text{вк}}} \cdot \frac{V_i^2}{2g} \left(\frac{F_{\text{л}}}{F_{\text{вк}}} \right)^2; \quad (5)$$

втрати напору по довжині самопливної лінії

$$h_{\text{довж.л}} = \lambda_{\text{л}} \frac{L_{\text{л}}}{D_{\text{л}}} \cdot \frac{V_i^2}{2g}, \quad (6)$$

де $\lambda_{\text{вк}}, \lambda_{\text{л}}$ – коефіцієнти гідравлічного тертя відповідно по стінках вакуум-колони і самопливної лінії; $D_{\text{вк}}, D_{\text{л}}$ – діаметри відповідно вакуум-колони і самопливної лінії; $L_{\text{вк},i}$ – змінна довжина шляху руху води у вакуум-колони; $L_{\text{л}}$ – довжина самопливної лінії;

місцеві втрати напору в припливному трійнику

$$h_{\text{тр.пов}} = \zeta_{\text{тр.пов}} \frac{V_{\text{вк},i}^2}{2g} = \zeta_{\text{тр.пов}} \frac{V_i^2}{2g} \left(\frac{F_{\text{л}}}{F_{\text{вк}}} \right)^2, \quad (7)$$

де $\zeta_{\text{тр.пов}}$ – коефіцієнт гідравлічного опору в припливному трійнику, $\zeta_{\text{тр.пов}} = f(F_{\text{вк}}/F_{\text{л}})$;

місцеві втрати напору у відхиленні, дифузорі, решітці та на виході в джерело

$$h_{\text{відх}} + h_{\text{диф}} + h_{\text{реш}} + h_{\text{вих}} = (\zeta_{\text{відх}} + \zeta_{\text{диф}} + \zeta_{\text{реш}} + \zeta_{\text{вих}}) \frac{V_i^2}{2g}, \quad (8)$$

де коефіцієнти гідравлічного опору відхилення $\zeta_{\text{відх}} = f(\varphi_1)$, дифузора $\zeta_{\text{диф}} = f(\varphi_2)$, решітки $\zeta_{\text{реш}} = f(\varphi_3, \beta, s, b)$, виходу в джерело $\zeta_{\text{вих}} = 1$; β, s, b – показники, що залежать відповідно від форми перерізу стрижнів решітки, відстані між стрижнями, поперечного розміру стрижнів.

Інерційний напір в кінцевих різницях як сума інерційних напорів у вакуум-колони і самопливної лінії визначається за формулою

$$\frac{L}{g} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{L_{\text{вк},i}}{g} \cdot \frac{\Delta V_{\text{вк},i}}{\Delta t} + \frac{L_{\text{л}}}{g} \cdot \frac{\Delta V_{\text{л},i}}{\Delta t} = \frac{\Delta V_i}{g \cdot \Delta t} \left(L_{\text{вк},i} \frac{F_{\text{л}}}{F_{\text{вк}}} + L_{\text{л}} \right), \quad (9)$$

де ΔV_i – приріст швидкості в самопливній лінії.

Підставляємо перетворені складові частини в рівняння (1), приймаємо $Z_1 - Z_2 = Z$, групуємо члени і, вирішуючи відносно ΔV_i , отримуємо робоче рівняння для приросту швидкості в самопливній лінії

$$\Delta V_i = \frac{g}{L_{\text{л}} + L_{\text{вк},i} \cdot F_{\text{л}}/F_{\text{вк}}} \left[Z_i - \lambda_{\text{вк}} \left(\frac{F_{\text{л}}}{F_{\text{вк}}} \right)^2 \frac{L_{\text{вк},i}}{D_{\text{вк}}} \cdot \frac{V_i^2}{2g} - K \frac{V_i^2}{2g} \right] \Delta t, \quad (10)$$

$$\text{де } K = \frac{\rho_0}{\rho} \left(\frac{F_{\text{л}}}{F_0} \right)^2 + 0,5 \left(\frac{F_{\text{л}}}{F_{\text{вк}}} \right)^2 + \lambda_{\text{л}} \frac{L_{\text{л}}}{D_{\text{л}}} + \zeta_{\text{відх}} + \zeta_{\text{диф}} + \zeta_{\text{реш}} + \zeta_{\text{вих}}. \quad (11)$$

Для визначення впливу довжини самопливної лінії на величини V_{max} та Z_{max} задавали з певним кроком значення $L_{\text{л}}$ і за рівнянням (10) визначали приріст швидкості ΔV_i і швидкість V_i в певний період часу



та знаходили екстремальне максимальне значення цієї швидкості. Приріст значень ΔZ_i визначається за формулою

$$\Delta Z_i = -\frac{F_{\text{л}}}{F_{\text{вк}}} V_i \cdot \Delta t. \quad (12)$$

Початкові умови розрахунків становлять $V_{i-1} = V_0 = 0$ м/с, $Z_{i-1} = Z_0 = 5$ м, $L_{\text{вк},i-1} = L_{\text{вк},0} = Z_0 + M = 7$ м (див. рис. 1).

Блок-схема алгоритму розрахунку наведена на рис. 3.

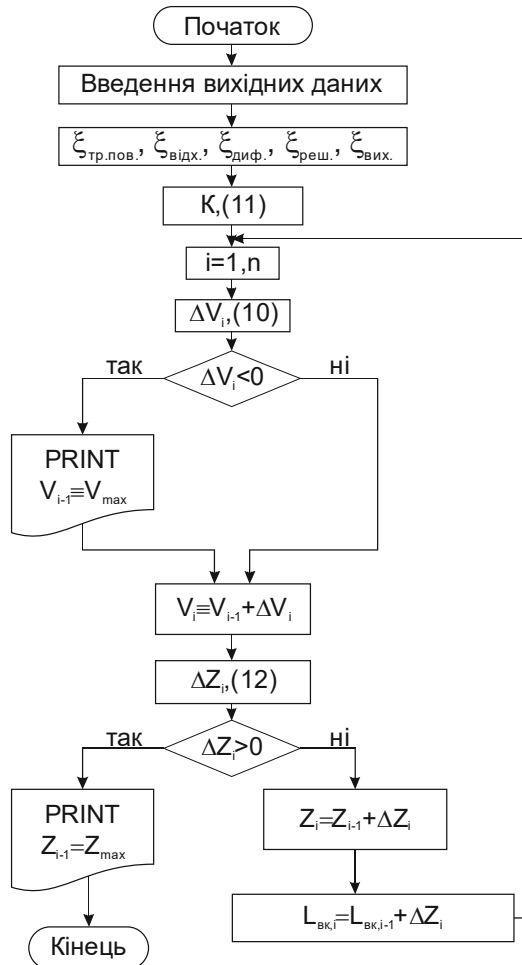


Рис. 3. Блок-схема алгоритму розрахунку параметрів імпульсної промивки

Як вихідні дані для розрахунків приймалися діаметр самопливної лінії $D_{\text{л}} = 0,6$ м та діаметр вакуум-колони $D_{\text{вк}} = 0,6$ м, достатньо характерні для руслових водозаборів малої і середньої продуктивності. При таких даних максимальна швидкість при промивці лінії наближено становить 1,5 м/с (див. рис. 2) і є достатньою для видалення з лінії наносів

заданої крупності. В той же час максимальне заглиблення рівня у вакуум-колоні під рівень в джерелі становить приблизно 2,2 м, що узгоджується з умовами висотного положення водоприймальних оголовків водозаборів та необхідним заглибленням самопливних ліній в ґрунт дна [2, С. 120]. Діапазон довжин самопливних ліній (50...200 м) та інші вихідні дані також були прийняті, виходячи з досвіду проектування руслових водозаборів: $D_0 = 0,1 D_{\text{вк}} = 0,06$ м ($F_0 = 0,028$ м²); $F_{\text{вк}} = F_{\text{л}} = 0,28$ м²; $\rho_0 = 1,293$ кг/м³; $\rho = 1000$ кг/м³; $\lambda_{\text{вк}} = \lambda_{\text{л}} = 0,023$; $\varphi_1 = 30^\circ$; $\varphi_2 = 10^\circ$; $\varphi_3 = 90^\circ$; $s = 0,006$ м; $b = 0,05$ м; $\beta = 1,79$ (круглий переріз стрижнів). В розрахунках на ПЕОМ приріст часу приймався $\Delta t = 0,1$ с.

За результатами розрахунків встановлено залежності величин V_{max} та Z_{max} від довжини самопливної лінії при наведених вище вихідних даних. Графіки залежностей $V_{\text{max}} = f(L_{\text{л}})$ та $Z_{\text{max}} = f(L_{\text{л}})$ наведено на рис. 4.

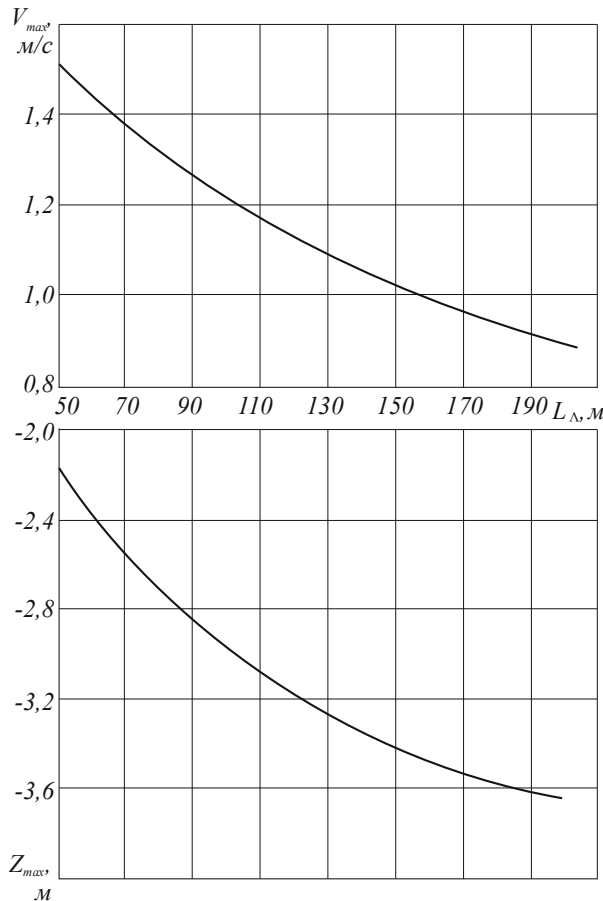


Рис. 4. Графіки залежностей $V_{\text{max}} = f(L_{\text{л}})$, $Z_{\text{max}} = f(L_{\text{л}})$
при $D_{\text{л}} = D_{\text{вк}} = 0,6$ м



Вони дозволяють зробити попередні висновки про сприятливість проведення імпульсної промивки для менших за довжиною самопливних ліній. Зменшення швидкості руху води в самопливній лінії із збільшенням її довжини пов'язане із збільшенням опору системи. При цьому заглиблення рівня у вакуум-колоні під рівень у джерелі зростає за рахунок збільшення інерційності рівня стовпа води в колоні при збільшенні об'єму води в самопливній лінії. Аналіз результатів розрахунків з врахуванням даних, наведених на рис. 2, дозволяє в кожному конкретному випадку зробити висновок щодо достатності величини початкового підняття рівня води у вакуум-колоні над рівнем в джерелі Z_0 для ефективної промивки самопливної лінії і оцінити проектне заглиблення цієї лінії.

За графіками на рис. 2, побудованими для випадку $L_{\text{л}} = 50$ м, можна встановити раціональні співвідношення $D_{\text{вк}}/D_{\text{л}}$. Для інженерних розрахунків при проектуванні імпульсної промивки ці співвідношення можна прийняти: при $D_{\text{л}} < 0,3$ м – 1; при $D_{\text{л}} = 0,3...0,7$ м – 1,1; при $D_{\text{л}} > 0,7$ м – 1,2.

Проведеними дослідженнями на даному етапі:

1. Розроблена методика визначення залежностей параметрів імпульсної промивки самопливної лінії V_{max} і Z_{max} від довжини лінії $L_{\text{л}}$.

2. Визначені залежності $V_{\text{max}} = f(L_{\text{л}})$ та $Z_{\text{max}} = f(L_{\text{л}})$ при діаметрі самопливної лінії $D_{\text{л}} = 0,6$ м і діаметрі вакуум-колони $D_{\text{вк}} = 0,6$ м, які дозволили зробити попередні висновки про сприятливість проведення імпульсної промивки для менших за довжиною самопливних ліній.

3. Рекомендовані раціональні співвідношення $D_{\text{вк}}/D_{\text{л}}$ при імпульсній промивці самопливних ліній довжиною 50 м.

1. Проектирование сооружений для забора поверхностных вод. Справочное пособие к СНиП. – М. : Стройиздат, 1986. – 256 с. 2. Водозаборные сооружения для водоснабжения из поверхностных источников / Образовский А. С., Ереснов Н. В., Ереснов В. Н., Казанский М. А. – М. : Стройиздат, 1976. – 368 с. 3. Назаров С. М. Математичне моделювання імпульсної промивки самопливних водогонів руслових водозаборів / Назаров С. М., Гладун Л. В., Самусевич П. Я. // Вісник УДАВГ: зб. наук. праць, 1998. – Вип. 1 (ч. 2). – С. 206–209. 4. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: В 3-х т. – Т. 1. Системы водоснабжения. Водозаборные сооружения / науч.-метод. руководство и общая редакция д.т.н., проф. Журбы М. Г. – Вологда-Москва : ВоГТУ, 2001. – 209 с. 5. Чугаев Р. Р. Гидравлика : учебник для вузов / Чуга-

ев Р. Р. – 4-е изд., доп. и перераб. – Л. : Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982. – 672 с.

Рецензент: д.т.н., проф. Ковальчук В. А. (НУВГП)

Nazarov S. M., Candidate of Engineering, Associate Professor (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

DEPENDENCES OF PARAMETERS DETERMINATION IN IMPULSE WASHOUT OF GRAVITY FLOW LINE IN RIVER BED INTAKE ON THE LENGTH OF THIS LINE

Methods and results are given to determine dependences of maximum velocity in gravity flow line of river bed intake and maximum deepening of the level in vacuum column to the source level on the length of this line under impulse washout.

Keywords: impulse washout, vacuum column, gravity flow line.

Назаров С. Н., к.т.н., доцент (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПАРАМЕТРОВ ИМПУЛЬСНОЙ ПРОМЫВКИ САМОТЕЧНОЙ ЛИНИИ РУСЛОВОГО ВОДОЗАБОРА ОТ ДЛИНЫ ЭТОЙ ЛИНИИ

Приведены методика и результаты определения зависимостей максимальной скорости в самотечной линии руслового водозабора и максимального заглубления уровня в вакуум-колоне под уровень в источнике от длины самотечной линии при её импульсной промывке.

Ключевые слова: импульсная промывка, вакуум-колонна, самотечная линия.
