

**Філіпович Ю. Ю.**, к.т.н., доцент, **Сунічук С. В.**, к.т.н., доцент  
(Національний університет водного господарства та  
природокористування, м. Рівне, [yurfil@ukr.net](mailto:yurfil@ukr.net))

## **РОЗРАХУНОК ЧАСУ ЗАЛИВУ ВОДОЮ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА З УРАХУВАННЯМ ПОЗДОВЖНЬОГО ПРОФІЛЮ УСМОКТУВАЛЬНОЇ ТРУБИ**

**Розроблено алгоритм розрахунку часу заливу відцентрового насоса автоматизованої насосної станції з допомогою вакуумної системи із урахуванням поздовжнього профілю усмоктувального трубопроводу, що дозволяє проводити розрахунки з конфігурацією трубопроводів практично будь-якої складності.**

**Ключові слова:** вакуумна система; залив відцентрового насоса; математична модель часу заливу; усмоктувальна труба; робочий цикл.

**Стан проблеми.** Надійна та стала експлуатація автоматизованих насосних станцій (АНС) залежить від підтримання їх основного та допоміжного обладнання у справному стані, роботи насосів у режимах високих конфіцієнтів корисних дій, дотримання контролю за витратою насосів, впровадження засобів автоматики і телемеханіки. Ефективним видом заливу та подальшого підтримання у залитому стані відцентрових насосів є використання вакуумних систем.

**Актуальність.** Сучасна насосна станція є складним енергетичним об'єктом, що складається із гідротехнічних, енергетичних і будівельних споруд, гідромеханічного і енергетичного обладнання. Вакуумні системи належать до допоміжного обладнання АНС, але забезпечують безперебійну роботу основних насосних агрегатів, отже вивчення їх технологічних процесів є актуальним питанням. Об'єктом досліджень є час заливу відцентрового насоса автоматизованої насосної станції з допомогою вакуумної системи із урахуванням поздовжнього профілю усмоктувального трубопроводу, а предметом досліджень – параметри усмоктувального трубопроводу, тривалість робочого циклу вакуум-системи та вплив параметрів самої вакуумної установки на характер її роботи. При вивченні технологічних процесів вакуумних установок використовувався метод експерименталь-

них досліджень, а при обробці отриманих матеріалів – методи математичної статистики, фізичного та математичного моделювання.

**Метою досліджень** є удосконалення існуючих та розробка нових аналітичних та чисельних методик розрахунку технологічних процесів вакуумних систем АНС. Для досягнення поставленої мети були сформульовані такі задачі: проаналізувати та удосконалити моделі і методи аналітичних та чисельних розрахунків робочих циклів вакуумних установок; розробити на ЕОМ програми розрахунку робочих характеристик вакуум-насосів або ежектора; виконати експериментальне визначення розрахункових параметрів робочого циклу вакуумної системи і експериментальну перевірку запропонованих методик розрахунку; провести оцінку впливу характеру та розмірів окремих елементів усмоктувального трубопроводу насосної станції та вакуум-системи на її технологічний процес та дати відповідні рекомендації з метою збільшення тривалості часу роботи вакуумної установки, а відповідно і насосної станції.

**Викладення основного матеріалу.** Алгоритм програми розрахунку часу заливу відцентрового насоса з урахуванням одного коліна на усмоктувальній лінії був розроблений проф. М.Т. Назаровом і його описано у [1]. На його основі автором було складено програму розрахунку часу заливу відцентрового насоса, яку наведено у цій же монографії. Автором було розроблено удосконалений алгоритм розрахунку часу заливу відцентрового насоса з допомогою вакуумної системи з урахуванням поздовжнього профілю усмоктувального трубопроводу, який відрізняється від попереднього алгоритму тим, що у розрахунках враховано не одне, а три коліна всмоктувального трубопроводу. Це дозволяє проводити розрахунки часу заливу відцентрового насоса з допомогою вакуумної системи з урахуванням поздовжнього профілю усмоктувального трубопроводу з конфігурацією практично будь-якої складності.

До заливу насоса у всій вакуумній системі тиск рівний атмосферному  $p_a$ . Згідно закону сполучених посудин рівень води в усмоктувальній лінії насоса знаходиться на рівні води у джерелі. Увімкнення в роботу вакуум-насоса при відкритому пробковому крані створює вакуум у системі, под дією якого вода із джерела через вхідний отвір всмоктувальної лінії починає підніматися уверх по трубопроводу. Коли рівень її досягне точки  $b$  або  $c$ , насос буде залитим водою і готовим до увімкнення.

Підсмоктування повітря у вакуумний котел через нещільності у вузлах вакуумних комунікацій залежить від площі перерізу нещіль-

ностей та швидкості руху повітря у них. Ця швидкість при вакуумі в котлі  $h_{\text{БАК}} \leq 4,75$  м визначається за формулою Сен-Венана для ізотермічного процесу, а при  $h_{\text{БАК}} > 4,75$  м рівна критичній швидкості. Що стосується підсмоктування повітря через сальники відцентрового насоса, то під час робочого циклу воно залишається незмінним тому, що площа нещільностей та значення вакууму у сальниках у процесі одного робочого циклу практично не змінюється.

Проведені у лабораторії досліди при залитих водою сальниках відцентрового насоса показали, що витрата  $Q$  експериментальної вакуумної установки практично рівна нулю, тобто нещільності у системі вакуумних комунікацій відсутні. При незалитих сальниках і при значенні вакууму у них  $h_{\text{БАК}}=2$  м витрата підсмоктаного повітря виявилася рівною  $\Delta G=0,00025$  кг/с.

Повітря прибуватиме в котел також і за рахунок виділення його із води під дією вакууму. У випадку низького вакууму атоми, які випаровуються з поверхні води, стикаються із зустрічними молекулами газу і частково знову повертаються до джерела утворення, тому газовиділенням з поверхні води можна знехтувати. Кількість його дуже мала і практично не впливає на робочий цикл вакуумної системи. Слід пам'ятати, що якщо насос довгий час не працюватиме, то будучи залитим раніше, через згадане вище газовиділення із води та підсмоктування повітря через сальники, він може опинитися у незалитому стані, що призведе до відмови при подальшому його увімкненні.

Для зменшення параметрів підсмоктування повітря  $\Delta G$  і  $S_H$  необхідно слідкувати за станом сальників у насосів та засувок, за якістю їх механічного і гідравлічного ущільнення, своєчасно ремонтувати їх, прагнути максимального ущільнення фланцевих та муфтових з'єднань, а також місць під'єднання контрольно-вимірювальних приладів (вакуумметрів, водомірного скла і т.п).

Для виконання розрахунків необхідні наступні вихідні дані:

$D_K, h_K$  – діаметр і висота вакуум-котла, м;

$d_m, l_m, l_0$  – діаметр, довжина усмоктувальної труби та довжина зануреної у воду її частини, м;

$\lambda$  – коефіцієнт опору по довжині усмоктувальної труби;

$\delta$  – кут зворотнього похилу усмоктувальної лінії на ділянці  $c-d$ ;

$\Delta G$  – масова витрата повітря, підсмоктаного через зазори та нещільності, які омиваються повітрям, кг/с;

$S_H$  – площа перерізу зазорів та нещільностей, які знаходяться у воді, м<sup>2</sup>;

$Z_A, Z_B, Z_C$  – рівні води в усмоктувальній лінії, м;

$h_{\text{ВАК}}$  – вакуум у системі, м;  
 $K$  – коефіцієнт коригування вакууму у дослідному створі;  
 $V$  – об'єм повітря у системі, м<sup>3</sup>;  
 $m$  – маса повітря у системі, кг;  
 $u, \Delta u$  – швидкість і приріст швидкості руху води в усмоктувальній трубі, м/с;  
 $t, \Delta t$  – час і розрахунковий крок у часі під час заливу насоса, с;  
 $Q=A+B \cdot h_{\text{ВАК}}+C \cdot h_{\text{ВАК}}^2+\dots$  – характеристика вакуум-насоса, л/с.

Порядок розрахунку часу заливу відцентрового насоса наступний.

Визначаємо початковий об'єм і масу повітря у вакуумній системі, а потім, користуючись характеристикою вакуум-насоса та даними про підсмоктане вакуум-системою повітря, визначаємо кількість відкачаного із системи повітря та масу повітря, яке залишилося у вакуумному котлі та комунікаціях і значення вакууму у системі. За рівнянням Д. Бернуллі для неусталеного напірного руху нестисненої рідини в усмоктувальній лінії насоса знаходимо приріст швидкості у ній за час  $\Delta t$ , значення самої швидкості і рівня води у трубі. Повторюючи подібні операції під час нового кола розрахунків, отримуємо нове значення рівня води у трубі. Розрахунки ведуться до тих пір, поки відмітка рівня води у трубі не стане рівною відмітці  $Z_b$  або  $Z_c$ .

Користуючись вихідними даними за формулою (1) визначаємо початковий об'єм повітря у вакуумній системі

$$V_0=0,785 \cdot [D_K^2 \cdot h_K + d_m^2 \cdot (l_m - l_0)], \quad (1)$$

а за формулою (2) - початкову масу повітря у ній

$$m_0=1,2928 \cdot V_0. \quad (2)$$

За формулою (3) визначається витрата повітря  $Q$ , л/с, яке забирається із системи вакуум-насосом, причому перше значення вакууму приймається  $h_{\text{ВАК}}=0$ , а в подальшому – із виразу (8) попереднього кола розрахунків

$$Q_i=A+B \cdot h_{\text{ВАК},i}+C \cdot h_{\text{ВАК},i}^2+\dots \quad (3)$$

За формулою (4) знаходять об'єм повітря, яке залишається у системі. При цьому в першому колі розрахунків приймається  $V_{i-1}=V_0$ ;  $u_{i-1}=u_0=0$ , а в подальшому ці величини приймаються із виразу (4) попереднього кола циклу з урахуванням обчислених за формулами (12) та (13–16) значень

$$V_i = V_{i-1} - \frac{\pi d_m^2}{4} \cdot u_{i-1} \cdot \Delta t. \quad (4)$$

За формулою (5) обчислюємо елементарну масу повітря, яке за-

бирається із системи вакуум-насосом за час  $\Delta t$ . При цьому  $Q_i$ ,  $m_{i-1}$ ,  $V_{i-1}$  визначається відповідно за формулами (3), (7) і (4) з урахуванням формул (12) і (13–16)

$$\Delta m_{1,i} = -\frac{Q_i m_{i-1}}{1000 \cdot V_{i-1}} \cdot \Delta t \quad (5)$$

Знак "-" у формулі (5) вказує на те, що повітря вилучається із загальної його маси, яка знаходиться у вакуум-котлі.

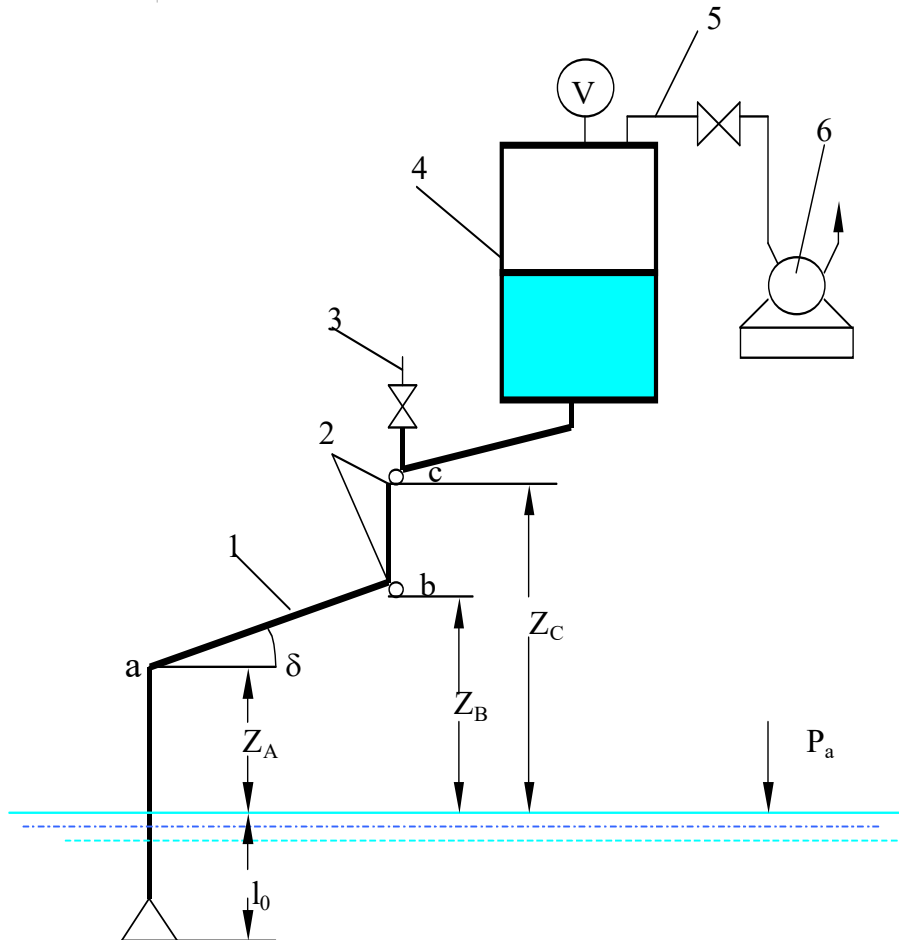


Рис. 1. Розрахункова схема вакуумної установки для визначення часу заливу відцентрового насоса:

- 1 – усмоктувальна лінія відцентрового насоса; 2 – відцентровий насос;  
 3 – напірна лінія відцентрового насоса; 4 – вакуумний котел; 5 – вакуумна комунікація; 6 – вакуумний насос

За співвідношенням (6) значення вакууму в системі порівнюється з критичним його значенням, яке знаходиться за залежностями, взятими з гідроаеродинаміки; при цьому значення  $h_{BAK,i-1}$  знаходять за формулою (8) попереднього кола розрахунків. Якщо  $h_{BAK,i-1} \leq 4,75$  м, то маса підсмоктаного системою повітря  $\Delta m_{2,i}$  визначається за формулою 
$$\Delta m_{2,i} = \left[ G + 944 S_H (1 - 0,1 h_{BAK,i-1})^{0,71} \sqrt{1 - (1 - 0,1 h_{BAK,i-1})^{0,29}} \right] \Delta t$$
, а якщо  $h_{BAK,i-1} > 4,75$  м, то  $\Delta m_{2,i}$  знаходять за формулою 
$$\Delta m_{2,i} = (G + 247 \bullet S_H) \Delta t$$
 якщо  $h_{BAK,i-1} < 4,75$  м. (6)

За формулою (7) знаходимо масу повітря, а за (8) – величину вакууму у вакуумній системі в  $i$ -тому колі розрахунків

$$m_i = m_{i-1} + \Delta m_{1,i} + \Delta m_{2,i}, \quad (7)$$

$$h_{BAK,i} = 10 \cdot \left( 1 - \frac{m_i}{1,2928 \cdot V_i} \right). \quad (8)$$

Порівнюємо за співвідношенням (9) рівень води в усмоктувальній лінії насоса з відміткою у точці  $a$  або  $b$ . Якщо виявиться, що  $Z_{i-1} \leq Z_c$ , то  $Z_i$  визначаємо за формулою (10), а якщо у співвідношенні (9) стане нерівність  $Z_{i-1} > Z_c$ , то  $Z_i$  знаходимо за (11) з урахуванням залежностей (12), (13–16) і (17)

$$Z_{i-1} > Z_c, \quad (9)$$

$$Z_i = Z_{i-1} + u_{i-1} \Delta t, \quad (10)$$

$$Z_i = Z_{i-1} + u_{i-1} \cdot \sin \delta \cdot \Delta t. \quad (11)$$

За формулою (12) визначаємо швидкість руху води у всмоктувальній лінії насоса, а за (13) – приріст цієї швидкості в  $i$ -тому колі розрахунків. При цьому  $h_{BAK}$ ,  $Z$ ,  $u$  та  $l$  визначаються відповідно за формулами (6), (8) або (11), (12) і (17). Коефіцієнт корекції вакууму  $K$  у формулах (13–16) враховує втрати вакууму на ділянці від всмоктувального патрубку вакуум-насоса до створу, у якому знаходиться рівень води у трубопроводі.

$$u_i = u_{i-1} + \Delta u_i. \quad (12)$$

До цього часу в розрахунках використовувалися відомі формули з алгоритму, який описано у [1]. У зв'язку з введенням у розрахунок двох колін трубопроводу, приріст швидкості води у трубопроводі знаходимо в залежності від відмітки води у ньому:

$$\text{при } Z_{i-1} < Z_A: \Delta u_i = \frac{9,8I}{l_{i-1}} \left[ K \cdot h_{BAK,i} - Z_i - \left( \zeta_0 + \frac{\lambda \cdot l_{i-1}}{d_m} \cdot \frac{u_{i-1}^2}{2g} \right) \right] \cdot \Delta t, \quad (13)$$

$$\text{при } Z_A < Z_{i-1} < Z_B: \Delta u_i = \frac{9,8I}{l_{i-1}} \left[ K \cdot h_{BAK,i} - Z_i - \left( \zeta_0 + \zeta_a + \frac{\lambda \cdot l_{i-1}}{d_m} \cdot \frac{u_{i-1}^2}{2g} \right) \right] \cdot \Delta t, \quad (14)$$

$$\text{при } Z_B < Z_{i-1} < Z_C: \Delta u_i = \frac{9,8I}{l_{i-1}} \left[ K \cdot h_{BAK,i} - Z_i - \left( \zeta_0 + \zeta_a + \zeta_b + \frac{\lambda \cdot l_{i-1}}{d_m} \cdot \frac{u_{i-1}^2}{2g} \right) \right] \cdot \Delta t, \quad (15)$$

$$\text{при } Z_{i-1} > Z_C: \Delta u_i = \frac{9,8I}{l_{i-1}} \left[ K \cdot h_{BAK,i} - Z_i - \left( \zeta_0 + \zeta_a + \zeta_b + \zeta_c + \frac{\lambda \cdot l_{i-1}}{d_m} \cdot \frac{u_{i-1}^2}{2g} \right) \right] \cdot \Delta t. \quad (16)$$

За формулою (17) знаходимо довжину всмоктувальної лінії, яка заповнена водою, причому в першому колі розрахунків приймаємо  $l_{i-1} = l_0$ . За формулою (18) ведеться підрахунок часу, а за (19) приймається рішення – продовжувати розрахунки чи закінчити їх. При співвідношенні  $Z_i < Z_c$  або  $Z_i < Z_b$  (в залежності від кількості колін трубопроводу) розрахунки продовжуються, для чого слід повернутися до формули (1) і почати нове коло розрахунків, повторюючи всі описані вище операції

$$l_i = l_{i-1} + u_i \Delta t, \quad (17)$$

$$t = \sum \Delta t, \quad (18)$$

$$Z_i > Z_c. \quad (19)$$

Розрахунки тривають до тих пір, поки у виразі (19) не виконається співвідношення  $Z_i \geq Z_c$  або  $Z_i \geq Z_b$  (в залежності від кількості колін трубопроводу).

Остаточний час заливу відцентрового насоса визначається як час, за який вода піднімається до заданої відмітки з урахуванням часу, необхідного для заливу порожнини самого відцентрового насоса  $V_H$ :

$$t' = t + \frac{4 \cdot V_H}{\pi d_m^2 u_i}. \quad (20)$$

На цьому розрахунки завершено. На друк у табличній формі виводяться значення часу  $t$ , рівнів води у всмоктувальному трубопроводі  $Z$ , вакуум у вакуумному котлі  $h_{BAK}$  та час заливу відцентрового насоса  $t'$ .

За складеною програмою було проведено розрахунки впливу основних параметрів вакуумної системи на тривалість робочого циклу. Постійними параметрами (за виключенням тих, для яких визначався їх вплив на параметри  $h_{BAK}$ ,  $Z$  і  $t_u$ ) такі: вакуум-насос-РМК-2\*,  $Z_K = 4,56$  м,  $S_K = 0,5$  м<sup>2</sup>,  $Z_A = h_{BAK,A} = 3,2$  м,  $S_T = 0,00512$  м<sup>2</sup>,  $\mu = 0,3$ ,  $\Delta G = 0,00025$  кг/с,  $S_H = 1 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>,  $t_1 = 30$  с,  $\Delta t = 1$  с.

Викладена вище методика розрахунку дає досить точні результати. Лабораторна перевірка показала добру збіжність ( $\approx 2,5\%$ ) результатів розрахунку і дослідних даних, поміщених у таблиці 1.

Таблиця 1

Порівняння результатів розрахунку робочого циклу вакуумної системи, оснащеної вакуум-насосом з експериментальними даними

<b>Джерело даних</b>	$Z_A, \text{ м}$	$Z_B, \text{ м}$	$Z_C, \text{ м}$	$h_{\text{ВАК,В'}}, \text{ м}$	$t_1, \text{ с}$	$t_2, \text{ с}$	$t_3, \text{ с}$	$t_{\text{ц}}, \text{ с}$
Експеримент	3,20	3,80	4,06	6,51	30	20	785	835
Розрахунок	3,20	3,73	4,00	6,55	30	18	768	816

На практиці у більшості випадків знайти точний розв'язок запропонованої математичної задачі не вдається. Джерелами похибки математичного вирішення поставленої задачі є:

- 1) невідповідність математичної задачі реальному явищу;
- 2) похибка вихідних даних (вхідних параметрів);
- 3) похибка методу розв'язку;
- 4) похибка заокруглень у математичних та інших діях над числами.

Перші два джерела похибок вважаються постійно присутніми, третю і четверту похибки можна врахувати спеціальними методами.

**Висновки.** Удосконалено алгоритм розрахунку часу заливу відцентрового насоса з урахуванням поздовжнього профілю всмоктувального трубопроводу. Він відрізняється від попереднього алгоритму тим, що у розрахунках враховано не одне, а три коліна всмоктувального трубопроводу. Це дозволяє проводити розрахунки часу заливу з допомогою вакуумної системи відцентрового насоса з урахуванням поздовжнього профілю всмоктувального трубопроводу з конфігурацією практично будь-якої складності.

Результати розрахунків були порівняні із експериментальними даними, отриманими у с. Бечаль Рівненської області і дають добру збіжність, що доводить достовірність запропонованої методики розрахунку. Дана програма пропонується для розрахунків часу заливу відцентрових насосів на насосних станціях гідромеліоративних систем.

1. Назаров Н. Т. Вакуумные установки автоматизированных насосных станций настоящего и будущего. Лабораторные исследования, теоретические изыскания, гидравлические расчеты. Ровно : изд-во РГТУ, 1999. 112 с.
2. Філіпович Ю. Ю. Розрахунок на ЕОМ робочого циклу вакуумної системи з



ежекторною установкою. *Гідромеліорація і гідротехнічне будівництво*. Рівне, 1998. Вип. 23. С. 83–87. **3.** Філіпович Ю. Ю. Вплив розмірів елементів вакуумної системи автоматизованої насосної станції на тривалість її робочого циклу. *Водне господарство України*. 1999. № 5–6. С. 39–41. **4.** Філіпович Ю. Ю. Моделювання робочого циклу вакуумної установки. *Вісник РДТУ*. Рівне, 1999. Вип. 2(2). Ч. 1. С. 237–240. **5.** Назаров М. Т., Філіпович Ю. Ю. Робочий процес вакуумної установки автоматизованої насосної станції і зв'язок його з параметрами живильної труби. *Вісник РДТУ. Гідромеліорація і гідротехнічне будівництво* : зб. наук. праць. Спецвипуск. Рівне, 1999. С. 145–151. **6.** Назаров М. Т., Філіпович Ю. Ю. Вплив параметрів живильної труби вакуумної установки на її енерго-економічні показники. *Водне господарство України*. 2000. № 3–4. С. 53–54. **7.** Филипович Ю. Ю. Установка для заливки центробежных насосов мелиоративных насосных станций. *Проблемы мелиоративного строительства и водохозяйственного обустройства на современном этапе*. Горки : БСХА, 2000. С. 125–129. **8.** Філіпович Ю. Ю. Вплив заливу вакуум-насоса на характер його роботи. *Гідромеліорація і гідротехнічне будівництво*. Рівне, 1998. Вип. 23. С. 87–92.

## REFERENCES:

1. Nazarov N. T. Vakuumnyie ustanovki avtomatizirovannyih nasosnyih stantsiy nastoyashego i budushego. Laboratornyie issledovaniya, teoreticheskie izyiskaniya, gidravlicheskie raschetyi. Rovno : izd-vo RGTU, 1999. 112 s.
2. Filipovych Yu. Yu. Rozrakhunok na EOM robochoho tsykladu vakuumnoi systemy z ezhektornoiu ustanovkoiu. *Hidromelioratsiia i hidrotekhnichne budivnytstvo*. Rivne, 1998. Vyp. 23. S. 83–87.
3. Filipovych Yu. Yu. Vplyv rozmiriv elementiv vakuumnoi systemy avtomatyzovanoi nasosnoi stantsii na tryvalist yii robochoho tsykladu. *Vodne hospodarstvo Ukrainy*. 1999. № 5–6. S. 39–41.
4. Filipovych Yu. Yu. Modeliuvannia robochoho tsykladu vakuumnoi ustanovky. *Visnyk RDTU*. Rivne, 1999. Vyp. 2(2). Ch. 1. S. 237–240.
5. Nazarov M. T., Filipovych Yu. Yu. Robochyi protses vakuumnoi ustanovky avtomatyzovanoi nasosnoi stantsii i zviazok yoho z parametramy zhyvylnoi truby. *Visnyk RDTU. Hidromelioratsiia i hidrotekhnichne budivnytstvo* : zb. nauk. prats. Spetsvypusk. Rivne, 1999. S. 145–151.
6. Nazarov M. T., Filipovych Yu. Yu. Vplyv parametriv zhyvylnoi truby vakuumnoi ustanovky na yii enerho-ekonomichni pokaznyky. *Vodne hospodarstvo Ukrainy*. 2000. № 3–4. S. 53–54.
7. Filipovich YU. YU. Ustanovka dlya zalivki tsentrobejnyih nasosov meliorativnyih nasosnyih stantsiy. *Problemy meliorativnogo stroitelstva i vodohozyaystvennogo obustroystva na sovremennom etape*. Gorki : BSHA, 2000. S. 125–129.
8. Filipovych Yu. Yu. Vplyv zalyvu vakuum-nasosa na kharakter yoho roboty. *Hidromelioratsiia i hidrotekhnichne budivnytstvo*. Rivne, 1998. Vyp. 23. S. 87–92.

**Filipovych Yu. Yu., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Sunichuk S. V., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, yur\_fil@ukr.net)

### **CALCULATION OF FLOW TIME BY WATER OF THE CENTRIFUGAL PUMP TAKING INTO ACCOUNT THE LONGITUDINAL PROFILE OF THE SUCTION PIPE**

**An algorithm for calculating the filling time of a centrifugal pump of an automated pumping station using a vacuum system taking into account the longitudinal profile of the suction pipeline, which allows calculations with the configuration of pipelines of almost any complexity. Reliable and sustainable operation of automated pumping stations depends on maintaining their main and auxiliary equipment in good condition, operation of pumps in high efficiency modes, compliance with pump flow control, implementation of automation and telemechanics. The use of vacuum systems is an effective type of bay and subsequent maintenance of flooded centrifugal pumps. A modern pumping station is a complex energy facility consisting of hydraulic, power and construction structures, hydromechanical and power equipment. Vacuum systems belong to the auxiliary equipment of the ANS, but ensure the smooth operation of the main pumping units, so the study of their technological processes is an urgent issue. The object of research is the time of filling the centrifugal pump of the automated pumping station with a vacuum system taking into account the longitudinal profile of the suction pipe, and the subject of research - the parameters of the suction pipe, the duration of the vacuum cycle and the influence of parameters of the vacuum installation. The method of experimental research was used in the study of technological processes of vacuum installations, and the methods of mathematical statistics, physical and mathematical modeling were used in the processing of the obtained materials. Determine the initial volume and mass of air in the vacuum system, and then, using the characteristics of the vacuum pump and data on the air sucked by the vacuum system, determine the amount of air pumped from the system and the mass of air remaining in the vacuum boiler and communications and the value of vacuum in system. According to Bernoulli's equation for unsteady pressure movement of**

uncompressed liquid in the suction line of the pump we find the increase in velocity in it during time  $\Delta t$ , the value of the velocity and the water level in the pipe. By repeating similar operations during a new round of calculations, we obtain a new value of the water level in the pipe. The calculations are carried out until the mark of the water level in the pipe becomes equal to the mark  $Z_b$  or  $Z_c$ .

**Keywords:** vacuum system; centrifugal pump bay; mathematical model of bay time; suction pipe; duty cycle.

---

**Филипович Ю. Ю., к.т.н., доцент, Суничук С. В., к.т.н., доцент**  
(Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно, yur\_fil@ukr.net)

### **РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ ЗАЛИВКИ ВОДОЙ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА С УЧЕТОМ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ВСАСЫВАЮЩЕЙ ТРУБЫ**

Создан алгоритм расчета времени заливки центробежного насоса автоматизированной насосной станции с помощью вакуумной системы с учетом продольного профиля всасывающего трубопровода, что позволяет производить расчеты для конфигурации трубопроводов практически любой сложности.

**Ключевые слова:** вакуумная система; заливка центробежного насоса; математическая модель времени заливки; всасывающая труба, рабочий цикл.

---