

УДК 532.542:626.83

Герасимов Г.Г., к.т.н., доцент, Тотар С.П., ст. 5 к. ФГТБ і ГЕ  
(Національний університет водного господарства та природокористування,  
м. Рівне)

### ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ГІДРАВЛІЧНОГО КЛАПАНА ЗРИВУ ВАКУУМУ СИФОННОГО ВОДОВИПУСКУ

Виконані експериментальні дослідження клапанів зриву вакууму сифонів з різними типами швидкісних трубок. Доведено, що при відсмоктуванні води зі стакану вертикальними швидкісними трубками виникає нестійка водяна перетинка з барботажем проходження повітря, яка суттєво знижує пропускну здатність швидкісних трубок, що характеризується коефіцієнтом стиснення  $\varepsilon = 0,00011...0,0011$ .

Ключові слова: сифонний водовипуск, клапан зриву вакууму, швидкісна трубка, пропускну здатність.

The experimental study of vacuum valves, siphons failure with various types of speed pipes are made. It is proved that the suction cup of water with vertical speed tubes appears unstable membrane water bubbling from the passage of air, which significantly reduces the bandwidth speed tubes, characterized by the compression ratio  $\varepsilon = 0,00011...0,0011$ .

Keywords: water outlet siphon, vacuum valves, speed pipes, capacity.

Выполнены экспериментальные исследования клапанов срыва вакуума сифонов с различными типами скоростных трубок. Показано, что при отсасывании воды из стакана вертикальными скоростными трубками возникает неустойчивая водяная перемычка с барботажным прохождением воздуха, которая существенно снижает пропускную способность скоростных трубок и характеризуется коэффициентами сжатия  $\varepsilon=0,00011...0,0011$ .

Ключевые слова: сифонный водовыпуск, клапан срыва вакуума, скоростная трубка, пропускная способность.

Водовипускні споруди, які будуються в кінці напірних трубопроводів насосних станцій для з'єднання їх з каналами або напірними басейнами, повинні забезпечити [1, 2, 3]: плавне спряження потоку води, що виходить з трубопроводу, з потоком води в каналі з мінімальними гідравлічними втратами напору; міцність, стійкість і нерозвиваємість споруд; від'єднання напірних трубопроводів і попередження зворотної течії води з каналу при зупинці на-

сосів; впуск повітря в трубопровід для попередження утворення в ньому значного вакууму при його спорожненні; поділ потоку при його подачі в два канали і більше.

**Існуючі типи сифонних водовипускних споруд** мають ряд недоліків: вимога надійної герметичності; висока металоємність, порівняльно більші втрати напору; необхідність встановлення клапанів зриву вакууму, що мають невисоку степінь надійності; жорсткі вимоги до коливань рівнів води в каналі; ускладнення з зарядкою сифона та ін. Ефективність роботи сифонного водовипуску повинна забезпечуватися стійким вакуумом і винесенням потоком повітря з сифона при зарядці. Втрати напору в сифонних водовипусках при роботі їх повним перерізом досягають 0,2...1 м, що є суттєвим для насосів з напором 5...16 м [5].

При пусках насосів на спорожнений трубопровід і недостатній площі отворів для виходу повітря воно великими об'ємами виходить з-під шелиги сифона в верхній б'єф, викликаючи коливання тиску, що досягає 20...25% від номінального значення. Ці коливання тиску викликають вібрацію насосного агрегату, напірного трубопроводу і всієї споруди [5, 6].

У випадку неспрацювання (відмови) клапана зриву вакууму сифонного водовипуску при вимиканні електродвигуна насосний агрегат розкручується в зворотну сторону з розгінною частотою обертання, що досягає 140...160% від номінального значення [7]. Таким чином, наявність сифонного водовипуску з ненадійним клапаном зриву вакууму суттєво ускладнює перебіг перехідних гідромеханічних процесів в насосних установках.

**Найбільша кількість ускладнень** виникає через недостатню пропускну здатність швидкісних (повітряних) трубок, які відсмоктують воду зі стаканів при зворотному русі води після втрати привода насосами. В процесі впровадження сифонних водовипусків з клапанами зриву вакууму рекомендації щодо площі поперечного перерізу швидкісних трубок відносно площі горлового перерізу сифона поступово зростали наступним чином: 0,5...0,7 % [3]; 1,0...1,5 % [1, 9]; 1,5...2,0% і уточнення згідно формул [2]; 5,0...6,0 % [12]. Проте, як показала практика, навіть найбільша рекомендована площа швидкісної трубки не забезпечує її розрахункову пропускну здатність. Хоча, як стверджується в [4, 12], негерметичність в облицюванні сифона загальним перерізом 0,02...0,03% від площі горлового перерізу повністю порушує вакуум в сифоні при експлуатаційних умовах роботи.

**Пояснення цьому протиріччю** будемо шукати, виконуючи експериментальні дослідження. Моделюванню підлягає сифонний водовипуск (рис. 1) насосної станції, на якій встановлено 9 насосних агрегатів марки 2000В 16/63-А1-3 з  $n=250$  об/хв. при  $n_s=170$  об/хв, що працюють на три пари напірних трубопроводів діаметром 2,4 м і довжиною 3050 м кожний. Сифони трубопроводів обладнані гідравлічні клапанами зриву вакууму з діаметром швидкісної трубки  $d_{mp}=600$  мм і діаметром стакана  $d_{cm}=1200$  мм.

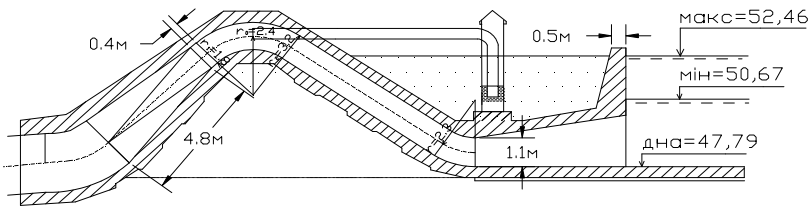


Рис. 1. Сифонний водовипуск з клапаном зриву вакууму (вихідний варіант)

Розрахункова зворотна витрата насоса становить

$$Q_{36}=0,9Q_0=0,9\cdot 13=11,7 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Це підтверджують результати розрахунків перехідних процесів, що виникають в разі втрати приводу насосами і відмові дискових затворів, які наведені на рис. 2, для двох значень зворотних витрат води крізь насос  $Q_{361}=0$  і  $Q_{362}=0,7$ ,  $Q_0=9,1 \text{ м}^3/\text{с}$ . Розрахунки виконано за методикою [16].

Схема експериментальної установки наведена на рис. 3, а зовнішній вигляд її показаний на рис. 4. Установка включає вакуумний бак, лічильник газу (повітря), відділювач повітря, експериментальну ділянку швидкісної трубки, стакан, зворотні п'езометри. Вакуум в системі підтримувався вакуумним насосом типу РМК або струминним насосом. Величина вакууму в вакуумній ємності вимірювався вакуумметром.

Діаметр швидкісної трубки прийнято 50 мм, тому лінійний масштаб моделювання становить  $\alpha_L=600/50=12$ . При моделюванні за числом Фруда  $Fr=v^2/(gl)$  масштаб моделювання напору  $H$  або вакууму  $V$  становить  $\alpha_H=\alpha_V=\alpha_L$ . Тому вакуум на моделі, який відповідає початку переливу води в зворотному напрямі через гребінь сифона в природі при  $V_H=0,2 \text{ м}$ , становить  $V_M=V_H/\alpha_L=0,2/12=0,0166\text{м} = 16,6 \text{ мм}$ .

**При проведенні дослідів** значення вакууму в різних точках швидкісної трубки вимірювалися зворотними п'езометрами, а витрата повітря – роторним лічильником газу, який фактично є об'ємним дозатором. Значення витрати повітря змінювалося залежно від ступеня відкриття шарового крана, що був встановлений після газового лічильника. Режими роботи швидкісної трубки відслідковувалися візуально завдяки прозорій конструкції стакана і швидкісної трубки.

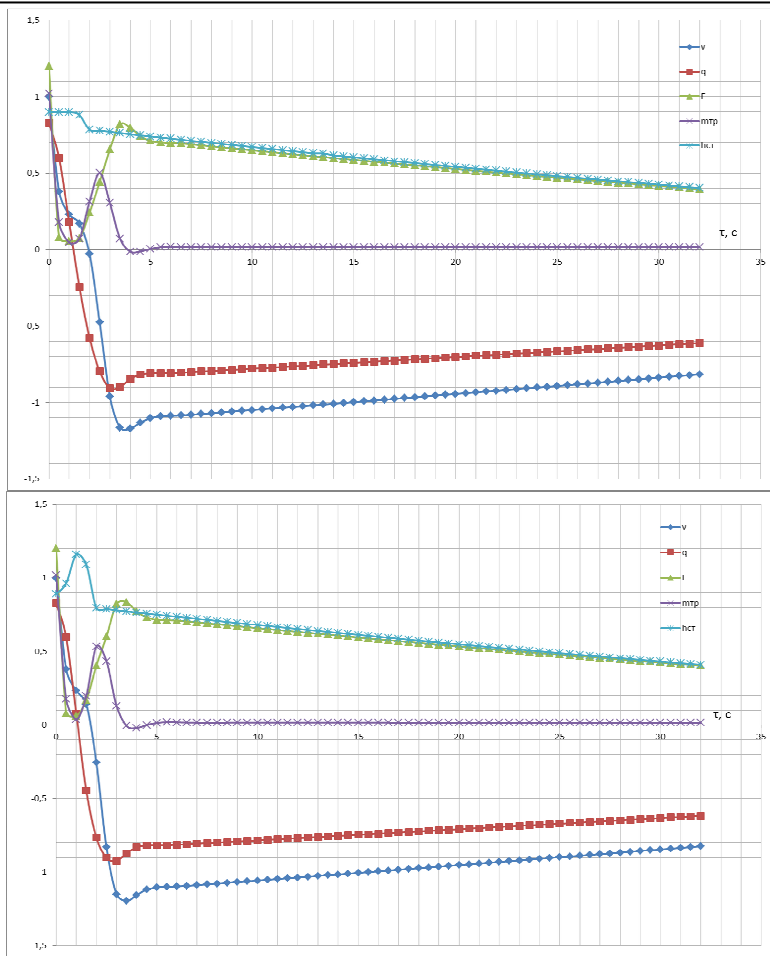


Рис. 2. Графіки перехідних гідромеханічних процесів в насосній установці з насосами 200В-16/6,3 при їх аварійній зупинці.  
Зверху – при  $Q_{381}=0$  і знизу – при  $Q_{382}=0,7$   $Q_0=9,1$  м<sup>3</sup>/с



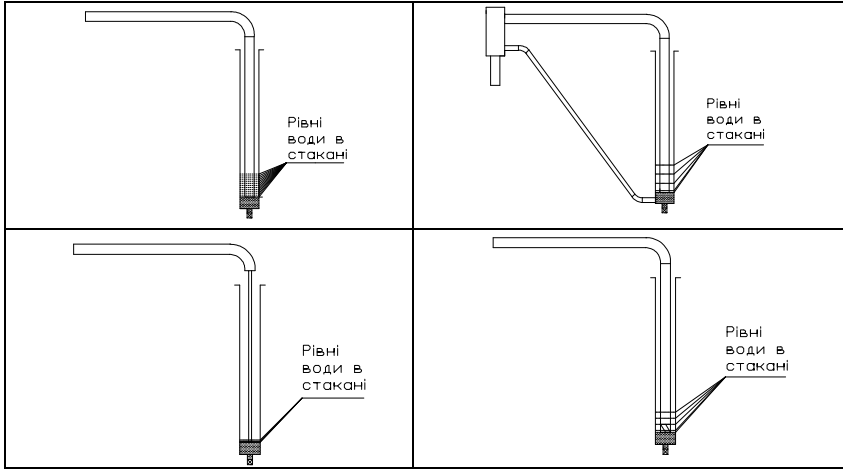


Рис. 5. Схеми швидкісних трубок клапана зриву вакууму сифонного водовипуску з різними параметрами

На рис. 5а для порівняння показана вихідна конструкція швидкісної трубки, а на рис. 5б приведений варіант подвійної трубки. Для з'ясування впливу масштабного ефекту досліджувалася трубка з діаметром 14 мм, рис. 5в. Останній варіант – швидкісна трубка діаметром 50 мм з гвинтовою вставкою на вході (рис. 5г). Не один з зазначених способів не дав позитивних результатів. Відсмоктування води зі стакана носило нестабільний барботажний характер.

Для узагальнення результатів дослідів використовувалася залежність [2, С. 237] для визначення пропускної здатності швидкісної трубки ( $\text{м}^3/\text{с}$ )

$$Q = \varepsilon \mu f \sqrt{2gh \frac{\rho}{\rho_n}}, \quad (1)$$

де  $\varepsilon$  – умовний коефіцієнт стиснення потоку повітря динамічною водяною перетинкою в швидкісній трубці;  $\mu$  – коефіцієнт витрати повітря, прийнято  $\mu = 0,6$ ;  $f$  – площа внутрішнього перетину повітряної трубки,  $\text{м}^2$ ;  $h$  – вакуум на виході з швидкісної трубки при відсмоктуванні води і повітря зі стакана, м вод. ст.;  $\rho$ ,  $\rho_n$  – відповідно густина води і повітря,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ,  $\rho = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ ,  $\rho_n = 1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

З залежності (1) визначаємо:

$$\varepsilon = \frac{Q}{\mu f \sqrt{2gh \frac{\rho}{\rho_n}}}. \quad (2)$$

Коефіцієнт стиснення  $\varepsilon$  суттєво залежить від об'єму ( $\text{м}^3$ ) води  $V_3$ , який залишається в швидкісній трубці при барботажному проходженні повітря крізь неї. Для узагальнення результатів досліджень розглядалася залежність  $\varepsilon = f(\bar{V})$ . В цій залежності позначено  $\bar{V}$  – відносний об'єм залишкової води, який визначають за формулою

$$\bar{V} = \frac{V_3}{V_o}, \quad (3)$$

де  $V_o$  – внутрішній об'єм вертикальної частини швидкісної трубки,  $\text{м}^3$ . Результати дослідів наведені на графіках (рис. 6). Ці графіки показують, що для всіх виконаних дослідів коефіцієнт стиснення знаходиться в межах 0,00011...0,0011. Такий результат пояснює, чому вертикальна швидкісна трубка не забезпечує розрахункову пропускну здатність при відсмоктуванні води з ізольованого стакана.

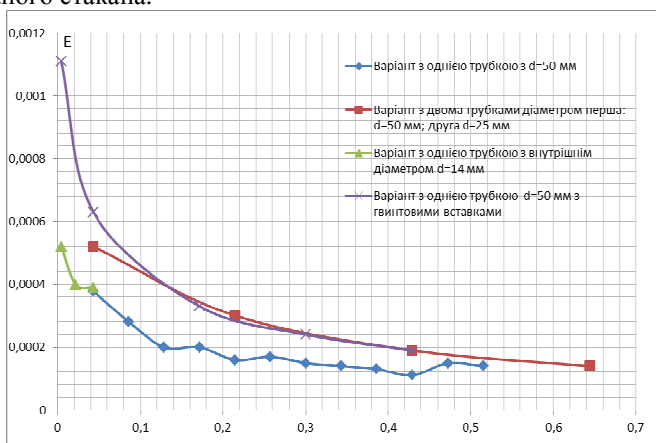


Рис. 6. Результати дослідження пропускну здатності швидкісних трубок в вигляді залежності  $\varepsilon = f(\bar{V})$

**Отримані результати вимагають** докорінно змінити конструкцію клапана зриву вакууму. На наш погляд найбільш прийнятним в даних умовах буде клапан зриву вакууму за АС № 1109492 СССР МКІ Е 02 В 7/18, запропонований для осушувальних насосних станцій [17] (рис. 7).

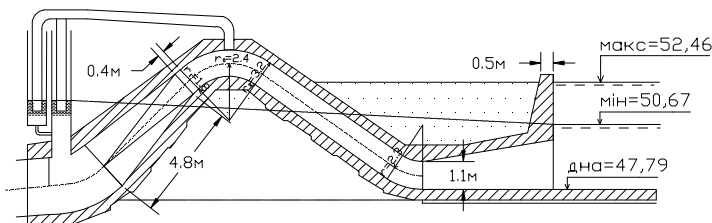


Рис. 7. Рекомендований клапан зриву вакууму сифонного водовипуску

Єдиною відмінністю пропонованого клапана є відсутність перфорації на швидкісних трубках, яка використовувалася для регулювання подачі насоса, що в даному випадку не потрібно. Цей клапан працює наступним чином. При пусках насоса стояк клапана заповнюється водою, а повітря з сифона виходить крізь другу швидкісну трубку в стакані, який заповнюється з затримкою. Тривалість затримки регулюється розрахунковим поперечним перерізом з'єднувальної трубки. Для розглядуваного сифонного водовипуску і прийнятого клапана зриву вакууму діаметр з'єднувальної трубки становить 40 мм при діаметрах швидкісних трубок 600 мм і діаметрах стояка і стакана 1200 мм.

При зупинці насоса зрив вакууму відбувається частково швидкісними трубками, враховуючи наявність барботажного режиму проходження повітря, а остаточно крізь стояк, після спорожнення висхідної гілки сифона. Така конструкція забезпечує надійну і стабільну роботу клапана зриву вакууму.

**Висновки.** При застосуванні гідравлічних клапанів зриву вакууму для сифонних водовипусків насосних станцій необхідно враховувати, що при відсмоктуванні води зі стакана швидкісною трубкою утворюється запирання трубки динамічно нестабільною водяною перетинкою з барботажним проходженням повітря. Пропускна здатність швидкісної трубки при цьому різко знижується, що характеризується коефіцієнтом стиснення, який знаходиться в межах  $\varepsilon = 0,00011 \dots 0,0011$ . Тому конструкція гідравлічних клапанів зриву вакууму для сифонних водовипусків повинна виключати тривалу роботу швидкісної трубки з барботажним режимом пропуску повітря.

1. Некрасов В.М., Подласов А.В. К расчету клапанов срыва вакуума в сифонах// Гидравлика и гидротехника. – № 9. – Киев: Техніка, 1970. – С. 87-93. 2. Проектирование насосных станций и испытание насосных установок / В.В. Рычагов, В.Ф. Чебаевский,



К.П. Вишне夫斯基, А.А. Третьяков и др.; под ред. В.Ф. Чебаевского. – М.: Колос, 1982. – 320 с. **3.** Некрасов В.М., Скуратович В.М. Бесклапанные устройства для срыва вакуума на сифонах мелиоративных насосных станций // Гидравлика и гидротехника. – №8. – Киев: Техніка, 1969. – С. 48-54. **4.** Кондратьев Е.И. и др. Проектирование сифонных водовыпусков насосных станций // Гидротехническое строительство. – № 1. – М.: Энергия, 1976. – С. 54-56. **5.** Карелин В.Я., Новодережкин Р.А. Насосные станции гидротехнических систем с осевыми и диагональными насосами. – М.: Энергия, 1980. – 288 с. **6.** Аршеневский Н.Е., Поспелов Б.Б. Переходные процессы крупных насосных станций. – М.: Энергия, 1980 – (Библиотека гидротехника и гидроэнергетика, вып. 66) – 112 с. **7.** Захаров О.В., Карелин В.Я. Опыт эксплуатации осевых насосов на магистральных каналах // Гидротехническое строительство. – № 8. – 1976. – С. 20-24. **8.** Некрасов В.М. Расчет сифонных водовыпусков насосных станций с гидравлическими клапанами срыву вакуума // Гидравлика. – № 2. – Киев: Техніка, 1966. – С. 89-98. **9.** Базилевич А.И., Копистянский О.С., Подласов А.В., Вербицкий О.Я. Сифонные водовыпуски с гидравлическими клапанами для срыва вакуума на трубопроводах мелиоративных систем // Гидравлика и гидротехника. – № 5. – Киев: Техніка, 1967. – С. 107-118. **10.** Палишкин Н.А. Опыт эксплуатации мелиоративных насосных станций // Гидротехника и мелиорация. – М.: Колос, 1982. – С. 62-66. **11.** Залуцкий Э.В., Константинов Ю.М., Петрухно А.И. Определение расхода воздуха, срывающего вакуум в сифонном водовыпуске при отключении насоса // Гидравлика и гидротехника. – № 20. – Киев: Техніка, 1975. – С. 9-15. **12.** Палишкин Н.А. О гидравлическом клапане срыва вакуума в сифонах водовыпусков насосных станций // Мелиорация и водное хозяйство. – № 10. – Киев: Урожай, 1969. – С. 138-144. **13.** Палишкин Н.А. и др. Определение отверстия клапана срыва вакуума на сифонах водовыпусков насосных станций // Мелиорация и водное хозяйство, вып. 18. – Киев: Урожай, 1971. **14.** Палишкин Н.А., Кореньков А.Г. Гидравлические клапаны срыва вакуума // Мелиорация и водное хозяйство, вып. 20. – Киев: Урожай, 1972. **15.** Ивженко Ю.С. Влияние герметичности вакуумной зоны сифона на экономичность работы насосной станции // Мелиорация и водное хозяйство, вып. 67. – Киев: Урожай, 1987. – С. 65-68. **16.** Подласов А.В., Герасимов Г.Г. К определению основных параметров переходных процессов насосных агрегатов // Гидравлика и гидротехника. № 20. – Киев: Техніка, 1975. – С. 35-42. **17.** А.С. № 1109492 МКИ Е 02 7/18. Гидравлический клапан срыва вакуума в сифонных водовыпусках насосных станций / Евреенко Ю.П., Шпартак О.И., Гурин В.А. // Бюллетень изобретений. – 1984. – № 31.

Рецензент: профессор, д.т.н. Хлапук М.М. (НУВГП)