



РАЦІОНАЛЬНИЙ РЕЖИМ РОБОТИ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ НАСОСНИХ СТАНЦІЙ

доповідь на VI Міжнародній конференції

"Світові тенденції та перспективи розвитку гідроенергетики України"
(14–15 березня 2013 р., Україна, м. Рівне)

Проведено аналіз роботи насосних станцій із сифонними водовипусками та наведені рекомендації стосовно підвищення їх роботоздатності гідравлічними пристроями на гілках сифона

Насосні станції, що розміщені в зоні підтоплення, відносяться до низьконапірних, режим роботи яких визначається роботою водотоку. витрата і рівень якого змінюються в широких межах, а максимальний напір насосної станції знаходиться в межах 5,0–12,0 м.

За цих умов доцільно застосовувати осьові насосні агрегати проточний тракт яких не має запірної арматури, а кінцева частина трубопроводу виконується у вигляді сифонного водовипуску.

Режим роботи насоса: пуск та зупинка, забезпечується клапаном зриву вакууму (КЗВ).

Серед клапанів зриву вакууму: механічні, електричні та гідравлічні — останні посідають чільне місце.

За умови спрацювання при змінних рівнях води в каналі найбільш широко застосовують КЗВ в складі якого є стакан, швидкісна трубка, що може розміщуватись в різних частинах трубопроводу, а найчастіше в перерізі: гребінь сифона-капор.

Виконаємо аналіз сифонів з гідравлічним клапаном [1].

Сифон з аераційною трубкою (Рис. 1, а). Пристрій спрацьовує після зменшення рівня води у стакані (3) і з'єднання повітропроводу (8) з атмосферою. Недоліком КЗВ є його низька роботоздатність за рівнем коливання води у відповідному каналі та невикористання динамічної енергії сифона.

Сифон з аераційною трубкою та стаканом (п'езометром) (Рис. 1, б). Пристрій спрацьовує за рахунок зниження рівня води у стакані при зниженні подачі насоса. Недоліком є низька роботоздатність при значній зміні рівня води у верхньому б'єфі та використання лише статичної складової енергії потоку води.

Сифони з аераційною ти динамічною трубками (Рис. 1, в). Перевагою пристрою в порівнянні зі схемою (Рис. 1, б) є відсутність інерції у повітропроводі (8), та використання динамічного напору

потоку води, який прискорює зниження рівня води у стакані (3) при зворотному русі води.

Сифон з аераційною трубкою та аераційним стаканом (Рис. 1, г). Пристрій спрацьовує при відкриванні засувки на аераційному стояку. Надійність роботи пристрою залежить від двох факторів: герметичності засувки на надійності спрацювання приводу засувки.

Сифон з аераційною трубкою (Рис. 1, д). Найбільш поширена схема КЗВ в якому швидкісна трубка (2) займає проміжну висоту між гребенем та капором сифона. Ця схема КЗВ не використовує максимальний динамічний напір, який утворюється на повороті гребеня си-

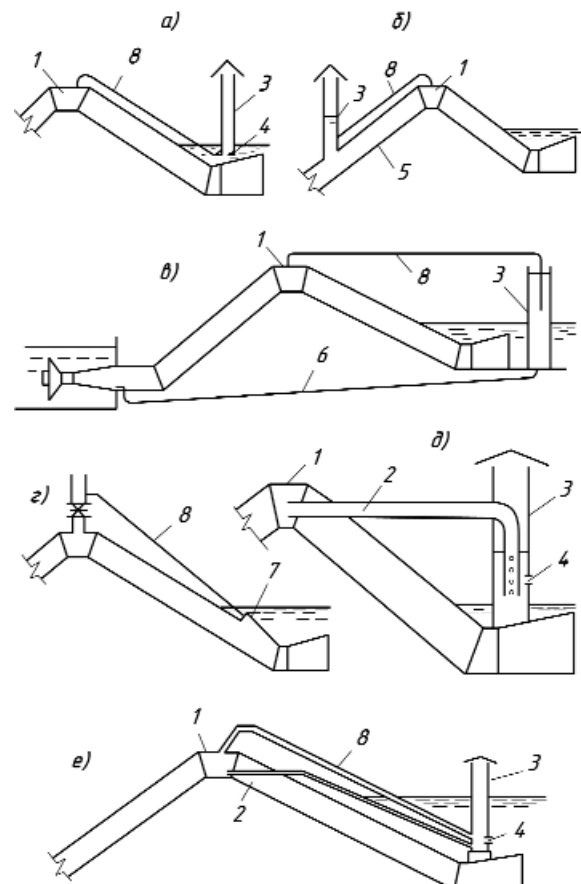


Рис. 1. Схеми гідравлічних клапанів зриву вакууму: 1 – сифон; 2 – швидкісна трубка; 3 – стакан; 4 – отвір; 5 – висхідна гілка; 6 – з'єднувальна трубка; 7 – кишень; 8 – повітропровід

Таблиця 1. Морфологічний аналіз гідравлічних клапанів зриву вакууму

Назва елементів	Енергія, що використовується елементом	Ефект пристрою	Недоліки пристрою
Стояк	Статичний рівень	Швидке спрацювання	Низький діапазон роботи
Швидкісна трубка біля насоса, стакан та аераційна трубка	Динамічна енергія	Широкий діапазон роботи	Значна інерційність роботи швидкісної трубки
Швидкісна трубка на гребені сифона, стакан	Динамічна енергія	Розширений діапазон роботи	Інерційність роботи швидкісної трубки, при зупинці насоса
Швидкісна трубка на гребені, аеродинамічна трубка за межами сифона	Динамічна енергія	Розширений діапазон роботи, швидке спрацювання КЗВ	Обмеження швидкості розміром площі сифона

фона. Крім того, при зворотному русі потоку затягується процес зриву вакууму за рахунок інерційності потоку води у швидкісній трубці. Бувають випадки повторного спрацювання КЗР у випадку коли вода із вертикальної частини швидкісної трубки зливається у стакан і перекриває доступ повітря у швидкісну трубку.

При мінімальній витраті в робочому режимі змінюється режим потоку при якому в зоні сифона утворюється порожнина і швидкісна трубка може не затоплюватись потоком.

Для забезпечення роботи сифона в режимі гідравлічного замка швидкісну трубку встановлюють на висоті критичної глибини, розрахованої на перетікання мінімальної витрати.

Проведемо аналіз незадовільної роботи КЗВ, що складається з двох паралельних швидкісних трубок приєднаних до вертикального стояка

(варіант схеми, Рис 1, *д*). В цьому варіанті верхня швидкісна трубка розміщена на рівні капора, а нижня швидкісна трубка на рівні гребеня сифона.

В робочому режимі під дією динамічного напору вода із нижньої швидкісної трубки рухається до вузла з'єднання верхньої трубки із стояком в якому потік поділяється на дві частини — один у верхню швидкісну трубку, а другий потік у вертикальний стояк. При зупинці насоса маємо зворотний процес руху потоку води у швидкісних трубках. Аналіз роботи двох з'єднаних швидкісних трубок свідчить про недоцільність їх об'єднання в одному вузлі.

Сифони з динамічною та аераційною трубками (Рис. 1, *е*) прискорюють зниження рівня води у стакані (3) за рахунок більшої швидкості на повороті сифона.

Актуальність роботи обумовлена тим, що удосконалення системи сифонний водовипуск-КЗВ проводилось у двох напрямках: зміна конфігурації проточного тракту сифона, або комбінування розміщення елементів КЗВ. При цьому не враховувався процес взаємодії руху повітря та води, що має суттєве значення при зупинці насоса.

Слід зазначити, що на повороті сифона епюра швидкості нерівномірна: — на гребені більша, під капором найменша. Різне висотне розміщення швидкісних трубок має протилежний вплив на параметри пристрою — діапазон роботоздатності та час спрацювання клапану при впуску повітря.

На практиці швидкісну трубку розміщують в ключовому перерізі сифона приблизно на висоті критичної глибини потоку.

При розміщенні швидкісної трубки нижче капора сифона при зупинці насоса слід враховувати явище взаємодії потоку води, що рухається до насоса і повітря, що виходить із швидкісної трубки, яке трансформується у повітряні бульбашки.

При швидкості зворотного потоку води $v \leq 1,0$ м/с суміш бульбашок має змогу піднятися до капору і розірвати потік води. При швидкості зворотного потоку води в зоні швидкісної трубки $v \geq 1,0$ м/с утворюється водоповітряна суміш, що

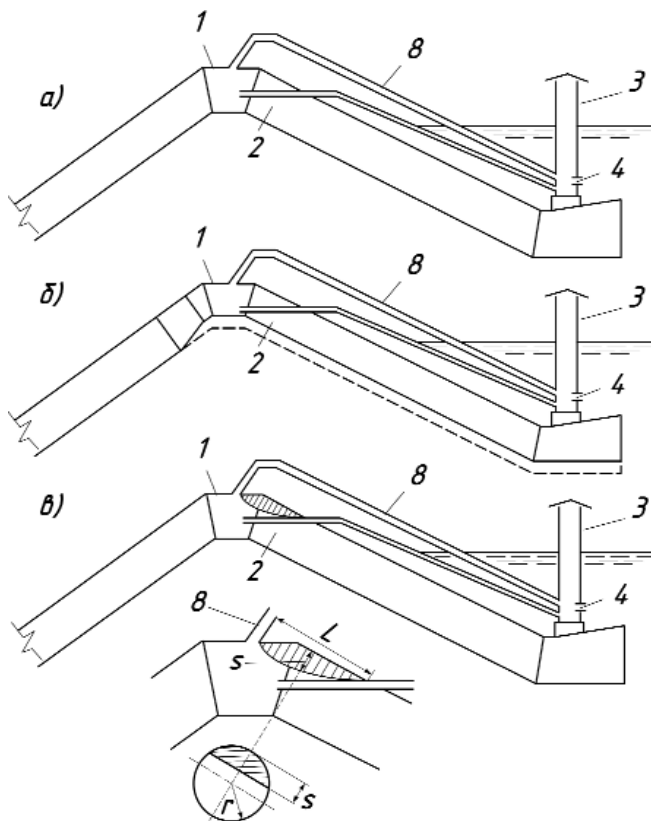


Рис. 2. Варіанти удосконалених сифонів: *а* — базовий сифон; *б* — сифон із зменшеними поперечними розмірами; *в* — сифон із конфузорно-дифузornoю вставкою.



спрямовується в нижній б'єф і зрив вакууму в сифоні не відбувається.

Траєкторія руху бульбашки залежить від її критичної швидкості [1], наростання швидкості зворотного потоку, яке залежить від інерційності потоку води у швидкісній трубці.

Надійність роботи системи сифон-КЗВ підвищується при зменшенні інерційності потоку у швидкісній трубці, шляхом роз'єднання функцій в робочому режимі та в режимах роботи насоса. Роз'єднання процесів подачі води та повітря можливе за рахунок спеціалізації роботи трубок. Трубка на гребені сифона забезпечує транспортування води, а верхня трубка – транспортування повітря (Табл. 1).

В цьому випадку верхня трубка виноситься за межі сифона (Рис. 1, в).

Розміщення аераційної трубки за межами сифона (Рис. 1, е) виключає параметр "інерційність потоку" внаслідок відсутності води у аераційній трубці.

Зниження втрат напору в гідравлічному стрибку досягається зменшенням площі поперечного перерізу сифона (Рис. 2, б).

При цьому діаметр сифона d повинен забезпечувати швидкість не меншу за критичну швидкість потоку, за якої сифон круглої форми працює повним перерізом і якій відповідає витрата [3]

$$Q = \sqrt{g} d^{2.5} (0,53 - 0,17 \alpha / 90^0), \quad (1)$$

За умови, що швидкісна трубка встановлюється на висоті критичної глибини, розраховуємо її значення при різних діаметрах сифона d .

Критична глибина визначалась через радіус труби $h_{кр} = (h/r)r$ в залежності від значення комплексу

$$K = Q / (r^2 \sqrt{r}), \quad (2)$$

При малих витратах має місце утворення гідравлічного стрибка на повороті сифона

Враховуючи те, що розміри порожнини в сифоні відносно малі і зосереджені біля гребеня сифона, доцільно не змінювати профіль сифона за рахунок зменшення його діаметра, а в зоні шелиги труби розмістити конфузorno-дифузorno вставку (Рис. 2, в) висотою $s = d - h_{кр}$. Ця вставка усуває можливість утворення гідравлічного стрибка і трансформує кінетичну енергію в потенціальну на ділянці руху: міделевий переріз – кінцева ділянка вставки.

Обмежує застосування гідравлічних КЗВ коливання рівня води, водоприймача, що перевищує 2,0 м, обумовленого недостатнім значенням

динамічної енергії в ключовому перерізі сифона.

Розширити роботу гідравлічного клапану доцільно за рахунок використання статичної енергії потоку.

В цьому випадку доцільно застосовувати КЗВ, який розміщується на висхідній гілці сифона (Рис. 3), що складається із елементів стакана 4, стояка 7 та з'єднувальної трубки 3, що має малий поперечний переріз.

В режимі "Пуск" заповнюється водою трубопровід 2, з'єднувальна трубка 3 та стояк 7. Малий переріз з'єднувальної трубки 3 обумовлює повільне заповнення водою стакана 4, що забезпечує вільне проходження повітря в атмосферу із сифона 9 через допоміжну трубку 5.

Втрати напору в трубах 8 і 5 при витисненні повітря із сифона обумовлюють підняття п'єзометричного рівня води в стакані 4 вище гребеня сифона. Тому верхню частину стакана 4 і стояка 7 розміщують вище капора сифона 9.

Робочий режим (Рис. 3, б) має місце після заповнення водою стакана 4 і допоміжної трубки 5. В цьому випадку стакан 4 і допоміжна трубка 5 утворюють гідравлічний замок. Повітря, що залишилось у сифоні, захоплюється потоком води і виноситься в басейн водовипускної споруди.

При зупинці насоса зменшується тиск у трубопроводі 2 і знижується рівень води у стояку 7, а

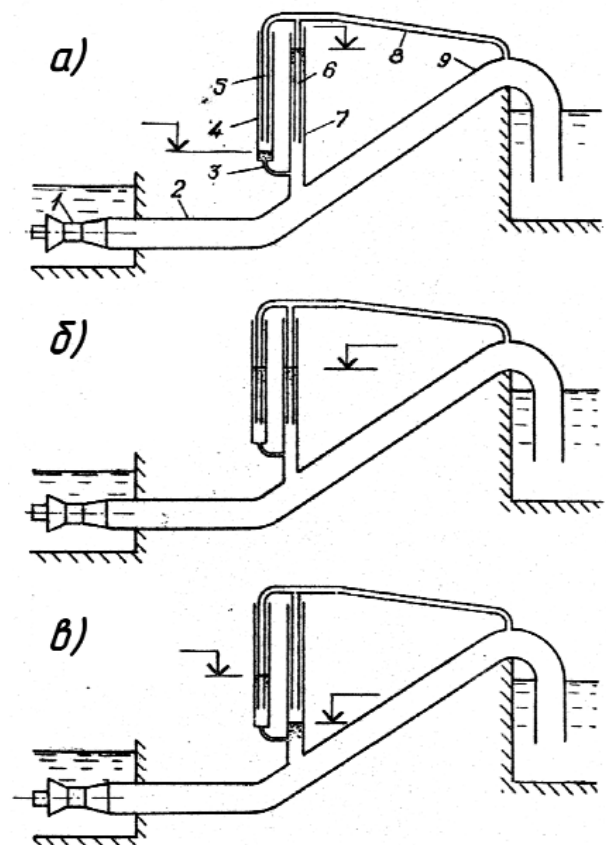


Рис. 3. Схема роботи гідравлічного клапану зриву вакууму при: а – пуску насоса; б – в робочому режимі; в – режимі зупинки.



також у стакані 4, при чому більш швидко у стояку 7. Коли рівень води стане в ньому нижче трубки 6, через неї почне засмоктуватися повітря, яке у сифоні 9 зірве вакуум. Після цього утворюється розрив суцільності потоку у сифоні і вода із трубопровода 2 повернеться в аванкамеру станції.

При низьких рівнях води у водоприймачі геодезичний напір зменшується, а режимна точка на напірній характеристиці насоса $Q-N$ може вийти за межі максимальної подачі насоса.

В цьому випадку необхідно регулювати подачу збільшенням втрат напору у низхідній гілці сифона переведенням однофазного потоку у двофазний – утворенням суміші води та повітря, яке буде надходити через перфоровану трубку пропорційно зниженню рівня води водоприймача.

Перфорована трубка влаштовується, як новий елемент до трубки 8 (Рис. 1, в) паралельно стояку 3.

Роботу насосних станцій з осьовими насосами, обладнаних сифонними водовипусками, рекомендується підвищувати, як за рахунок раціонального розміщення елементів клапану зриву вакууму, що використовують динамічний напір потоку в сифоні, статичного напору за насосом, а

також за рахунок зменшення поперечних розмірів сифона.

Крім того, розміщення конфузорно-дифузорної вставки на повороті сифона, підвищує роботоздатність КЗВ при малих додаткових втратах напору, що витрачається на обтікання її поверхні, при цьому не утворюється гідравлічний стрибок у зоні сифона і не збільшуються втрати напору в ньому.

Перфорована аераційна трубка, що з'єднає сифон із відповідним каналом, обмежує максимальну подачу насоса його робочою зоною.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Гурин В.А., Євресенко Ю.П.* Гідродинамічні машини та насосні станції: конструкції, експлуатація, надійність. Словник-довідник. – Рівне: НУВГП, 2008. – 186 с.

2. *Євресенко Ю.П.* Критическая скорость потока в нисходящей ветви сифона. – "Гидромелиорация и гидротехническое строительство", вып. 7. Респ. межвед. науч.-техн. сборник. Львов, издательское объединение "Вища школа", 1975, с. 51–56.

3. *Проектирование* насосных станций и испытание насосных установок/ В.В. Рычагов, В.Ф. Чебаевский, К.П. Вишневецкий, А.А. Третьяков и др., Под ред. В.Ф. Чебаевского – 3-е изд., переработ, и доп. – М.: Колос, 1982. – 320 с.

© Євресенко Ю.П., 2014

