

В.Р. Кулінченко, доктор техн. наук,
О.М. Деменнюк і О.П. Ломейко, канд. техн. наук
V.R. Kulintchenko, doctor of tech. sciences,
O.M. Demeniuk and O.P. Lomeiko, cand. of tech. sciences

Конструювання насосних установок з застосуванням ежекційних насосів.

9. Шляхи забезпечення самовсмоктування відцентровими насосами

Constructing of pumpings options is with the use of ezheksiynikh of pumps.

9. Ways of providing of suction chempumps

Розглядаються різні варіанти типових схем сумісної роботи відцентрових і ежекційних насосів, які дозволяють поліпшити технологічні показники як відцентрових так і струминних насосів.

Ключові слова: самовсмоктування, осушення, вакуумний бак, циркуляція, водовідведення, водозниження, ежектор

The different variants of typical charts of compatible work of centrifugal and ejector pumps which allow to improve technological indexes as so stream chempumps are examined.

Keywords: independens absorption, drainage, vacuum tank, circulation, overflow-pipe, flood-gate, ejector

Методи забезпечення самовсмоктування і збільшення висоти всмоктування відцентрових насосів. Самовсмоктувальні насоси і установки необхідні в багатьох галузях господарської діяльності. Велику необхідність у таких насосах вимагає будівельна індустрія, морський і річковий флот. Більшість будівельних і монтажних робіт при облаштуванні основ і фундаментів, підземних і гідротехнічних споруд, при прокладанні і ремонті інженерних споруд і мереж вимагає зниження рівня ґрунтових вод. При цьому кінцевий результат, якість і інтенсивність основних робіт залежить від досконалості і надійності водовідливних засобів. У більшості випадків водозниження в ґрунтах забезпечується тим, що внаслідок безперервного підтримування у розгалуженій мережі спеціальних водопонижуючих свердловин (голчатих фільтрів), які занурюються в ґрунт, порівнянно високого вакууму (7...8 м вод. ст.). Установки, які забезпечують підтримання вакууму, працюють у складних умовах, тому що разом з відкачуваною водою з ґрунту, який підлягає осушуванню, одночасно всмоктується і повітря в кількості, яка інколи перевищує за об'ємом витратам води. Працездатність водовідливних установок у значній мірі залежить від ефективності видалення повітря.

Подібне положення виникає і на судах. Відмінною особливістю насосів, призначених для щоденного осушування трюмів і відкачуванні баласту з бокових і міждонних цистерн суден, викликає необхідність установки самовсмоктувальних пристроїв, тому що рівень відкачуваної рідини розташований нижче осі насоса.

Умови роботи осушувальних насосів дуже складні. Експлуатаційна висота всмоктування у більшості випадків перевищує 7 м, а наявність роз'ємних з'єднань і арматури на всмоктувальній магістралі призводить внаслідок підсмоктування повітря до того, що насос повинен перекачувати водоповітряну суміш з газовмістом до 25%.

Установка самовсмоктувальних насосів на водопроводах і каналізаційних насосних станціях суттєво скорочують їх вартість і спрощує роботи по спорудженні підземної (заглибленої) частини насосної станції.

Але відомо, що найбільш ефективні відцентрові насоси не мають самовсмоктувальних властивостей і дуже чутливі до наявності газів у рідині, яка перекачується. За даними [1, 2] вміст повітря у рідині, яка перекачується, у кількості 5...7% може призвести до зриву роботи насосів і суттєво зменшує ККД. Самовсмоктувальні рециркуляційні відцентрові насоси [3] насоси, які часто використовуються, мають значні габарити, масу і більш низький ККД, ніж звичайні відцентрові насоси. Крім цього, вони мають низьке самовсмоктування і не спроможні до самовсмоктування навіть при невеликих нещільностях на всмоктувальному трубопроводі. Робота цих насосів на забруднених рідинах призводить до швидкого

збільшення торцевих зазорів між корпусом і відкритим робочим колесом, що ще більше зменшує їх самовсмоктування і ККД.

Для умов суден часто віддають перевагу самовсмоктуючим поршневым чи іншим типам об'ємних насосів. Однак поршневі насоси мають більш низьку, ніж відцентрові, допустиму висоту всмоктування, а при перекачуванні забруднених рідин вимагають постійної чистки всмоктувальних і нагнітальних клапанів, а також заміни поршневих кілець.

Властивістю самовсмоктування і можливістю роботи на газорідних сумішах володіють багато типів вихрових насосів. Але вони у більшості випадків мають низький ККД (30...35%), малу подачу і не можуть працювати на рідинах, які містять абразивні домішки.

Зараз приймаються спроби створення комбінованих самовсмоктуючих установок з відцентровими самовсмоктуючими насосами і іншими пристроями, які володіють властивістю самовсмоктування. Одною зі схем, яка отримала значне розповсюдження на практиці, є установка з вакуумним баком на всмоктувальному трубопроводі відцентрового насоса.

У таких установках поруч з відцентровим насосом, який установлено вище рівня рідини у приймальній посудині, монтується вакуумний бак, до якого відцентровий насос приєднується всмоктувальним патрубком до нижньої частини бака. Всмоктувальний трубопровід установки приєднується до верхньої частини вакуумного бака. До першого пуску вакуумний бак заповнюється рідиною. При ввімкненні відцентрового насоса він починає відкачувати рідину з бака. При зменшенні рівня рідини у баку створюється вакуум, достатній для підйому рідини всмоктувальним трубопроводом. Для забезпечення повторних пусків і пуску установки після випадкових зривів вакууму передбачаються різні заходи по видаленню повітря з вакуумних баків.

Наявність вакуумного бака призводить до збільшення габаритних розмірів і маси установки, а необхідність видалення повітря з баків ускладнює її будову і експлуатацію. Не дивлячись на це установки з вакуумними баками отримали застосування для водовідливу і водозниження як у нас, так і поза межами країни [4]. Крім цього, вони застосовуються на каналізаційних насосних станціях, суттєво спрощуючи умови виконання робіт по їх будівництву, особливо у мокрих ґрунтах.

Одна з різновидностей установок з вакуумним баком є пристрій з піднятим вгору всмоктувальним трубопроводом, який забезпечує самовсмоктування насосів [5]. При достатній довжині всмоктувальний трубопровід може виконувати роль розподільчого вакуумного бака, якщо прокласти частину всмоктувальної труби з уклоном до насоса, а кінцеву частину занурити у приймальну посудину таким чином, щоб утворилося коліно.

Залишок рідини у всмоктувальному трубопроводі, після відімкнення насоса, заповнює за рахунок уклону трубопроводу насос. Це дозволяє при наступному пуску забезпечити самовсмоктування. Повітря з коліна всмоктувального трубопроводу видаляється під час роботи насоса за допомогою ежектора, який підключено робочим соплом до напірного трубопроводу насоса, а всмоктувальним патрубком – до верхньої частини коліна всмоктувального трубопроводу. Газорідна суміш з ежектора скидається до приймального посуду насосної станції.

Одним з найбільш ефективних заходів, який забезпечує самовсмоктування насоса, є створення циркуляційних установок з лопатевими і гідроструминними насосами. Такі установки знайшли широке використання при водовідведенні і водозниженні на будівництві [4]. Конструкції і розрахунок циркуляційних установок з лопатевими і гідроструминними насосами розглянуто нижче.

Крім питань забезпечення самовсмоктування відцентрових насосів у багатьох випадках виникають проблеми з підвищенням допустимої вакуумметричної висоти всмоктування лопатевих насосів. Ця проблема найбільш актуальна для насосів, які працюють з гарячими і легко киплячими рідинами, коли небезпека виникнення кавітації особливо велика (живильні і конденсатні насоси енергоустановок). Одним з методів підвищення допустимої висоти всмоктування є застосування бустерних гідроструминних насосів.

Циркуляційні самовсмоктувальні установки для вакуумного водовідведення і водозниження. Рівень води можна зменшити шляхом водовідведення з резервуарів, котловин і інших джерел, які мають відкриту в атмосферу вільну поверхню рідини, ми

шляхом вакуумування ґрунтів за допомогою спеціальних трубчастих фільтрувальних елементів (голчастих фільтрів), занурених у ґрунт [4, 6, 7].

При вакуумному водозниженні застосовують два види голчастих фільтрів. У першому з них голчастий фільтр представляє собою фільтрувальну трубу, приєднану до колектора вакуумної водовідвідної установки, яка розташована на поверхні землі. Такі голчасті фільтри дозволяють зменшити рівень води у ґрунті на глибину 7...8 м, що визначається вакуумом, створюваним водознижуючою установкою. При необхідності водозниження на більшу глибину застосовують голчасті фільтри з вбудованим в них гідроструминним апаратом. Такі голчасті фільтри отримали назву ежекторних. Ежекторні голчасті фільтри мають дві приєднувальні труби. До першої з них підводиться робоча вода, яка подається до активного сопла гідроструминного насоса. За допомогою другої труби відводиться змішаний потік після гідроструминного апарата (робоча вода і вода, що відкачується з ґрунту).

Як вакуумні водовідвідні і водознижуючі установки в останні роки широке застосування набули циркуляційні установки з відцентровими і гідроструминними насосами. У таких установках відцентровий насос, відбираючи воду з циркуляційного бака, спрямовує її в сопло гідроструминного апарата, який створює необхідний вакуум і відсмоктує воду з об'єкта осушування. При цьому для водовідведення, зазвичай, використовують установки, у яких вода відкачується одним струминним апаратом. Останній у випадку необхідності транспортує і повітря, яке проникає до всмоктувального колектора чи виділяється з води.

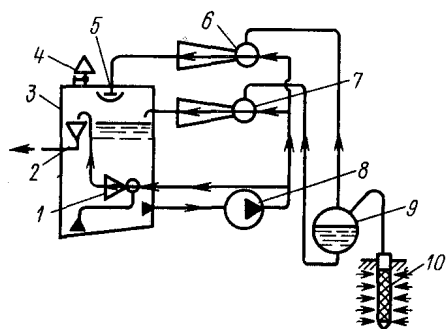
У багатьох випадках водознижувальні установки мають два чи декілька струминних апаратів для незалежного відкачування води і повітря у зв'язку з тим, що вміст повітря у відкачуваній з ґрунту суміші може перевищувати за об'ємом кількість відкачуваної води.

В установках з ежекторними голчастими фільтрами вбудований гідроструминний апарат призначений для сумісного відкачування повітря і води.

Установки водовідведення і водозниження можуть працювати чи тільки на всмоктування (вода зливається після відкачування самопливом), чи як на всмоктування, так і на нагнітання. Необхідність в останньому випадку виникає, якщо відкачувану воду для скидання необхідно підняти на певну висоту (у глибоких котлованах, шахтах та ін.).

Особливістю робочих режимів вакуумних водовідвідних і водознижуючих установок є необхідність створення і підтримування під час роботи значного розрідження (абсолютний тиск до 0,1...0,2 МПа). Така вимога необхідна при відкритому водовідведенні, а також при водозниженні з голчастими фільтрами, що обумовлено як високим розташуванням водовідвідних установок відносно рівня води в котлованах, так і намаганням інтенсифікувати процес водозниження у дрібнозернистих ґрунтах за рахунок створення великого перепаду тиску на фільтрувальній поверхні голчастих фільтрів, занурених у ґрунт. Розглянемо основні схеми вакуумних водовідвідних циркуляційних установок з гідроструминними апаратами і відцентровими насосами.

Вакуумна установка, працююча на всмоктування. На рис.1 наведена принципова схема вакуумної установки, яка працює на всмоктування. Відцентровий насос 8 забирає воду з циркуляційного бака 3 і подає її в робочі сопла трьох гідроструминних насосів – 6, 7 і 1. Струминний апарат 6 є водоповітряний ежектор призначений для відкачування повітря із збірного колектора 9, до якого приєднані голчастий фільтр 10, занурений у ґрунт. Водоструминний насос 7 відкачує воду, яка збирається в нижній частині колектора 9.



Водоповітряна суміш після водоповітряного апарата 6 подається в бак 3. На виході змішувального трубопроводу апарата 6 у баку 3 установлений сепаратор 5 для інтенсивного розділення повітря і води. Відокремлене від води повітря виходить в атмосферу через вентуз 4.

Рис.1. Схема вакуумної циркуляційної установки, працюючої на всмоктування, з подачею корисних витрат рідини з циркуляційного бака

Водоповітряна суміш після водоповітряного апарата 6 подається в бак 3. На виході змішувального трубопроводу апарата 6 у баку 3 установлений сепаратор 5 для інтенсивного розділення повітря і води. Відокремлене від води повітря виходить в атмосферу через вентуз 4.

Гідроструминний ежектор 1 призначений для відкачування частинок ґрунту, які можуть осідати на дно бака 3. Ґрунт викидається до переливного трубопроводу 2. При підвищенні рівня води у баку 3 вона починає виливатися через трубу 2. У тих випадках, коли

установка працює на водовідведення з відкритих котлованів чи якщо вміст газів у відкачуваній з ґрунту воді незначний, обидва струминних апарата 6 і 7 будуть відкачувати воду. І навпаки, при великому надходженні повітря струминні апарати будуть працювати на його відсмоктування. Підтримування рівня рідини у циркуляційному баку забезпечується за рахунок переливної лінії 2. При необхідності вода після установки може бути піднята на невелику висоту. Для цього необхідно відключити засувкою вантаж 4. У баку 3 при цьому виникне підпір, і вода по трубопроводу 2 може подаватися під тиском.

Розглянемо основи розрахунку установки (рис.1) і її робочі характеристики. На початку виконаємо аналіз показників установки під час роботи її тільки на воді.

Вважаємо, що гідроструминний і відцентровий насоси установлені на одній геодезичній відмітці, тоді можна прийняти $H_2 = 0$. Підпір у баку приймаємо $H_1 = 2$ м. Такий підпір компенсує втрати напору при витіканні рідини у бак. Величина p_c становитиме 0,12 МПа. Тому що напір на всмоктуванні гідроструминного насоса H_n вимірюється від осі насоса, то при розміщенні рівня всмоктувальної рідини нижче осі гідроструминного насоса величина H_n повинна стати від'ємною (вакуум). Тому вакуум на всмоктуванні гідроструминного насоса будемо характеризувати додатною величиною – висотою всмоктування $H_{вс}$, яка відраховується від осі насоса вниз до рівня рідини. До величини $H_{вс}$ включаємо і втрати напору у всмоктувальному трубопроводі. У даному випадку величину $H_{вс}$ прийемо такою, що змінюється від 1 до 9 м. Тоді абсолютний тиск на всмоктуванні гідроструминного насоса p_n буде змінюватися від 0,09 МПа ($H_{вс} = 1$ м) до 0,01 МПа ($H_{вс} = 9$ м). Для зменшення обсягу розрахунків, виконуємо розрахунки за середньою у названому діапазоні висотою всмоктування $H_{вс} = 5$ м ($p_n = 0,05$ МПа). Тиск циркуляційного насоса $p_{нас}$ приймаємо таким, що змінюється від 0,1 до 0,5 МПа.

Визначимо відносну корисну подачу установки $Q_{кор} / Q_{нас}$ і геометричний параметр гідроструминного насоса d_z / d_c , які відповідають оптимальному режиму, а також гідравлічний ККД установки η_z . Результати розрахунків зводимо у табл.1.

Таблиця 1. **Параметри вакуумної установки, працюючої на всмоктування в оптимальному режимі**

Тиск насоса $p_{нас},$ МПа	$\frac{p_c - p_n}{p_{нас}}$	$\frac{Q_{кор}}{Q_{нас}}$	$\frac{d_z}{d_c}$	η_z
0,1	0,70	0,35	1,40	0,22
0,2	0,35	0,82	1,80	0,29
0,3	0,23	1,16	2,10	0,28
0,4	0,18	1,55	2,40	0,28
0,5	0,14	1,85	2,60	0,27

Аналізуючи дані табл. 1 можна бачити, що зі збільшенням тиску циркуляційного насоса від 0,1 до 0,5 МПа відносна корисна подача установки збільшується від 0,35 до 1,85 при $H_{вс} = 5$ м і загальній висоті підйому 7 м. Зі збільшенням тиску циркуляційного насоса основний геометричний параметр гідроструминного насоса збільшується від 1,4 до 2,6. У діапазоні зміни $p_{нас}$ від 0,2 до 0,5 МПа гідравлічний ККД установки залишається практично незмінним і близьким до максимального ККД гідроструминних насосів.

Визначимо, як скажеться на відносній подачі установки (рис.1) збільшення тиску (підпору) у циркуляційному баку, якщо воду після бака необхідно підняти на 10 м ($H_1 = 10$ м). Приймаємо тиск насоса $p_{нас} = 0,3$ МПа. За цих умов $(p_c - p_n) / p_{нас} = 0,5$. При визначеному відношенні $(p_c - p_n) / p_{нас}$ знаходимо, що відносна корисна подача $Q_{кор} / Q_{нас} = 0,55$. Таким чином, корисна подача установки при підпорі в баку 10 м зменшилася у порівнянні з випадком, коли підпір складав 2 м, у 2,1 рази.

Відмітимо, що при відносному корисному напорі $(p_c - p_n) / p_{нас} = 1$ відносна корисна подача установки $Q_{кор} / Q_{нас}$ становитиме всього 0,2. При цьому гідравлічний ККД установки зменшується до 0,18. Взагалі установка (рис.6.1), може створювати корисний тиск у баку і більший тиску насоса: $(p_c - p_n) / p_{нас} > 1$. Це обумовлено тим, що підпір у баку складається з підпору біля робочого сопла гідроструминного насоса з тиском відцентрового насоса. Граничне значення $(p_c - p_n) / p_{нас}$ при показниках гідроструминних насосів, розраховується

за методикою [8], становить 2,2. Але у цьому випадку відносна корисна подача $Q_{кор} / Q_{нас}$ буде становити біля 0,01 і $\eta_z \approx 0,01$.

Виконаємо тепер аналіз роботи установки (рис.1) при зміні висоти всмоктування $H_{вс}$ від 1 до 9 м. Для цього, використовуючи значення оптимальних геометричних параметрів d_z / d_c , наведених у табл. 1, розрахуємо відношення $Q_{кор} / Q_{нас}$ у названому діапазоні зміни висоти всмоктування $H_{вс}$.

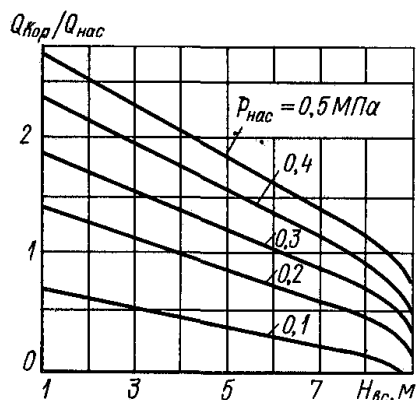
Для розрахунку використаємо нормальні і кавітаційні характеристики гідроструминних насосів. Послідовність розрахунків при побудові характеристик $Q_{кор} / Q_{нас} - H_{вс}$ зводиться до наступного. Задаючись значеннями $p_{нас}$, p_c і p_n , визначаємо відношення тисків $\Delta p_c / \Delta p_p$ і p_p / p_n . При значеннях d_z / d_c , наведених у табл. 1, знаходимо коефіцієнт підсмоктування u і кавітаційний коефіцієнт підсмоктування u_k , які відповідають знайденим значенням $\Delta p_c / \Delta p_p$ і p_p / p_n .

Якщо $u_k > u$, то кавітації у насосі не виникає і за коефіцієнт підсмоктування приймається величина u . У протилежному випадку ($u_k < u$) розрахунковий режим за нормальними характеристиками не може бути реалізованим з причини виникнення кавітації і за коефіцієнт підсмоктування водоструминного насоса у цьому випадку необхідно приймати значення u_k , яке знаходиться за окремими (кавітаційними) характеристиками гідроструминного насоса. Послідовність розрахунку при значенні надлишкового тиску насоса $p_{нас} = 0,4$ МПа наведена в табл. 2. Розглядаючи цю таблицю можна бачити, що у даному випадку кавітація виникає при збільшенні висоти всмоктування до 8 м. При цьому розрахункове значення коефіцієнта підсмоктування становить $u = 1,05$, а з умови виникнення кавітації може бути реалізованим тільки коефіцієнт підсмоктування $u_k = 0,95$.

Таблиця 2. **Нормальні і окремі кавітаційні характеристики установки (рис.6.1)**

всмоктування $H_{вс}$, м	$\frac{\Delta p_c}{\Delta p_p}$	u	p_p/p_n	u_k
1	0,07	2,40	5,75	2,45
2	0,09	2,10	6,50	2,15
3	0,11	1,95	7,40	1,95
4	0,13	1,75	8,60	1,80
5	0,15	1,55	10,40	1,60
6	0,17	1,35	13,00	1,45
7	0,18	1,20	17,30	1,25
8	0,20	1,05	26,00	0,95
9	0,22	0,80	52,00	0,65

Аналогічні розрахунки проведені при $p_{нас} = 0,5$ МПа показують, що гідроструминний насос у цьому випадку у всьому діапазоні зміни $H_{вс}$ (від 1 до 9 м) працює у кавітаційному режимі ($u_k < u$). Для запобігання кавітації можна збільшити геометричний параметр d_z / d_c до 3,0...3,2. Але тоді зі зростанням корисної подачі при невеликих значеннях $H_{вс}$ (до 5...6 м) цей



насос матиме більш круту робочу характеристику і при $H_{вс} = 7$ м його відносна корисна подача становитиме тільки 0,1, а при $H_{вс} = 9$ м дорівнюватиме нулю. Тому якщо необхідно збільшити корисну подачу за рахунок збільшення тиску насоса до 0,5 МПа, то приходится миритися з тим, що в області $H_{вс} = 7...9$ м гідроструминний насос працюватиме у кавітаційному режимі.

Рис.2. Залежність відносної подачі води $Q_{кор} / Q_{нас}$ від висоти всмоктування $H_{вс}$ і створюваного відцентровим насосом тиску $p_{нас}$

На рис.2 наведені характеристики $Q_{кор} / Q_{нас} - H_{вс}$ при різних значеннях тиску створюваного відцентровим насосом $p_{нас}$. Відношення d_z / d_c , які відповідають кожній кривій на цьому рисунку, наведені у табл. 1, а хід розрахунку для побудови характеристик ясно показує табл. 2.

Аналогічним шляхом можна побудувати робочі характеристики водоповітряних ежекторів, які використовуються для відкачування повітря. Для їх побудови необхідно використати характеристики ежекторів.

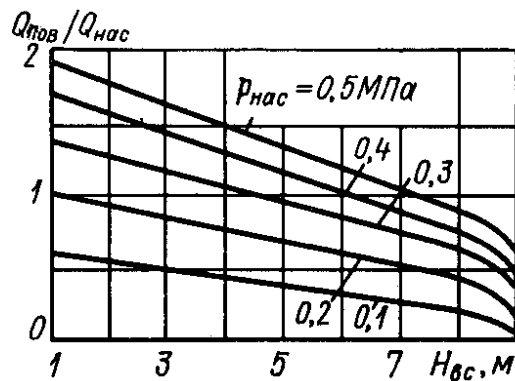


Рис.3. Залежність відносної подачі повітря $Q_{пов} / Q_{нас}$ від висоти всмоктування $H_{вс}$ і створюваного відцентровим насосом тиску $p_{нас}$

На рис.3 наведені характеристики водоповітряних ежекторів 7 (для відкачування повітря з колектора 9) за умови роботи по схемі на рис.1, тобто таких, які працюють від того ж насоса, що і водоструминні насоси 6, при тих же значеннях p_c і p_n .

Оптимальні значення відношення d_z / d_c для ежекторів відрізняються від отриманих раніше значень (див. табл. 1) для водоструминних насосів. В окремих випадках, для кривих на рис.3, які відповідають значенням $p_{нас} = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$ МПа, ці відношення становлять відповідно 0,5; 2,0; 2,2; 2,5 і 2,7. Але якщо обидва струминні апарата 6 і 7 (див. рис.1) можуть використовуватися для перекачування як води, так і повітря, то їх можна уніфікувати і прийняти значення d_z / d_c , які відповідають умовам оптимальної роботи водоструминних насосів.

Слід сказати, що у розглядуваній установці можна застосовувати водоповітряні подовженні ежектори. Хоч вони мають значно більшу довжину, ніж звичайні ежектори, але збільшення подачі повітря у два і більше рази, особливо в області значних висот всмоктування, роблять їм певні переваги. Крім цього, подовженні ежектори мають просту конструкцію (труба-сопло). З метою зменшення довжини апаратів можна рекомендувати замість одного великого апарата ставити паралельно декілька ежекторів менших розмірів.

Підсумовуючи результати аналізу установки наведеної на рис.1, можна зробити наступні **висновки**.

- Таку установку доцільно використовувати в умовах роботи на всмоктування, коли відкачувана рідина після неї може відводитися самотіком.
- При розрахунковій висоті всмоктування 7...8 м установка забезпечує відносну корисну подачу $Q_{кор} / Q_{нас} = 0,1...1,2$ при зміні тиску циркуляційного насоса від 0,1 до 0,5 МПа. Збільшення тиску насоса понад 0,5 МПа недоцільне з причини виникнення кавітації у гідроструминному насосі.
- За тих же умов водоповітряні ежектори звичайної конструкції [8] забезпечують корисну відносну об'ємну подачу, приведену до тиску на всмоктуванні ежектора $Q_{пов} / Q_{нас} = 0,2...0,8$.
- Оптимальний геометричний параметр струминного насоса при зміні тиску циркуляційного насоса $p_{нас}$ від 0,1 до 0,5 МПа змінюється у невеликих межах: від 1,4 до 2,6.
- У випадку необхідності подавати рідину після установки на задану висоту, збільшується протитиск у циркуляційному баку, внаслідок чого стрімко зменшується корисна подача установки і погіршується створюване розрідження.

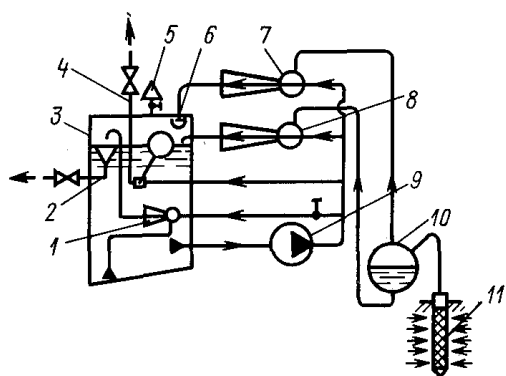


Рис. 4. Схема вакуумної циркуляційної установки, яка працює на всмоктування і нагнітання

Відмітимо, що за схемою, наведеною на рис.1, працює більшість водовідвідних і водознижувальних установок, які розроблено у Харківському національному інженерно-

будівельному університеті [6]. При цьому малий ККД установок окупається на практиці високою надійністю і простотою їх обслуговування.

Вакуумна установка, працююча як на всмоктування, так і на нагнітання. У тих випадках, коли необхідно забезпечити роботу установки як на всмоктування, так і на нагнітання відкачуваної рідини, можна використати установку, принципова схема якої наведена на рис.4 [9].

Установка (рис.4) містить циркуляційний бак 3, до якого знизу приєднаний відцентровий насос 9. До напірного патрубку насоса 9 приєднані, так само як і в установці за схемою рис.1, три струминних апарата (1, 8 і 7). Струминний апарат 1 є грязьовим ежектором, а апарати 8 і 7 – відповідно водоструминним насосом і водоповітряним ежектором. Ці апарати приєднані всмоктувальними патрубками до нижньої і верхньої частини водозбірної колектора 10, який збирає воду і повітря з голчастих фільтрів 11. До напірного патрубку циркуляційного відцентрового насоса 9 приєднаний напірний трубопровід установки 4 з поплавковим регулятором витрат, розташованому у циркуляційному баку 3. Крім цього, бак 3 містить змонтований на ньому вантуз 5 і переливний трубопровід 2, до воронки якого приєднаний зливний трубопровід грязьового ежектора 1. На кінці напірного трубопроводу 4 і на переливному трубопроводі 2 установлені засувки. Вантуз 5 може бути відключеним за допомогою вентиля. На кінці зливного трубопроводу водоповітряного ежектора 7 в баку 3 змонтований сепаратор 6. Установка працює наступним чином. Циркуляційний бак 3 перед запуском заповнюється водою. При ввімкненні циркуляційного насоса 9, знаходиться під заливом з баку 3, вода подається під тиском насоса в сопла струминних апаратів 1, 8, 7 і, якщо дозволяє рівень рідини у баку 3, через трубопровід з регулятором витрат 4 йде на скид.

Тому що при ввімкненні установки всмоктувальні трубопроводи струминних апаратів 7 і 8 і колектор 10 голчастих фільтрів 11 не заповнений водою, то за рахунок скидання води у напірний трубопровід 4 рівень рідини у баку 3 починає зменшуватися. При цьому регулятор витрат повинен закритися і припинить скидання води з системи. На протязі часу, необхідного для заповнення всмоктувального колектора 10 водою з осушувального масиву, в бак 3 починає надходити вода. При збільшенні рівня в баку 3 регулятор витрат відкривається, чим забезпечується видалення води, яка подається гідроструминними апаратами. На час самовсмоктування грязьовий ежектор 1 може відключатися вентилям на напірному трубопроводі. Під час роботи засувки на переливній лінії 2 і вентиль на вантузі 5 відкриті.

Якщо напір у мережі, куди надходить вода трубою 4, менший напору, створюваного насосом 9, то скидання води з установки може перевищувати її надходження з осушувального масиву. Рівень рідини у баку 3 починає падати. Регулятор витрат при цьому закривається на стільки, що своїм гідравлічним опором компенсують різницю напорів в мережі і напору відцентрового насоса 9. Завдяки цьому установка (див. рис.4) може працювати автоматично при зміні напору в мережі від значення, що відповідає атмосферному тиску, до значення створюваного насосом. Подібним чином буде відбуватися регулювання скидання, якщо у циркуляційний бак надходить велика кількість повітря. Найбільш економний режим роботи установки відповідає випадку, коли напір у зовнішній мережі, до якої приєднаний трубопровід 4, дорівнює розрахунковому напору насоса 9.

У розглядуваній установці створені найбільш сприятливі умови для роботи як відцентрового насоса 9, так і струминних апаратів 7 і 8. Тому що циркуляційний бак 3 постійно сполучений з атмосферою, то протитиск на виході зі струминного апарата під час роботи підтримується рівним атмосферному при любых корисних напорах, створюваних установкою у трубопроводі 4. Відкачування (всмоктування) води і повітря виконується струминними апаратами, які менш чутливі до кавітації і наявності в рідині нерозчинних газів, ніж відцентрові насоси. Нагнітання відкачуваної води виконується відцентровим насосом, ККД якого значно більший, ніж гідроструминного апарата.

Для зменшення габаритних розмірів і маси установки у якості циркуляційних насосів можна використати високошвидкісні відцентрові насоси з малою допустимою висотою всмоктування, тому що вони будуть постійно працювати з підпором на всмоктуванні.

Розподіл функцій відцентрового насоса (робота на нагнітання) і водоструминних апаратів (робота на всмоктування) дозволяє збільшити гідравлічний ККД η_r установок у порівнянні зі схемами, де струминні апарати працюють як на всмоктування, так і на нагнітання (див. рис.1). Це стає особливо помітним при відносно великих напорах установки, коли частка роботи, яка виконується водоструминним насосом з низьким ККД, пропорційна висоті всмоктування, мала у порівнянні з роботою, що виконується відцентровим насосом, працюючим на нагнітання зі значно вищим ККД, ніж це міг би виконати гідроструминний насос, підіймаючи рідину на ту ж висоту. Розглядувана схема (рис.4) знайшла свою реалізацію в установках УВВ-3-6КМ і УВВ-3-ГНОМ [4].

Також у схемі на рис.5.5,в, відносна корисна подача установки дорівнює $Q_{кор} / Q_{нас} = u / (1 - u)$ (без урахування роботи водо повітряного і грязьового ежекторів). Корисний напір установки буде орієнтовно дорівнювати напору відцентрового насоса, якщо опір зовнішньої мережі такий, що регулятор витрат знаходиться у відкритому стані. Невелике збільшення корисного напору установки буде спостерігатися за того, що у баку 3 виникає підпір, який необхідний для скидання повітря через вантуз, та ін. Цей підпір можна прийняти рівним 0,005 МПа [10].

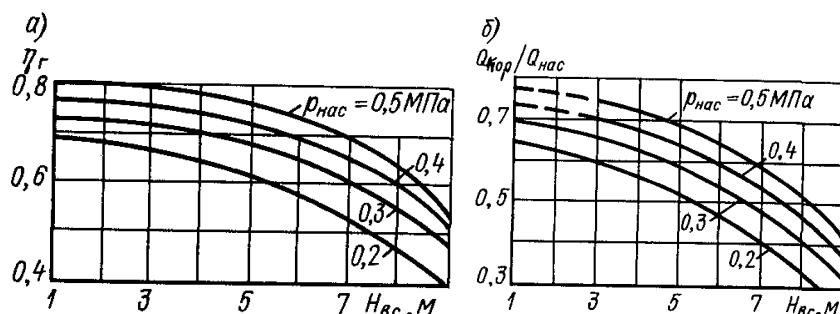


Рис.5. Залежність гідравлічного ККД (а) і відносних корисних витрат (б) від висоти всмоктування $H_{вс}$ і створюваного циркуляційним насосом тиску $p_{нас}$ для вакуумної установки, яка працює на всмоктування і нагнітання

На рис.5 наведені розраховані шляхом залежності гідравлічного ККД установки і відносних корисних витрат (подачі) установки від висоти всмоктування при тиску циркуляційного насоса 9 (див. рис.4), рівному 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 МПа. Аналіз цих графіків показує, що відносна корисна подача $Q_{кор} / Q_{нас}$ у діапазоні зміни створюваного насосом тиску від 0,2 до 0,5 МПа при $H_{вс} = 7...8$ м становить 0,35...0,55, тобто приблизно у двічі менше, ніж для установок (рис.1), що працюють тільки на всмоктування. Але за рахунок того, що у даному випадку крім всмоктування відбувається і нагнітання рідини до зовнішньої мережі, гідравлічний ККД установки при тих же значеннях висоти всмоктування збільшується до 0,5...0,65, тобто приблизно у двічі у порівнянні з установкою за схемою наведеною на рис.1.

Відмітимо, що при роботі на вільний злив з бака (без протитиску) корисна подача установки за рис.1 в $(1 + u)$ раз більша, ніж установки за рис.4. Але остання (рис.4) при цьому подає корисні витрати на висоту, яка дорівнює напору циркуляційного насоса. У той же час установка за рис.1 працює на вільний злив. Тому у випадку необхідності подавати відкачувану воду на певну висоту необхідні додаткові витрати енергії.

Таким чином, оптимальна область застосування установки (рис.1) є робота на всмоктування, тобто при вільному зливів води з циркуляційного бака, коли установка забезпечує максимальну подачу, хоч її гідравлічний ККД залишається низьким і не перевищує 0,3. При необхідності підйому відкачуваної рідини на певну висоту вигідніше застосовувати установку за схемою рис.4, яка легко перетворюється в установку за схемою рис.1. Для цього необхідно тільки закрити засувку на трубопроводі 4.

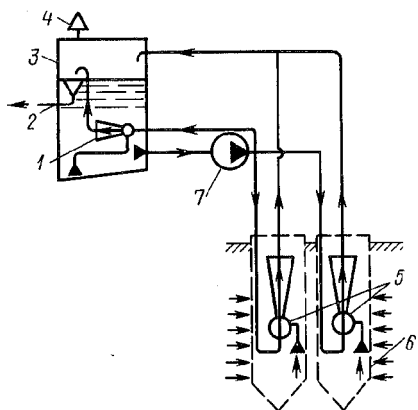


Рис.6. Схема циркуляційної установки для водозниження з вбудованими у голчасті фільтри гідроструминними апаратами: 1 – грязьовий ежектор; 2 – переливна лінія; 3 – циркуляційний бак;

Установка для водозниження при великих глибинах. Установка, схема якої наведена на рис.6, застосовується тоді, коли глибина зниження рівня води відносно поверхні землі перевищує 8...9 м. У цьому випадку у ґрунт занурюються голчасті фільтри з вбудованими у них гідроструминними апаратами. Циркуляційний насос 7 подає воду в робоче сопло струминних насосів ежекторних голчастих фільтрів, сполучених між собою паралельно. Відсмоктувальна вода разом з робочою надходить до циркуляційного бака 3, звідки скидається переливною трубою 2.

Усі висновки, зроблені у цьому параграфі стосовно установок наведених на рис.1 і рис.6. Але у зв'язку з тим, що тиск робочої води в установці на рис.6 збільшується зі збільшенням глибини, то при необхідності створення в голчастих фільтрах більшого розрідження з ростом відношення p_p/p_n збільшується небезпека виникнення кавітації.

Наприклад, при $p_{нас} = 0,4$ МПа і $H_2 = 15$ м абсолютний робочий тиск у цій установці $p_p = 0,65$ МПа. При висоті всмоктування в голчастому фільтрі $H_{вс} = 8$ м величина p_n становитиме 0,2 МПа, а відношення p_p/p_n буде дорівнювати 32,5. У той же час в установці за рис.6.1 ця величина становить при тому ж значенні $p_{нас}$ тільки 25. Тому в струминному насосі з параметром $d_d/d_c = 2,4$ коефіцієнт підсмоктування, за якого виникає кавітація, становить в установці за рис.1 $u_n = 1,0$; у той же час в установці за рис.6 кавітація виникає вже при досягненні коефіцієнтом підсмоктування значення $u_n = 0,85$.

Таким чином, ефективність установок, виконаних за схемою рис.6 при великих значеннях вакууму в голчастих фільтрах буде меншою, ніж в установках виконаних за схемою рис.1.

Література

1. Степанов А.И. Центробежные и осевые насосы. Теория, конструирование и применение. М.: Машгиз, 1960.– 464 с.
2. Суслов М.П. Автоматический подсос и его влияние на работу насосной станции// Водоснабжение и санитарная техника, 1964, №2.– С. 29-32.
3. Певзнер Б.М. Насосы судовых установок и систем. Л.: Судостроение, 1971.– 384 с.
4. Смородинов М.И. Водопонижительные установки. М.: Стройиздат, 1984.– 117 с.
5. Рычагов В.В., Флоринский М.М. Насосы и насосные станции: Учебник для вузов. 4-е изд. М.: Колос, 1975.– 416 с.
6. Болотских Н.С. Водопонижение. Харьков: Вища школа, 1981.– 144 с.
7. Григорьев В.М. Вакуумное водопонижение. М.: Стройиздат, 1973.– 223 с.
8. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. 2-е издание. М.: Энергия, 1970.– 288 с.
9. Лямаев Б.Ф. Расчет и анализ технико-экономических показателей водоотливных установок и водоструйных насосов// Известия вузов: Строительство и архитектура, 1973, №11.– С. 74-79.
10. Лямаев Б.Ф. Применение водо-воздушных ежекторов для откачки воздуха из центробежных насосов// Водоснабжение и санитарная техника, 1966, №10.– С. 11-13.