

Лекція 13

НАСОСНІ СТАНЦІЇ ВОДОПОСТАЧАННЯ І ВОДОВІДВЕДЕННЯ. ТЕХНІКО - ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ЇХ РОБОТИ

Класифікація водопровідних насосних станцій

Насосна станція є ланкою системи водопостачання і становить собою досить складний енергетичний вузол, що забезпечує подачу води споживачам у необхідному обсязі, з необхідним напором. На насосній станції розміщуються головні насосні агрегати, для забезпечення нормальної роботи яких є цілий ряд допоміжних систем: система усмоктувальних і напірних трубопроводів з необхідною арматурою; системи запуску насосів, змащення, електропостачання, автоматики, керування, контролю тощо. На сучасних насосних станціях використовуються системи автоматики, телемеханіки й електроніки.

Всі водопровідні насосні станції поділяються на групи за низкою ознак [1–3]: за розташуванням у загальній схемі системи водопостачання і призначенням вони поділяються на:

а) станції першого підйому: подають воду із джерела на очисні споруди, а якщо вода не потребує очистки, – у регулюючі ємності або безпосередньо в мережу споживача;

б) станції другого підйому: перекачують воду з резервуарів чистої води в мережу споживача. В окремих випадках насоси першого й другого підйомів можуть розташовуватися в одному будинку;

в) підвищувальні станції: призначені для підвищення напору в мережі (окремі багатоповерхові будинки, райони із забудовою підвищеної поверховості, зонні водопроводи, водопроводи промислових підприємств);

г) циркуляційні станції: входять до складу системи технічного водопостачання (пром підприємства, теплоелектростанції).

Насосні станції систем комунального водопостачання за ступенем забезпечення подачі води поділяють на три категорії [2]:

1) допускається зниження подачі на господарсько-питні потреби не більше ніж на 30 %, а на виробничі – до межі, встановленої аварійним графіком. Тривалість зниження подачі – не більше 3 діб. Перерва в подачі води або зниження подачі за встановлену межу – не більше 10 хв;

2) зниження подачі води таке ж, що і для станцій I категорії, але тривалість не повинна перевищувати 10 діб. Перерва в подачі або зниження її за встановлену межу допускається не більше ніж на 6 год;

3) зниження подачі води таке ж, що і для станцій I категорії, але тривалість не повинна перевищувати 15 діб, а перерва в роботі – 24 год.

За типом будівлі насосні станції поділяються на наземні, заглиблені та глибокі (шахтні).

За характером керування існують такі станції:

- з ручним керуванням;
- напівавтоматичні, коли автоматизована система вмикається оператором з пульта керування;
- автоматичні, на яких система автоматики станції вмикається і вимикається від первинних сигналів, що отримують від датчиків (тиску, рівня тощо);
- з керуванням на відстані, коли вмикання / вимикання агрегатів, контроль за їхньою роботою проводяться з центрального диспетчерського пункту, розташованого на значній відстані від насосної станції.

4.2 Продуктивність та напір станцій 1-го і 2-го підйому

4.2.1 Визначення продуктивності і напору водопровідних насосних станцій першого підйому

При визначенні продуктивності насосів першого підйому можливі два основних випадки:

1. Насосна станція подає воду на очисні споруди для господарсько-питних або виробничих потреб;
2. Насосна станція подає воду в резервуари чистої води без очищення або без очищення безпосередньо споживачеві.

При роботі насосної станції за першим варіантом розрахункову годинну продуктивність визначають за формулою:

$$Q = \frac{\alpha Q_{\text{доб.мак}}}{T}, \quad (4.1)$$

де $Q_{\text{доб.мак}}$ – максимальна добова витрата, м³/доба;

α - коефіцієнт, враховує витрату води на власні потреби станції, приймається рівним 1,04 ... 1,11 в залежності від якості води в джерелі водопостачання, конструкції фільтрів, прийнятої інтенсивності промивки і схеми повторного використання промивної води;

T - тривалість роботи насосної станції, яка приймається зазвичай 24 години.

Якщо насосна станція першого підйому працює за другим варіантом, то її розрахункову годинну продуктивність визначають за аналогічною формулою, але з коефіцієнтом, що враховує витрату води на власні потреби, що дорівнює 1,01 ... 1,02.

З метою скорочення розмірів споруд і стабілізації процесу очищення, режим роботи насосної станції зазвичай призначається рівномірної протягом

доби. Якщо ж водоспоживання протягом доби нерівномірне, подача насосної станції повинна призначатися за максимальним годинною витратою споживача (при відсутності регулюючої ємності) і по середньогодинної витраті споживання (при наявності регулюючої ємності).

Остаточний вибір режиму роботи, а, отже, і подача насосної станції першого підйому визначається на підставі техніко-економічного обґрунтування з урахуванням технологічного процесу очищення води.

При визначенні подачі насосної станції першого підйому системи об'єднаного господарсько-питного та протипожежного водопроводу необхідно забезпечити можливість форсованої подачі води в години поповнення протипожежного запасу.

Відновлення протипожежного запасу може проводитися:

- Робочими насосами, якщо ці насоси задіяні не цілодобово, тобто під час перерв в їх роботі;

- Робочими насосами за рахунок можливого скорочення водоспоживання;

- Резервними насосами; протипожежними насосами.

У разі якщо на насосній станції першого підйому встановлені протипожежні насоси, то їх подача визначається за формулою (4.2):

$$Q_{\text{пож}} = \frac{(3Q_{\text{п}} + \Sigma Q_{\text{max}} - 3Q)}{T}, \quad (4.2)$$

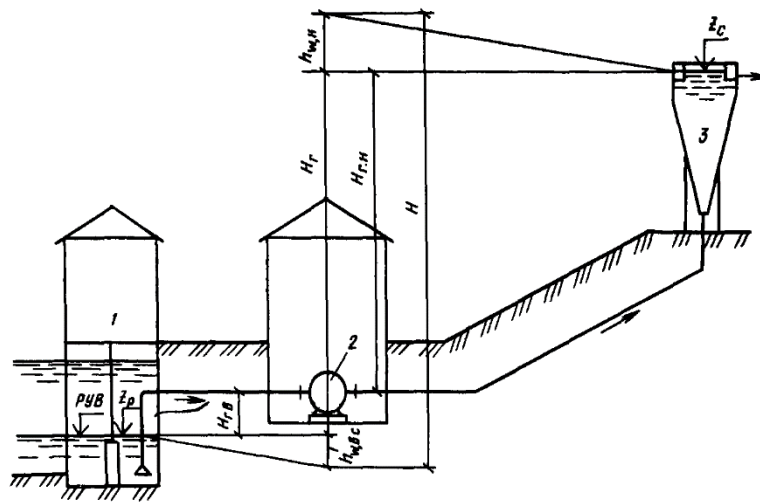
де $3Q_{\text{п}}$ – повна пожежна витрата за три години (розрахункова тривалість гасіння пожежі в населеному пункті або на підприємстві), м³/год;

ΣQ_{max} - сумарна витрата води протягом 3 годин найбільшого водоспоживання (за графіком водоспоживання), м³/год ;

Q – середня годинна подача нормально працюючих насосів станції першого підйому, м³/год;

T – тривалість поповнення пожежного запасу (приймається 24 ... 74 години у відповідність до вимог СНиП 2.04.02-84), год.

Розрахунковий напір насосів станції першого підйому в кожному конкретному випадку визначається з вертикального планування з урахуванням втрат напору у всмоктувальній і напірної лініях. Статичний напір визначають при мінімальному розрахунковому рівні води в вододжерела. Рівень води в приймальній камері водоприймального сіткового колодязя встановлюється нижче рівня води у водоймі на суму гідравлічних втрат на решітці, в соматичних водоводах і на сітці. Для попередніх розрахунків висоту розташування змішувача можна прийняти 4-6 м над поверхнею землі, при остаточних розрахунках цю висоту встановлюють відповідно до проекту очисної станції.



1 - водоприймальний береговий колодязь; 2 - насос; 3 - змішувач на очисних спорудах; РУВ - розрахунковий рівень води
 Рисунок 4.1 - Висотна схема подачі води на очисні споруди

Як видно з рис. 4.1 напір насосів, м, можливо визначити:

$$H = H_{\Gamma} + h_{\omega, \text{вс}} + h_{\omega, \text{н}} + h_2 + h_3 + 1, \text{ м}, \quad (4.3)$$

де H_{Γ} – статичний напір (геометрична висота підйому води), тобто різниця відміток рівнями води в змішувачі очисних споруд Z_c і у всмоктуючих відвідодів в водоприймальному сітковому колодязі Z_p ;

- $h_{\omega, \text{вс}}$ - втрати напора у всмоктувальному трубопроводі, м;
- $h_{\omega, \text{н}}$ – гидравлічні втрати у напорному трубопроводі, м;
- h_2 – втрати напора у насосній станції, м ;
- h_3 – втрати напора у водомірі, м;
- 1 – запас напора, м.

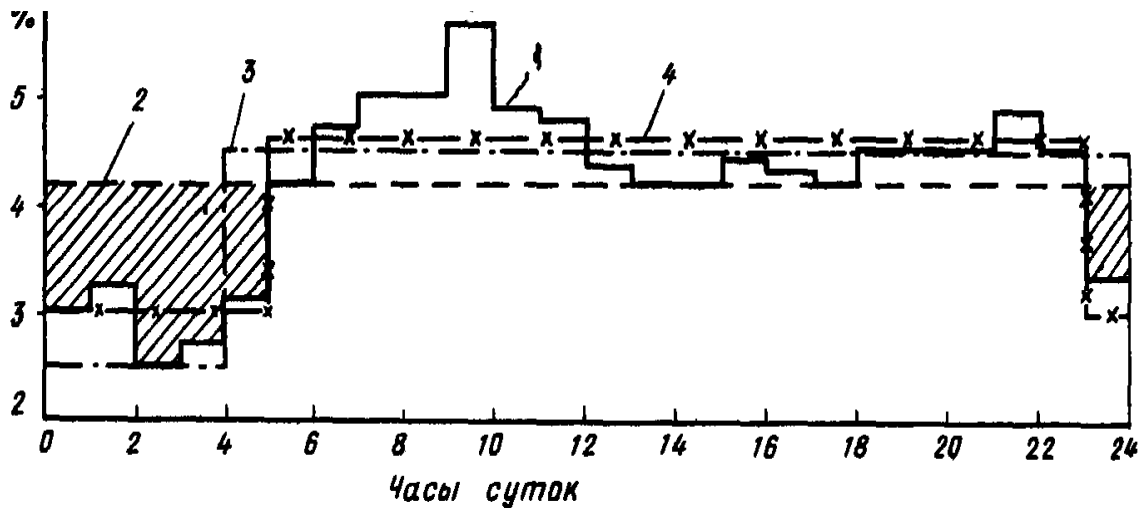
4.2.2 Визначення продуктивності і напорі насосів водопровідної станції другого підйому

Залежно від планування місцевості і взаємного розташування насосної станції і акумулюючої ємності розрізняють наступні системи:

- безбаштову;
- з вежею на початку мережі;
- з контррезервуаром;

Економічність роботи станцій другого підйому багато в чому залежить від правильного вибору режиму її роботи. Режим роботи госпитних насосів вибирають в залежності від режиму водоспоживання і наявності в мережі регулюючих ємностей. Подача цих насосів може бути рівномірною, при наявності великих регулюючих ємностей або багатоступеневою при

відсутності регулюючих ємностей. У першому випадку акумулююча ємність не повинна перевищувати 15%, у другому випадку 6% від добової продуктивності. Зазвичай роботу насосної станції приймають дво- або триступеневою. Під ступінчастою роботою розуміють роботу різного числа насосів в різні години доби. При розрахунку подачі насосної станції другого підйому необхідно знайти оптимальний варіант режиму її роботи - мінімальну місткість акумулюючої ємності і найменшу частоту включення насосних агрегатів.



1 - лінія водоспоживання; 2 - рівномірна подача насосної станції; 3 і 4 - ступінчаста робота насосної станції (для різних варіантів підбору часу роботи ступенів)

Рисунок 4.2 - Суміщений графік водоспоживання і рівномірної і ступінчастою роботи насосної станції

Визначення подачі і вибір режиму роботи насосної станції зручно проводити по суміщеному графіку водоспоживання і водоподачі насосної станції. За співвідношенням максимального і мінімального водоспоживання призначають кількість ступенів роботи насосної станції.

При співвідношенні $\frac{Q_{max}}{Q_{min}} > 3$ приймають трьохступеневий режим роботи, при співвідношенні $\frac{Q_{max}}{Q_{min}} = 1,5 \dots 3$ - двоступінчастий. При цьому необхідно дотримувати наступну умову:

$$Q_1 \Sigma t_1 + Q_2 \Sigma t_2 + Q_3 \Sigma t_3 = 100\%, \quad (4.4)$$

де $Q_1, Q_2,$ и Q_3 - подача насосів на першій, другій та третій ступені відповідно, %;

$t_1, \Sigma t_2, \Sigma t_3$ - визначений час роботи відповідного ступеня, год.

При наявності акумулюючої ємності витрата на годину максимального водорозбору може надходити в мережу з вежі, що дозволяє зменшити розрахункову максимальну подачу (верхня ступінь водоподачі) насосної станції. При божевільній схемою водопостачання графік водоподачі питної насосів повинен збігатися з графіком водоспоживання. Насосна станція другого підйому повинна забезпечувати подачу розрахункової витрати води на пожежогасіння в період найбільш напруженої роботи водопровідної мережі, тобто в годину максимального водоспоживання. Розрахункову подачу води насосами при пожежогасінні визначають за формулою (4.5):

$$Q_{\text{пож}} = Q_{\text{мах.час}} + Q_{\text{п}} + Q_{\text{п.п}} - \Sigma Q, \quad (4.5)$$

де $Q_{\text{мах.час}}$ - максимальна часова витрата, м³/год;

$Q_{\text{п}}$ – витрата води на зовнішнє пожежогасіння, м³/год;

$Q_{\text{п.п}}$ – сумарна витрата води на промпідприємстві (технологічні, госппитні потреби), м³/год;

ΣQ - витрата води на прийом душа, миття підлог і мийку технологічного обладнання на промислових підприємствах, м³/год.

Подача води на зовнішнє пожежогасіння може забезпечуватися групою основних насосів, при цьому допускається зниження вільного напору до 10м. У машинному залі насосної станції, як правило, встановлюють групу промивних насосів, що забезпечують подачу води безпосередньо в комунікації фільтрів або контактних освітлювачів. Їх подачу визначають за формулою (4.6), м³/год:

$$Q_{\text{пром.}} = F \cdot q \cdot N, \quad (4.6)$$

де F – площа одного фільтра, м²;

q – прийнята інтенсивність промивки, м³/год на 1 м²;

N – число одночасно промивних фільтрів, шт.

Повний напір питної насосів залежить від наявності та місця розташування водонапірної башти. Розглянемо найбільш часто зустрічаються випадки:

- водонапірна мережу без регулюючої ємності;
- система водопостачання з водонапірною баштою, розташованої на початку мережі;
- регулююча ємність розміщена в кінці мережі (мережа з контррезервуаром).

При відсутності регулюючої ємності повний напір насосів визначають за формулою (4.7), м:

$$H = H_{\text{ст}} + h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5, \quad (4.7)$$

де $H_{\text{ст}}$ - статичний напір, рівний різниці відміток землі в диктує точці і розрахункового рівня води в резервуарі чистої води (РЧВ), м;

h_1 - втрати напору у всмоктуючих трубопроводах від РЧВ до насосної станції, м;

h_2 - втрати напору в насосній станції, м;

h_3 - втрати напору в водоміри, м;

h_4 - втрати напору в напірних водоводах, м;

h_5 - необхідний вільний напір у водопровідній мережі в точці, обраної за розрахункову, м.

При розташуванні водонапірної башти на початку мережі повний напір насосів визначають за залежністю (4.8), м:

$$H = H_{\Gamma} + h_{\omega, \text{вс}} + h_2 + h_3 + h_{\omega, \text{н}} + H_{\text{б}} + H_{\text{р}}, \quad (4.8)$$

де H_{Γ} - статичний напір, рівний різниці відміток землі в місці розташування водонапірної башти і розрахункового рівня води в РЧВ, м;

$H_{\text{б}}$ - висота стовбура водонапірної башти, м;

$H_{\text{р}}$ - висота бака, м;

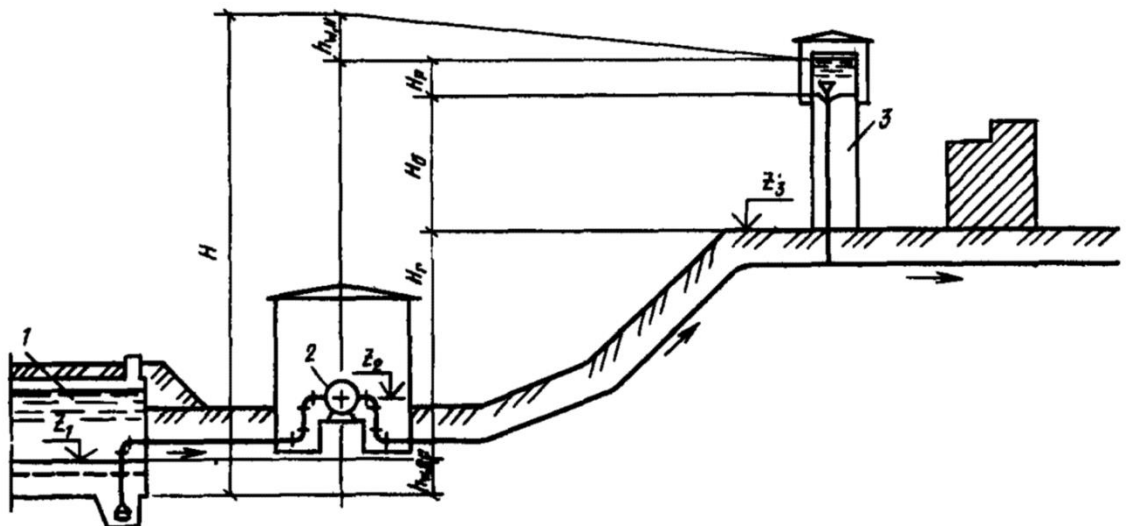
$h_{\omega, \text{вс}}$ - втрати напору у всмоктуючих трубопроводах від РЧВ до насосної станції, м;

h_2 - втрати напору в насосній станції, м;

h_3 - втрати напору в водоміри, м;

$h_{\omega, \text{н}}$ - втрати напору в напірних водоводах, м.

На рис. 4.3 представлена розрахункова схема насосної станції другого підйому з вежею на початку мережі.

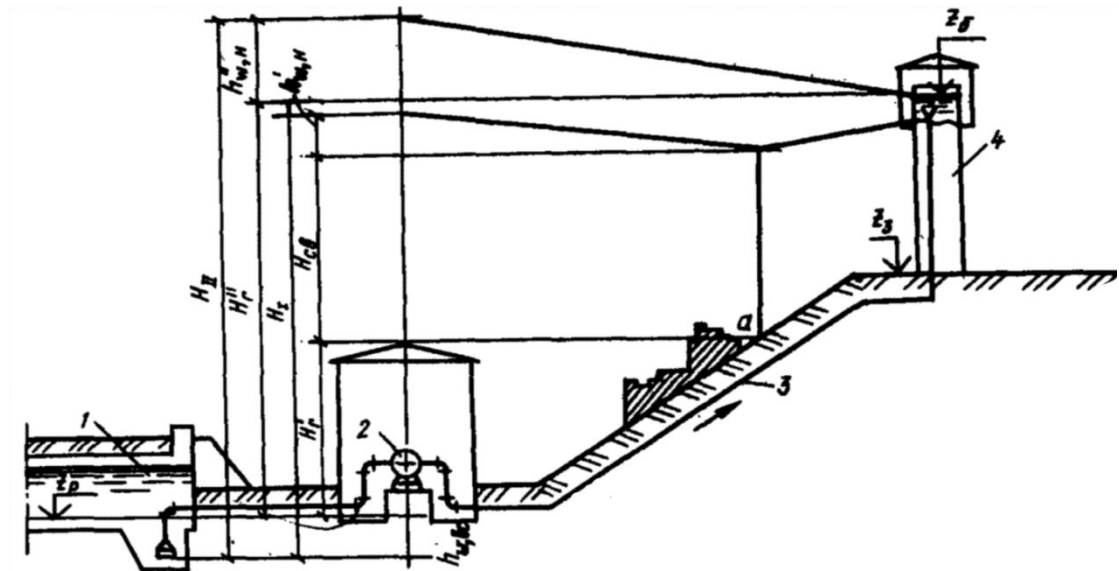


1 – резервуар; 2 – насос; 3 – водонапірна башня

Рисунок 4.3 - Висотна схема подачі води з резервуару чистої води в систему з вежею на початку мережі

Наявність контррезервуара змінює режим роботи як самої мережі, так і насосної станції другого підйому. При цьому варіанті виникають випадки максимального водоспоживання, коли мережа харчується і від насосів і від контррезервуара (двостороннє харчування з появою кордону, на якій має місце зустріч потоків води від насосної станції та контррезервуара), і випадок максимального транзиту, коли надлишок води, що подається насосами, надходить в контррезервуар.

На рис. 4.4 приведена висотна схема роботи насосної станції другого підйому з контррезервуаром.



1 – резервуар; 2 – насос; 3 – водоводи, водопровідна мережа; 4 - вежа – контр резервуар

Рисунок 4.4 - Висотна схема подачі води з резервуару чистої води в систему з контррезервуаром

При визначенні розрахункової точки пожежі слід виходити з найбільш несприятливих умов роботи насосної станції. Під цими умовами розуміється можливість виникнення пожежі в найбільш піднесених і віддалених від насосної станції точках території, яку обслуговує водопроводом. Якщо в насосній станції встановлено об'єднана господарсько-пожежна або пожежна групи насосів, то за розрахунковий рівень води в РЧВ приймається рівень пожежного запасу, для господарсько-питної групи - середній рівень води в резервуарах. Якщо дані про розрахункові рівнях і зберіганні пожежного запасу відсутні, рівень зберігання пожежного запасу приймають на 1 м вище,

мінімального рівня води в резервуарах, а середній рівень - на 2,4 м вище мінімального рівня.

4.3 Насосні станції перекачки активного мулу,шламів

На спорудах для оброблення та очищення стічних вод утворюються мул та осади, які необхідно періодично або безперервно видаляти. На спорудах для біологічного очищення стічних вод необхідно, крім того, забезпечувати циркуляцію активного мулу. Для цих цілей влаштовують спеціальні так звані мулові насосні станції. Вони відрізняються від насосних станцій побутової каналізації відсутністю решіток і дробарок. Для перекачування осадів застосовують, як правило, звичайні фекальні насоси.

Мулові насосні станції входять до складу каналізаційних очисних споруд. Вони бувають двох типів: 1) для перекачування сирого осаду з первинних відстійників і надлишкового активного мулу з вторинних відстійників у метантенки або інші споруди для подальшого оброблення; 2) для перекачування активного мулу в аеротенки з ущільнювачів мулу вторинних відстійників. Станції першого типу найчастіше обладнуються плунжерними насосами, другого типу – осьовими або низьконапірними відцентровими насосами. Станції для перекачування активного мулу можна обладнати шнековими насосами [1–3].

Загальну подачу мулової насосної станції визначають за об'ємом осаду, а напір – за схемою вертикального планування споруд очисної станції. Режим роботи станції пов'язаний з режимом роботи очисних споруд.

Через те, що мул, який перекачується, не має великих механічних домішок, приймальні резервуари ґратами не обладнуються.

Насосні станції для перекачування мулу можуть розміщуватися в окремих будівлях або у вбудованих приміщеннях виробничих споруд.

Резервуари для осаду (мулу) влаштовують як суміщеними з насосною станцією, так і окремо від неї. Їхня місткість визначається кількістю мулу від разового випуску з первинних відстійників або метантенків. Місткість резервуара станцій перекачування циркулюючого активного мулу визначається 15-хвилинною подачею найбільшого зі встановлених насосів.

Залежно від розташування окремих споруд станцій очищення стічних вод та їхньої висотної схеми на насосній станції для перекачування осаду з первинних відстійників можуть бути встановлені і насоси для перекачування ущільненого активного мулу. До того ж залежно від необхідної подачі, ущільнений активний мул можна перекачувати насосами для перекачування осаду з первинних відстійників або встановлювати для цього спеціальні насоси.

У ряді випадків приймальний резервуар сирого осаду (з первинних відстійників) можна використовувати і для прийому ущільненого активного мулу з мулоущільнювачів.

Приймальні резервуари мулових насосних станцій часто використовують як дозуючу ємність для завантаження метантенків, а також як накопичувачі технічної води (або очищеної стічної рідини) для промивання мулопроводів. У цих випадках вони мають бути з двох однакових відділень, сполучених перепускною трубою з встановленою на ній засувкою. Ухил для резервуара до приямку повинен бути не менше 0,15–0,20. Для запобігання ущільнення осаду в резервуарі необхідно передбачати його перемішування. Крім того, в резервуарах проектують трубопроводи для їхнього промивання. Промивання резервуарів і трубопроводів здійснюють зазвичай очищеною стічною рідиною.

Під час перекачування осадів деяких виробничих стічних вод, наприклад осадів металургійного виробництва (газоочищення доменного цеху), що містять абразивні речовини, застосовують насоси та обладнання, виконані з матеріалів, стійких до стирання. Резервуари та шламопровідні комунікації в такому разі проектують так, щоб попередити можливість скупчення й ущільнення осаду.

4.4 Техніко-економічні показники роботи насосних станцій

Эффективность работы насосных станций оценивается технико-экономическими показателями. К основным показателям эффективности относятся коэффициент полезного действия и удельная норма расхода электрической энергии.

Коефіцієнт полезного действия насосных агрегатов и насосных станций. КПД насосной станции называется отношение полезной энергии, передаваемой жидкости при перекачивании, к энергии, потребляемой электродвигателями всех насосных агрегатов:

$$\eta_{\text{н.с.}} = N_{\text{п.н.с.}} / N_{\text{н.с.}}, \quad (4.12)$$

де $\eta_{\text{н.с.}}$ - ККД насоса, частка;

$N_{\text{п.н.с.}}$ — корисна потужність насосної станції, кВт·год;

$N_{\text{н.с.}}$ — потужність, що споживається насосною станцією, кВт·год.

Під коефіцієнтом корисної дії насосних агрегатів розуміється відношення корисної потужності насоса до потужності насосного агрегату. ККД насосного агрегату визначається за формулою:

$$\eta_a = \eta_n \cdot \eta_{\text{дв}}, \quad (4.13)$$

де η_n - ККД насоса, частка;

$\eta_{\text{дв}}$ - ККД двигуна, частка.

Якщо на насосній станції встановлено однотипні насосні агрегати, то ККД насосної станції дорівнює ККД насосного агрегату:

На насосних станціях зазвичай працюють спільно кілька різних насосних агрегатів. ККД спільно працюючих агрегатів η визначається наступним чином:

при послідовній роботі агрегатів

$$\eta_{\text{ср}} = \frac{H_1 + H_2 + \dots + H_n}{\frac{H_1}{\eta_1} + \frac{H_2}{\eta_2} + \dots + \frac{H_n}{\eta_n}} \quad (4.14)$$

при паралельній роботі агрегатів

$$\eta_{\text{ср}} = \frac{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n}{\frac{Q_1}{\eta_1} + \frac{Q_2}{\eta_2} + \dots + \frac{Q_n}{\eta_n}} \quad (4.15)$$

де Q_1, Q_2, Q_n — подача відповідно першого, другого та n насоса, м³/с;

H_1, H_2, H_n — напір, що створюється відповідно першим, другим і n насосом, м;

η_1, η_2, η_n — ККД відповідно першого, другого та n насосного агрегату, частка.

Питома норма витрати електроенергії. Питома норма витрати електроенергії насосного агрегату, кВт·год / (1000 м³·год), визначається з розрахунку подачі 1000 м³ води (або стічної рідини) на висоту 1 м при режимі роботи насоса і електродвигуна з максимальним ККД.

Виходячи з відомих значень ККД насоса і двигуна теоретичне значення питомої норми витрат електроенергії $N_{\text{уд}}$ обчислюється за формулою:

$$N_{\text{уд}} = 2,72 / (\eta_{\text{н}} \eta_{\text{дв}}), \quad (4.16)$$

де $\eta_{\text{дв}}$ - коефіцієнт корисної дії двигуна, частка;

Порівнюючи теоретичне значення, визначене за формулою (4.16), з фактичними витратами електроенергії, можна зробити висновок про ефективність роботи насосної станції.

Аналіз рівняння (4.16) показує, що питома норма витрати електроенергії обернено пропорційна ККД насосного агрегату. При регулюванні режиму роботи насоса необхідно пам'ятати, що ККД насосного агрегату зменшується при регулюванні подачі дроселюванням на напірному патрубку. Зменшення ККД насосної станції призводить до збільшення витрати електроенергії і до погіршення економічних показників. Тому для забезпечення економічної роботи насосної станції при змінних режимах роботи необхідно виконувати наступні вимоги: насоси великої потужності повинні працювати в режимах з

більшим ККД; подача води в систему повинна регулюватися насосом меншої потужності; необхідно, щоб зміна режиму роботи регульованого насоса не викликало істотної зміни його ККД або щоб відношення корисної потужності насосного агрегату до його ККД залишалось постійним в прийнятому діапазоні регулювання.

З досвіду експлуатації насосних агрегатів відомо, що ККД електродвигуна мало змінюється протягом часу, і його значення приймається по паспорту. Знаючи фактичну норму витрати електроенергії, з формулою (4.17) можна визначити фактичний ККД насоса

$$\eta_n = 2,72/N_{уд}\eta_{дв} \quad (4.17)$$

Порівняння фактичного ККД насоса з паспортними дозволяє оцінити, наскільки змінилася енергетична характеристика насоса. Для виявлення змін ККД насоса рекомендується проводити випробування роботи агрегату з визначенням енергетичних характеристик насоса: на станціях 1-го підйому - 2 рази на рік, на станціях 2-го підйому - 1 раз на рік або на 2 роки. За питомою нормі витрати електроенергії визначається кількість електроенергії для живлення насосної станції.