УДК628.292

ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ ОПОРІВ ВОДОВОДУ ХАДЖИБЕЙ-ЧОРНЕ МОРЕ

Ніколова Р. О., Анісімов К. І., Коломиєць С. П. *(Одеська державна академія будівництва й архітектури)*

Описані причини перевитрати електроенергії, пов'язані зі збільшенням динамічної складової напору насосів. Наведена методика визначення реального опору у водоводах і шляхи його зниження.

Насосні установки щодня переміщують величезні маси води. На перекачування таких кількостей води витрачається щорічно мільярди кВт.ч. енергії, що складає приблизно 20% всієї електроенергії, вироблюваної енергосистемами країни. За даними [1] , 50% щорічної потреби води подається по трубах із корозійними відкладеннями. Згідно [3] ці відкладення зменшують живий перетин труб до 20% і збільшують гідравлічний опір у 3 рази більше розрахункового. Це у свою чергу, призводить до підвищення напору й перевитраті електроенергії.

Двадцятирічний досвід проектування, будівництва й експлуатації насосних установок і мереж показав, що опір у водоводах росте з багатьох причин:

- *внутрішня корозія труб*, у результаті якої знижується їхня пропускна здатність;

- *низька якість труб і поганий монтаж* трубопроводів; негативний ефект створюють зварювальні шви, виконані з низькою якістю;

- *низький рівень експлуатації* устаткування насосних установок і системи трубопроводів; це неуважність обслуговуючого персоналу, із причин якої можливо неповне відкриття засувок і затворів; залишаються закритими деякі засувки й затвори іноді навіть після завершення ремонтних робіт. У результаті чого окремі ділянки трубопроводів залишаються виведеними з роботи, що також є причиною підвищення напору і вимагає додаткових витрат.

- до збільшення опору призводить *недосконала застаріла конструкція трубопровідної арматури;* Використані як регулюючі органи засувки за даними [2] швидко, протягом 0,5-1 року, виходять з ладу. Дискові затвори застарілих конструкцій створюють порівняно високий гідравлічний опір потокові води, за рахунок чого мають місце значні втрати енергії. Так, наприклад, при зниженій подачі зменшується швидкість потоку рідини, внаслідок цього зменшується його підйомна си-

ла. В результаті, поворотний диск зворотнього затвору повертається на невеликий кут і частково залишається в потоці, що також призводить до збільшення гідравлічного опору і додаткових втрат електроенергії. В той же час, кращі зразки закордонної трубопровідної арматури і нові конструкції затворів і зворотних клапанів вітчизняного виробництва, врятовані від цих недоліків.

Виявити такі і їм подібні джерела підвищення гідравлічного опору можна при планових і вибіркових непланових випробуваннях. Для визначення опору системи необхідно точно (за допомогою геодезичних приладів) визначити геометричну величину підйому $H_г$, виміряти витратоміром, встановленим на НТ, витрату Q, а манометром – напір, що розвивається насосом. Тоді за формулою

$$S_ф = (H_м - H_г) / Q^2$$

можна визначити фактичний опір водоводу для найпростішої системи «насос-трубопровід». У ході випробувань повинні бути побудовані фактичні характеристики трубопроводів і зроблене їх порівняння з розрахунковими. Збільшення крутості фактичної характеристики в порівнянні з розрахункової вказує на те, що в трубопроводі є додаткові опори і необхідно прийняти міри до їх виявлення й усунення.

Для труб діаметром 200 мм і вище застосовується *гідромеханічний спосіб очищення* за допомогою спеціального пристрою. Опис пристрою для гідромеханічного очищення труб наводиться в [3]. Цей пристрій забезпечує очищення усієї внутрішньої поверхні діаметром від 200 до 1400 мм при заростанні живого перетину трубопроводів до 20%. За один робочий цикл пристрій очищує ділянки трубопроводу довжиною 2 – 10 км.

У світовій і вітчизняній практиці існує багато способів для запобігання обростання труб. Застосовуються *цементно-піщані, поліетиленові, епоксидні й ін. покриття.* Цементні покриття з різними добавками, у тому числі, полімерними, товщиною 1-3 см перешкоджають корозії матеріалу труб [1]. І, незважаючи на деякі зменшення внутрішнього діаметру труб, покриття підвищують пропускну здатність труб, знижують енерговитрати на подачу рідини.

Широко розповсюджений *метод протягання усередину трубопроводу поліетиленових труб товщиною стінки 1 – 2 мм.* Простір між поліетиленовими трубами і внутрішньою поверхнею трубопроводу тампонується цементним розчином низьких марок. Відновлення таким чином проржавілих металевих і ушкоджених азбестоцементних і залізобетонних труб обходиться на 70 – 40 % дешевше вартості їхньої прокладки.

Групою співробітників кафедри ГС і ВіГ були проведені позапланові дослідження водоводу «Хаджибей – Чорне море». Мета роботи — оцінка гідравлічних властивостей трубопроводу при різних режимах роботи насосів, оцінка корозійного впливу на стінки трубопроводу за весь період експлуатації, а саме, визначення фактичного опору водоводу і фактичної подачі насосів. Крім цього ультразвуковими методами дана оцінка трубопроводові з погляду впливу на нього процесів корозії. Весь комплекс досліджень проводився в один етап. При цьому вирішувалася задача детального вивчення втрат напору в трубопроводі на різних ділянках по всій довжині трубопроводу. З шости насосів на насосній станції в експериментах було задіяно чотири насоси, що на практиці забезпечують робочі режими. Вимір напору в трубопроводі виконувався в сімох точках по довжині, на вході в напірний трубопровід:

ПК1+25; ПК2+20; ПК18+69; ПК22; ПК25; ПК25+60.

Як контрольно-вимірювальна апаратура в дослідах використовувалися манометри МТП-1М до 0,6 МПа і манометри электроконтактні ДМ 2010 до 0,6 МПа. До початку досліджень манометри були перевірені в Одеському регіональному центрі стандартизації, метрології й сертифікації. За добу до початку досліджень робочим персоналом КНС-25 трубопровід «Хаджибейський лиман – Чорне море» був введений у напірний режим. За допомогою повітряних вентилів по довжині трубопровід був цілком позбавлений повітря. Після цього в експериментальних точках на повітряних вентилях були встановлені манометри. Біля кожного манометра знаходився співробітник, що фіксував його показання. На насосній станції у різній конфігурації вводилися в робочий режим насосні агрегати із загальною кількістю одночасно працюючих насосів від двох до чотирьох. Після введення насосної станції в один із дослідних робочих режимів протягом 10-15 хв. тиск у трубопроводі цілком стабілізувався. Тільки після цього проводилися виміри по приладах. Показання манометрів у сімох точках по довжині трубопроводу фіксувалися одночасно. Для цього використовувався мобільний телефонний зв'язок з усіма співробітниками.

Крім зазначених вимірів фіксувалися показання на вихідних патрубках працюючих насосів по манометрах, передбачених у конструкції кожного насосного агрегату, а також за електроприладами насосної станції сила споживаного струму кожним агрегатом.

Таблиця 1. Показання манометрів и втрати напору по довжині трубопроводу при різному сполученні працюючих насосних агрегатів

Місто установки манометра	Агрегати 3, 4, 5		Агрегати 2, 3, 4, 5		Агрегати 2, 3, 4		Агрегати 2, 3, 5		Агрегати 2, 4, 5		Агрегати 2, 5		Агрегати 3, 5	
	Напір, м	Втрати напору, м	Напір, м	Втрати напору, м	Напір, м	Втрати напору, м	Напір, м	Втрати напору, м	Напір, м	Втрати напору, м	Напір, м	Втрати напору, м	Напір, м	Втрати напору, м
На вході в трубопровід	29	-	38,5	-	29,2	-	29,3	-	29,6	-	13	-	14,2	-
ПК1+25	28,5	0,5	37,2	1,3	28,9	0,3	28,9	0,4	29,3	0,3	12,9	0,1	14,1	0,1
ПК2+20	26,5	2,5	34,5	4	26,2	3	26	3,3	26,5	3,1	12	1	12	2,2
ПК18+69	12,5	16,5	16	22,5	12	17,2	12	17,3	13,5	16,1	6	7	6	8,2
ПК22	11	18	14	24,5	10	19,2	11	18,3	11	18,6	5	8	5	9,2
ПК25	6,2	22,8	8,9	29,6	6,3	22,9	6,2	23,1	6,2	23,4	0	13	0	14,2
ПК25+60	4,3	24,7	6,2	32,3	4,6	24,6	4,5	24,8	4,4	25,2	0	-	0	-

Комплекс виконаних досліджень дозволив визначити при різних режимах роботи насосної станції напір і його втрати по довжині трубопроводу, виявити ряд особливостей і закономірностей у роботі насосної станції й трубопроводу.

В результаті вимірів отримані втрати напору по довжині трубопроводу. Працівниками «Инфоксводоканалу» на досліджуваному трубопроводі проводилися виміри пропускної здатності труби за допомогою витратоміра «Зліт-Прем'єр». Вимір витрат приладом УРСВ «Зліт ПР» здійснюється з точністю, не перевищуючої величини:

$$\delta = \pm\left(1.2 + \frac{0.2}{V}\right);$$

де, V – швидкість потоку в трубопроводі, м/сек.

Зіставивши при відповідних режимах насосної станції витрати в трубі й втрати напору по довжині (табл. 1), можна визначити гідравлічний опір трубопроводу (табл. 2).

Таблиця 2

№ п/п	Працюючі насоси	Втрати напору по довжині (L=2560 м),	Витрата у трубопроводі		Гідравлічний опір, S,$с^2/м^5$
			$м^3$/год.	$м^3$/сек	
1	3; 4; 5	24,7	17400	4,83	1,057
2	2; 3; 4; 5	32,3	21000	5,83	0,95
3	2; 3; 4	24,6	19200	5,33	0,85
4	2; 4; 5	25,2	18480	5,13	0,96

$S_{ср}=0,9569с^2/м^5$

Величину гідравлічного опору S визначимо за формулою:

$$S=с., с^2/м^5;$$

де, h_ω - втрати напору по довжині, м; Q – витрата, $м^3/с$.

Отримані значення $S_{ср}$ порівняємо з теоретичним гідравлічним опором досліджуваного трубопроводу:

$$S_{ср}=1,1*A*L=1,1*0,00030067*2560=0,8103\ с^2/м^5;$$

де, А – питомий опір для ненових труб (табл.IX.3, стор.166 [4]);

1,1 – виправлення на місцеві втрати напору.

Як видно з результатів розрахунку середнє значення гідравлічного опору трубопроводу $S_{ср}$, отримане за експериментальними даними, на 18% більше теоретичного $S_{расч}$, що говорить про нинішній стан труби.

Емпіричному значенню гідравлічного опору $S_{ср} = 0{,}9563 с^2/м^5$ відповідає умовний прохід труби 1345,4 мм (проектне значення внутрішнього діаметра трубопроводу $d_{вн} = 1395$ мм).

Аналізуючи отримані результати можна сказати, що після 35 років експлуатації гідравлічний опір трубопроводу з урахуванням місцевих опорів зріс на 18%, при цьому пропускна здатність труби при різних режимах експлуатації зменшилася на 8-10%.

Відсоток зменшення пропускної здатності труби визначався зворотнім перерахуванням, виходячи з теоретичного значення гідравлічного опору $S_{расч}$ і зіставлення з практичними значеннями витрати:

$$\Delta Q = \frac{Q_{пр}}{Q_{расч}} \cdot 100\% - 100\%;$$

$$Q_{пр} = \frac{h_{\omega}}{S_{расч}}$$

За значеннями величини сили струму й напорів на виході кожного насоса окремо можна визначити споживану потужність і витрату насосів:

$$N_i = I_i \cdot V \cdot \cos\varphi \cdot \sqrt{3},$$

де, V – напруга (6000 В); cosφ = 0.98 – зсув фази.

Виходячи з формули витрати насоса:

$$N = k \cdot \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{1000 \cdot \eta_н \cdot \eta_п};$$

де, Q – продуктивність насоса, $м^3/с.$;

H – напір на вихідному патрубку насоса, м;

$\eta_н$ – ККД насосу;

$\eta_п$ – ККД передачі;

k=1,1 – коефіцієнт запасу;

ρ=1000 $кг/м^3$.

Визначимо значення миттєвих витрат на виході кожного насоса окремо при різних режимах. Результати цих розрахунків представлені в таблиці 3.

Таблиця 3

№ п/п	Працюючі насоси	Споживана потужність насосів, кВт				Миттєва витрата насосу, Q, $м^3$/сек				ΣQ_i, $м^3$/сек	$Q_{пр}$ у трубі	$\frac{\Sigma Q_i}{Q_{пр}}$
		2	3	4	5	2	3	4	5			
1	3; 4; 5	-	957,3	1018,4	936,9	-	1,914	2,276	2,034	6,224	4,833	1,29
2	2; 3; 4; 5	824,9	957,3	1018,4	936,9	1,279	1,914	2,276	2,034	7,503	5,833	1,29
3	2; 3; 4	916,6	957,3	1079,5	-	2,048	2,021	2,266	-	6,335	5,333	1,19
4	2; 4; 5	896,2	-	957,3	967,5	2,064	-	2,021	2,228	6,313	5,133	1,23

Як бачимо, сумарна миттєва витрата насосів при різних режимах у середньому на 25% більше практичної витрати в трубопроводі.

Висновки:

У результаті проведених досліджень можна відзначити наступне.

1. В напірному режимі втрати напору на кінцевій ділянці трубопроводу досягають 85% від величини напору на вході трубопроводу.
2. Гідравлічний опір трубопроводу з урахуванням місцевих втрат у порівнянні з теоретичним значенням більше на 18%.
3. Пропускна здатність трубопроводу в порівнянні з теоретичним значенням менше на 10%.

Ефективним засобом економії електроенергії у водоводах є:

а) підтримка в належному порядку систем трубопроводів і трубопровідної арматури;

б) контроль, правильна експлуатація і своєчасне усунення зносу водоводові і трубопровідної арматури .

Література

1. Шевелев А. Ф., Яновский Ю. Г. Методи захисту від корозії діючих водопроводів // Водопостачання і санітарна техніка.1988.№1.
2. Лезнов Б.С. Удосконалювати насосні установки водного господарства// Водопостачання і санітарна техніка.1990.№6.
3. Корнопелев В.А., Казарян В.Л., Яновський Ю.Г. Відновлення й захист трубопроводів від корозійних обростань як засіб інтенсифікації роботи мережі // Інтенсифікація діючих систем водопостачання на основі впровадження нової техніки й технології.М.: МДНТП, 1986.
4. Прочан А.И., Михайлов К.А. Гідравліка. Стройиздат. Москва, 1972.