

РОБОТА КАНАЛІВ ІЗ КАСКАДОМ НАСОСНИХ СТАНЦІЙ

***М.А.Палішкін, О.Т. Карпусь, А.В.Міщенко,
кандидати технічних наук***

На основі чисельного розв'язку диференціальних рівнянь Сен-Венана досліджено перехідний процес у б'єфах каналу з каскадом насосних станцій. Встановлено, що боковий відбір води з б'єфів призводить до зменшення додатних та збільшенню від'ємних хвиль.

Перехідний процес в каналах з каскадом насосних станцій, математична модель, рівняння Сен-Венана.

Донині побудовано значну кількість великих магістральних каналів з каскадом насосних станцій: Каршинський, Аму-Бухарський, Саратівський, Іртиш-Караганда, Дніпро-Донбас, Дніпро-Кривий Ріг, об'єднуючий зони Північно-Кримського каналу та ін. На зазначених каналах, окрім вітрових хвиль, при запусках та зупинках насосних агрегатів виникають хвилі переміщення, характерною особливістю яких є здатність переносити значні обсяги води [3,4,8].

Мета досліджень – вивчення перехідних процесів у б'єфах великих каналів, використовуючи чисельні методи розв'язку диференціальних рівнянь Сен-Венана; з'ясування впливу довжин б'єфів, ухилу закладення його укосів на параметри хвиль переміщення; встановлення можливості використання каскадного методу регулювання для роботи насосних станцій.

Матеріали та методика досліджень. Розрахунок перехідного процесу в каналах із каскадом насосних станцій здійснений із застосуванням математичної моделі, заснованій на розв'язанні рівнянь Сен-Венана.

Встановлено, що боковий відбір води з б'єфів призводить до зменшення додатних та збільшенню від'ємних хвиль. У випадку каскадного регулювання насосних станцій на каналі можуть бути застосовані схеми регулювання по верхньому б'єфу та з «перетікаючими об'ємами».

У випадку зупинки насосної станції у каналі, що підводить воду, формується додатна зворотна хвиля підпору, а в каналі, який відводить воду – пряма від'ємна хвиля – «хвиля зливу» (рис.1,а).

При пуску насосної станції (рис. 1, б) у відвідному каналі виникає додатна хвиля – «хвиля наповнення», у підвідному каналі при цьому утворюється від'ємна хвиля – «хвиля зливу». Перервна хвиля характеризується крутим, іноді майже вертикальним фронтом, викликаючи достатньо різку зміну відмітки рівня води у каналі.

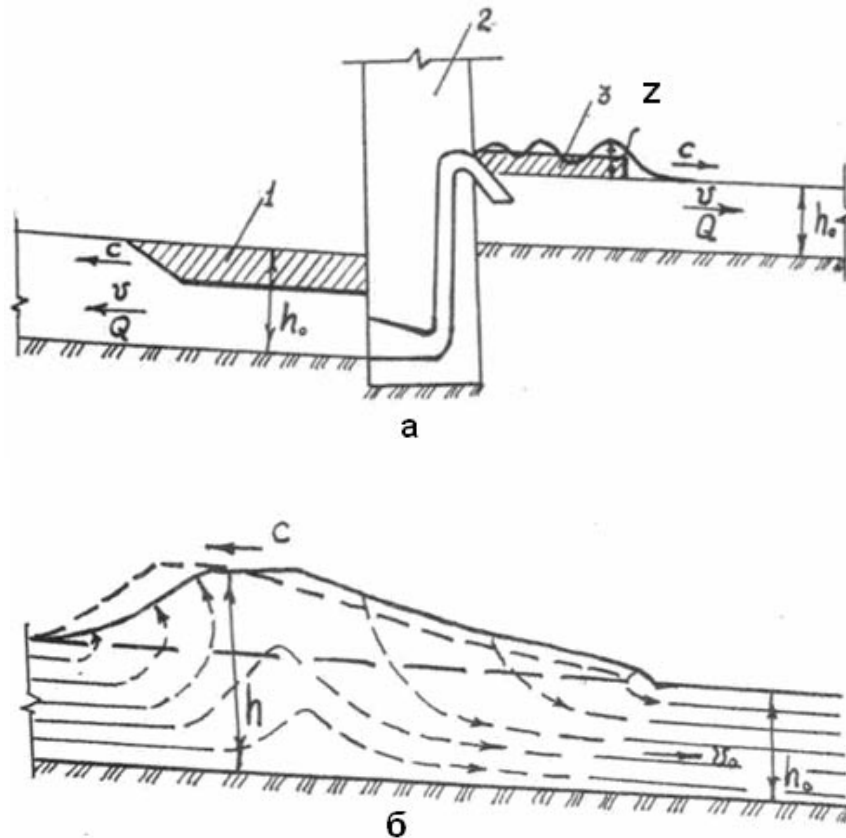


Рис. 1. Утворення хвиль переміщення при пуску насосної станції:
 а - прості хвилі; 1 – зворотна від’ємна хвиля (хвиля зливу) ; 2 – насосна станція; 3 – пряма додатна хвиля (хвиля наповнення);
 б – складні хвилі

Знання параметрів хвиль переміщення при проектуванні каналів з каскадом насосних станцій важливе з таких причин:

по-перше, повинна бути врахована висота хвиль, разом з висотою нагону, яку можна визначити за формулою Д.С.Соловйова:

$$z = 0,07w,$$

де w – швидкість вітру, м/с; z – висота хвилі за умови недопущення переливу води через дамби каналу, м;

по-друге, повинна бути врахована динаміка впливу хвиль не лише на укоси, але й на дно руслу каналу. Перервна хвиля характеризується крутим, іноді майже вертикальним фронтом, викликаючи достатньо різку зміну відмітки рівня води у каналі.

При проходженні гребеня хвилі тиск у порах ґрунту буде збільшуватися, а у западинах – зменшуватися. Тобто на ґрунт будуть впливати об’ємні, фільтраційні сили, що направлені у бік руху фільтраційної води, та призводять до зменшення опору ґрунту до розмиву та виникненню зовнішньої суфозії чи фільтраційного випору на укосах каналу.

У випадку від’ємних хвиль можлива робота насосів у кавітаційному режимі – може виникнути прорив повітря до всмоктуючих труб насосів, що призведе до зриву вакууму у сифонах водовипускної споруди. Повторна зарядка сифонів після проходження хвилі призведе до коливання

тиску у напірному тракті насосної станції та ускладненню роботи насосного обладнання.

Підвищення оперативності управління насосними станціями на каналах можна досягти, застосовуючи принцип каскадного регулювання.

Для розрахунку руху води у каналі [10] при запуску та зупиненні насосів використано метод математичного моделювання, результати якого збігаються з дослідними даними.

Як об'єкт досліджень був вибраний канал з трьома насосними станціями, що працюють у каскаді. Б'єфи між станціями мають різну довжину, що дає можливість виявити вплив довжини б'єфа на розмір та форму хвилі переміщення.

Переріз каналу – полігональний з шириною по дну $b = 4,0$ м. Коефіцієнти закладки укосів $m_1 = 4$ на висоті 2,5 м від дна та $m_2 = 2$ на інших висотах. Уклон каналу $i = 0,00008$. Укоси каналу з коефіцієнтом $m_2 = 2$ зміцнюються щебенем товщиною 20 см. Це кріплення заводиться на укоси $m_1 = 4$ (на 0,5 м нижче мінімального рівня води у каналі). Довжини б'єфів між насосними станціями : I – 4,46 км; II – 21,67 км.

Насосні станції обладнані осьовими та відцентровими насосами з подачею $9 \text{ м}^3/\text{с}$. Подача кожної насосної станції $Q = 36 \text{ м}^3/\text{с}$.

Рух води у каналі при невстановленому режимі описується рівняннями Сен-Венана[1]:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + 2v \frac{\partial Q}{\partial x} + B (c^2 + v^2) \frac{\partial h}{\partial x} = g\omega\varphi ; \quad (1)$$

$$b \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q, \quad (2)$$

де $\varphi = i - \frac{Q^2}{K^2}$; $c^2 = \frac{v^2}{t R}$; $Q = v\omega$; $K^2 = \frac{\omega}{h^3} R^{7/5}$; $R = \frac{\omega}{\chi}$; i = уклон дна каналу; b – ширина вільної поверхні потоку, м; χ – змочений периметр перерізу, м; h – глибина потоку в перерізі, що розглядається, м; v – середня швидкість потоку у тому ж перерізі. м/с; R – гідравлічний радіус, м; ω – площа живого перерізу, м^2 ; Q – витрата води, $\text{м}^3/\text{с}$; q – боковий притік (відтік), $\text{м}^3/\text{с}$; x – поздовжня координата, м; t – поточний час, с.

Результати досліджень. Розв'язок рівнянь (1), (2) здійснений з використанням неявної різницевої схеми. Для розв'язку задачі нелінійні рівняння (1) та (2) були подані у кінцево-різницевому вигляді в безрозмірній формі. Для їх розв'язання застосовано метод матричної прогонки, розроблений в Інституті гідродинаміки СВ АН Росії [1, 9].

У випадку порушення нерозривності течії досліджуваний канал розбивають на частини, які розраховувались, так, щоб у внутрішніх точках не порушувались умови застосування моделей, що розглядаються. Такими точками були місця відбору води з каналу. Розрахунки були виконані на ЕОМ.

Вихідні дані для розрахунку – геометричні та гідравлічні характеристики каналу, режими роботи насосних станцій та рівні води у каналі.

Відключення всіх насосів на насосних станціях каскаду (аварійна ситуація) за умови глибини каналу 4,5 м показало, що на ділянках каналу між насосними станціями має місце затухаючий процес коливань (рис.2). У насосній станції №2 відхилення рівня становило $\Delta h_1 = - 0,38$ м, а в початковому створі (насосна станція №1) $\Delta h_1 = 0,41$ м. У другому відсіку $\Delta h_n = - 0,91$ м, а в кінцевому створі $\Delta h_k = 1,0$ м, у третьому створі $\Delta h_k = 0,62$ м, $\Delta h_n = 0,64$ м.

Як видно з рис. 2 на величину відхилення рівнів впливає довжина б'єфа – чим довший б'єф, тим більші коливання рівня. Ідентична картина коливань рівня спостерігається й при відхиленні трьох, двох та одного насоса. Змінюється лише величина відхилення рівня.

Звідси видно, що найнебезпечнішими є додатні хвилі переміщення, які виникають при зупинці насосних станцій (аварійна ситуація). У цьому разі висота хвилі переміщення максимальна, тому необхідно перевіряти сухий запас каналу та стійкість кріплення його укосів.

Аналіз хвильового руху у випадку зупинки насосних станцій показав, що форма хвилі залежить від довжини каналу між насосними станціями. Чим менше довжина б'єфа, тим більш стиснутою стає початкова хвиля. Зі збільшенням довжини б'єфа початкова хвиля формується більш розтягнутою. Довжина б'єфа впливає й на час затухання коливання рівня води у б'єфі. Час затухання коливання рівня в першому б'єфі становить 120 ... 140 хв, в той же час як у двох інших б'єфах цей час більше в декілька раз.

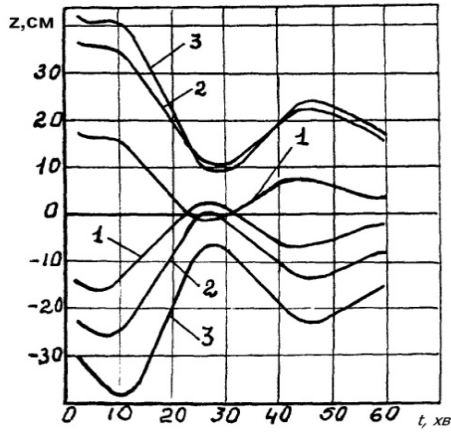
При включенні насосів на кожній станції каскаду (глибина води у каналі 4,5 м) хвилі переміщення формуються в іншому, ніж при відключенні насосних станцій (рис.3).

Як видно з рисунка, максимальна хвиля в першому б'єфі формується через 6...8 хв після включення насоса, а в другому та третьому б'єфах через 45...50 хв та 20...25 хв відповідно. Результати досліджень показали, що висота хвилі залежить від початкової витрати в каналі. Чим більше цей показник, тим вище початкова хвиля.

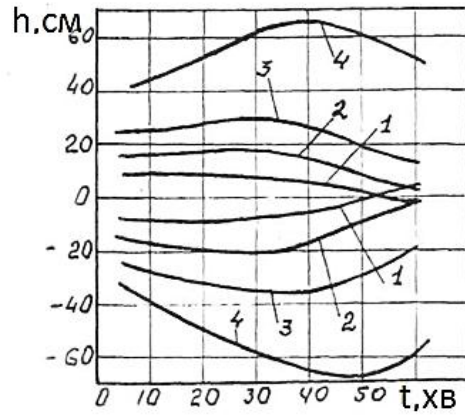
За результатами розрахунку можна проаналізувати хід рівнів води в б'єфі при відключенні попередньої та роботі наступної станції, а також розробити заходи, що виключають можливість різкого зниження рівня чи переливу води через дамби [3,4].

Послідовне включення на станціях насосних агрегатів через 10 хв, а далі через 20 хв призводить до виникнення перелому першого гребеня хвилі. Головний гребінь чи западина раптово збільшують свою величину, що може негативно вплинути на цілісність ложа каналу.

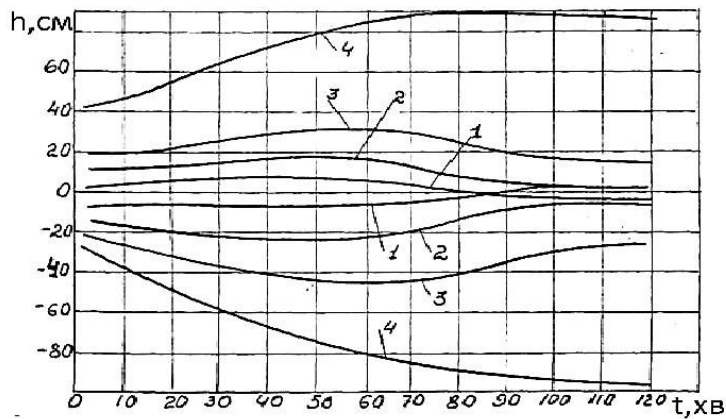
Вплив відбору води з каналу на величину хвилі переміщення показано на рис. 4.



а



б



в

Рис. 2. Динаміка коливань рівнів води в б'єфах при відключенні насосних станцій при витраті води $Q, \text{ м}^3/\text{с}$:

а – б'єф 1; б – б'єф 2; в – б'єф 3; 1 – $9 \text{ м}^3/\text{с}$; 2 – $18 \text{ м}^3/\text{с}$; 3 – $27 \text{ м}^3/\text{с}$; 4 – $36 \text{ м}^3/\text{с}$

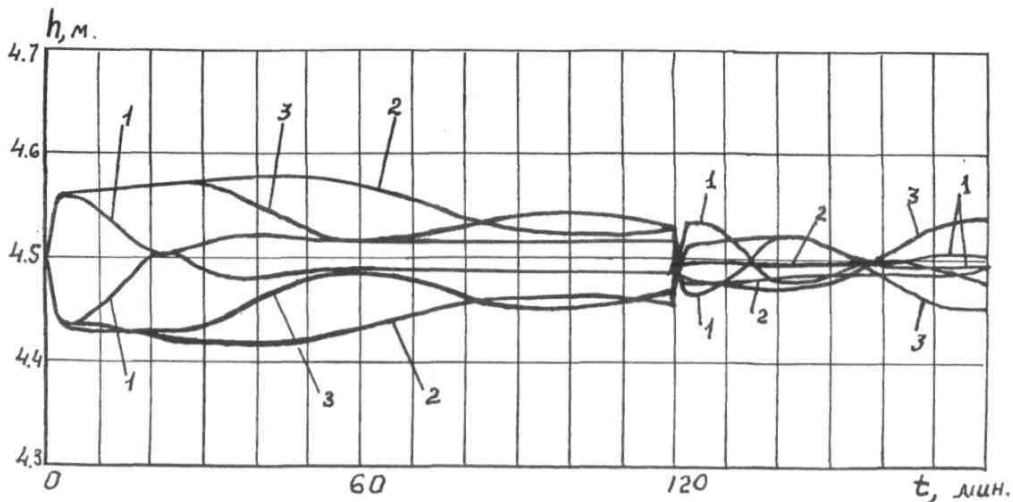


Рис.3. Динаміка коливань рівнів води в б'єфах при включенні – відключенні насосних станцій по одному насосі. Витрата води в каналі до включення насоса дорівнює $18 \text{ м}^3/\text{с}$:

1 – б'єф 1; 2 – б'єф 2; 3 – б'єф 3

Як видно з рисунка за наявності відбору води в б'єфах спостерігається зменшення додатних та збільшення від'ємних хвиль переміщення. При чому форма хвилі не змінюється у порівнянні з формою хвилі без відбору. Найбільший вплив відбору має місце при відключенні одного насоса.

Ця закономірність спостерігається при різних глибинах води у каналі. Виявлено вплив довжини б'єфа у разі відбору на величину хвилі — чим довше б'єф, тим менше вплив відбору на величину хвилі. Дослідження показали, що при розгляді хвиль переміщення слід розрізняти два принципово різних періоди: початковий, коли формується профіль хвилі, та квазівстановлений період, коли сформована хвиля переміщується без зміни профілю. Для виникнення другого (квазівстановленого) періоду необхідна достатня довжини каналу між насосними станціями.

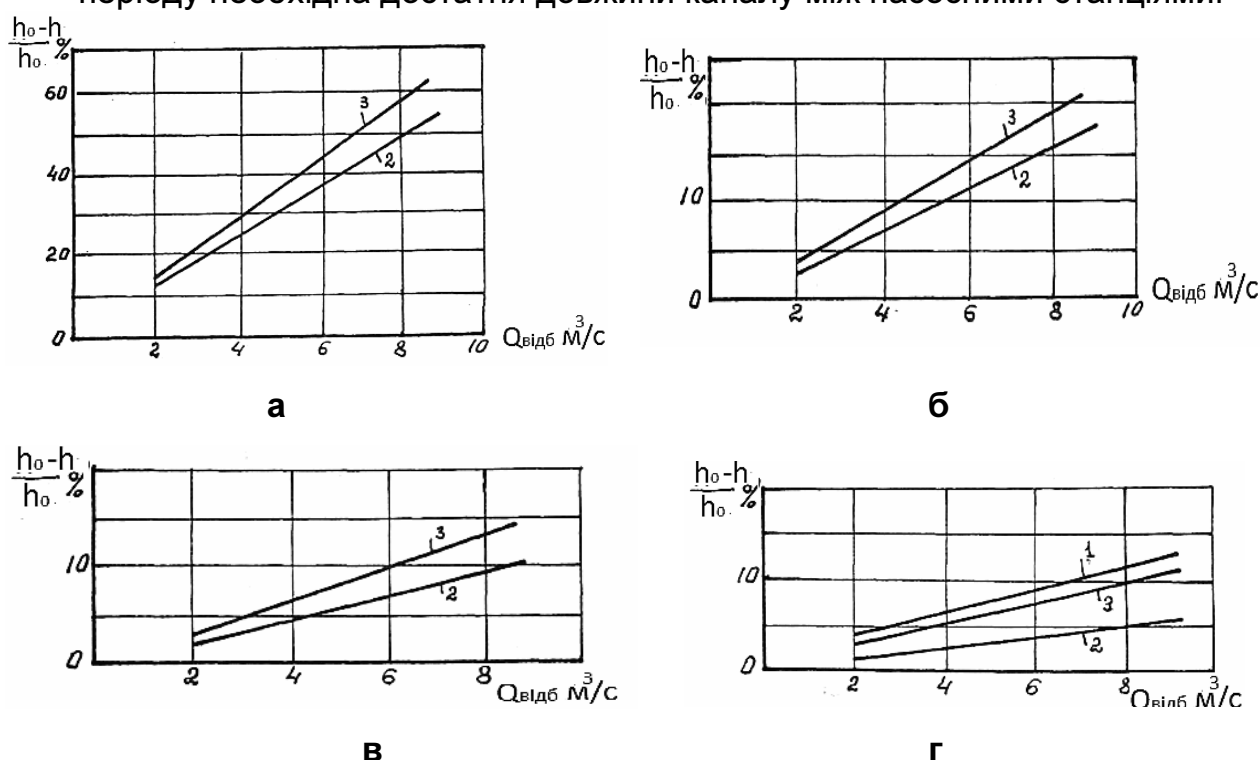


Рис. 4. Зміна висот хвилі залежно від величини відбору Q :
 а – $9 \text{ м}^3/\text{с}$; б – $18 \text{ м}^3/\text{с}$; в – $27 \text{ м}^3/\text{с}$; г – $36 \text{ м}^3/\text{с}$; 1 – б'єф 1; 2 – б'єф 2; 3 – б'єф 3

Теоретичному дослідженню початкового періоду формування хвилі присвячена робота Добера та Марво, які для розв'язання задачі застосували диференціальні рівняння Буссінеска та алгоритм розв'язку за допомогою ЕОМ. Але з точки зору практики найінтенсивнішим є другий період формування хвилі, коли додатна хвиля досягає найбільшої висоти. Ця висота – 15...25 % від початкової глибини води в каналі. Наприклад, при відключенні насосної станції з'єднуючого каналу ($Q = 105 \text{ м}^3/\text{с}$) висота першого гребеня додатної хвилі складає 0,98 м, на Каршинському каналі при відключенні п'яти насосних агрегатів ($Q = 195 \text{ м}^3/\text{с}$) – 1,45 м, а на Каховському каналі ($Q=530 \text{ м}^3/\text{с}$) – 1,4 м.

Висота та форма хвилі, крім швидкості та глибини води в каналі, залежить від величини зміни витрати ΔQ , на чому наголошувалося вище. Вплив останнього фактора на висоту та форму хвилі можна охарактеризувати параметром Fr_{Δ} , що визначається за формулою [6] :

$$Fr_{\Delta} = \frac{\Delta Q}{\omega \sqrt{g \frac{\omega}{B}}}, \quad (3)$$

де ΔQ – величина зміни витрати, m^3/s .

Цей безрозмірний параметр чисельно характеризує зміну кількості руху в початковому створі, яка викликана зміною величини витрати, та однозначно пов'язаний з висотою виникаючої хвилі. Одночасно з цим безрозмірний параметр Fr_{Δ} визначає вплив на висоту хвилі типу встановленого на станції насосного обладнання.

Відстань від створу виникнення хвилі до створу, де закінчується її формування, можна визначити за таблицею.

**Значення довжини ділянки (частки) каналу формування хвилі
переміщення**

Fr_{Δ}	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50
l_1/Δ_{max}	1500	950	600	400	240	150	80	50

На початкових стадіях проектування відстані до початку квазівстановленого періоду можна визначити за формулою:

$$l_1 = cT,$$

де T – час, s , протягом якого настає квазівстановлений період, визначений за формулою [2]:

$$T = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{\omega}{B} \frac{c}{a_0}} \left(1 - \frac{1}{3} \frac{\omega}{B} \frac{dB}{d\omega} \right),$$

де $a_0 = \frac{dQ}{dt}$ – швидкість зміни витрати води в початковому створі, m^3/s^2 ; c – швидкість розповсюдження хвилі, m/s , яка визначається за формулою:

$$c = \sqrt{g \frac{\omega}{B} \left(1 + \frac{3}{2} \frac{B}{\omega} h \right)} \pm v,$$

де h – висота хвилі m .

Для пологих хвиль (хвилі зливу та відливу) швидкість їх розповсюдження, m/s , можна визначити за формулою:

$$c = \sqrt{g \frac{\omega}{B}} \pm v.$$

Аналіз результатів досліджень, виконаних у галузі білякритичних течій, показав, що всі хвилі, які виникають в каналі, можуть бути приведені до хвиль так званих уособлених та кноідальних.

Можливість виникнення того чи іншого виду хвиль залежить від величини Fr_{Δ} [6]. Натурні дослідження на каналах з каскадом насосних станцій показали, що більш часті в них кноідальні хвилі, які є найнебезпечнішими через динамічний вплив на русло каналу.

Дослідженнями виявлено, що висота хвилі біля відкосів каналу дещо вища, ніж впродовж його осі [3].

Максимальну висоту хвилі $h_{\text{сер}}$ м, отриману на основі вищерозглянутого рішення, можна одержати, збільшивши її на величину $h_{\text{max}} = (1,3 \dots 1,35)h_{\text{сер}}$.

У випадку, коли необхідно знати не тільки максимальну висоту хвилі, але й інші її параметри, застосовують залежності, одержані А.А.Турсоновим [7]. Порівняння результатів досліджень при включенні насосного агрегату на всіх насосних станціях з подачею $Q=9 \text{ м}^3/\text{с}$ при витратах у каналі до включення насосного агрегату 9; 18 та $27 \text{ м}^3/\text{с}$ дало можливість виявити залежності висоти початкової хвилі від витрат води в каналі перед включенням насоса, тим більше висота першого гребеня хвилі (рис.5).

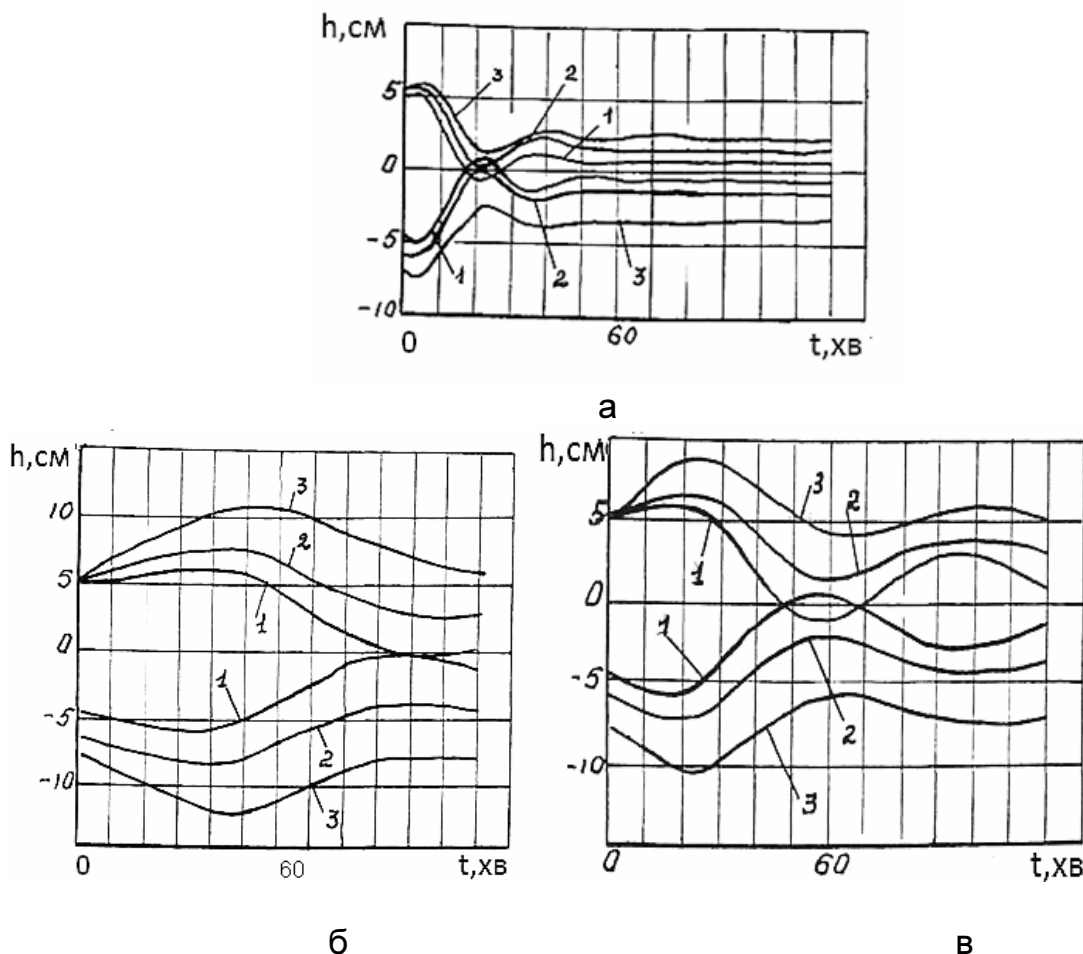


Рис. 5. Динаміка зміни рівнів у б'єфах при різних подачах насосних станцій та включенні на них по одному насосу при витраті води $Q, \text{ м}^3/\text{с}$: а – б'єф 1; б – б'єф 2; в – б'єф 3; 1 – $9 \text{ м}^3/\text{с}$; 2 – $18 \text{ м}^3/\text{с}$; 3 – $27 \text{ м}^3/\text{с}$

У розрахунках розглянуто питання послідовності включення насосів на станціях каскаду. Дослідження показали, що при відключенні одного з двох працюючих насосів на насосній станції №1 та роботі двох насосів на насосній станції №2 рівень води в б'єфі №1 починає знижуватися та через 60 хв зменшується на 25 см. А тому запізнення з включенням на насосній станції №2 після відключення насоса на насосній станції №1 може бути в межах 30 – 40 хв.

Зауважимо, що при інженерних розрахунках максимальних рівнів у каналах для визначення сухого запасу дамб можна застосовувати числові методи, наведені в роботі [11].

Результати досліджень динаміки рівнів у б'єфах насосних станцій при зміні режимів водо подачі показали, що в каналах з каскадом насосних станцій спостерігають більш складні гідравлічні процеси через швидші зміни витрат (за 8 хв 27 с залежно від типу насоса) порівняно зі зрошувальними каналами, де звичайно плавно регулюється водоподача шляхом відкриття чи закриття затворів перегороджувючих споруд. У зв'язку з цим реалізація схем регулювання в каналах з каскадом насосних станцій пов'язана з деякими складнощами [5, 10].

Результати досліджень. Виконані дослідження показали, що найприйнятнішими схемами регулювання є регулювання по «верхньому б'єфу» та «з постійними об'ємами».

За першою схемою регулювання включення та відключення насосних станцій здійснюється послідовно, починаючи зі станції, розташованої в кінці б'єфа. Стан рівня контролюється у верхньому б'єфі попередньої станції. Регулювання за другою схемою передбачає одночасне включення (відключення) насосних станцій на початку та в кінці б'єфа. Певний вплив на якість перехідних процесів у каналах з каскадом насосних станцій мають параметри регулювання та геометричні характеристики канала. При автоматичній подачі в каналах з каскадом насосних станцій важливим є вибір одиничної подачі насосного агрегату, а також початковий стан потоку (буде спокійний стан води чи рівномірний рух). Наші дослідження та дослідження в роботі [11] показали, що на стан руху води в каналі при регулюванні «з постійними об'ємами» в певній мірі впливає глибина води, але менше, ніж при регулюванні по верхньому б'єфу. Дослідженнями виявлено, що при застосуванні схеми регулювання «з постійними об'ємами» розширюються можливості вибору насосних агрегатів подачі, тобто за такої схеми регулювання подача насосного агрегату мало впливає на зміну режиму рівнів у б'єфі .

Встановлено, що при проектуванні каналів з каскадом насосних станцій уклон дна каналу можна приймати близьким до нульового. Це призведе до скорочення обсягів земляних робіт.

При проектуванні каналів з каскадом насосних станцій довжина б'єфів визначається рельєфом місцевості, а уклон дна каналів встановлюється від 0,0003 до 0,00008, який як зазначалося, мало впливає на динаміку рівнів води у б'єфі. Відповідно, з геометричних характеристик лише зміна коефіцієнта закладення укосів каналу m буде впливати на хід

перехідного процесу. Питання щодо величини ємкості при регулюванні по верхньому б'єфу в першому наближенні може бути вирішено шляхом визначення мінімальної довжини б'єфа за залежністю, що враховує час добігання хвилі, викликаного включенням насосного агрегату в кінці б'єфа, до насосної станції розташованої на початку б'єфа та терміну включення насосного агрегату на початку б'єфа:

$$\frac{2}{3}mi^2l^3 + (b+2mh)il^2 - 2 \frac{lk}{\sqrt{g \frac{(b+mh)h}{b+2mh}} - v_0} - Q_{arp}t_{arp} = 0, \quad (5)$$

де l – мінімальна довжина б'єфа, м; t_{arp} – час включення насосного агрегату в роботу, с; k – коефіцієнт, рівний 1,1 ... 1,5; Q_{arp} – подача насосного агрегату, м³/с.

Вираз (5) аналогічно залежності, яка застосовується при проектуванні каналів зрошувальних систем, де регулювання здійснюється перегороджувальними спорудами з електричним та гідравлічним приводом. Залежність (5) не враховує складну динаміку перехідних процесів, пов'язаних з роботою каскаду насосних станцій, але попередньо дає можливість призначити необхідну довжину б'єфів між станціями, яка в подальшому уточнюється розрахунками.

Для вирішення питання щодо застосування тієї чи іншої схеми регулювання в кожному конкретному випадку необхідно їх порівняння щодо динамічних властивостей та техніко-економічних показників.

При автоматизованому управлінні роботою каскаду насосних станцій важливим є рівномірне завантаження в часі насосного обладнання протягом періоду роботи. Між тим технічно це можливо здійснити для станцій з насосними агрегатами, що не мають обмеження щодо кількості включень та зупинок. Звичайно – це насосні агрегати з відносно невеликими подачами. Одне з рішень такої задачі наведено в роботі [11].

Висновки

Дослідження показали, що перехідний процес у б'єфах каналу з каскадом насосних станцій може бути розрахований за допомогою математичної моделі, заснованої на розв'язку рівнянь Сен-Венана. Встановлено, що боковий відбір води з б'єфів призводить до зменшення додатних та збільшення від'ємних хвиль. На динаміку в б'єфах при каскадному регулюванні найбільше впливає закладення укосів. При каскадному регулюванні насосних станцій на каналі можуть бути застосовані схеми регулювання по «верхньому б'єфу» та з «перетікаючими об'ємами».

Список літератури

1. Васильев О.Ф. Численный метод расчета неустановившихся течений в открытых руслах / О.Ф. Васильев, Т.А. Темньева, С.М. Шугрин // Известия АН УССР ОТН. Серия «Механика». – 1965. – №2. – С. 37–45.

2. Ведерников В.В. К расчету неустановившегося движения в открытых руслах / Ведерников В.В. – М.: АН СССР, 1947. – 145 с.

3. Заиров Х.И. Натурные исследования условий образования крутых волн перемещения в машинных каналах / Х.И. Заиров, А.А.Турсунов, Ю.М. Эшмурадов // Труды ЛПИ. – 1976. – №351. – С. 63–76.
4. Заиров Х.И. Волны перемещения в Каршинском канале и способ их гашения /Х.И.Заиров, П.П.Листойой //Доклады ВАСНИЛ. –1979.– №2. – С. 22–26.
5. Коваленко П.И. Автоматизация мелиоративных систем / Коваленко П.И. – М.: Колос, 1983. – 304 с.
6. Турсунов А.А. Образование крутых волн перемещения в больших каналах /А.А.Турсунов, Ю.М.Эшмурадов // Труды ЛПИ. – 1976. – №346. – С.73–84.
7. Турсунов А.А. Околокритическое состояние безнапорных потоков воды / Турсунов А.А // Известия ВНИИГ. – 1969.– Т. 90. – С. 201 – 203.
8. Тюменев Р.М. Защита головной части каскада насосных станций от переполнения и разрушения при отключении насосной станции / Р.М. Тюменев // Труды СНИИРИ и Средазгипроводхоза. Повышение управления гидромелиоративными системами. – Ташкент, 1985. – С. 171–183.
9. Разработка методики и программы расчетов неустановившихся движений в магистральных оросительных каналах. – Новосибирск.: Ин-т гидродинамики. 1971 – 54 с.
10. Руководство по проектированию автоматизации водораспределения на оросительных системах – М.:В/О Союзвод, 1974 – 210 с.
11. Чертоусов М.Д. Гидравлика: Специальный курс / М.Д. Чертоусов – М. – Л.: Гидроэнергопроект, 1957. – С. 391–453.

На основе численного решения дифференциальных уравнений Сен-Венана исследованы переходный процесс в бьефах канала с каскадом насосных станций. Установлено, что боковой забор воды из бьефов приводит к уменьшению положительных и увеличению отрицательных волн.

Переходный процесс в каналах с каскадом насосных станций, математическая модель, уравнения Сен-Венана.

The numerical solutions of differential equations of Saint-Venant investigated the transition process in the channel with cascading pools of pumping stations. Found that the side of the pools of water intake leads to a decrease in the positive and negative waves increase.

The transition process in channels with a cascade of pumping stations, mathematical model, the Saint-Venant equations.

УДК 631.3:621.1

ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ПТАШНИКА НА КОЛЕСАХ

В.Є. Василенков, кандидат технічних наук

Д.А. Погребний, студент магістратури

Наведено тепловий розрахунок пташника на колесах із розрахунками повітрообміну в зимову пору року за надлишком вологи і шкідливих газів, а в теплий і перехідний періоди – надлишком тепла і вологи.

© В.Є. Василенков, Д.А. Погребний, 2013