

Б. О. ЕГНАЗАРЯН

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ КОЛОДЦЕВ

В гидрометрии для фиксации изменяющихся во времени горизонтов воды в реках и каналах, в искусственных водоемах и озерах часто применяются водомерные колодцы, сообщающиеся с пространством, где измеряется уровень воды. Основное назначение этих колодцев заключается в устранении влияния случайных и пульсационных колебаний горизонта воды в канале на запись.

Канал (так будем называть пространство, где измеряется горизонт воды) и колодец являются сообщающимися сосудами (рис. 1); изменение горизонта воды в канале передается в колодец, где для фиксации уровней устанавливается самопишущий прибор—лимниграф. Под влиянием инерционных сил и сил сопротивления горизонт воды в колодце отстает от горизонта в канале. При подъеме горизонт воды в колодце ниже горизонта в канале, а при опускании, наоборот, горизонт в колодце выше горизонта в канале. Эта разность горизонтов, обеспечивающая приток в колодец или сток из него, обуславливается геометрическими размерами водомерного колодца и соединительной трубы, потерями энергии при движении воды, а также силами инерции массы воды в них.

Относительно соотношения размеров колодца и соединительной трубы в литературе имеются разные рекомендации. Например в «Наставлении гидрометрическим станциям и постам» рекомендуется взять сечение соединительной трубы 500—1000 раз меньше сечения самого колодца ([1], стр. 41), а в «Инструкции по эксплуатации самописца уровня воды „Валдай“ 20—100 раз ([2] стр. 9). Как видно, разница между приведенными двумя рекомендациями весьма велика, и каждая рекомендация дает большой диапазон изменений сечений, что вводит неопределенность при использовании ими в инженерных расчетах. Если при очень маленьком сечении соединительной

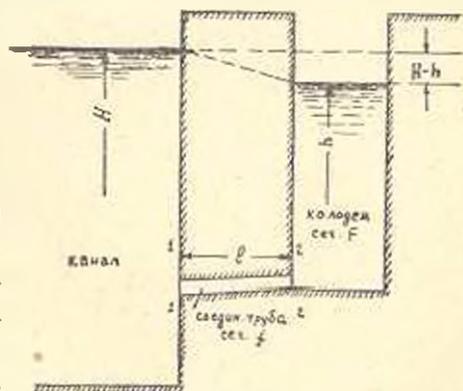


Рис. 1.

трубы колебание горизонта в колоде не будет соответствовать колебаниям в канале, то при большом сечении, наоборот, всякое изменение горизонта воды в канале, в том числе и пульсационные колебания, будет полностью передаваться в колодец и делать запись не четкой. Отношение поперечных сечений соединительной трубы и колодца необходимо подбирать так, чтобы пульсационные колебания не проскочили бы в колодец и, с другой стороны, чтобы изменения горизонта в колоде отличались бы от изменений в канале в практически приемлемых пределах. Для оценки точности записи, а также для подбора сечения соединительной трубы, необходимо уметь рассчитать колебания в колоде при известном законе колебания в канале и, наоборот, найти действительные колебания в канале, если имеется запись колебаний в колоде. Этот вопрос в литературе разобран недостаточно.

Читрини [6] рассматривает синусоидальные пульсационные колебания горизонта в канале. При этом им получено частное решение дифференциального уравнения, выведенного для случая ламинарного режима в соединительной трубе, т. е. случай, когда потери энергии пропорциональны скорости первой степени. Рассмотренный режим возможен только при очень длинной соединительной трубе и очень медленном изменении горизонта в канале, но не в случае пульсационного колебания его, когда период колебаний считается секундами.

Вольфцун [3] для определения сечения соединительной трубы пользуется только уравнением неразрывности, не считаясь с пульсационными колебаниями горизонта в канале.

В данной работе рассматривается случай квадратичного закона сопротивлений, причем решение дифференциального уравнения в аналитическом виде дается для синусоидальных колебаний, а при других законах изменения горизонта воды в канале, как например, при прохождении волны перемещения, предлагается методика численного интегрирования.

Для получения дифференциального уравнения движения воды в колоде воспользуемся основным уравнением неустановившегося движения [4]:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{a_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{a_2 v_2^2}{2g} + h_{\text{пот}} + \frac{l}{g} \int \frac{dv}{dt} dt \quad (1)$$

и уравнением неразрывности

$$\frac{df}{dt} + \frac{\partial Q}{\partial s} = 0,$$

которое при $\frac{df}{dt} = 0$, приводится к виду

$$Q = fv = F \frac{dh}{dt}, \quad (2)$$

где f и F — соответственно площади поперечных сечений соединительной трубы и колодца.

Сечение трубы по сравнению с сечением колодеза величина очень малая и, поэтому, скорости течения, потери энергии и инерционные силы в колодезе очень малы в отношении этих же величин в соединительной трубе, почему и расчет можно вести с учетом движения только в последней.

С учетом сказанного, уравнение (1), после простых преобразований, примет вид:

$$H = h \pm h_{\text{пот}} + \frac{l}{g} \frac{dv}{dt}, \quad (3)$$

где знак плюс перед $h_{\text{пот}}$ соответствует течению из канала в колодез, а знак минус — обратному течению.

Потери энергии при движении воды по трубе складываются из потерь на вход, на трение и на внезапное расширение:

$$h_{\text{пот}} = \left(\xi_{\text{вх}} + \frac{\lambda}{d} l + \xi_{\text{рас}} \right) \frac{v^2}{2g}.$$

Принимая $\xi_{\text{вх}} = 0,5$ и $\xi_{\text{рас}} = 1,0$ для потерь будем иметь:

$$h_{\text{пот}} = \left(1,5 + \frac{\lambda}{d} l \right) \frac{v^2}{2g}. \quad (4)$$

Подставляя $v = \frac{F}{f} \frac{dh}{dt} = \varepsilon \frac{dh}{dt}$ из (2) и $h_{\text{пот}}$ из (4) в (3) получим:

$$H = h + \frac{\left(1,5 + \frac{\lambda}{d} l \right) \varepsilon^2}{2g} \left(\frac{dh}{dt} \right)^2 + \frac{l\varepsilon}{g} \frac{d^2 h}{dt^2}. \quad (5)$$

Сделаем замену, принимая

$$\varepsilon^2 h = y. \quad (6)$$

Подставляя (6) в уравнение (5), после простых преобразований получим:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} \pm \varepsilon \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 + n^2 y = n^2 \varepsilon^2 H, \quad (7)$$

где для краткости обозначены

$$\varepsilon = \frac{1,5 + \frac{\lambda}{d} l}{2l\sigma}, \quad n^2 = \frac{g}{\sigma l}.$$

В правой части уравнения (7) величина $H = H(t)$ есть функция от времени и выражает закон изменения горизонта воды в канале.

Принимая плоскость сравнения 0—0 совпадающей с первоначальным горизонтом воды в канале, и предполагая состояние покоя в начальный момент, начальные условия для уравнения (7) можно записать в следующем виде:

$$\text{при } t = 0, \quad h = y = 0; \quad \frac{dh}{dt} = \frac{dy}{dt} = 0. \quad (8)$$

Уравнение (7) в общем случае не интегрируется, поэтому приходится интегрировать его приближенно. Наличие перед нелинейным членом $\left(\frac{dy}{dt}\right)^2$ малого числа ε (на практике почти всегда $\varepsilon < 0,05$) дает право искать решение уравнения (7) в виде ряда по степеням этого малого параметра ε [5], т. е. в виде

$$y = y_0 + \varepsilon y_1 + \varepsilon^2 y_2 + \dots$$

Точность решения имеет порядок (ε^k) , где k — число взятых членов ряда. Для практических целей в нашей задаче можно вполне удовлетвориться точностью порядка ε^2 , т. е. решение уравнения (7) можно представить в виде

$$y = y_0 + \varepsilon y_1, \quad (9)$$

где y_0 и y_1 — пока неизвестные функции.

Подставляя значение y и его производных в (7), пренебрегая членами, содержащими ε выше первой степени, получим следующие два линейные дифференциальные уравнения, решением которых найдем функции y_0 и y_1 :

$$\frac{d^2 y_0}{dt^2} + n^2 y_0 = n^2 \varepsilon^2 H(t), \quad (10)$$

$$\frac{d^2 y_1}{dt^2} + n^2 y_1 = - \left(\frac{d y_0}{dt} \right)^2. \quad (11)$$

Знак минус в правой части уравнения (11) относится к течению воды от канала в колодец, а знак плюс — обратному течению.

Рассмотрим пульсационные колебания, когда закон изменения горизонта воды H в канале можно представлять в виде синусоидальных колебаний с амплитудой $2A$, частотой $\omega = \frac{2\pi}{T}$ и периодом T

$$H = A \sin \omega t. \quad (12)$$

Тогда уравнение (10) примет вид:

$$\frac{d^2 y_0}{dt^2} + n^2 y_0 = n^2 \varepsilon^2 A \sin \omega t. \quad (13)$$

Общее решение (13) складывается из общего решения однородного уравнения и одного частного решения уравнения (13), имеющего вид

$$y_0 = C_1 \cos nt + C_2 \sin nt + \frac{n^2 \varepsilon^2 A \sin \omega t}{n^2 - \omega^2}$$

Из начальных условий (8) получаем:

$$C_1 = 0; C_2 = - \frac{\omega n z^2 A}{n^2 - \omega^2}$$

и функция y_2 будет иметь следующий вид:

$$y_2 = \frac{n^2 z^2 A}{n^2 - \omega^2} \left(\sin \omega t - \frac{\omega}{n} \sin nt \right). \quad (14)$$

Решая уравнение (11) методом вариации постоянных интегрирования, найдем функцию y_1 , которая, после некоторых преобразований, примет вид:

$$y_1 = \mp \frac{\omega^2 n^3 z^4 A^2}{(n^2 - \omega^2)^2} \left[\frac{5}{6n} + \frac{\sin^2 nt}{3n} + \frac{n \cos 2\omega t}{2(n^2 - 4\omega^2)} - \frac{2n(\omega \cos \omega t \cdot \cos nt + 2n \sin nt \cdot \sin \omega t)}{\omega(4n^2 - \omega^2)} \right] + C_1 \cos nt + C_2 \sin nt. \quad (15)$$

Подставляя это значение в (9) и используя начальные условия (8), найдем значения постоянных интегрирования C_1 и C_2 :

$$C_2 = 0; C_1 = \frac{\omega^2 n^3 z^4 A^2}{(n^2 - \omega^2)^2} \left[\frac{5}{6n} + \frac{n}{2(n^2 - 4\omega^2)} - \frac{2n}{4n^2 - \omega^2} \right].$$

Подставляя y_0 и y_1 в (9), получим общее решение уравнения (7) с точностью порядка ε^2 , которое, после перехода от y к первоначальной функции h по (6), окончательно примет следующий вид:

$$h = M \left(\sin \omega t - \frac{\omega}{n} \sin nt \right) = M^2 \frac{z\omega^2 z^2}{n} \left[\frac{5}{6n} + \frac{\sin^2 nt}{3n} + \frac{n \cos 2\omega t}{2(n^2 - 4\omega^2)} - \frac{2n(\omega \cos \omega t \cdot \cos nt + 2n \sin \omega t \cdot \sin nt)}{\omega(4n^2 - \omega^2)} - C \cos nt \right], \quad (16)$$

где для краткости обозначено

$$M = \frac{n^2 A}{n^2 - \omega^2}; C = \frac{5}{6n} + \frac{n}{2(n^2 - 4\omega^2)} - \frac{2n}{4n^2 - \omega^2}$$

Выражение (16) дает возможность найти колебания в колодце при синусоидальных колебаниях горизонта воды в канале. Но очень часто изменение горизонта воды в канале нельзя выразить простыми математическими зависимостями вида (12) и, поэтому, пользоваться полученным решением (16) не представляется возможным. Например, пульсационные колебания горизонта в канале строго говоря не синусоидальные, а закон изменения горизонта воды при прохождении волны перемещения довольно сложный и не поддается простой математической аппроксимации. В таких случаях решение дифференциальных уравнений можно получить численным или графическим интегрированием. Для этой цели напишем уравнения (2) и (3) в следующем виде:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{g}{l} (H - h - h_{\text{пот}});$$

$$\frac{dh}{dt} = \frac{v}{\sigma}.$$

Заменяя дифференциалы конечными приращениями, получим

$$\Delta v = \frac{g}{l} (H - h - h_{\text{пот}}) \Delta t; \quad (17)$$

$$\Delta h = \frac{v}{\sigma} \Delta t. \quad (18)$$

К этим двум соотношениям нужно добавить еще уравнение (4), для определения величины гидравлических потерь

$$h_{\text{пот}} = \left(1,5 + \frac{\lambda}{d} l \right) \frac{v^2}{-g} = kv^2 \quad (19)$$

и закон изменения горизонта воды H в канале

$$H = H(t), \quad (20)$$

который может быть дан графически или аналитически.

Совместное решение четырех уравнений (17)–(20) ведется в следующем порядке.

Задается величиной приращения времени Δt , принимая его постоянным. Изменение h , v и, следовательно, $h_{\text{пот}}$ непосредственно связано с изменением горизонта H в канале, поэтому принимаем следующее допущение: в течение промежутка Δt горизонт H в канале имеет значение, достигаемое в конце Δt , а v , h и $h_{\text{пот}}$ — значения, имевшие место в начале промежутка Δt . В начальный момент $t=0$ имеем установившийся режим и $h=0$, $v=0$, которые, согласно принятого допущения, остаются постоянными в течение первого промежутка Δt_1 . Для принятого значения Δt по (20) находим H_2 , подставляя его в (17), находим Δv_1 , имея последнее по (18) найдем Δh_1 , а по (19) вычисляем $h_{\text{пот}}$. Полученные Δv_1 , Δh_1 и $h_{\text{пот}}$ представляют величины скорости v , горизонта h и потерь $h_{\text{пот}}$ для следующего промежутка Δt_2 . Беря из (20) для конца Δt , значение H_2 , находим по (17) Δv_2 и полную скорость $v_2 = \Delta v_1 + \Delta v_2$, по (18) — Δh_2 и $h_2 = \Delta h_1 + \Delta h_2$, а по (19) — $h_{\text{пот}}$. Продолжая таким же образом этот несложный и негромоздкий расчет, что лучше делать в табличной форме, найдем значения v , h , $h_{\text{пот}}$ для последующих промежутков Δt и можем построить кривую колебания горизонта воды в водомерном колодце. Это же решение можно вести графически, но для экономии места его мы не приводим.

Точность численного или графического интегрирования уравнений зависит в основном от величины промежутка Δt ; чем меньше Δt , тем точнее расчет. Слишком малые значения Δt могут привести

к большому объему вычислительных работ и нецелесообразности пользования указанным методом. Слишком большое значение Δt может привести к искажению кривой колебания горизонта в колодце, так как даже при небольших v , но больших Δt по (18) Δh может принимать значение гораздо больше чем H , что не может соответствовать действительности. Для ориентировочного нахождения значения Δt будем исходить из того, что в конце первого промежутка изменение горизонта воды в колодце должно быть меньше такого же изменения в канале, т. е. $h_1 < H_1$. Разность $H_1 - h_1 > 0$ обуславливается силами инерции и сопротивления.

Подставляя из (17) значение v в (18), найдем:

$$h_1 = \frac{gH_1}{l\sigma} \Delta t^2.$$

Из условия $h_1 < H_1$ найдем:

$$\Delta t < \sqrt{\frac{l\sigma}{g}} = \frac{1}{n} \quad (21)$$

Можно для приближенных расчетов рекомендовать

$$\Delta t = (0.4 \div 0.6) \frac{1}{n}. \quad (21')$$

При короткой соединительной трубе и малых скоростях течения воды в ней (что имеет место в большинстве случаев практики, так как изменение горизонта в канале тоже медленное) потери энергии соответственно малы и ими можно пренебречь по отношению инерционных сил. В таких случаях уравнение (7) упрощается и для рассмотренного выше случая пульсационного колебания горизонта воды H в канале с учетом (6) принимает вид:

$$\frac{d^2h}{dt^2} + n^2h = n^2 A \sin \omega t. \quad (22)$$

Общее решение этого линейного уравнения имеет следующий вид:

$$h = \frac{n^2 A}{n^2 - \omega^2} \left(\sin \omega t - \frac{\omega}{n} \sin nt \right). \quad (23)$$

Так как уравнение (23) по сравнению с (16) значительно проще и удобнее для пользования, то для предварительных расчетов можно рекомендовать его. На рис. 2 для сопоставления даны кривые колебания горизонта воды в колодце, найденные:

- а) с учетом потерь по уравнению (16)-пунктир;
- б) по численному интегрированию — пунктир с точкой;
- в) без учета потерь по уравнению (23)-точечная линия.

Сплошная линия на рисунке соответствует пульсационному колебанию горизонта в канале. Задача определения ε решается подбором. Зная закон пульсационного колебания горизонта в канале, за-

даем значение ε и расчетом находим кривую и амплитуду колебания горизонта в колодце. Если полученная амплитуда не удовлетворяет нас, повторяем расчет для новых значений ε до тех пор, пока получится требуемый результат.

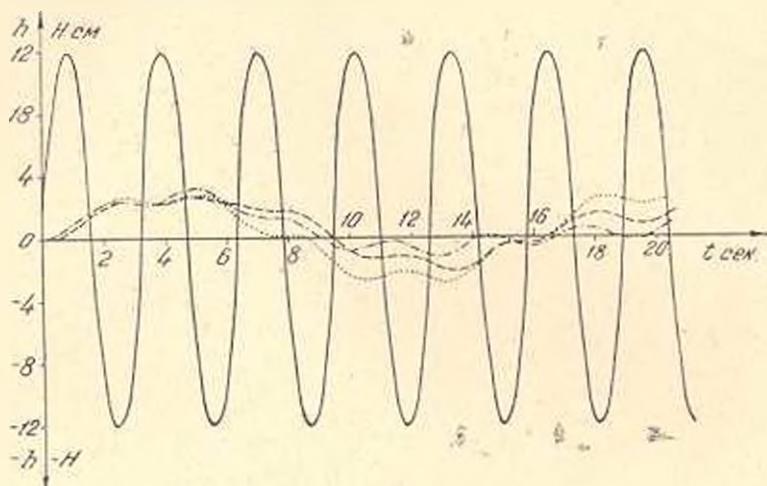


Рис. 2.

Задача выбора ε легко решается в случае небольших потерь в соединительной трубе. Приравнявая в (23) производную h по t нулю, получим

$$\cos \omega t = \cos nt,$$

откуда найдем время, когда h принимает свои экстремальные значения

$$t = \frac{2\pi k}{\omega \pm n}, \quad (24)$$

где $k = 1, 2, 3, 4, \dots$ принимает целые значения.

Подставляя (24) в (23) получим после некоторых преобразований следующие выражения для определения экстремальных значений горизонта воды в колодце

$$\varepsilon = \frac{1}{1-a^2} \left(\sin a \frac{2\pi k}{a-1} - a \sin \frac{2\pi k}{a-1} \right), \quad (25)$$

$$\varepsilon = \frac{1}{1-a^2} \left(\sin a \frac{2\pi k}{a+1} - a \sin \frac{2\pi k}{a+1} \right), \quad (26)$$

где для удобства письма обозначено $\varepsilon = \frac{h_{\text{экстр.}}}{A}$ и

$$a = \frac{\omega}{n} = \frac{2\pi}{T} \sqrt{\frac{cl}{g}} \quad (27)$$

Максимальную амплитуду колебания горизонта воды в колодце при известных наибольшем h_{max} и наименьшем h_{min} , находим по формуле:

$$2 A_{\text{кол}} = h_{\text{max. max}} - h_{\text{min. min}}$$

Анализ уравнений (25) и (26) показал, что указанные экстремальные значения $h_{max. max}$ и $h_{min. min}$ получаются при пользовании вторым уравнением, которое и принимается в основу для дальнейших рассуждений.

При $a = 1$ уравнение (26) дает неопределенность вида $\infty \cdot 0$ при любом значении k , раскрывая которую при помощи подхода Лопиталя получаем, что амплитуда колебания горизонта в колодце с увеличением k (т. е. с увеличением времени t) может бесконечно расти. Следовательно, в данном случае имеет место явление резонанса и поэтому решение дифференциального уравнения (22) в виде (23) перестает существовать. Будем искать частное решение (22) в виде $Ct \cos nt$.

Подставляя это значение в (22), найдем $C = -\frac{nA}{2}$, и общее решение после нахождения постоянных интегрирования будет иметь вид:

$$h = \frac{A}{2} (\sin nt - nt \cos nt). \tag{28}$$

Второй член в правой части этого выражения дает колебания с бесконечно возрастающей амплитудой при $t \rightarrow \infty$, что есть следствие равенства $\omega = n$, т. е. совпадения частот колебаний горизонта в канале и в колодце. Анализируя уравнение (26) при разных значениях a в большом диапазоне, а также пользуясь уравнением (28) для случая $a = 1$, нами найдена связь между величиной a и относительной амплитудой колебания горизонта в колодце $A_{кол} / A$. Данные приведены в табл. 1.

По данным таблицы построен график (рис. 3), который состоит из двух ветвей, соответствующих значениям $a < 1$ и $a > 1$ соответствен-

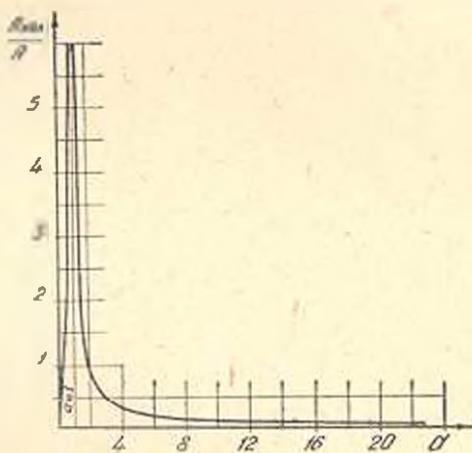


Рис. 3

Таблица 1

a	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
$\frac{A_{кол}}{A}$	0	1,083	1,665	2,500	5,000	∞	5,000	2,500	1,665	1,083	0,866
a	3,0	4,0	5,0	7,0	9,0	11,0	15,0	19,0			
$\frac{A_{кол}}{A}$	0,500	0,317	0,258	0,1668	0,1190	0,1000	0,0715	0,0555			

но и асимптотически приближающихся к линии $a = 1$. Случай $a < 1$ в практике встречается очень редко и поэтому левая ветвь графика

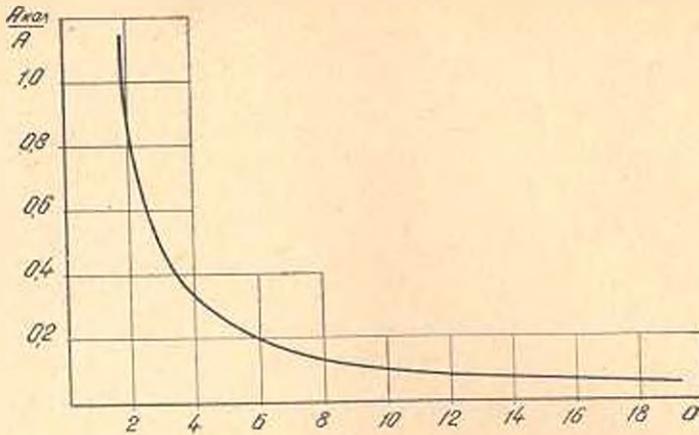


Рис. 4.

практического интереса не представляет. С точки зрения практического применения наибольший интерес представляет нижняя часть правой ветви графика, которая отдельно приведена на рис. 4.

График облегчает нахождение α для заранее заданной точности записи (т. е. амплитуды колебания горизонта воды в колодце). Действительно, задаваясь отношением $A_{\text{кол}}/A$ по графику находим α , а из (27) для известных T и l находим:

$$\alpha = \frac{g}{4\pi^2} \cdot \frac{\alpha^2 T}{l} = 0,248 \frac{\alpha^2 T}{l}. \quad (29)$$

Напомним, что формула (26), по которой построена кривая на рис. 3, выведена при условии пренебрежения силами сопротивления, которые, несмотря на их малую величину, затухающе влияют на колебания в колодце. Следовательно, найденная с помощью графика α имеет некоторый запас.

Ереванский политехнический институт
им. К. Маркса

Поступило 26 III 1957.

Բ. Օ. ԵԳԻԶԱՐՅԱՆ

ՋՐԱԶՈՓԱԿԱՆ ՀՈՐԵՐԻ ՀԻՖԻԱՎՈՐՈՒԿԱԿԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԸ

Ու մ փ ո փ ո ս լ մ

Հիդրոմետրիայում ջրի հորիզոնի աստանոսմը գրի առնելու համար ինքնազիր չափիչ գործիքը տեղափարում են հատակ ջրաչափական հորի մեջ, որի նպատակն է մեղմացնել հորիցոնի պայտայտոն աստանման ազդեցությունը դրանցման ճշտություն սրու: Հորի բնդրախանի կարծածքի մակերևուր, համեմատած հորի ջրանցքի նեղ միացնող խողովակի մակերևուի նեղ, չափազանց խոշոր մեծություն է, և համապատասխանաբար, ջրի շարժման արագությունը խողովակում անհամեմատ մեծ է հորում շարժման արագությունից: Ահրջին հանդամանքը թալլ է սալիո հիմնական հալոսարումների ստացման ժա-

մանակ հաշիվի առնել հիդրավլիկական կորուստները և իներցիոն ուժերը միայն միացնող խողովակում, որանց ջրի շարժումը ստորադնեա է: Ստացված ոչ գծային դիֆերենցիալ հավասարումը (7) բնդհանուր դեպքում չի լուծվում: Օդոտագործելով այն հանդամները, որ հավասարումը ոչ գծային դարձնող

$\left(\frac{dy}{dt}\right)^2$ անդամի է գործակիցը հավասարման մյուս անդամների հետ համեմատած շատ փոքր մեծություն է, ստացված է (7) հավասարման տեսական մոտավոր լուծումը փոքր պարամետրի եղանակով այն դեպքի համար, երբ ջրանցքում ջրի հորիզոնի ստատանոմը կարելի է արտահայտել սինուսոիդի օրենքով (12): Համման փերջնական տեսքը արված է (16) բանաձևով:

Պրակտիկայում շատ հաճախ, երբ ջրի հորիզոնի ստատանոմը ջրանցքում գտնուող է կատարվում, հիդրավլիկական կորուստները իներցիոն ուժերի համեմատաբար րավակներին փոքր են և հնարավոր է հաշվամանրի բնթացքում նրանց արհամարհել: Այդ դեպքի համար դիֆերենցիալ հավասարումը (22) գծային է, իսկ լուծումն աճի րավակներին պարզ տեսք (23), որը կարելի է ստաշարել ստատոր հաշվամանրի նպատակով օդոտագործելու համար:

Այն դեպքում, երբ ջրանցքում ջրի հորիզոնի ստատանոմը սինուսոիդային չէ և չի արտահայտվում մաթեմատիկական որևէ պարզ կապի միջոցով (ինչպես օրինակ ջրանցքում անդամումն ալիքի անցման ժամանակ), հոգվածում ստաշարելիում է ստացված (2) և (3) դիֆերենցիալ հավասարումների թվական լուծման մի րավակներին պարզ եղանակ, որի ճշտութունը կախված է միայն ժամանակի համար րնդունվող Δt փերջավոր աճի մեծութունից: Ինչքան փոքր է Δt -ն, այնքան մեծ է լուծման ճշտութունը, սակայն մյուս կողմից համապատասխանարար մեծ է և հաշվային աշխատանրի ծավալը, որը հաճախ չի արգարացվում ստացված ճշտութունը: Մեծ Δt -ն փոքրացնելով հաշվամանրի ծավալը կարող է րերել ոչ ճիշտ, հաճախ նաև խիստ աղավաղված արդրոնքների, ուստի անհրաժեշտ է գտնել Δt -ի այն սահմանային մեծությունը, որից բարձր արժեքներ Δt -ի համար փերցնել չի կարելի: Հոգվածում Δt -ի նշված արժեքի որոշման համար գարս է րերված (21¹) բանաձևը: Հավասարումների լուծման տարրեր եղանակների ճշտութունները համեմատելու նպատակով հոգվածում (նկ. 2) րերված են նաև դեպքի համար ջրաչափական հորում հորիզոնի ստատանոմն կրելը՝ ստացված (16) ու (23) բանաձևերով և թվական ինտեգրման եղանակով: Չնայած ջրանցքում ջրի հորիզոնի ստատանոմն մեծ հաճախականությունը, րերված կրելը իրարից րիչ են սարրերվում: Ջրաչափական հորի և այն ջրանցքի հետ միացնող խողովակի մակրերանրի հարարրությունը՝ ε պետք է րնտրվի այնպես, որ ջրանցքում հորիզոնի պուլսացիոն ստատանոմները չաղղեն ինքնաղղի շարիչ դործիքի գրանցման ճշտութուն վրա: Այն դեպքի համար, երբ հիդրավլիկական կորուստները կարելի է արհամարհել իներցիոն ուժերի հետ համեմատած, (23) բանաձևի անալիզի օգնությամբ հոգվածում ստացված են գրաֆիկներ (նկ. 3 և 4) σ -ի որոշման համար (գրաֆիկներից $\lambda_{\text{ուս}} / \lambda$ նախորդ րնդունվող մեծության համար փերցվում է σ -ն, իսկ (29) բանաձևի միջոցով σ -ն): Եթե հիդրավլիկական կորուստներն զղալի են և արհամարհել չի կարելի, σ -ի որոշումը կատարվում է (16) բանաձևի կամ թվական ինտեգրման օգնությամբ՝ աստիճանական մոտեցման միջոցով: Այդ նպատակով հարկավոր է σ -ի մի շարք արժեքների համար հաշվել ջրաչափական հորում ջրի հորիզոնի ստ-

տանումը և ընտրել Ե-ն, որի գեպքում հորում տատանման ամպլիտուդան հավասարվում է նախորդ ընդունված մեծությունը: Այսպիսի որոշումը շատ մեծացնում է հաշվալին աշխատանքի ծախսը, ուստի և առաջարկվում է բոլոր գեպքերում սղտվել նկ. 3 և 4-ում բերված դրաֆիկներին, որոնք տալիս են Ե-ի արժեքը որոշ պաշարով, ըսնի որ նրանց ստացման ժամանակ հաշվի չեն առնված հորում հորիզոնի տատանումների վրա մարդ ազդեցություն գործող հիդրավիկական կորուսաները:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Наставление гидрометрическим станциям и постам. Выпуск 6, часть II, М.-Л, 1945 г.
2. Самописец уровня воды „Валдай“ (модернизированный). Описание и инструкция по эксплуатации. 1953, Рига.
3. *Вольфцун И. Б.* Расчет площади сечения трубы, соединяющей верхний бьеф подоглива с колодезем самописца. Метеорология и гидрология, № 1, 1955.
4. *Чертухов М. П.* Специальный курс гидравлики, М.-Л, 1949.
5. *Крылов Н. М. и Боголюбов Н. П.* Введение в нелинейную механику. Киев, 1937 г.
6. *Duilio Citroni.* Le oscillazioni nei pozzi idrometrici. L'Energia Elettrica, № 11, 1954.