

высокие требования к системе управления работой затворов, так как при отклонении хода затворов от выбранного режима происходит перераспределение напора между ними, и гидравлические условия за одним из них резко ухудшаются.

Обзор литературы. Актуальность таких исследований обусловлена тем, что двухфазные потоки жидкости являются основным рабочим телом в гидротехнических сооружениях, эти задачи встречаются в работах ученых А.А. Хамидова, С.И. Худайкулова и А.А.Юлдошева [1]. Создание простых, точных методов и моделей решения сложных технических задач является актуальными при решении рассматриваемых задач [2]. Для нестационарных течений дисперсных смесей А.А. Хамидовым получен интеграл Бернулли. А.А. Хамидовым разработан общий метод решения струйных течений смеси идеальных жидкостей для малых чисел Рейнольдса. С.И. Худайкуловым развита теория струй многофазной жидкости и получены решения задачи об обтекания шара и цилиндра смесью вязких жидкостей при малых числах Рейнольдса.

Методология исследования. Методика гидравлического расчета водоводов шлюзов с двумя последовательно установленными затворами разработана Б.Д. Качановским [1]. Давление за первым затвором можно определить по формуле:

$$\frac{P_1}{\gamma} = h_t + (\zeta_2 - 1 - 2\sqrt{\zeta_{zm_1}} + \zeta_{zm_2}) \quad (1)$$

за вторым-по формуле:

$$\frac{P_2}{\gamma} = h_t + (\zeta_2 - 1 - 2\sqrt{\zeta_{zm_1}}) \mu_t^2 H_t \quad (2)$$

Напор в каждый момент времени определяется по уравнению [1]:

$$\sqrt{H_t} = \sqrt{H_0} - \frac{\omega\sqrt{2g}}{2\Omega} \int_0^t \mu_t dt \quad (3)$$

где

$$\mu_t = \frac{1}{\sqrt{\sum \zeta}} = \frac{1}{\sqrt{\zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_{zm_1} + \zeta_{zm_2}}} \quad (4)$$

В этих формулах P_1 и P_2 — осредненное избыточное давление на потолке галереи в сжатых сечениях за первым и вторым затворами (рис. 2,а); H_0, H_t — начальный напор на шлюз и напор в момент времени t ; h_0, h_t — заглубление потолка галереи под уровень воды в камере в начальный момент и в момент t ; Ω — площадь зеркала воды в камере шлюза; ω — площадь расчетного сечения галереи; ζ_1, ζ_2 — суммарные коэффициенты сопротивления участков галереи, лежащих выше первого и ниже второго затворов; $\zeta_{zm_1}, \zeta_{zm_2}$ — коэффициенты сопротивления затворов; μ_t — коэффициент расхода водопроводной системы.

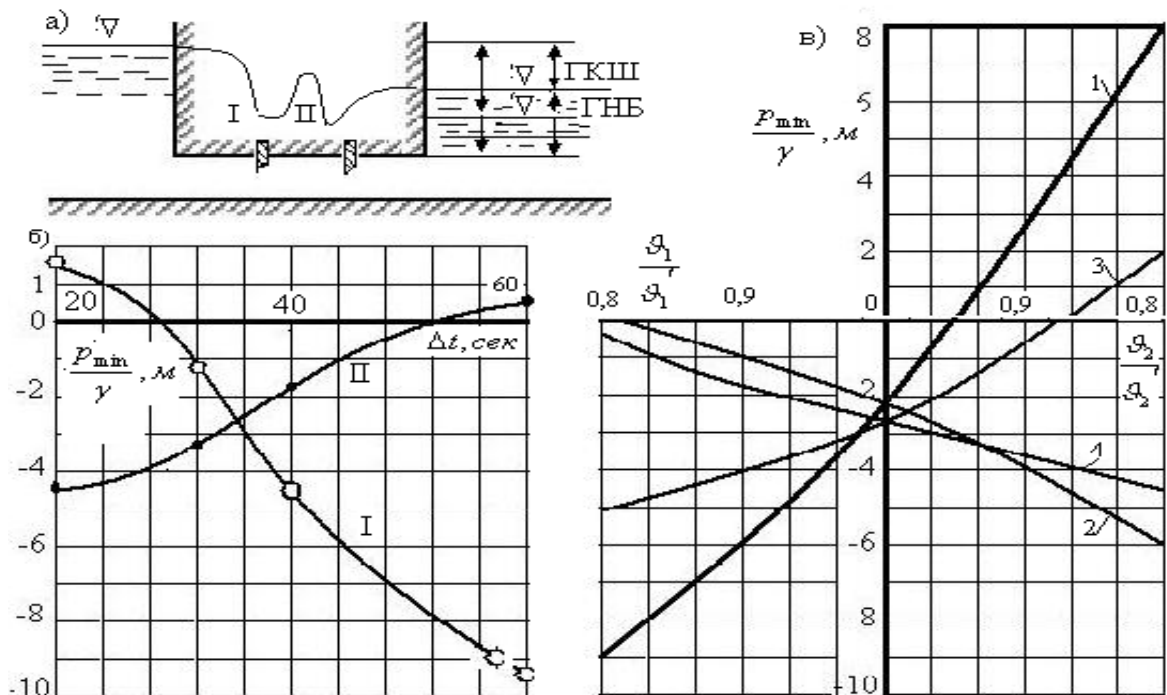


Рис.2. Влияние точности работы затворов на давление за ними. а- расчетная схема водовода; б- влияние опережения второго затвора; в- влияние изменения скорости одного из затворов I и II-затворы. v_1, v_1 - принятые скорости подъема затворов; v_1, v_1 – действительные скорости подъема затворов (с учетом отставания). 1,2-давление за первым и вторым затворами при первоначальном выборе режима их подъема; 3,4- то же при уточненном режиме.

Из структуры формул (1) и (2) видно, что если оба затвора будут подниматься синхронно, т. е. в каждый момент $\zeta_{zm_1} = \zeta_{zm_2}$, то давление за ними будет различным; за вторым затвором давление будет ниже, и он будет работать в более тяжелых условиях. Для выравнивания давления второй затвор должен подниматься с некоторым

опережением Δt . Лучшим решением будет такое, когда минимальные давления за обоими затворами $\frac{P_{1,мин}}{\gamma}$ и $\frac{P_{2,мин}}{\gamma}$ будут равны.

Результаты. В первом приближении величину Δt можно определить. Однако невозможно выдержать заданный график подъема затвора идеальной точностью. Отклонения от него могут привести к резкому ухудшению условий работы одного из них. Для оценки влияния точности работы затворов на давление за ними по формулам (1)-(4) был сделан гидравлический расчет шлюза со следующими исходными данными: $H_0 = 60м; \Omega = 2160м^2;$

$\omega = 16м^2; h = 4м; \zeta_1 = 1,5; \zeta_2 = 2,0;$ время равномерного подъема затворов $t_{0_1} = t_{0_2} = 200сек; \Delta t$ менялось от 20 до 60 сек.

На рис. 2,6 приведены значения минимальных за время наполнения шлюза давлений ниже затворов при различном опережении Δt . При $\Delta t = 36сек, \frac{P_{1,мин}}{\gamma} = \frac{P_{2,мин}}{\gamma} = -2,6м.вод.ст.$ Из этого же рисунка видно, что если Δt будет на 5 сек больше, то вакуум за первым затвором увеличится вдвое.

При уменьшении скорости подъема одного из затворов на 10% увеличился вакуум за ним в 2-3 раза (рис. 2,в; кривые 1 и 2).

Таблица

n_2	ζ_2	ζ_1	n_1	n_2	ζ_2	ζ_1	n_1
0,1	193	12100	-	0,6	2,33	7,3	0,43
0,2	44,7	850	-	0,7	1,1	2,56	0,58
0,3	18,05	175	0,12	0,8	0,64	1,2	0,69
0,4	8,37	50	0,19	0,9	0,34	0,56	0,82
0,5	4,27	17,6	0,31	1,0	0,25	0,36	0,89

Необходимо найти такой график подъема затворов, отклонения от которого были бы наименее опасны. В дальнейшем будем называть такой график оптимальным.

В большинстве случаев оптимальный график можно построить, исходя из условия, что давления за обоими затворами в период их подъема должны быть равны, т. е. $P_1 = P_2$. Тогда, приравняв правые части формул (1) и (2) произведя сокращения, получим:

$$2\sqrt{\zeta_{zm_1}} = \zeta_{zm_2} + 2\sqrt{\zeta_{zm_2}} \quad (5)$$

Это и есть условие равенства давлений за обоими затворами. Задаваясь величиной относительного открытия одного из затворов (например, второго n_2) можно вычислить требуемую величину n_1 . В таблице приведены результаты расчета для плоского затвора, но точно так же можно определить зависимость $n_1 = f(n_2)$ для других типов затворов.

Используя эти данные, можно построить гидравлическую характеристику шлюза. Следует отметить, что если затворы находятся на разных отметках или пространство между ними сообщается с атмосферой (с помощью аэрационной шахты или уравнительного резервуара), то зависимость (5) не верна [5],[7].

Для определения величины допустимого отклонения хода затворов от выбранного графика $n_1 = f(n_2)$ и, следовательно, для оценки требований, предъявляемых к точности работы приводных механизмов, а также для построения оптимального графика в тех случаях, когда формула (5) не верна, предлагается следующее построение.

Рассчитываются гидравлические характеристики наполнения (или опорожнения) шлюза, по которым можно найти величину давления за обоими затворами, соответствующую определенному сочетанию относительных открытий

их n_1 и n_2 . Такой расчет делается для нескольких величин Δt или для разных скоростей подъема затворов.

По этим данным строятся поля давления за затворами в зависимости от соотношения n_1 и n_2 (рис. 3,а и 3,б), т.е. каждой паре значений n_1 и n_2 соответствует точка с определенным значением давления за первым (рис.2,а) и вторым (рис.2,б) затворами взятая с гидравлической характеристики. По этим точкам проводят изобары $\frac{p_1}{\gamma} = const$ и $\frac{p_2}{\gamma} = const$.

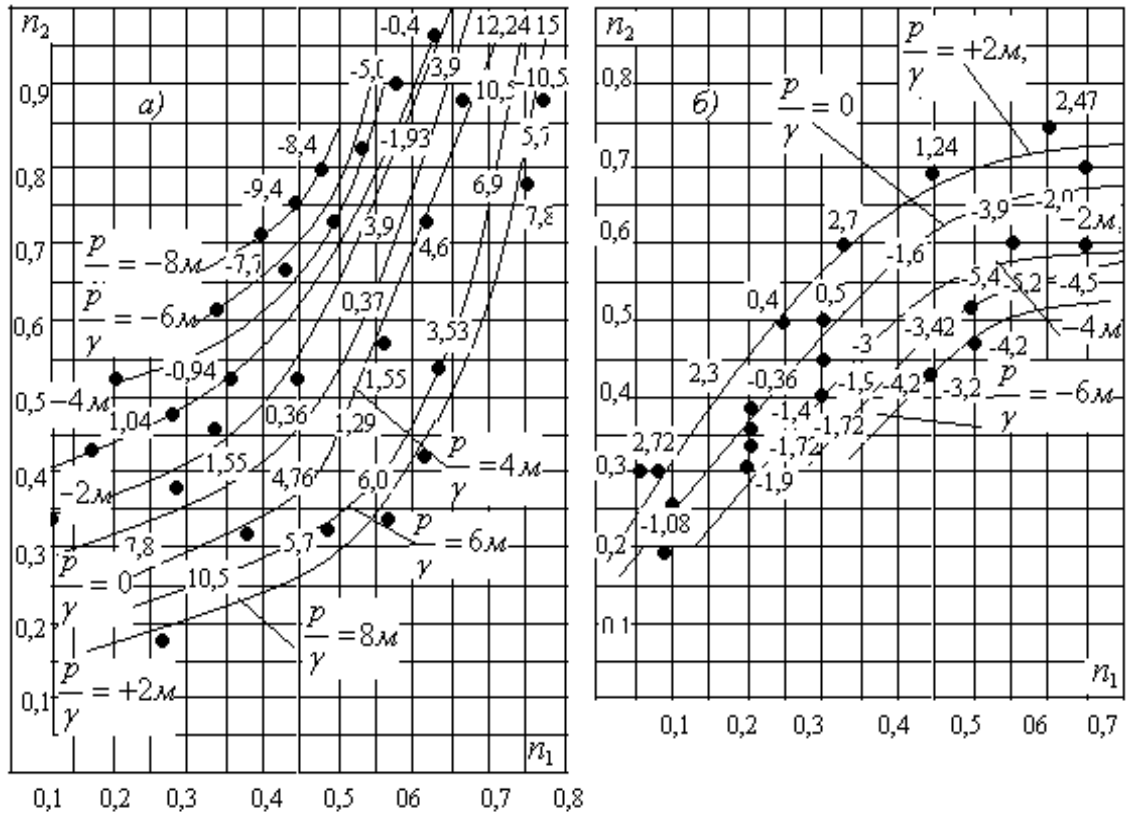


Рис.3. Давление $\frac{p}{\gamma}$ м.вод.ст. за затворами при их различном открытии.

а) - за первым затвором; б) - за вторым затвором.

Затем обе системы изобар объединяются в одну номограмму (рис.3). С её помощью можно определить

давление за затворами при любых величин n_1 и n_2 . Следует отметить, что если скорости подъема затворов при

разных вариантах расчета различаются очень сильно (в несколько раз), то одному сочетанию n_1 и n_2 в разных случаях будут соответствовать несколько отличающиеся значения давлений за затворами, потому что будут отличаться величины уровней воды в камере, но эта разница невелика по сравнению с абсолютными значениями давлений и уровней.

Из рассмотрения номограммы (рис.3) можно сделать вывод, что для данного шлюза с определенными параметрами существует область таких соответствующих значений n_1 и n_2 (на рис. 3 она заштрихована), что если график связи между ними будет лежать в этой области, то вакуум за затворами не превысит допустимой величины.

График, соответствующий выбранному ранее режиму подъема затворов (кривая 2), находится внутри этой зоны, но проходит слишком близко от границ ее. Поэтому даже небольшие отклонения приводят к тому, что он пересекает границы допустимой зоны, и давление за затворами резко падает.

Для того, чтобы можно было уменьшить требования, предъявляемые к точности работы затворов, нужно выбрать такую схему маневрирования ими, чтобы кривая связи между n_1 и n_2 проходила равноудаленно от границ опасной зоны, например 1 на рис.4. Результаты расчета влияния отклонения от этого, вновь избранного графика на давление

за затворами $\frac{p}{\gamma}$ приведены на рис. 2, в (линии 3 и 4). Неточность хода затвора в данном случае сказывается в

значительно меньшей степени, и требование к точности выполнения этого графика снижается, как минимум, в два раза [7],[8].

Выводы. При синхронной работе обоих затворов не удастся добиться одинакового распределения давления за затворами в период их открытия. Первый затвор должен начинать открытие с некоторым запаздыванием и двигаться большей скоростью по сравнению со вторым.

Предложенная методика позволяет выбрать график подъема затворов, требование к точности выполнения которого снижается в 2 раза. Это в значительной мере повышает надежность работы затворов.

В статье рассматривались только плоские затворы, однако аналогичное построение можно сделать и для любых других типов затворов.

ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хамидов А.А, Худайкулов С.И, Юлдошев.А.А. Алгоритм устойчивости круглой струи дисперсной смеси в среде дисперсной смеси. // Проблемы энергетики и информатики, №6, 2008 г.стр.94-98.
2. Худайкулов С.И., Нишонов Ф.Х. Математические модели гидравлического удара в гидросооружениях и производственных комплексах. Ташкент, 2017г. 162с.
3. Негматуллоев З.Т. «Применение информационных технологий при моделировании безопасной работы трубопроводов водохранилищ». дисс. Ташкент 2022.
4. Токарев И. И. О плотинах со свободнопадающими струями.- Труды координационных совещаний по гидротехнике. 1963. Вып. VII, с.121.
5. Худайкулов С.И., Нишонов Ф.Х., Жўрахонова Ш, Мадийрова М. «Моделирование течение жидкости с образованием и распространением волн». Proceedings of Global Technovation 8th International Multidisciplinary Scientific Conference Hosted from London U.K. С 165-170. <https://conferencepublication.com> June 30th 2021.
6. Khaydarov Sh.E., Khudaikulov S. I. Simulation of dispersed mixture particles impact in forced water conducts of the rezaksay reservoir. INNOVATIVE TECHNOLOGICAL METHDICAL RESEARCH JOURNAL ISSN 2776-0987/ Volume 4, Issue 3 Mar 2023. 24-11.
7. N.Saidkhujueva, S.Xudaykulov. Functions of particle distribution by residence time and moisture content in drying units. AIP Conference Proceedings 2612, 050006 (2023); <https://doi.org/10.1063/5.0113505> 2612, 050006 © 2023 Author(s).
8. Ш. Э. Хайдаров, Х. А. Жураев, С. И. Худайкулов. Моделирование течения вязкой жидкости систем гидроприводов и гидроавтоматики. Гидротехника Гидроэнергетика № 2. 2023. 46-48.