ГОССТРОЙ СССР

Главное управление по строительному проектированию предприятий зданий и сооружений

Всесоюзное объединение Союзводоканалниипроект

ВСЕСОЮЗНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений
и инженерной гидрогеологии
„ВОДГЕО"

РУКОВОДСТВО ПО РАСЧЕТУ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ВОДОВОДОВ ОТ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ УДАРОВ

Москва — 1970

gost.e-ecolog.ru

ГОССТРОЙ СССР

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПО СТРОИТЕЛЬНОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ
ПРЕДПРИЯТИЙ, ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

ВСЕСОЮЗНОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ СОЮЗВОДОКАНАЛНИИПРОЕКТ

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ВОДОСНАБЖЕНИЯ,
КАНАЛИЗАЦИИ, ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ И ИНЖЕНЕРНОЙ
ГИДРОГЕОЛОГИИ

ВОДГЕО

РУКОВОДСТВО
ПО РАСЧЁТУ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ВОДОВОДОВ
ОТ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ УДАРОВ

МОСКВА, 1970 г.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Стр.

Введение I

I.Причины гидравлических ударов 2

2.Первичные и отраженные волны изменения давления.. 6

3.Оценка опасности гидравлических ударов в водоводах 9

4.Выбор средств защиты водоводов от гидравлических ударов 20

5.Подготовка расчетной схемы водовода 26

6.Печать результатов расчета 38

7.Подготовка исходных данных для проведения расчета 42

8.Задание на подготовку перфоленты и на проведение расчета 65

9.Инструкция по подготовке перфоленты исходных данных 70

IO.Инструкция по записи программы на магнитную ленту 72

II.Инструкции по работе за пультом при проведении расчета 72

Приложения:

I.Таблица I. Исходные данные по массивам A_1 и A_2

2.Таблица П. Исходные данные по массиву A_3

3.Таблица Ш. Исходные данные по массиву A_4

4.Таблица IУ.Исходные данные по массиву A_5

5.Таблица У. Исходные данные по массивам A_6, A_7, A_8

6.Таблица УI.Задание на подготовку перфоленты

7.Таблица УII. Задание на проведение расчета

Введение

В соответствии с планом работ ВНИИ ВОДГЕО в 1969-1970 г.г. на основе обобщения опыта проектирования средств защиты от гидравлических ударов должно быть разработано Руководство по расчету этих средств с использованием ЭЦВМ.

Целью работы является оказание научно-технической помощи проектным и производственным организациям в освоении расчетов гидравлических ударов, что необходимо для широкого внедрения в практику средств защиты, обеспечивающих уменьшение стоимости строительства водоводов за счет снижения расчетных давлений.

Первым этапом в выполнении этой работы является данное Руководство, предусматривающее использование ЭЦВМ Минск-22 с выполнением расчетов по программе ГУ-7-МИ. Большая часть приводимых в нем материалов может быть использована и при проведении расчетов по другим программам.

По мере отработки новых программ в Руководство будут вноситься дополнения, учитывающие их спесифические особенности с тем, чтобы в 1970 г. подготовить новое издание Руководства, предусматривающее использование всех тех программ, которые к этому времени будут отработаны.

Руководство разработано совместно ВНИИ ВОДГЕО и ГПИ Союзводоканалпроект.

Разделы 1-5 и 7 написаны Л.Ф.Мошниным (ВНИИ ВОДГЕО), разделы 6,8-11 - Л.А.Обуховым (ГПИ Союзводоканалпроект).

I. Причины гидравлических ударов

Рассмотрим отсек трубопровода длиною $\Delta \ell$,ограниченный двумя произвольными сечениями I–I и II–II (рис. I).

При постоянном (стационарном) режиме подачи воды расход Q_1, поступающий в отсек через сечение I–I, равен расходу Q_2, выходящему через сечение II–II, и количество воды, содержащееся в этом отсеке, остается неизменным.

Постоянный режим работы системы может нарушаться изменением:

а) отбора воды из системы;

б) степени открытия задвижек (затворов);

в) режима работы насоса, которым вода подается в данную систему.

При любом нарушении постоянного режима работы системы возникает "разбаланс" притока и оттока воды в отсеке, примыкающем к тому месту, где произошло одно из указанных выше изменений. Предположим, что нарушение постоянного режима возникло на границе I–I отсека и вызвало увеличение или уменьшение расхода Q_1 . До тех пор, пока это нарушение не достигнет границы II–II отсека, расход Q_2 останется неизменным.Следовательно приток воды Q_1 не будет равен оттоку Q_2 и за промежуток времени Δt , в течение которого нарушение распространится на весь отсек и достигнет сечения II–II, масса воды в отсеке изменится на $\rho \Delta Q = \rho (Q_1 - Q_2) \Delta t$ (ρ - плотность жидкости). Если $Q_1 > Q_2$,т.е. приток превышает отток, то происходит сжатие воды, что приводит к повышению давления. Если $Q_1 < Q_2$, т.е. отток превышает приток, то вода расширяется, что приводит к снижению давления.Очевидно, что повышение давления сопровождается расширением труб, снижение - их сжатием.

Так как давление при этом изменяется резко, то явление названо " гидравлическим ударом".

Согласно теории гидравлического удара, разработанной Н.Е.Жуковским, взаимозависимость между изменением скорости движения воды ΔV и изменением давления Δh определяется выражением:

$$\Delta h = \frac{a}{g} \Delta V \qquad (I)$$

или

$$\Delta V = \frac{g}{a} \Delta h, \qquad (I^a)$$

где a м/сек - скорость распространения изменения состояния потока по длине трубопровода (так называемая скорость распространения волн изменения давления);

$g = 9{,}81$ м/сек^2 - ускорение силы тяжести.

Скорость a зависит от плотности жидкости, жесткости труб и наличия в трубопроводе нерастворенного в жидкости воздуха.

При подаче воды по абсолютно жестким трубам и отсутствии нерастворенного в воде воздуха $a = 1425$ м/сек.

Практически для металлических и железобетонных труб значения a лежат в пределах 900÷1300 м/сек, для асбестоцементных труб со стыками на резиновых уплотнителях - в пределах 200÷800 м/сек.

Расчеты гидравлического удара в водопроводах рекомендуется, как правило, выполнять для двух расчетных значений a, принимаемых равными:

- для металлических и железобетонных труб - $a_{min} = 500$ м/сек, $a_{max} = 1000$ м/сек;

- для асбестоцементных труб со стыками на резиновых уплотнителях - $a_{min} = 300$ м/сек, $a_{max} = 600$ м/сек.

Рекомендация производить расчеты для двух значений связаана с тем, что в некоторых случаях уменьшение скорости a приводит не к уменьшению, а к увеличению повышения давления при гидравлических ударах (см. раздел 3 "Оценка опасности гидравлических ударов в водоводах").

При рассмотрении процесса гидравлического удара необходимо учитывать, что падение давления ограничено, так как давление в трубопроводе не может быть ниже нуля (точнее - упругости водяных паров). Поэтому при превышении оттока над притоком падение давления Δh не может быть больше величины абсолютного давления до возникновения гидравлического удара. В результате этого прекращение поступления воды через сечение I-I (см. рис.I) не означает, что через промежуток времени $\Delta t = \frac{\Delta \ell}{a}$ обязательно прекратится отток воды через сечение II-II. Может оказаться, что давление в отсеке упадет до предела и это не прекратит оттока воды из него. Так, например, если до прекращения поступления воды через сечение I-I скорость ее движения в трубопроводе составляла $V_0 = I$ м/сек, избыточное давление было равно 20 м (т.е. абсолютное - 30 м) и скорость распространения волн изменения давления равна $a = I000$ м/сек, то Δh не может превысить 20+I0 = 30 м и согласно формуле (I^a)

$$\Delta V \leq \frac{g}{a} \Delta h = \frac{9,81}{1000} \cdot 30 \cong 0,3 \text{ м/сек}$$

Следовательно после падения давления на 30 м и снижения скорости на $\Delta V = 0,3$ м/сек отток через сечение II-II будет

продолжаться с остаточной скоростью

$$V_{ост} = V_0 - \Delta V = 1 - 0{,}3 = 0{,}7 \text{ м/сек.}$$

Продолжающийся отток через сечение П-П не будет компенсирован ни за счет притока (поскольку поступление воды через сечение I-I прекращено), ни за счет сжатия труб и расширения воды (поскольку давление упало до предела и дальнейшее его снижение невозможно). В результате этого некомпенсированного оттока часть рассматриваемого отсека окажется заполненной не жидкостью, а парами воды и выделевшимся воздухом, который до снижения давления был растворен в воде. Измерения давления при гидравлических ударах показали, что оно в таких случаях оказывается близким к соответствующему упругости водяных паров. Поэтому приближенно можно считать, что образовавшиеся каверны заполнены только парами воды. Такое предположение приводит к некоторому завышению величины давления, определяемой расчетом гидравлического удара.

Отток воды через сечение П-П будет продолжаться до тех пор,пока он не прекратится под воздействием внешних сил.Если отсек не горизонтален и сечение П-П расположено выше сечения I,то торможение потока будет вызываться силой тяжести. Если же отсек горизонтален или сечение П-П расположено ниже сечения I-I,то торможение потока начнется лишь после того, как давление в сечении П-П окажется выше давления в сечении I-I.Такое возрастание давления может произойти в результате подхода к сечению отраженной волны изменения давления.

2. Первичные и отраженные волны изменения давления

Волны изменения давления, возникающие в результате нарушения постоянного режима поступления воды в трубопровод или отбора воды из него (а также при открытии или закрытии задвижек, установленных на трубопроводе) называются первичными волнами изменения давления. Если нарушение постоянного режима возникло в начале водовода, то эти волны распространяются по направлению к его концу, если в конце - по направлению к началу. Если нарушение возникло в промежуточной точке (изменился отбор воды, изменилась степень открытия затвора), то первичные волны изменения давления распространяются в обе стороны - как по направлению к началу, так и по направлению к концу трубопровода. При подходе прямых волн к начальной и концевой точкам водовода, а также к промежуточным по длине точкам, в которых изменяются условия течения жидкости, возникают отраженные волны изменения давления. Такими промежуточными по длине водовода точками могут быть места изменения диаметра труб, отборы воды, места присоединения к трубопроводу резервуаров и пневматических котлов, места установки клапанов для впуска воздуха, обратных клапанов и др. Отраженные волны с той же скоростью a как и прямые волны, также распространяются по трубопроводу. При подходе к местам, в которых возникли первичные волны, они взаимодействуют с ними и изменяют их значение.

Особо следует отметить отраженные волны, возникновение которых связано с гидравлическими сопротивлениями трубопровода, потерями напора в нем.

В качестве расчетной может быть принята схема, предусматривающая, что гидравлическое сопротивление труб сконцентриро-

вано в "диафрагмах", расположенных в нескольких точках по длине водовода. Тогда отраженные волны изменения давления будут возникать в местах установки диафраги.

Разделение волн изменения давления на первичные и отраженные введено лишь для того, чтобы рассмотреть существо процесса гидравлического удара. При выполнении же расчета этого процесса такое подразделение волн изменения давления не нужно. С точки зрения техники выполнения расчета как первичные следует рассматривать волны изменения давления, подошедшие к данной точке, и как вторичные - новые значения волн, определяемые в зависимости от условий их отражения. Этими условиями могут быть постоянство давления (отражение от постоянного уровня воды), постоянство расхода, в частности, равенство его нулю (отражение от закрытых задвижек), заданная зависимость давления от расхода (скорости движения) воды (отражение от насоса, точки отбора, резервуара с изменяющимся уровнем воды) или зависимость расхода (скорости движения воды) от перепада давления (диафрагма-сопротивление, предохранительный клапан, частично закрытая задвижка и др.).

Для упорядочения подсчетов волны изменения давления, распространяющиеся по направлению первоначального движения воды, обозначены φ, в обратном направлении - ψ, волнам повышения давления придан знак "плюс", волнам понижения давления - знак "минус".

Следует отметить, что волны повышения давления, распространяющиеся по направлению первоначального движения воды, вызывают увеличение скорости этого движения: они " подталки-

вают" поток. Волны же повышения давления, распространяющиеся против направления первоначального движения воды, снижают скорость этого движения: они "тормозят" поток. Волны понижения давления действуют противоположным образом: их распространение по направлению первоначального движения приводит к снижению скорости движения воды, распространение в противоположном направлении - к возрастанию ее.

3. Оценка опасности гидравлических ударов в водоводах и выбор средств защиты

В данном случае рассматриваются гидравлические удары в водоводах, вызываемые "внезапным" выключением насосов вследствие прекращения электропитания при открытых задвижках (затворах) на их напорных линиях.

Прекращение электропитания приводит к сравнительно быстрому снижению числа оборотов насоса, что вызывает уменьшение развиваемого насосом напора и снижение подачи воды. Возникшая у насоса волна понижения давления распространяется по направлению к концевой точке водовода, вызывая уменьшение скорости движения воды и снижение давления в водоводе.

Процесс возникающего в водоводе гидравлического удара зависит от скорости движения воды и величины потерь напора в водоводе до выключения, характеристики насоса, инерционности насосного агрегата, наличия обратных клапанов у насосов, длины и профиля водовода, отметки подачи воды, типа присоединения водовода к резервуару (башне), площади зеркала воды в резервуаре (если вода подается непосредственно в резервуар) или кармане резервуара (если вода поступает в резервуар через карман), конструкции и размеров сифона (если вода поступает в резервуар через сифон). Кроме того процесс удара зависит от принятых мер защиты. Использованием соответствующих мер защиты как понижение, так и повышение давления может быть ограничено любой заданной величиной. При этом следует учитывать, что меры защиты должны применяться лишь в тех случаях, когда

затраты на их осуществление компенсируются уменьшением стоимости строительства, определяемой снижением расчетных давлений, применительно к которым производится выбор материала и класса прочности труб. Поэтому прежде всего нужно оценить, какова может быть величина повышения давления при отсутствии мер защиты.

Рассмотрим водовод, схема которого приведена на рис.2.

Подача воды производится насосом, расположенным в начале водовода (точка I) в водонапорную башню (точка 5). Предположим сначала, что потери напора в водоводе малы и ими можно пренебречь (пьезометрическая линия - линия П). Мала также и инерция насосного агрегата, вследствие чего насос останавливается мгновенно и волна понижения давления мгновенно достигает значения, определяемого формулой (I). При этом могут быть три случая:

I случай

Скорость движения воды в водоводе V_0 была сравнительно мала, при остановке насоса уменьшается до нуля ($\Delta V = V_0$) и величина падения давления $\Delta h = \varphi < H_б$

В этом случае волна понижения давления без отражения в промежуточных точках достигает конца водовода (точка 5).

Если площадь зеркала воды в башне велика и изменением уровня можно пренебречь, то для того, чтобы давление в точке 5 оставалось неизменным необходимо, чтобы отраженная волна ψ_1 компенсировала подошедшую к башне волну понижения давления. Следовательно волна ψ_1 должна быть волной повышения давления, равной по абсолютной величине подошедшей волне понижения давления φ_1 :

$$\psi_1 = \varphi_1$$

Распространение этой волны повышения давления по направлению к началу водовода будет сопровождаться восстановлением давления, соответствующего $H_{ст}$ (см.рис.2), т.е. повышением давления на величину $\Delta h = \varphi_1 = \frac{a V_0}{g}$. Согласно формуле ($I^a$) для повышения давления на Δh необходимо, чтобы образовалась скорость движения воды.

$$\Delta V = \frac{g}{a} \Delta h,$$

направленная от башни.

Так как

$$\Delta h = \frac{a V_0}{g},$$

то получим

$$\Delta V = \frac{g}{a} \Delta h = \frac{g}{a} \cdot \frac{a}{g} V_0 = V_0$$

Следовательно восстановление в водоводе давления вызовет движение воды в обратном направлении с той же скоростью V_0, с которой происходило движение воды в прямом направлении до выключения насоса.

При подходе волны повышения давления к обратному клапану, расположенному в начале водовода, эта скорость будет погашена до нуля ($\Delta V = V_0$), что в соответствии с формулой (I) вызовет повышение давления на величину

$$\Delta h = \frac{a \Delta V}{g} = \frac{a}{g} V_0 \qquad (2)$$

Таким образом, повышение давления сверх статического оказывается равным понижению давления относительно статического, произошедшему при выключении насоса.

2 случай

Начальная скорость движения воды в водоводе V_0 больше, чем в 1-ом случае, но все же недостаточна для того, чтобы

при мгновенной остановке насоса давление в начале водовода упало до нуля. Поэтому при выключении насоса скорость движения воды в начале водовода падает до нуля ($\Delta V = V_0$). Величина падения давления составляет в этом случае

$$\Delta h = \varphi_2 = \frac{a V_0}{g} > H_{ст} - Z_3$$

(см.рис.2).

Предположим, что в точке 3 (расположенной на отметке Z_3) установлен клапан для впуска воздуха (аэрационный клапан), открывающийся при падении давления до атмосферного (т.е. при снижении напора до Z_3).В этом случае волна понижения давления, возникшая в начале водовода, не может беспрепятственно дойти до конца водовода: происходит отражение волны изменения давления в точке 3. В результате этого на участке водовода за точкой 3 будет распространяться волна понижения давления

$$\varphi_3 = H_{ст} - Z_3 < \varphi_2$$

Величина отраженной волны повышения давления ψ_2 находится из того условия, что при ее суммировании с волной понижения давления напор в точке 3 оказывается равным Z_3 , т.е. $H_{ст} - \varphi_2 + \psi_2 = Z_3$

Следовательно

$$\psi_2 = \varphi_2 - (H_{ст} - Z_3) = \varphi_2 - \varphi_3 \qquad (A)$$

Волна понижения давления φ_2 распространяется по направлению первоначального движения воды, а волна повышения давления ψ_2 – против этого направления. Поэтому обе эти волны снижают начальную скорость V_0 движения воды в прямом направлении на участке до точки 3 до величины

$$V_1 = V_0 - \frac{g}{a}(\varphi_2 + \psi_2) = V_0 - \frac{g}{a}(\varphi_2 + \varphi_2 - \varphi_3) =$$

$$= V - \frac{g}{a}(2\varphi_2 - \varphi_3) \qquad (Б)$$

Так как

$$\varphi_2 = \frac{a V_0}{g} \quad ,$$

то

$$V_1 = V_0 - \frac{g}{a} 2\varphi_2 + \frac{g}{a}\varphi_3 = V_0 - 2V_0 + \frac{g}{a}\varphi_3 = -V_0 + \frac{g}{a}\varphi_3 \qquad (В)$$

Поскольку $\varphi_3 < \varphi_2 = \frac{a V_0}{g}$, то $\frac{g}{a}\varphi_3 < V_0$

Следовательно скорость V_1 противоположна по направлению скорости V_0 , т.е. после образования отраженной волны повышения давления ψ_2 вода начнет двигаться от точки 3 к точке I (см. рис.2).

На участке за точкой 3 распространяется волна понижения давления φ_3 , снижающая начальную скорость V_0 до величины

$$V_2 = V_0 - \frac{g}{a}\varphi_3 \qquad (Г)$$

Поскольку $\frac{g}{a}\varphi_3 < V_0$, то скорость V_2 совпадает по направлению со скоростью V_0 , т.е. на этом участке водовода вода отходит от точки 3 по направлению к башне.

Согласно (Б) и (Г) разность скоростей V_1 и V_2 в точке 3 оказывается равной:

$$V_2 - V_1 = V_0 - \frac{g}{a}\varphi_3 - V_0 + \frac{g}{a}(2\varphi_2 - \varphi_3) =$$

$$= 2\frac{g}{a}(\varphi_2 - \varphi_3) = 2\frac{g}{a}\psi_2 \qquad (Д)$$

Под воздействием разности скоростей в точке 3 образуется разрыв сплошности потока.

Этот разрыв будет нарастать до тех пор, пока скорость V_2 не окажется меньше скорости V_1 .

Уменьшение скорости V_2 (считая за положительное направление первоначальной скорости движение воды V_0) будет происходить в результате взаимодействия волн изменения давления на участке водовода за точкой 3.

При отражении от башни волны понижения давления φ_3 возникает равная ей волна повышения давления ψ_3, распространяющаяся против первоначального направления движения воды, и поэтому снижающая оставшуюся скорость V_2 на участке за точкой 3 на $\frac{g}{a}\psi_3 = \frac{g}{a}\varphi_3$, т.е. до величины

$$V_2' = V_2 - \frac{g}{a}\varphi_3 = V_0 - 2\frac{g}{a}\varphi_3 \qquad (Е)$$

При подходе к точке 3, в которой в этот момент времени существует разрыв сплошности потока и поэтому давление остается неизменным (равным атмосферному), возникает новая отраженная волна понижения давления $\varphi_4 = \psi_3 = \varphi_3$, снижающая давление до атмосферного и распространяющаяся по направлению первоначального движения воды, вследствие чего скорость движения воды в прямом направлении дополнительно снижается на $\frac{g}{a}\varphi_4 = \frac{g}{a}\varphi_3$, т.е. до

$$V_2'' = V_0 - 2\frac{g}{a}\varphi_3 - \frac{g}{a}\varphi_3 = V_0 - 3\frac{g}{a}\varphi_3 \qquad (Ж)$$

При подходе к башне давление восстановится до статического, т.е. возникнет новая волна повышения давления $\psi_4 = \varphi_4 = \varphi_3$, и скорость движения воды в первоначальном направлении дополнительно снизится на $\frac{g}{a}\varphi_3$, т.е. станет равной

$$V_2''' = V_0 - 3\frac{g}{a}\varphi_3 - \frac{g}{a}\varphi_3 = V_0 - 4\frac{g}{a}\varphi_3 \qquad (З)$$

Так как $\varphi_3 = \varphi_2 - \psi_2$ (см.рис.2) и $\frac{g}{a}\varphi_2 = V_0$ то согласно (Ж) и (З) можем написать:

$$V_2'' = V_0 - 2\frac{g}{a}(\varphi_2 - \psi_2) - \frac{g}{a}\varphi_3 =$$

$$= V_0 - 2V_0 - \frac{g}{a}(\varphi_3 - 2\psi_2) = -[V_0 + \frac{g}{a}(\varphi_3 - 2\psi_2)] \qquad (И)$$

$$V_2''' = V_0 - 2\frac{g}{a}(\varphi_2 - \psi_2) - 2\frac{g}{a}\varphi_3 =$$

$$= V_0 - 2V_0 + 2\frac{g}{a}\psi_2 - 2\frac{g}{a}\varphi_3 = -[V_0 + 2\frac{g}{a}(\varphi_3 - \psi_2)] \qquad (К)$$

Скорость V_1 движения воды на участке до точки 3 определяется выражением (В). Разность скоростей V_2'' и V_1 в точке 3 оказывается равной:

$$\Delta V = V_1 - V_2'' = -V_0 + \frac{g}{a}\varphi_3 + V_0 + \frac{g}{a}(\varphi_3 - 2\psi_2) =$$

$$= 2\frac{g}{a}(\varphi_3 - \psi_2) \qquad (Л)$$

Из выражения (Л) следует, что если $\varphi_3 > \psi_2$, то величина ΔV будет положительной и заполнение разрыва сплошности потока начнется при подходе к точке 3 первой же отраженной от башни волны повышения давления. Предположим, что $\varphi_3 > \psi_2$ и что заполнение разрыва сплошности закончится до подхода к точке 3 второй отраженной от башни волны повышения давления, вызвавшей в водоводе скорость движения V_2'''. Если это так, то дополнительные волны понижения давления в точке 3 не возникнут и максимальная скорость движения воды в водоводе в обратном направлении будет определяться выражением (К).

Гашение этой скорости у обратного клапана, расположенного в точке I, вызовет повышение давления сверх статического на

$$\Delta h = \frac{a V_0}{g} + 2(\varphi_3 - \psi_2) =$$

$$= \frac{a V_0}{g} + 2[(Hcm - Z_3) - \psi_2] \qquad (M)$$

Из выражения (М) следует, что повышение давления оказывается тем большим, чем меньше ψ_2. В пределе при $\psi_2 = 0$ получим:

$$\Delta h = \frac{a V_0}{g} + 2(Hcm - Z_3) \qquad (3)$$

Сопоставление формул (2) и (3) показывает, что образование разрывов сплошности потока может привести к весьма значительному повышению давления, особенно если эти разрывы образуются в начальных точках водовода, отметки которых (Z_3) близки к нулю. В этом случае

$$\Delta h \cong \frac{a V_0}{g} + 2Hcm \qquad (3^a)$$

Формула (3) и (3^a) получены в предположении, что $\varphi_3 > \psi_2$ и что заполнение разрыва сплошности потока в точке 3 заканчивается до подхода к этой точке второй отраженной от башни волны повышения давления. Если $\varphi_3 < \psi_2$, то в водоводе возникнут бо́льшие скорости движения воды в обратном направлении. Однако детальное рассмотрение процесса гидравлического удара показывают, что и в этом случае максимальное повышение давления не превосходит значения Δh по формуле (3^a). / см. "Указания по защите водоводов от гидравлического удара". Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам. Москва, 1961, Стр. 200-206/.

3 случай.

Если начальная скорость движения воды V_0 настолько велика, что $\frac{a V_0}{g} > H_{ст}$, то при падении напора в начале водовода до нуля движения воды в начале водовода не прекратится.

При большом гидравлическом сопротивлении насоса и коммуникаций насосной станции потери напора могут быть столь значительными, что давление уже в начале водовода упадет до предела и здесь образуется разрыв сплошности потока.
В этом случае максимальная величина возможного повышения давления будет определяться формулой (3^a). Однако при небольшом гидравлическом сопротивлении насоса и коммуникаций станции и незначительном превышении отметок водовода над уровнем воды в водоисточнике, может оказаться, что разрывы сплошности потока не образуются ни в начале водовода, ни в какой-либо промежуточной точке по его длине. В этом случае волны понижения давления, возникающие в начале водовода, будут беспрепятственно достигать башни и вызывать отраженные волны повышения давления. Очевидно, что наибольшим повышение давления в водоводе будет в том случае, если распространение (по направлению к башне) волны понижения давления будет снижать до предела напор и до нуля скорость движения воды в водоводе. Тогда при образовании у башни отраженной волны повышения давления, восстанавливающей в водоводе статическое давление, вызовет в нем скорость движения воды в обратном направлении, равную $V = \frac{g}{a}(H_{ст} + h_{вак})$,
где $h_{вак}$ - максимальная величина вакуума при падении в нем давления до предела. Гашение этой скорости у обратного кла-

пана в начале водовода вызовет повышение давления сверх статического ,равное

$$\Delta h = H_{ст} + h_{вак.} \qquad (4)$$

При выводе формул (2)-(4) мы исходили из того, что потери напора в водоводе настолько малы, что ими можно пренебречь. Поэтому пьезометрическая линия располагалась горизонтально (линия II рис. 2).

Если потери напора значительны и ими пренебречь нельзя, то при расчете удара, как уже указывалось, они принимаются сконцентрированными в диафрагмах-сопротивлениях (точки 2 и 4 рис.2).

В соответствии с этим фактическая пьезометрическая линия - наклонная прямая III рис.2 заменяется ломаной линией IУ, уступы которой соответствуют потерям напора в диафрагмах-сопротивлениях.

Формулы (2)-(4) дают максимальные возможные величины повышения давления. Как правило, фактическое повышение давления будет меньшим в результате благоприятного воздействия таких факторов, как потери напора в водоводе и инерция насосного агрегата. Применение тех или иных средств борьбы с гидравлическими ударами, позволяет, как уже указывалось, ограничить повышение давления любой заранее заданной величиной.

Следует отметить, что согласно формул (2) и (3) повышение давления будет тем большим, чем выше скорость a распространения волн изменения давления. Однако снижение скорости a как бы "удлиняет" водовод, поскольку отраженные волны приходят к началу водовода через больший промежуток

времени после выключения насосного агрегата. В результате этого благоприятное воздействие инерции насосного агрегата проявляется в меньшей мере, что усиливает опасность образования разрывов сплошности потока. При образовании же разрывов сплошности потока повышение давления оказывается значительно большим, что следует из сопоставления формул (2) и (3). Поэтому расчеты гидравлического удара рекомендуется производить для двух значений $a = a_{min}$ и a_{max}.

4. Выбор средств защиты водоводов от гидравлических ударов

Средства защиты водоводов от недопустимого повышения давления при гидравлических ударах можно подразделить на две группы: средства, предотвращающие образование в водоводах больших скоростей движение воды в обратном направлении и средства, предотвращающие быстрое гашение этих скоростей.

К первой группе относятся водонапорные башни и колонны, резервуары для впуска воды, воздушно-водяные камеры, клапаны для впуска и защемления воздуха, а также обратные клапаны, отсекающие отошедшие колонны воды выше мест образования разрывов сплошности потока. К снижению величин скоростей движения воды в обратном направлении приводит также увеличение инерции насосных агрегатов.

Ко второй группе относятся предохранительные клапаны, клапаны-гасители, диафрагмы из хрупких материалов, разрушающиеся при повышении давления сверх допустимого предела, сброс воды через обводные линии обратных клапанов и затворов (задвижек). К предотвращению быстрого гашения скоростей приводит также сброс воды через насос в обратном направлении.

Для предотвращения в водоводах вакуума сверх допустимого предела используются клапаны для впуска и защемления воздуха, водонапорные башни и колонны, резервуары для впуска воды, воздушно-водяные камеры.

Увеличение инерции насосных агрегатов значительно упрощает и облегчает меры, предотвращающие образование в водоводе недопустимого вакуума.

Клапаны для впуска и защемления воздуха являются наиболее простой и дешевой мерой защиты как от недопустимого повышения давления, так и от недопустимого вакуума.

Как мера защиты от недопустимого повышения давления клапаны для впуска и защемления воздуха оказываются тем эффективнее, чем меньше статический напор в месте их установки.

Для предварительной оценки эффективности клапанов можно пользоваться графиком, приведенным на рис. 3*)

Обратные клапаны, отсекающие отошедшие колонны воды. Обратными клапанами водовод может быть расчленен на участки так, что в пределах каждого участка статические напоры не будут большими и использование клапанов для впуска и защемления воздуха окажется эффективным.

Обратные клапаны являются надежной мерой защиты от недопустимого повышения давления, дают возможность уменьшить сбросы воды из водоводов при повреждениях, а также производить пуск насосов при открытых задвижках. Поэтому при диаметрах труб до 1000-1200 мм применение обратных клапанов оказывается, как правило, целесообразным.

Перед обратным клапаном (считая по ходу воды) должен быть установлен клапан для впуска воздуха, фиксирующий место разрыва сплошности потока. Расстояние между этими клапанами можно принимать на 10-15 м большим определяемого расчетом расстояния между разошедшимися колоннами воды (L_{max}).

Резервуары для впуска воды предназначены для предотвращения образования в водоводах разрывов сплошности потока.

---

*) График взят из "Указаний по защите водоводов от гидравлического удара" - см. стр. 52.

Впуск воды более эффективно ограничивает повышение давления нежели впуск и защемление воздуха, однако является более дорогим и сложным мероприятием. Резервуары для впуска воды отделены от водоводов обратными клапанами, открывающимися лишь при понижении давления вследствие выключения насосов. Поэтому применение их для защиты водоводов, транспортирующих воду питьевого качества, не может быть рекомендовано по санитарным соображениям.

Водонапорные башни и колонны являются надежным средством борьбы с гидравлическими ударами. Они могут применяться и при транспортировании воды питьевого качества, так как обмен воды в них может быть обеспечен. Однако стоимость водонапорных башен и колонн сравнительно велика и поэтому они могут применяться лишь при соответствующем технико-экономическом обосновании.

Воздушно-водяные камеры могут эффективно использоваться для защиты от гидравлических ударов небольших насосных станций, в частности, насосных установок скважин. Они позволяют устранить недопустимое повышение давления как при внезапном выключении, так и при пуске насосов на открытые задвижки.

Предохранительные клапаны широко используются для борьбы с повышением давления. Недостатком предохранительных клапанов считается их инерционность, вызывающая запаздывание открытия.

Для устранения этого недостатка предохранительные клапаны следует использовать в сочетании с клапанами для впуска и защемления воздуха или воздушно-водяными камерами, исключаю-

щими опасность резкого возрастания давления. Затруднения в использовании предохранительных клапанов связаны с обеспечением отвода от них воды, а также с необходимостью тщательной регулировки и систематического контроля их исправности. Поэтому, как правило, предохранительные клапаны следует устанавливать лишь на насосных станциях или в камерах при них.

Клапаны-гасители в отличие от предохранительных клапанов открываются не при повышении, а при понижении давления. В этом их достоинство, так как исключается опаздывание открытия при быстром нарастании давления - к моменту повышения давления клапан уже оказывается открытым. Однако это опережение открытия может быть и недостатком. Преждевременный сброс воды приводит к увеличению объемов разрывов сплошности потока в водоводе, результатом чего может быть значительное повышение давления. Поэтому клапаны-гасители следует применять только при соответствующем обосновании расчетом.

Сброс воды через обводные линии обратных клапанов и задвижек (затворов).

Такой сброс приводит к снижению давления за обратным клапаном (считая по ходу воды от насоса) или задвижкой (затвором), но создает опасность повышения давления на предшествующем участке водовода, а также у насоса. Поэтому сброс воды через обводные линии также следует применять лишь при соответствующем обосновании расчетом.

Сброс воды через насосы в обратном направлении является простым и надежным средством борьбы с недопустимым повышением давления, особенно в сочетании с пуском и защемлением

воздуха.Наиболее надежным средством защиты является сброс воды через заторможенный насос. Однако конструкции тормозов для насосов еще только отрабатываются и поэтому могут применяться лишь в опытном порядке.

Сброс воды через незаторможенный насос может приводить к обратному вращению ротора насосного агрегата с большим числом оборотов, что связано не только с опасностью повреждения агрегата, но и с возможностью значительного повышения давления. К повышению давления приводит то обстоятельство, что по мере возрастания числа оборотов возрастает создаваемое насосом противодавление, вызывающее торможение потока воды в водоводе. Поэтому сброс воды через насос, как правило, следует применять лишь при наличии 4-х квадрантных характеристик насосов, позволяющих рассчитать процесс остановки насоса и разгона его в обратном направлении.

При отсутствии 4-х квадрантных характеристик сброс воды через насосы можно производить лишь через обводные линии насосов и только в таком количестве, при котором наверняка не может происходить разгона насосного агрегата в обратном направлении.

Предохранительные диафрагмы, изготовляемые из хрупких материалов и разрушающиеся при повышении давления сверх допустимого предела, применяются сравнительно редко. Связано это с необходимостью изготовлять диафрагмы таким образом, что они разрушались точно при заданном давлении, что вызывает определенные трудности.

При завышенной прочности диафрагма не разрушится при пре-

вышении предельного давления, что может вызвать повреждения трубопровода. Если же прочность диафрагмы недостаточна, то ее разрушение происходит при рабочем давлении в результате усталостных явлений.

x x

x

Применение современной вычислительной техники позволяет в сравнительно короткие сроки произвести расчеты по значительному количеству вариантов, что дает возможность произвести выбор оптимального варианта, обеспечивающего надежную защиту водовода и насосов при наименьших затратах на ее осуществление.

Для проведения расчетов с использованием ЭЦВМ инженер, проектирующий средства защиты, должен составить расчетную схему водовода, подготовить исходные данные и в соответствии с расчетной схемой и исходными данными заполнить расчетные бланки. По этим бланкам на вычислительном центре подготовляются перфоленты (перфокарты) для ввода исходных данных в ЭЦВМ.

Расчет производится по программе, причем инструкция для оператора составлена таким образом, что она не требует от него каких-либо познаний в области защиты водоводов от гидравлических ударов.

Подготовка же исходных данных не требует каких-либо специальных познаний в области использования ЭЦВМ.

5.Подготовка расчетной схемы водовода

Подготовка расчетной схемы рассмотрена применительно к расчету по программе "ГУ-7-МИ", составленной ГПИ Союзводоканалпроект для ЭЦВМ Минск-22 на основе программы "ГУ-5" для ЭЦВМ "Урал-2", разработанной ВНИИ ВОДГЕО (автор программы К.П.Вишневский) с внесением следующих изменений и дополнений.

I. По программе для ЭЦВМ Урал-2 предусматривалось, что водовод может состоять из двух "частей", отличающихся диаметром труб и скоростью распространения волн изменения давления.

По программе для ЭЦВМ Минск-22 число частей увеличено до четырех, причем скорость распространения волн изменения давления принимается для всех частей одной и той же. Предусматривается, что в точках, разграничивающих эти части, может производиться попутный отбор воды.

2.Максимально возможное число точек установки противоударной аппаратуры увеличено с 8 до 20.

3.Вся исходная информация представляется десятичными числами.

4. Результаты расчета печатаются в табличной форме.

5. Изменения исходных данных для последующих вариантов могут вводиться с той же перфоленты, что и исходные данные по основному варианту. Поэтому расчеты последующих вариантов могут производиться без ввода дополнительных перфолент или внесения изменений с пульта ЭЦВМ.

Программой ГУ-7-МИ предусматривается возможность расчета при использовании следующих средств защиты от гидравлического удара:

I.Клапанов для впуска и защемления воздуха;

2.Обратных клапанов, отсекающих отошедшие колонны воды;

3.Двух типов резервуаров для впуска воды:

Тип I - резервуары большого объема, изменение уровня воды в которых незначительно и поэтому не учитывается. Не учитывается также гидравлическое сопротивление линии, соединяющей резервуар с водоводом;

Тип П - резервуар небольшого объема. Учитывается изменение уровня и гидравлическое сопротивление соединительных линий;

4.Предохранительных клапанов, устанавливаемых на напорных линиях насосов;

5.Сброса воды через насос при отсутствии обратного клапана и полностью открытом затворе, а также через обводную линию обратного клапана или закрытого затвора.

Программой предусматривается возможность учета изменения гидравлического сопротивления затвора (задвижки) при изменении степени его закрытия.

При подготовке расчетной схемы требуется:

I.Расчленить водовод на расчетные участки равной длины;

2.Указать "признаки" точек, ограничивающих расчетные участки, а также отметки оси водовода в этих точках относительно уровня воды в водоисточнике (обозначение "признаков" -см. табл. I раздела 7 "Подготовка исходных данных для проведения расчета");

3.Указать точки, ограничивающие расчетные участки, являющиеся одновременно границами "частей" водовода;

4. Указать пьезометры в начале водовода и в точках, являющихся границами "частей" водовода, а также отметку уровня воды в резервуаре и кармане (если вода поступает в резервуар через карман). При присоединении водовода к резервуару через сифон должна быть указана отметка оси труб в высшей точке сифона;

5. Указать диаметры труб и величины отборов воды в точках, являющихся границами " частей" водовода (если отбора нет, то указывается, что отбор равен нулю).

Программой ГУ-7-ММ предусмотрена возможность расчленения водовода на 80 участков. Так как увеличение числа участков приводит к возрастанию затрат времени на проведение расчета, то следует принимать возможно меньшее их число, руководствуясь следующим:

I) Характерные точки профиля водовода и точки установки противоударной арматуры должны быть совмещены с точками, ограничивающими расчетные участки. При совмещении характерные точки профиля и точки установки арматуры не должны, как правило, смещаться относительно своего фактического положения более,чем на ℓ_c = 20 м по длине и Z_c = I м по высоте, причем ℓ_c не должно превышать 2% расчетной длины водовода;

2) Длины расчетных участков $\Delta\ell$ рекомендуется принимать такими, чтобы при расчетной скорости a распространение волн изменения давления время пробега $\Delta t = \frac{\Delta\ell}{a}$ было, как правило, кратно 0,05 сек и содержаться целое число раз в I сек (т.е.быть равным 0,05 сек; 0,I сек; 0,2 сек; 0,25 сек; 0,5 сек) или быть кратно I сек (например, 2 сек, 5 сек и т.д.).

3) Между каждыми двумя точками установки противоударной арматуры должна быть расположена по крайней мере одна диафрагма-сопротивление;

4) Потери напора в каждой диафрагме-сопротивлении должны составлять не более 10% суммарных потерь напора в водоводе и не превышать, как правило, 2 м.в.с. Бо́льшие потери напора в каждой диафрагме допускаются лишь в тех случаях, когда по условиям расчленения водовода на участки и расстановки противоударной арматуры нельзя увеличить число диафрагм-сопротивлений;

5) Если водовод по всей длине имеет один и тот же диаметр и отборов воды нет, то в качестве границ частей могут быть указаны точки, в которых желательно зафиксировать пьезометр. Это могут быть, например, места расположения клапанов для впуска и защемления воздуха. Если в этом нет необходимости, то разделение водовода на части не производится;

6) Диафрагмы-сопротивления следует распределять по длине водовода равномерно. Если по условиям расстановки противоударной аппаратуры это сделать невозможно, то водовод должен быть разбит на "части" так, чтобы указанное требование выполнялось в пределах каждой части.

При подготовке расчетной схемы и выборе средств защиты от гидравлического удара в первую очередь должны учитываться особенности профиля водовода.

По характеру профиля водоводы могут быть подразделены на пять типов, схематически представленных на рис. 4-8.

Тип I (рис.4). Водовод проложен со сравнительно небольшим подъемом и не имеет характерных переломных точек профиля.

В большинстве случаев разрывов сплошности потока по длине таких водоводов не происходит и максимальное повышение давле-

ния в начале водовода согласно формулы (3) не превосходит $H_{ст} + h_{вак}$, т.е. напор не превышает $2H_{ст} + h_{вак} \cong$ $\cong 2H_{ст} + 10$ м.в.с. В других точках по длине водовода напор будет меньше. Поэтому расчет гидравлического удара в таких водоводах следует начинать или со схемы, не предусматривающей установки противоударной арматуры (если возможен сброс воды через насос в обратном направлении) или со схемы, предусматривающей лишь установку обратного клапана в начале водовода.

Если в результате расчета будет установлено, что повышение давления является допустимым и вакуум в промежуточных точках по длине водовода не превосходит 8 мвс., то дальнейших расчетов производить не надо. Если же вакуум в указанных точках превосходит 8 м в.с., то расчет следует повторить, предусмотрев в схеме установку клапана для впуска и защемления воздуха в одной из тех промежуточных точек, в которой расчетная величина вакуума превосходит 8 м.в.с.Это может быть или ближайшая к насосной станции точка (в которой вакуум превосходит 8 м.в.с.) или одна из следующих точек - в зависимости от характера кривой изменения величины вакуума по длине водовода, зависящего от инерции насосного агрегата и потерь напора в водоводе.

Может оказаться, что для устранения недопустимого вакуума по всей длине водовода окажется необходимым производить впуск воздуха не в одной, а в нескольких точках по длине водовода. При некотором навыке в проведении расчетов определе-

ние необходимости установки нескольких клапанов для впуска воздуха и выбор точек установки могут быть произведены по кривой изменения вакуума по длине водовода, построенной на основании расчета по схеме, не предусматривавшей впуска воздуха.

Если повышение давления в водоводе будет превосходить допустимую величину, то в начале водовода может быть предусмотрена установка предохранительного клапана или (если в начале водовода имеется обратный клапан) - сброс воды через обводную линию.

Тип П (рис.5). Начальный участок водовода проложен с большим подъемом, на остальной части длины водовод имеет сравнительно небольшой подъем. В первом варианте расчетной схемы для такого водовода следует предусматривать установку в переломной точке профиля клапана для впуска и защемления воздуха. Если сброс воды через насос возможен, то в начале водовода противоударная арматура вообще не устанавливается, если не возможен, то в первом варианте в начале водовода предусматривается лишь установка обратного клапана.

Расчетом по I варианту схемы (при $Q=Q_{max}$ и $Q=Q_{min}$) будет определено, являются ли допустимыми как повышение давления, так и вакуум.

Если повышение давления или величина вакуума оказываются недопустимыми, то должны быть проведены расчеты при использовании дополнительных средств защиты. Для устранения недопустимого вакуума должны быть установлены дополнительные кла-

паны для впуска и защемления воздуха.

Для уменьшения повышения давления может быть предусмотрена установка обратных клапанов, отсекающих отошедшие колонны воды (в местах образования разрывов сплошности потока). В первую очередь это относится к переломной точке профиля. Если имеются сомнения в целесообразности установки дополнительных обратных клапанов (диаметр водовода превышает 1200-1400 мм, нет обратных клапанов у насосов), то следует произвести расчет для вариантов, предусматривающих впуск воды взамен впуска и защемления воздуха. При наличии в начале водовода (или у насоса) обратного клапана следует произвести расчеты для вариантов, предусматривающих сброс воды через обводную линию.

Тип III (рис.6). Водовод имеет несколько характерных переломных точек профиля, в которых могут образовываться разрывы сплошности потока.

В первом варианте расчетной схемы для такого водовода следует предусматривать установку клапанов для впуска и защемления воздуха в характерных точках перелома профиля. Если окажется целесообразной установка отсекающих обратных клапанов, то их следует располагать не вблизи образовавшегося разрыва сплошности потока, а на следующем участке, прокладываемом с подъемом. Это полностью устраняет повышение давления на участке водовода от переломной точки профиля до обратного клапана и предотвращает сброс воды под большим давлением в случае повреждения водовода на этом участке.

Тип IУ (рис.7). Характерной особенностью водоводов этого типа является наличие промежуточной точки профиля, отметка которой превышает отметку уровня воды в резервуаре, расположенном в конце водовода. В этих случаях повышение давления при гидравлическом ударе распространяется только на часть водовода, расположенную до переломной точки профиля. На остальной части водовода повышение давления при гидравлическом ударе не возникает.

Обычная расчетная схема для водоводов этого типа должна предусматривать установку в диктующей точке клапана для впуска и защемления воздуха. Если длина части водовода за переломной точкой значительна, то для уменьшения объема вычислительной работы целесообразно принять условную упрощенную расчетную схему, ограничив водовод за переломной точкой двумя расчетными участками. В качестве концевой точки водовода (К) следует принять концевую точку последнего расчетного участка, считая, что она примыкает к резервуару большой емкости. Переломную точку следует рассматривать как точку изменения диаметра (напор в которой задан). В точке между последним и предпоследним расчетными участками располагается диафрагма-сопротивление (в которой сконцентрированы все потери напора от диктующей точки до концевой точки К).

Тип У (рис.8). В ряде случаев водоводы присоединяются не непосредственно к резервуарам или башням, а к кольцевой магистральной сети предприятия или города.

Сеть может быть соединена с водонапорной башней или другими емкостями, при отражении от которых волн понижения давления могут возникать волны повышения давления. В месте примыкания водоводов к сети целесообразно устанавливать обратные клапаны, исключающие возможность сброса воды из сети при повреждении того или иного водовода. Если такой клапан установлен в непосредственной близости от водонапорной башни, то его закрытие может произойти лишь при полном прекращении подачи воды по водоводу. Если же обратный клапан расположен на некотором расстоянии от водонапорной башни и перед ним (считая по ходу воды от насосной станции) установлен клапан для впуска воздуха, то закрытие обратного клапана может произойти в момент подхода к месту разрыва сплошности потока отраженной от башни волны повышения давления. В этот момент времени движение воды на участке до клапана для впуска и защемления воздуха еще будет продолжаться. Поэтому в последующий период времени будет происходить заполнение разрыва сплошности потока, что вызовет повышение давления в водоводе. В соответствии с этим в расчетную схему кроме действительной длины водовода, должен быть включен добавочный участок, длина которого должна быть примерно равной расстоянию от конца водовода до башни. Потерями напора по длине этого добавочного участка можно пренебречь и считать, что отметка уровня воды в башне равна заданному пьезометру в конце водовода. Для этого начало добавочного участка следует рассматривать как точку изменения диаметра. На схеме рис.8 добавочный участок показан пунктиром.

В заключение рассмотрения расчетных схем следует отметить, что программа ГУ-7-МИ непосредственно предусматривает выполнение расчета гидравлического удара в одиночном водоводе при подаче воды одним насосом. При подаче воды несколькими насосами по нескольким водоводам предполагается, что все насосы имеют идентичные характеристики, а водоводы одинаковы как по длине, так и по диаметрам и видам труб, подают воду на одну и ту же отметку и оборудованы одинаковой противоударной арматурой. В исходных данных указывается число одинаковых водоводов и число насосов с идентичными характеристиками. В соответствии с этими данными условия работы такой системы приводятся к условиям работы одного водовода при подаче по нему воды одним насосом.

Расчет более сложных случаев (последовательная работа насосов, подача воды по нескольким водоводам неодинаковой длины в различные резервуары, параллельная работа водоводов неодинаковой длины и неодинаковых диаметров труб и др.) должен выполняться по другим программам, которые в настоящее время отрабатываются. По программе ГУ-7-МИ расчеты этих более сложных случаев могут быть выполнены лишь приближенно.

Для того, чтобы эти приближенные расчеты не занижали возможного повышения давления, следует принимать такие упрощенные расчетные схемы, при которых условия работы водоводов будут заведомо более тяжелыми по сравнению с фактическими условиями их работы.

Рассмотрим две такие схемы.

Схема А. Подача воды несколькими насосами с неидентичными характеристиками по нескольким параллельно работающим водоводам с различными гидравлическими характеристиками.

Перед проведением расчета гидравлического удара производится расчет совместной работы насосов и водоводов, которым определяется суммарная подача воды ΣQ, подача воды по каждому водоводу $Q_в$ и производительность каждого насоса $Q_н$. Затем берется тот водовод, движение воды по которому происходит с наибольшей скоростью, и определяется условное расчетное число водоводов

$$n = \frac{\Sigma Q}{Q_в}$$

После этого выбирается наименее инерционный насосный агрегат и определяется условное расчетное число насосов

$$m = \frac{\Sigma Q}{Q_н}$$

При расчете по такой схеме расчетное повышение давления наверняка будет превышать фактическое.

Частными случаями схемы А является подача воды одним насосом по нескольким водоводам ($Q_н = \Sigma Q$ и $n = \frac{\Sigma Q}{Q_в} = 1$) и подача воды по одному водоводу несколькими насосами с неидентичными характеристиками ($Q_в = \Sigma Q$ и $n = \frac{\Sigma Q}{Q_в} = 1$).

Схема Б. Последовательная работа двух насосных станций.

В этом случае в конце водоводов I подъема (на всасывающем коллекторе насосов II подъема) следует предусматривать установку водонапорной колонны (водонапорной трубы) или специального сбросного клапана, обеспечивающих защиту от повышения давления насосной станции II подъема при ее выключении до прекращения поступления воды по водоводам I подъема.

Расчет гидравлического удара в водоводах I подъема, вызываемого выключением насосов I подъема, следует производить в предположении, что отражение волн понижения давления в конце этих водоводов происходит от постоянной отметки, соответствующей отметке всасывающего коллектора насосной станции II подъема.

При расчете гидравлического удара в водоводах II подъема следует учитывать, что прекращение подачи ими воды может произойти не вследствие выключения насосов II подъема, а в результате прекращения поступления к ним воды от водоводов I подъема. Поэтому если в конце водоводов I подъема регулирующей емкости нет, то прекращение подачи воды насосами II подъема может произойти практически мгновенно. Для учета этого должна быть уменьшена в 100 раз инерция насосных агрегатов II подъема (величина $G D^2$ - см. раздел 7 "Подготовка исходных данных для проведения расчета").

6. Печать результатов расчета

Программой предусмотрено, что печать как промежуточных результатов ("Промежуточная печать"), так и окончательных результатов ("Окончательная печать") может производиться построчно на узкой ленте и в табличной форме на широкой ленте.

Кроме того, если в "Задании оператору" указано, что включен ключ № I, то печатаются (как на узкую, так и на широкую ленты) исходные данные, по которым произведен расчет.

Вся печать на узкой ленте производится нормализованными десятичными числами.[x/] На широкой ленте промежуточная и окончательная печать производятся десятичными числами в обычном виде, а печать исходных данных - нормализованными десятичными числами

Промежуточная печать

На узкой ленте промежуточные результаты выдаются в следующем виде:

а) Печатаются 7 строк:

I. t сек - момент времени (считая от выключения двигателя) к которому относятся данные результаты;

2. $H^{нас}$ м - напор, развиваемый насосом;

3. $\beta = \frac{n}{n_0}$ - относительное число оборотов вала насосного агрегата (n - число оборотов в данный момент времени, n_0 - число оборотов до выключения двигателя). Знак "плюс" означает, что вал агрегата вращается в прямом направлении, знак "минус" - в обратном;

---

x/ При печати нормализованными числами первой печатается мантисса, вторым - порядок числа. Например, число 25, 631 печатается в виде

+ 2563100 + 02

4. $H_1^{вод}$ м - напор в начале водовода;

5. $V_{нач}$ м/сек - скорость движения воды в начальной точке водовода;

6. $V_{кон}$ м/сек - скорость движения воды в конце водовода (в месте его присоединения к резервуару);

7. ℓ м - расстояние, на которое вода отошла от концевой точки водовода при движении воды по водоводу в обратном направлении.

б) После пропуска одной строки печатаются значения давлений h_i (в м) в точках установки противоударной арматуры (обратных клапанов, клапанов для впуска и защемления воздуха, резервуаров для впуска воды). Этим заканчивается "Промежуточная печать" для данного момента времени t. Перед печатью для следующего расчетного момента времени оставляется интервал в две строки.

Кроме того, при выполнении расчета могут печататься две пары значений.

Первая пара:

$t_{закр.}$ - момент времени, соответствующий закрытию обратного клапана, установленного в начале водовода;

0 - признак того, что клапан закрылся (расход равен нулю).

Вторая пара:

$t_{ост}$ - момент времени, соответствующий остановке насоса;

$M_{кг.м}$ - значение момента, воздействующего на остановившийся насос.

Первая пара печатается столько раз, сколько раз повторялось закрытие клапана.

Если нет обратного клапана или если он не закрылся к моменту времени, для которого производится окончательная печать, то первая пара не печатается. Если к этому моменту времени не остановился насос, то не печатается вторая пара.

На широкой ленте значения указанных выше величин печатаются в табличной форме.

Окончательная печать

На узкой ленте окончательные результаты выдаются в следующем виде:

а) Печатаются 5 строк:

I. $t_{ок}$ -сек - момент времени (считая от выключения двигателя), которым завершен расчет;

2. $H^{нас}_{max}$ -максимальная величина напора у насоса, определенная в какой-либо момент времени от начала счета (t =0- выключение двигателя) до его завершения ($t = t_{ок}$);

3. $H^{нас}_{min}$ - то же, но минимальная величина напора;

4. β - наименьшее относительное число оборотов насоса в прямом направлении (если знак +) или наибольшее относительное число оборотов в обратном направлении (если знак -) в период времени от t =0 до $t = t_{ок}$;

5. ℓ_{max} - наибольшее расстояние, на которое вода отходила от концевой точки водовода в период времени от t =0 до $t = t_{ок}$;

б) Оставляется интервал в две строки и печатается столько пар L_{max} и ΔV_{max}, сколько имеется клапанов для впуска и защемления воздуха и резервуаров для впуска воды, причем для клапанов впуска и защемления воздуха:

$L_{max\,м}$ - максимальное расстояние между разошедшимися колоннами воды, определенное в какой-либо момент времени между t =0 и $t = t_{ок}$;

ΔV_{max} - м/сек - максимальная разность скоростей расходящихся колонн воды (в период времени между t =0 и $t = t_{ок}$), т.е. скорость поступления воздуха в место разрыва сплошности потока (считая по диаметру водовода).

Если впуск производится в точке изменения диаметра, то скорость ΔV_{max} подсчитывается по диаметру труб на участке до этой точки (считая от насосной станции).

Для резервуаров эти величины означают:

L_{max} м^3 - максимальный объем воды, поступивший в водовод из данного резервуара в указанный период времени;

ΔV_{max} м^3/сек - максимальный расход воды, поступивший в водовод из данного резервуара в какой-либо из моментов времени между $t=0$ и $t_{ок}$).

Значения L_{max} и ΔV_{max} печатаются в порядке нумерации точек, к которым они относятся.

После массива значений L_{max} и ΔV_{max} оставляется два интервала и печатаются массивы значений H^i_{max}, H^i_{min} и h^i_{min}, причем между этими массивами также оставляются по два интервала.

H^i_{max} - максимальные напоры в точках расчетной схемы водовода, начиная от I и кончая $n_к - 1$, где

$n_к$ - номер концевой точки водовода;

H^i_{min} - то же, но минимальные напоры;

h^i_{min} - минимальные давления в указанных точках.

На широкой ленте в табличной форме печатаются " признаки" точек, значения H^i_{max}, H^i_{min} и h^i_{min} для всех точек и для каждой точки впуска и защемления воздуха - значения L_{max} и ΔV_{max}

Вне таблиц печатаются значения $t_{ок}$, $H^{нас}_{max}$, $H^{нас}_{min}$, β. и l_{max}

Печать исходных данных

Исходные данные отпечатываются (нормализованными восьмеричными числами) в том порядке, как они записаны в бланках исходных данных.

7. Подготовка исходных данных для проведения расчета

Как уже указывалось в разделе 5, расчет гидравлического удара при подаче воды несколькими насосами по нескольким водоводам приводится к расчету удара в одиночно работающем водоводе и подаче воды одним насосом. Для этого указывается число параллельно работающих насосов (с идентичными характеристиками) "m" и число водоводов "n". Исходные данные подготовляются по одному водоводу и по одному насосу, причем значительная часть исходных данных берется непосредственно по расчетной схеме (диаметры и длины частей водовода и расчетных участков, их число, места установки арматуры, пьезометры в начале каждой части водовода, отметки оси водовода и уровня воды в резервуаре).

Кроме того, для выполнения расчета необходимо указать продолжительность периода времени (после выключения двигателя), для которого должен быть произведен расчет, и порядок выдачи на печать результатов расчета, задать величину расчетной скорости распространения волн изменения давления, характеристики насосных агрегатов, затворов и противоударной арматуры, режим закрытия затвора, а также данные по присоединению водовода к резервуару.

Вся информация записывается на бланках, формы которых даны в табл. I-У.В этих таблицах приведена большая часть пояснений, необходимых для заполнения бланков.

По I варианту расчета обязательно заполняют все строчки бланков. В тех случаях,когда при I варианте значение той или иной величины равно нулю,надо записать "0".По остальным вариантам записи производятся только в тех строчках, данные по которым отличаются от данных I варианта.На последнее обстоя-

тельство следует обратить особое внимание: заносятся данные, отличающиеся не от предшествующего варианта, а от I варианта.

Пояснения в таблицах №№ I-V даются непосредственно по соответствующим строкам бланков. Для удобства заполнения бланков необходимые дополнительные пояснения приводятся в том порядке, в каком записывается информация.

Таблица I. Массивы A_1 и A_2

I) U -число интервалов времени Δt, через которое производится "промежуточная печать" (см. раздел 6 "Печать результатов расчета").

Длительность интервалов времени Δt зависит от длины расчетных участков $\Delta \ell$ и скорости распространения волн изменения давления a : $\Delta t = \Delta \ell : a$

Как правило, до снижения числа оборотов насосного агрегата до 0,I от номинального, "промежуточную печать" следует производить через промежутки времени t =0,I-0,2 сек., после этого - через I-2 сек. Для агрегатов с очень малой инерцией (снижающих число оборотов до 0,I от номинала в срок, меньший I сек.), промежуточную печать следует производить чаще, для агрегатов с повышенной инерцией (снижающих число оборотов до 0,I от номинала в срок, больший I0 сек) - реже.

После того, как выбрано значение $t = U \Delta t$ и определена величина Δt, находится число интервалов времени $U = t : \Delta t$.

После снижения числа оборотов до 0,I от номинала печать производится через I0 интервалов U. При выборе значений t следует иметь в виду, что они должны быть кратны Δt, т.е. U должно быть целым числом ($\geqslant$ I).

2) p - число полуфаз, для которых производится расчет. Длительность периода времени $t_{ск}$, для которого должен производиться расчет, зависит от длины водовода L, скорости распространения волн изменения давления "a", профиля водовода, а также характеристик насосного агрегата и противоударной арматуры. Если разрывы сплошности в водоводе не образуются, то, как правило, оказывается достаточным ограничиться 4-5 полуфазами (считая от момента снижения числа оборотов насоса до 10% от номинального). Однако при значительных величинах скоростей движения воды в водоводе и небольших геометрических подъемах даже при отсутствии разрывов сплошности может потребоваться значительно большая продолжительность расчета. В этих случаях число полуфаз, для которых должен производиться расчет, может быть определено по формуле:

$$p = \frac{a V_0}{g H_r}, \qquad (4)$$

где V_0 м/сек - скорость движения воды в водоводе до выключения двигателя;

a м/сек - расчетная скорость распространения волн изменения давления;

H_r м - геометрическая высота подъема воды насосами.

При образовании разрывов сплошности потока это число полуфаз ориентировочно может быть определено по формуле:

$$p = \frac{a V_0}{g H_r} \frac{2L}{L_n} \qquad (5)$$

В этом случае в качестве H_r следует принимать разность отметок уровня воды в резервуаре и отметки ближайшей к резервуару точки образования разрывов сплошности потока, в ка-

честве L - длину участка водовода от этой точки до резервуара и L_n - полную длину водовода.

Если водовод имеет переломную точку профиля, отметка которой превышает отметку уровня воды в резервуаре, то разность H_r определяется по отметке этой точки и длины L и L_n берутся до нее.

Следует подчеркнуть, что формулы (4) и (5) дают ориентировочное значение числа полуфаз, для которых должен производиться расчет. Эти значения следует принимать как исходные при подготовке задания на проведение расчета.

После проведения расчета надо проверить, достаточно ли принятое число полуфаз для определения максимального повышения давления. Об этом можно судить по данным " промежуточной печати", характеризующей ход процесса гидравлического удара.

В частности, по данным " промежуточной печати" следует проверить, успело ли повышение давления в промежуточных по длине водовода точках впуска и защемления воздуха достигнуть начала водовода (или ближайшего отсекающего обратного клапана).

Если данные "промежуточной печати" не дают уверенности в том, что давление уже достигло максимума, то расчет должен быть продлен на большее число полуфаз.

3) Z - число интервалов времени, на которое разбито время закрытия затвора

Подготовка данных по затвору подробно рассматривается при описании массива A_6 (таблица У). Здесь лишь следует

указать, что обычно время закрытия следует разбивать на IO частей, так как это упрощает подсчеты, т.е. принимать S =IO.

Таблица II. Массив A_3

I) GD^2 маховой момент ротора агрегата

Инерция ротора современных насосных агрегатов определяется в основном, инерцией ротора двигателя.

Величины маховых моментов двигателей даются в каталогах. Каталоги насосов данных по инерционности не содержат. Маховой момент насоса, как правило, не превышает IO% махового момента двигателя. Поэтому "в запас прочности" можно принимать, что маховой момент ротора агрегата равен маховому моменту двигателя. В случае необходимости величина GD^2 насосного агрегата может быть определена экспериментально. Для этого должна быть записана кривая изменения числа оборотов насосного агрегата после выключения электропитания (при закрытой задвижке на напорной линии насоса). Подробнее об этом - см. стр. 91-92 "Указаний по защите водоводов от гидравлического удара".

Следует отметить, что в некоторых каталогах GD^2 означает не маховой момент ротора двигателя, а параметр, по которому определяется возможность использования данного двигателя для тех или иных агрегатов. В этих случаях в графе каталога записывается текстом "маховой момент двигателя " (без буквенного обозначения GD^2).

2) M_T -момент, затрачиваемый на преодоление трения в сальниках и подшипниках. По данным экспериментов ВНИИ ВОДГЕО, можно принимать, что $M_T = (0,01 \div 0,02)\ M_0$, где M_0 - момент, потребляемый данным насосом при нормальном режиме его работы. Подробнее об этом - см. описание таблицы III.

3) Данные, связанные с конструкцией присоединения водовода к резервуару

Подача воды может производиться непосредственно в резервуар. Обычно так производится подача в водонапорные башни и контр-резервуары, соединяемые с водоводом (сетью) одной подающе-расхожей линией.

Подача воды непосредственно в резервуар нежелательна, так как не гарантирует предотвращения сброса воды из резервуара при аварийных повреждениях водовода. Поэтому подача воды в резервуары большой емкости обычно производится через карманы или через сифоны.

На входном отверстии из кармана в резервуар (рис.9,а) установлен клапан, исключающий возможность обратного движения воды (из резервуара в карман).

В оросительных системах с этой целью используются сифоны (рис. 9,б).Сифон оборудуется клапаном срыва вакуума, срабатывающим при прекращении подачи воды в прямом направлении и поэтому предотвращающим возможность сброса воды при повреждении водовода.

В момент срабатывания клапана срыва вакуума напор в конце-вой точке возрастает на $\Delta Z = Z_{0\,сиф} - Z_{р}$.

Для учета возрастания напора в конце водовода в момент срабатывания клапана срыва вакуума в исходных данных кроме отметки уровня воды в резервуаре ($Z_{р}$) задается также отметка уровня воды в сифоне ($Z_{0\,сиф}$), соответствующего переливу воды в резервуар. При отсутствии сифона в строке записывается ноль.

Для учета изменения напора в конце водовода в результате сброса воды в исходных данных указывается значение $\frac{W}{W_{вод}}$.

Числитель (W) этой дроби означает:

- при подаче воды непосредственно в резервуар - площадь зеркала воды в резервуаре;

- при подаче воды через карман - площадь зеркала воды в кармане;

- при подаче воды через сифон - площадь зеркала воды в восходящей ветви сифона.

Знаменатель ($W_{вод}$) во всех случаях означает площадь поперечного сечения водовода.

Если площадь зеркала воды в резервуаре по сравнению с площадью поперечного сечения водовода велика и сработку уровня воды можно не учитывать, то в исходных данных записывается $\frac{W}{W_{вод}}$ =1000.

4) Значение $Q_{гр}$. Записывается максимальное значение модуля $\left(\frac{Q}{\beta}\right)$, при котором используются характеристики насоса $\frac{H}{\beta^2} = f_1\left(\frac{Q}{\beta}\right)$ и $\frac{M}{\beta^2} = f_2\left(\frac{Q}{\beta}\right)$ (при больших значениях модуля $\left(\frac{Q}{\beta}\right)$ используются характеристики насоса и $\frac{H}{Q^2} = f_3\left(\frac{\beta}{Q}\right)$ и $\frac{M}{Q^2} = f_4\left(\frac{\beta}{Q}\right)$

При использовании каталожных характеристик насосов в качестве $Q_{гр}$ следует принимать значение Q, при котором развиваемый насосом напор равен нулю. Подробнее об этом говорится при описании таблицы III (массив A_4), которой задаются характеристики насосов.

5) $K_{обв}$ - коэффициент потерь напора в обводной линии обратного клапана или затвора. Программой ГУ-7-МИ предусмотрено, что потери напора в обводной линии определяются по формуле:

$$h_{обв} = K_{обв} \cdot V^2, \qquad (6)$$

где V м/сек - скорость движения воды в водоводе. Значение $K_{обв}$ определяется в соответствии с диаметром труб обводной линии и коэффициентами местных сопротивлений установленных на ней фасонных частей и арматуры. Суммарный коэффициент местного сопротивления обводной линии при полностью открытой задвижке можно принимать равным $\xi_{сум} = 2$ (два колена $\xi_к = 2 \cdot 0{,}5 = 1$, выход из обводной линии в водовод $\xi_{вых} = 1$). Так как $K = \frac{\xi}{2g}$ и учитывая, что скорость пропорциональна квадрату диаметра труб, можем написать:

$$K_{обв} = \frac{\xi_{сум}}{2g} \left(\frac{D_{вод}}{D_{обв}}\right)^4 = \frac{2}{2g} \left(\frac{D_{вод}}{D_{обв}}\right)^4 \cong$$

$$\cong 0{,}1 \left(\frac{D_{вод}}{D_{обв}}\right)^4 \qquad (7)$$

В этой формуле $D_{вод}$ - диаметр труб водовода;

$D_{обв}$ - диаметр труб обводной линии.

Очевидно, что частичным прикрытием задвижки значение $K_{обв}$ может быть увеличено до любой заданной величины.

Если после проведения расчетов гидравлического удара окажется, что сброс через обводную линию недостаточен, т.е. значение $K_{обв}$ превышает требуемое, то надлежит увеличить диаметр обводной линии.

Если обводной линии нет, то в исходных данных записывается $K_{обв} = 0$ (как признак отсутствия обводной линии).

6) Отборы воды в точках изменения диаметров $\frac{Q_{отб_i}}{n}$

Для каждой точки изменения диаметров записывается суммарный отбор воды в этой точке (из всех водоводов) Q отб., деленный на число водоводов n .

Очевидно, что если отбора воды в точке изменения диаметра не производится, то Q отб. = 0.

Если точка изменения диаметра назначается лишь для того, чтобы в ней зафиксировать напор, и фактический диаметр не изменяется, то, например, для первой точки " изменение диаметра" записывается Q отб. =0; $D_2 = D_1$ и $d_1^{отв} = 0$.

Таблица Ш. Массив A_4

В таблице приводятся данные по характеристикам $Q-H$ и $Q-M$ насосов. Они записываются восемью столбцами по 21 строке в каждом столбце.

Как известно, обычно в каталогах приводятся характеристики насоса для I-го квадранта, определяющего условия работы насоса при вращении в нормальном направлении ($\beta > 0$) и положительных значениях расхода Q и напора H . На этих характеристиках дается также кривая $Q-N$, определяющая потребляемую насосом мощность в зависимости от расхода Q . Для выполнения расчетов гидравлического удара нужны значения потребляемого насосом момента M .Кривая $Q-M$ может быть получена по данным кривой $Q-N$.

Пересчет производится по известной формуле:

$$M = \frac{973\,N}{n}, \text{ кгм}$$

где N - мощность в квт;

n - число оборотов в минуту

Обычные каталожные характеристики насосов дают возможность производить расчеты гидравлического удара лишь при условии, что на напорных линиях установлены обратные клапаны, предотвращающие движение воды в обратном направлении.

Для проведения расчетов в случае отсутствия обратных клапанов необходимо иметь так называемые 4-х квадрантные характеристики.

В качестве примера на рис. IO и II приведены 4^{x} квадрантные характеристики насоса 52В-II[x]. Первая из этих характеристик построена в координатах $\frac{Q}{\beta}$, $\frac{H}{\beta^2}$ и $\frac{M}{\beta^2}$, вторая - в координатах $\frac{\beta}{Q}$, $\frac{H}{Q^2}$ и $\frac{M}{Q^2}$.

Необходимость иметь две характеристики связана с тем, что первую из них нельзя использовать при малых величинах β, а вторую - при малых величинах Q.

В качестве основной следует пользоваться первой из этих характеристик. Как уже отмечалось, в таблице П (массив A_3) должна указываться величина $Q_{гр}$ - максимальное значение модуля $\left(\frac{Q}{\beta}\right)$, при котором используется эта характеристика. Легко видеть, что при $\beta = I$ первый квадрант характеристики рис.IO представляет собой характеристику

---

x) Характеристики взяты из "Указаний по защите водоводов от гидравлического удара", стр. IIO-III.

насоса, соответствующую обычным каталожным характеристикам. Поэтому и обычную каталожную характеристику насоса можно рассматривать как первый квадрант 4^{x}-квадрантной характеристики. Для этого не нужно делать каких-либо добавочных построений - достаточно лишь переименовать шкалы - шкалу Q считать шкалой $\frac{Q}{\beta}$ и шкалы H и M - соответственно шкалами $\frac{H}{\beta^2}$ и $\frac{M}{\beta^2}$.

Для того, чтобы, техника выполнения расчетов на ЭЦВМ была одной и той же, как при использовании каталожных, так и 4-х квадрантных характеристик, каталожные характеристики условно распространяются на II квадрант и кривые $Q-H$ и $Q-M$ в I квадранте достраиваются до значений Q, при которых $H=0$. Делается это следующим образом.

<u>В I квадранте</u>. Значение Q, на котором обрывается кривая $Q-H$ характеристика, увеличивается до ближайшего "круглого" числа $Q_{гр}$ и для этого расхода Q условно принимается, что $H=0$. Крайняя точка каталожной кривой $Q-H$ насоса соединяется с точкой $Q=Q_{гр}$.

Момент, потребляемый насосом при $Q=Q_{гр}$, принимается таким же, как для максимального значения Q по каталожной характеристике.

Определенное таким образом значение $Q_{гр}$ записывается в таблице II как наибольшее значение расхода, при котором еще используется характеристика в координатах $\frac{Q}{\beta}$, $\frac{H}{\beta^2}$ и $\frac{M}{\beta^2}$.

<u>Во II квадранте</u>. На оси Q откладывается значение $-Q_{гр}$ и для него берутся те же значения H и M, что и для $Q=0$. Таким образом, условно принимается, что на участке от $Q=0$ до $Q=-Q_{гр}$ характеристики $Q-H$ и $Q-M$ являются

прямыми, параллельными оси Q .

Достроенная таким образом каталожная характеристика может рассматриваться как 4-х квадрантная, поскольку при прямом вращении значения H и M всегда положительны, а обратного вращения при наличии обратного клапана происходить не будет.

Следовательно, подготовка исходных данных для таблиц III при использовании каталожных характеристик оказывается аналогичной подготовке исходных данных при использовании 4-х квадрантных характеристик с той лишь разницей, что при каталожных характеристиках столбцы $\frac{H}{\beta^2}$ и $\frac{M}{\beta^2}$ заполняются лишь для $\beta > 0$, а столбцы $\frac{H}{Q^2}$ и $\frac{M}{Q^2}$ вообще не заполняются.

При использовании 4-х квадрантных характеристик по значению $\frac{Q_{гр}}{\beta}$ определяется граничное значение $\frac{\beta}{Q_{гр}}$.Так например, если на характеристике рис.I0 принять $\frac{Q_{гр}}{\beta} = 8$, то на характеристике рис.II нужно взять $\frac{\beta}{Q_{гр}} = \frac{I}{8} = 0{,}I25$ или $\frac{\beta}{Q_{гр}} I0^{-2} = I2{,}5$.

После этого значения $\frac{Q}{\beta}$ графика на рис.I0 в пределах от $\frac{Q_{гр}}{\beta} = -8$ до $\frac{Q_{гр}}{\beta} = +8$ и $\frac{\beta}{Q}$ графика рис.II в пределах от $\frac{\beta}{Q} I0^{-2} = -I2{,}5$ до $\frac{\beta}{Q} I0^{-2} = +I2{,}5$ разбиваются на 20 частей. Следовательно, значения $\frac{Q}{\beta}$ на графике рис.I0 берутся с шагом 0,8 и значения $\frac{\beta}{Q} I0^{-2}$ на графике рис.II - с шагом I,25.

Для этих ~~точек~~ значений $\frac{Q}{\beta}$ и $\frac{\beta}{Q}$ по графикам рис.I0 и рис.II определяются и записываются в табл. III значения $\frac{H}{\beta^2}$, $\frac{M}{\beta^2}$, $\frac{H}{Q^2}$ и $\frac{M}{Q^2}$ (для 4^X-квадрантных характеристик как для прямого, так и для обратного вращения, для каталожных характеристик, на которых кривых обратного вращения нет, лишь для прямого вращения). В строке I записываются значения для $\frac{Q}{\beta} = -\frac{Q_{гр}}{\beta}$

и $\frac{\beta}{Q} = -\frac{\beta}{Q_{гр.}}$, в строке II - для $\frac{Q}{\beta} = 0$ и $\frac{\beta}{Q} = 0$, а в строке 2I - для $\frac{Q}{\beta} = +\frac{Q_{гр}}{\beta}$ и $\frac{\beta}{Q} = +\frac{\beta}{Q_{гр.}}$.

При использовании 4-квадрантных характеристик необходимо проверить, совпадают ли значения H и M, определенные по графику типа рис. I0 (для $\frac{Q}{\beta} = \frac{Q_{гр}}{\beta}$) и по графику типа рис.II (для $\frac{\beta}{Q} = \frac{\beta}{Q_{гр}}$).

Если будет обнаружено несовпадение, то должны быть внесены коррективы в графики с тем, чтобы несовпадение было устранено.

Таблица IУ. Массив A_5

В таблице записываются отметки оси трубопровода в точках, являющихся границами расчетных участков.

Таблица У. Массивы A_6, A_7 и A_8

В таблице приводятся данные о затворе, предохранительном клапане в начале водовода и резервуарах для впуска воды.

I)Данные о затворе (массив A_6)

Для полностью открытых поворотных затворов и задвижек (строка 2) можно принимать $K = 0$.

Если затвор (задвижка) установлен на водоводе и диаметр затвора равен диаметру водовода, то значение K определяется по формуле:

$$K = \frac{\xi}{2g}, \qquad (7)$$

где ξ -коэффициент сопротивления затвора(задвижки) при заданной степени открытия. Определяется по опытным данным.

Если диаметр затвора $D_{затв}$ и диаметр водовода $D_{тов}$ различны, то приведенное значение $K_{пр}$ определяется выражением:

$$K_{пр} = K\left(\frac{D_{вод}}{D_{затв}}\right)^4 \qquad (8)$$

Если затворы установлены на напорных линиях насосов, причем " m " насосов подают воду по " n " водоводам, то

$$K_{пр} = K\left(\frac{D_{вод}}{D_{затв}}\right)^4 \left(\frac{n}{m}\right)^2 \qquad (9)$$

Полное время закрытия затвора (задвижки), как правило, рекомендуется разбивать на 10 равных интервалов. Принимается, что полное закрытие поворотного затвора соответствует повороту на 90^0 и полное закрытие задвижки - перемещению диска на 100% его хода. Таким образом за каждый интервал времени при равномерном закрытии диск затвора поворачивается на 9^0, а диск задвижки перемещается на 10% полной величины его хода.

Из рассмотрения опытных данных следует, что потери напора в задвижке существенно сказываются на процессе удара, начиная с ее закрытия на 80% и потери напора в затворах - начиная с поворота диска на 60^0.

Поэтому при возможности двухступенчатого закрытия задвижек и затворов рекомендуется быстро закрывать задвижку до 80% ее хода, а затвор - до поворота на 60^0, и после этого производить закрытие с меньшей скоростью с тем, чтобы не вызывать значительного повышения давления. Для упрощения расчетов рекомендуется принимать такой график закрытия, при котором переход от первой ко второй ступени закрытия совпадает с концом одного из интервалов времени закрытия задвижки или затвора. Тогда для любого произвольного момента времени t

значение K может определяться по линейной интерполяции между значениями K в начале и конце того интервала времени закрытия, в пределах которого находится данный момент времени t.

Для облегчения подсчетов в таблице I даны значения K для задвижек и затворов, соответствующие окончанию интервалов времени закрытия (с I по 9) при равномерном и при двухступенчатом закрытии.

При составлении таблицы принято, что первая ступень закрытия (при двухступенчатом закрытии) производится за 30 сек, причем диск задвижки перемещается на 80% его хода, а диск затвора поворачивается на 60^0.

В таблице указаны номера строк в массиве A_6, в которых надлежит записывать значения K, соответствующие окончанию того или иного интервала времени закрытия (например, значения K, соответствующее окончанию первого интервала, записывается в строку 3, второго - в строку 4, девятого - в строку II).

Значение K для задвижек взято по графику, приведенному на рис.I (стр. 20) "Указаний по защите водоводов от гидравлического удара", для поворотных затворов - по табл. 3 (стр. I9) "Указаний".

Следует напомнить, что в бланк исходных данных записываются не сами значения K, а определяемые по ним в соответствии с формулами (8) и (9) значения $K_{пр}$.

Таблица I

Значения K частично-открытых поворотных затворов и задвижек

Полное время закрытия $T_п$ сек	Номера строк в массиве A_6								
	3	4	5	6	7	8	9	I0	II
	Поворотный затвор. Равномерное закрытие								
–	0,02	0,05	0,I3	0,34	0,87	2,0	6,7	24	240
	Поворотный затвор. I ступень закрытия 60° (за 30 сек)								
60	0,03	0,I0	0,34	I,I	4,0	I0	24	I00	I000
75	0,04	0,I7	0,87	4,0	8,7	I6	47	I70	I300
I00	0,06	0,47	4,0	8,0	I3	34	67	270	2000
I50	0,I7	4,0	7,4	I2,0	20	47	II0	540	2700
300	4,0	6,7	II	I6	37	64	I70	670	6700
	Задвижка. Равномерное закрытие								
–	0,0I2	0,025	0,045	0,070	0,I25	0,26	0,65	I,8	9,5
	Задвижка. I ступень закрытия 80% (за 30 сек)								
60	0,0I6	0,050	0,II	0,40	I,8	3,I	6,0	I4	50
75	0,025	0,070	0,26	I,8	2,9	5,0	9,5	20	70
I00	0,036	0,I7	I,8	2,7	4,5	6,5	I2	28	80
I50	0,070	I,8	2,5	4,0	5,5	9,5	I6	32	90
300	I,8	2,4	3,5	5,0	8,5	II,0	20	40	II0

2) Данные о предохранительном клапане (массив A_7)

Данные, приводимые в строках 2-14 массива A_7, должны определяться по гидравлической характеристике клапана с учетом гидравлического сопротивления линий, по которым вода отводится от клапана.

Гидравлическая характеристика клапана устанавливается экспериментально.

При расчетах, которыми определяется требуемая пропускная способность клапана и сбросных трубопроводов, можно поступать следующим образом.

Расчетом гидравлического удара определяется максимальный напор в водоводе H_{max} при отсутствии сброса воды через клапан.

При заданном допустимом напоре в водоводе $H_{доп}$ определяется величина снижения давления ΔH, которая должна быть обеспечена сбросом воды через клапан:

$$\Delta H = H_{max} - H_{доп}$$

Затем по формуле (I^a) определяется скорость движения воды в водоводе, соответствующая такому снижению давления:

$$\Delta V = \frac{g}{a} \Delta H$$

Предположим, что сброс воды производится на отметке Z, т.е. происходит при давлении

$$h = H_{доп} - Z \qquad (А)$$

Потери напора в сбросном устройстве при скорости ΔV оказываются равными

$$h = K(\Delta V)^2 = K\left(\frac{g}{a}\Delta H\right)^2 =$$

$$= K\left(\frac{g}{a}\right)^2 \left(H_{max} - H_{доп}\right)^2 \qquad (Б)$$

Сопоставляя (А) и (Б), получим:

$$K = \left(\frac{a}{g}\right)^2 \frac{H_{доп} - Z}{(H_{max} - H_{доп})^2} \qquad (10)$$

Очевидно, что при сбросе воды через клапан условия процесса гидравлического удара в водоводе окажутся иными и поэтому при коэффициенте сбросного устройства K, определенном по формуле (10), расчетный напор в водоводе будет в той или иной мере отличаться от $H_{доп}$. Если он окажется ниже $H_{доп}$, то значение K может быть увеличено; если выше - то оно должно быть уменьшено. По этому значению K могут быть определены расходы q л/сек, записываемые в строках 5-14 массива A_7.

Если напор перед клапаном равен h и скорость движения воды в водоводе, соответствующая сбросу расхода q, равна V м/сек, то можем написать:

$$h = K V_{вод}^2$$

или

$$V_{вод} = \sqrt{\frac{h}{K}}$$

Отсюда находим

$$q = \frac{\pi D_{вод}^2}{4} V_{вод} \cdot 1000 = 785 D_{вод}^2 \sqrt{\frac{h}{K}}, \qquad \text{л/сек} \qquad (11)$$

где $D_{вод}$ -диаметр водовода в м.

Выше указывалось, что сброс воды через насос является эффективной мерой борьбы с повышением давления при гидравлических ударах. Для расчета гидравлического удара при сбросе воды через насос необходимо иметь его 4^x квадрантную характеристику, ~~насоса~~.

Однако, если для снижения давления требуется сбросить сравнительно небольшое количество воды, то это может быть сделано и при отсутствии 4^{x}-квадрантных характеристик. Эксперименты, проведенные ВНИИ ВОДГЕО, показали, что сброс воды через насос в обратном направлении в количестве до 15-20% от его номинальной производительности, как правило, не приводит насос во вращение даже при отсутствии тормоза (благодаря статическому трению в сальниках и подшипниках). Если же вращение и начинается, то при таком расходе число оборотов в обратном направлении достигает лишь 10-20% от номинала и при условии закрепления резьбовых соединений не является опасным. Сброс следует производить через обводную линию обратного клапана. Значение коэффициента сопротивления обводной линии может быть определено аналогично определению значения K сбросного устройства, пользуясь для этого формулой (10). Определяемое по этой формуле значение $K = K_{обв} + K_{н}$ представляет собой сумму коэффициентов сопротивления обводной линии ($K_{обв}$) и насоса ($K_{н}$

Значение $K_{н}$ должно определяться по данным экспериментов. При отсутствии этих данных ориентировочно можно принимать, что при номинальном напоре $H_{н}$ насос пропускает в обратном направлении расход $0{,}5\,Q_{н}$, где $Q_{н}$ - номинальная производительность насоса. Если $D_{вод}$ - диаметр водовода, m -число насосов и n -число водоводов, то

$$K = \frac{H_{н}}{V^{2}_{вод}} = \frac{H_{н}}{\left(\frac{Q_{вод}}{2}\right)^{2}\left(\frac{m}{n}\right)^{2}} \cong \qquad (12)$$

$$\cong 2{,}5\left(\frac{n}{m}\right)^{2} D^{4}_{вод}\,\frac{H_{н}}{Q^{2}_{н}}$$

3) Данные о резервуарах для впуска воды (массив A_8)

Как уже указывалось, программой ГУ-7-МИ предусматривается возможность использования двух типов резервуаров для впуска воды: резервуаров, изменение уровня в которых не учитывается (тип I) и резервуаров, в которых это изменение учитывается (тип П). Число резервуаров I типа ограничивается только тем, что общее количество мест установки противоударных устройств и арматуры не должно быть более 20; число резервуаров П типа не должно быть более 5.

В исходных данных по резервуарам I типа указываются лишь отметки уровня воды в них. Они записываются в массиве A_5 (таблица IУ) вместо отметок оси трубопровода в тех точках, в которых к нему присоединяются эти резервуары.

Данные о резервуарах П типа записываются в порядке нумерации точек водовода, к которым они присоединяются.

Информация в таблице У записывается без разрывов между массивами.

Программой ГУ-7-МИ предусмотрено, что в начале водовода (или у насоса) может быть установлен или затвор (задвижка) или обратный клапан, причем предохранительный клапан может предусматриваться лишь при установке обратного клапана. При установке затвора предохранительный клапан не предусматривается. Поэтому в таблице У может быть или массив A_6 (данные о затворе) или массив A_7(данные о предохранительном клапане).

В связи с этим в одну серию расчетов могут включаться или варианты, при которых предусматривается установка затвора (задвижки) или вариантов, при которых предусматривается установка обратного клапана.

Для того, чтобы иметь возможность включать в одну и ту же серию как варианты, предусматривающие установку предохранительного клапана, так и варианты, при которых предохранительного клапана нет, необходимо в I (основном) варианте записывать информацию по массиву A_7. Если фактически при этом варианте предохранительного клапана нет, то во второй строке массива A_7 следует записать "99999" (или другое большое число, заведомо превышающем возможную величину давления в водоводе). При такой записи расчет I варианта будет производиться без учета действия предохранительного клапана.

Аналогичным образом следует поступать и в тех случаях, когда устанавливается затвор. При тех вариантах, при которых затвор остается открытым, в первой строке массива A_6 (продолжительность времени полного закрытия затвора) нужно записать "999999" с тем, чтобы сопротивление затвора в течение всего рассматриваемого периода времени практически оставалось таким же, каким оно принято для полностью открытого затвора.

Если при каком-либо варианте расчета предусматривается, что затвор остается открытым, то этот вариант можно включать в одну серию с вариантами, предусматривающими установку обратного клапана.

В этом случае в строке I2 таблицы П (величина K_{o6s}) нужно записать значение, соответствующее значению K при полностью открытом затворе (вторая строка массива A_6 - таблица У).

Следует отметить,что в этом случае нельзя пренебрегать гидравлическим сопротивлением затвора и записывать $K=0$, т.к. это будет воспринято как признак отсутствия обводной линии.

Поскольку массив A_8 записывается последним, то различие вариантов в отношении числа резервуаров не является препятствием в проведении расчетов по ним в одну серию.

Для каждого варианта должна быть записана та часть данных по резервуарам, которая отличается от данных для I варианта. Это относится и к тому случаю, когда число резервуаров при рассматриваемом варианте превышает число резервуаров при I варианте. Следует указать, что вариант, по которому исходные данные записываются в первых столбцах таблиц I-У, назван первым (I) условно - это первый вариант данной серии расчетов. Фактический номер варианта может быть иным.

В заключении раздела "Подготовка исходных данных для проведения расчета" необходимо отметить следующее.

I.Бланк формы Ш (массив A_4) рассчитан на запись исходных данных в одном варианте, бланки формы I,IУ и У - (массивы A_1, A_2, A_5, A_6, A_7 и A_8) - в пяти вариантах и бланк формы П (массив A_3) - в семи вариантах. Связано это с характером исходных данных, записываемых на различных бланках. Исходные данные по массиву A_4 относятся к характеристике насоса и могут оставаться одними и теми же для многих вариантов. Данные по массивам A_1,A_2, A_5, A_6, A_7 и A_8 могут оставаться одними и теми же по крайней мере для двух вариантов - варианта при $Q=Q_{max}$ и при $Q=Q_{min}$. В наибольшей мере подвержены изменениям исходные данные по массиву A_3.

В таблицах I-У столбцы вариантов пронумерованы римскими цифрами. В соответствующих этим таблицам бланках исходных дан-

ных номера вариантов не проставлены. Их надо вписывать при заполнении исходных данных. Если при этом окажется, что все данные по какому-либо столбцу массива оказываются одинаковыми для нескольких вариантов, в наименование столбца надо вписать номера всех этих вариантов. Необходимо также указать все номера вариантов, при которых используется данная характеристика насоса (таблица Ш - массив A_4). При передаче бланков для подготовки перфолент необходимо проверить, указано ли на всех бланках одинаковое число вариантов и совпадают ли номера вариантов, указанных на различных бланках.

3. В таблице I для записи "признаков" точек отведено 59 строк, в таблице IУ для записи отметок этих точек - 63 строчки.В тех случаях,когда число точек оказывается большим,следует использовать бланки формы I^a и $IУ^a$.Они аналогичны бланкам формы I и IУ, но предназначены для записи данных по большему числу точек, для чего число вариантов, по которым представляются исходные данные, уменьшено до трех.

Таблица Ш имеет 8 столбцов для записи данных по характеристикам насосов. 8 столбцов нужны лишь при использовании 4^x-квадрантных характеристик. При использовании каталожных характеристик записи производятся только по двум столбцам. В связи с этим предусматривается также использование бланков формы $Ш^a$ таблицы Ш, предназначенных для записи данных по каталожным характеристикам (в 2 столбцах). В этом случае на одном бланке могут быть записаны данные по двум вариантам.

4.При большом числе вариантов таблицы I-У(или часть их) могут быть записаны не на одном, а на двух или более листах каждая.Поэтому на бланках таблиц I-У,передаваемых для подготовки перфоленты, должны быть проставлены номера листов.

Эти номера записываются в "Задании на подготовку перфоленты".

5.В бланках таблиц П-У имеются незаполненные столбцы,предназначенные для записи номеров ячеек. "Инструкцией по подготовке перфоленты" (раздел 9) предусматривается, что номера ячеек вписываются оператором перед пробивкой перфоленты.Однако для уменьшения числа возможных ошибок желательно, чтобы нумерация производилась самим проектантом, подготовляющим исходные данные. Руководствуясь "Инструкцией", сделать это несложно. Необходимо лишь помнить, что нумерация ячеек ведется в восьмеричной системе счисления (нет цифр 8 и 9; поэтому например, после номера 0507 записывается номер 0510 и после номера 0577 - номер 0600).

6. В одну серию расчетов могут включаться лишь те варианты, по которым информация в таблицах I-IУ занимает одинаковое число строк. Это означает, что в одну серию могут включаться только те варианты, при которых число расчетных участков одинаково.

Кроме того, как уже указывалось, в одну серию должны включаться или те варианты, при которых предусматривается установка затвора (задвижки) или те варианты, при которых предусматривается установка обратного клапана. Варианты, предусматривающие установку затворов, можно включать в одну серию с вариантами, предусматривающими установку обратных клапанов лишь в том случае, если закрытие затвора не производится и он рассматривается как обратный клапан с обводной линией, коэффициент сопротивления которой равен гидравлическому сопротивлению затвора.

Задания на подготовку перфоленты и на проведение расчета

Задание на подготовку перфоленты выдается по форме таб- УI.

В графе I указывается, в какой последовательности должны быть отперфарированы данные по расчетным вариантам.

Запись в скобках " ячейка № I42I" означает, что при вводе в машину исходных данных указываемый в графе I порядковый номер будет записан в ячейке № I42I.

Первыми перфарируются данные по I варианту серии расчетов, по которому, как указывалось в разделе 7, записи обязательно должны быть сделаны по всем строкам таблиц I-У.

В графе 2 записывается номер варианта. Запись в скобках "ячейка № I420" означает, что при вводе исходных данных в машину указанный номер варианта будет записан в ячейке № I420. Очевидно, что если проводится несколько серий расчета, то записываемый в графе 2 номер варианта будет совпадать с номером, записываемым в графе I, лишь для первой серии расчетов.

В столбцах графы 3 указываются номера листов соответствующих таблиц (I-У), на которых записаны исходные данные, относящиеся к рассматриваемому варианту. Если исходные данные для рассматриваемого варианта по какой-либо из таблиц I-У не отличаются от исходных данных для I варианта серии, то в соответствующем столбце вместо записи номера листа записывается прочерк (-). Если, например, вариант 2 отличается от I варианта серии только значением " α " (скорость распространения волн изменения давления), то номер листа записывается лишь в столбце, относящемся к таблице П. По остальным столбцам графы 3 делаются прочерки (см. таблицу УI- Задание на подготовку перфоленты).

Задание на проведение расчета выдается по форме таблицы УП.

В Задании указываются №№ вариантов (в порядке их расположения на перфоленте), по которым должен быть произведен расчет. Следует отметить, что расчет может начинаться не с I варианта серии (который перфарируется на ленте первым). Необходимость в этом возникает в трех случаях:

I) После проведения первой серии расчетов (которая начиналась с расчета по I варианту)выявилось, что повторные расчеты должны быть проведены не по всем вариантам, а лишь по некоторым из них, причем по I варианту повторять расчет не надо.

2) После проведения первой серии расчетов выявилось, что должна быть проведена вторая (или последующая) серия расчетов, включающая новые варианты. Тогда в бланках - таблицах I-У могут быть добавлены исходные данные по этим новым вариантам и по дополненным таблицам I-У может быть подготовлена новая лента, на которой будет отперфарирован как уже просчитанный I вариант, так и новые варианты.

3) После проведения первой серии расчетов выявилось, что число полуфаз, для которых производился расчет по какому-либо варианту, оказалось недостаточным и должно быть увеличено. В этом случае взамен подготовки новой перфоленты, в которой для данного варианта указывается большее число полуфаз, можно внести исправленное число полуфаз с пульта.Для этого расчет по рассматриваемому варианту должен быть повторен в соответствии с прежними исходными данными.После завершения этого расчета с пульта вводится новое число полуфаз, указываемое

графе 5 Задания на проведение расчета. Это число должно быть записано в восьмеричной системе счисления. Следует подчеркнуть, что если подготавливающий Задание не знаком с восьмеричной системой счисления, то вариант с увеличенным числом полуфаз можно рассматривать как новый. В этом случае вводить восьмеричное число с пульта не потребуется.

В то же время следует указать, что если проектант знаком с восьмеричной системой, то целесообразно все варианты рассчитывать с "продлением времени счета", т.е. после завершения расчета для числа полуфаз, отперфарированного на ленте, продлить расчет еще на несколько полуфаз. Сопоставление результатов расчета для исходного числа полуфаз (отперфарированного на ленте) и для увеличенного числа их позволит быстрее определить, можно ли считать расчет по данному варианту законченным или надо еще продлить время счета (см. пункт 2 раздела 7 - подготовка исходных данных для проведения расчета).

В графе 3 таблицы УП по каждому варианту должно быть указано положение ключей №№ I-6 (+ включен, - выключен).

Ключи № I,3, 5 и 6 обычно выключены. Включаются они в следующих случаях:

ключ № I - не нужно печатать исходные данные;

ключ № 3 - выводятся на печать значения волн изменения давления;

ключ № 5 - насос оборудован тормозом, исключающим возможность вращения ротора в обратном направлении;

ключ № 6 - после снижения числа оборотов насоса до 10% от номинала результаты расчета нужно печатать не через 10, а через другое число интервалов времени " $\mathcal{U}$ " (см.раздел 7, подготовка исходных данных, записываемых в табл. 1). Это число интервалов времени (в восьмеричной системе счисления) должно быть записано в графе 4 "Задания оператору".

При назначении положения ключей № 2 и № 4 надлежит исходить из следующего.

Ключ № 2. При выключенном ключе № 2 расчет данного варианта производится однократно, при включенном - двухкратно;

Ключ № 4. При выключенном ключе № 4 печать производится на узкую ленту ("узкая печать"), при включенном - на широкую ленту ("широкая печать").

Печать значений волн изменения давления при любом положении ключа № 4 производится (если включен ключ № 3) на узкую ленту.

Как правило, первую серию расчетов следует проводить однократно и после анализа их результатов повторять расчеты лишь по тем вариантам, результаты которых вызывают сомнения.

Повторно должны производиться также расчеты по тем вариантам защиты от гидравлического удара, на основе сопоставления которых будет выбираться окончательный вариант защиты.

Во избежание недоразумений следует подчеркнуть, что по каждому варианту защиты может производиться по нескольку вариантов расчета (например, для различных расчетных значений " a ", различных комбинаций работы насосов и др.).

В графе 6 указываются предполагаемые затраты машинного времени на проведение данного расчета. Эти затраты времени зависят от числа полуфаз, для которых производится расчет, числа расчетных участков, на которые расчленен водовод, а также от предусмотренных мер защиты водовода от недопустимого повышения давления при гидравлическом ударе.

При отсутствии у проектанта опыта проведения расчетов гидравлического удара по программе ГУ-7-МИ для записи в Задание на проведение расчета затраты времени можно принимать по таблице 2.

Таблица 2

Ориентировочные величины затрат машинного времени на проведение расчета гидравлического удара по программе ГУ-7-МИ

Число полуфаз "Р", для которых производится расчет	Затраты времени в минутах при числе расчетных участков			
	до 20	20-40	40-60	60-80
до 10	5	10	15	20
10-20	12	20	30	40
20-30	20	30	45	60
30-40	30	45	60	80
40-50	40	60	80	100

Если расчет для данного варианта производится дважды, то указанные в таблице затраты времени надлежит удваивать.

9. Инструкция по подготовке перфоленты исходных данных

Для считывания программы с МЛ в начале перфоленты в границах ввода перфорируются следующие команды:

0001/	- 4700	0200	0232
2/	- 4500	7546	0232
3/	- 3000	0001	0000
4/	- 0000	0000	0000

Затем перфорируются исходные данные, записанные десятичными числами на бланках, формы которых приведены в таблицах I-У. Данные по всем вариантам расчета перфорируются в порядке, указанном в "Задании на подготовку перфоленты".

При перфорации каждого варианта:

а) пробивается " граница ввода";

б) пробивается десятичное (без запятой) число -порядковый номер данного варианта с записью в ячейку № 1421 (это число указано в графе 1 таблицы УI "Задание на подготовку перфоленты");

в) пробивается десятичное (без запятой) число - номер данного варианта с записью в ячейку № 1420 (это число указано в графе 2 таблицы УI "Задание на подготовку перфоленты");

г) пробиваются исходные данные;

д) пробивается "граница ввода".

По первому варианту серии (первому в порядке записи в таблице УI) исходные данные (записанные в первых столбцах таблиц I-У) перфорируются всегда начиная с ячейки № 0500 (последовательно в порядке нумерации таблиц и расположения в них исходных данных).

Количество заполненных строк в таблице I, а следовательно и количество ячеек, в которые заносятся данные этой таблицы, зави-

сит от особенностей рассчитываемого варианта. Поэтому номера ячеек, которые должны быть проставлены в строках всех остальных таблиц, также зависят от особенностей рассчитываемого варианта.

Так как нумерация ячеек сквозная, то в первой строке каждой последующей таблицы записывается номер ячейки, следующей за номером ячейки, который записан в последней заполненной строке предшествующей таблицы.

Нумерация ячеек в таблице Ш производится последовательно по столбцам (в первой строке последующего столбца записывается номер на единицу больший номера, записанного в последней строке предшествующего столбца).

Следует отметить, что записи в строках первых столбцов таблиц I-У должны быть без пропусков. Если какая-либо из величин, входящих в состав исходных данных, равна нулю, то в соответствующей строке должен быть записан О. Поэтому если в представленных для перфорации таблицах исходных данных будут пропуски, то эти таблицы нужно вернуть для исправления.

Исходные данные по остальным вариантам перфорируются последовательно в том порядке, как это указано в "Задании на подготовку перфоленты".

В отличие от I варианта серии(записанного в таблице УI первым) данные по остальным вариантам записываются и перфорируются не по всем строкам, а лишь по тем, по которым они отличаются от I варианта. Это относится и к таблице Ш. Данные по ней заносятся лишь в том случае, если при рассматриваемом варианте расчета они отличаются от исходных данных для I варианта.

IO. Инструкция по записи программы на магнитную ленту

I.Установить на ЛПМ-2 нулевого шкафа размеченную магнитную ленту (5 зон).

2.Ввести с пульта или перфоленты следующие команды:

0001/	- 5000	0000	0232	0010/	- 0000	0000	0000
2/	- 0000	0000	0000	I/	- 4700	0201	3224
3/	- 4700	0200	0232	2/	- 4300	I600	3224
4/	- 4300	7546	0232	3/	- 3000	0011	0000
5/	- 3000	0003	0000	4/	- 0000	0000	0000
6/	+ 0000	0000	0000	5/	- 3000	0014	0000
7/	- 5000	0000	3224				

3.Установить на фотоввод перфоленту с программой ГУ-7-МИ.

4.В режиме "автомат" пуск "0001". Останов "0003".Контрольная сумма - 777777777777.

5. Пуск 0003. Останов 0011.Контрольная сумма - 777 777 777 777.

6. Пуск 0011. Останов 0015.

II. Инструкция по работе за пультом при проведении расчетов

I.Установить магнитную ленту с программой ГУ-7-МИ на ЛПМ-2 нулевого шкафа.

2.Установить на фотоввод перфоленту исходных данных.

3.В режиме "цикл" нажать "цифровой ввод".

4. В режиме "автомат" пуск "0001". Произойдет останов "0005".

5. В режиме "цикл" на клавиатуре "набор кода" в двух последних тетрадах набрать порядковый номер варианта, указанный в графе I "Задания на проведение расчета". Набор про-

изводится в двоично-десятичном коде, правильность набора проверить через сумматор.

6. Установить ключи согласно "Заданию на проведение расчета". Ключ № 7 должен быть выключен.

При включенном ключе № 4 подготовить к работе АЦПУ, при выключенном ключе № 4 подготовить к работе БПМ, при включенном ключе № 3 подготовить к работе БПМ.

7. В режиме "автомат" пуск " 3210".

8. Если машина остановилась по адресу "5737", то в режиме "цикл" занести с пульта ячейки "0500" восьмеричное число, указанное в графе 4 "Задания на проведение расчета". После этого выключить ключ № 6 и в режиме "автомат" произвести пуск "5737". Машина остановится по адресу "7110".

9. Если в графе "5" "Задания на проведение расчета" ничего не записано (или сделан прочерк), то останов по адресу "7110" означает, что расчет данного варианта закончен. Если в указанной графе записано число, то его следует занести (как восьмеричное) в последние разряды ячейки "0501" и в режиме "автомат" продолжить счет с адреса "7126". По окончании счета машина вновь остановится по адресу "7110" (расчет данного варианта закончен). Для печати титульного листа (если ключ № 4 включен) после окончания счета по данному варианту нужно произвести пуск "7110". После печати машина вновь остановится по этому адресу.

Для расчета следующего варианта выполнить пункты 5-9.

10. Если время, отведенное для проведения указанных в "Задании" расчетов истекло, а рассет не закончен, то нужно включить ключ № 7. Через 60-100 секунд после этого машина

выдаст результаты незавершенного расчета по очередному варианту.

В следующий выход на машину расчет должен быть начат с варианта, расчет по которому остался незавершенным или по согласованию со специалистом, выдавшим задание, со следующего варианта (если оценка данного варианта может быть дана специалистом по результатам незавершенного расчета).

Гу-7-Ми Исходные данные Таблица I Лист №

Наименование организации

Наименование объекта

Шифр № Объект №

№ № ячеек	Назначение и № № точек	Варианты I	II	III	IV	V
0500	Ц	Число интервалов времени, через которое производится промежуточная печать				
0501	Р	Число полуфаз, для которых производится расчет				
0502	З	Число интервалов времени, на которое разбито время закрытия затвора				
0503	ПК	Если предохранительный клапан есть - записывается „1", если нет - „0"				
0504	Q-Н	Указывается вид характеристики и условия пропуска воды через насос - см. примечание				
0505	1	Признаки точек водовода				
0506	2	Начиная со строки, соответствующей ячейке 0505 записываются следующие „признаки" характерных точек, зависящие от устанавливаемой в этих точках противоударной аппаратуры.				
0507	3					
0510	4					
0511	5					
0512	6					
0513	7	0-ничего не установлено				
0514	8	1-диафрагма-сопротивление.				
0515	9	2-клапан впуска и защемления воздуха				
0516	10	3-обратный клапан+клапан впуска и защемления воздуха.				
0517	11					
0520	12	4-резервуар для впуска воды Тип I.				
0521	13					
0522	14	5.-то же Тип II				
0523	15	6-точка изменения диаметра+клапан впуска и защемления воздуха.				
0524	16					
0525	17					
0526	18	7-точка изменения диаметра+обратный клапан+клапан впуска и защемления воздуха				
0527	19					
0530	20	8-точка изменения диаметра+резервуар Тип I для впуска воды				
0531	21					
0532	22					
0533	23					
0534	24					
0535	25					
0536	26					
0537	27					

№ № ячеек	№ № точек	Варианты I	II	III	IV	V
0540	28					
0541	29					
0542	30					
0543	31					
0544	32					
0545	33					
0546	34					
0547	35					
0550	36					
0551	37					
0552	38					
0553	39					
0554	40					
0555	41					
0556	42					
0557	43					
0560	44					
0561	45					
0562	46					
0563	47					
0564	48					
0565	49					
0566	50					
0567	51					
0570	52					
0571	53					
0572	54					
0573	55					
0574	56					
0575	57					
0576	58					
0577	59					

Признаки точек водовода

9-точка изменения диаметра+резервуар Тип II для впуска воды.

10-точка изменения диаметра. Противоударных устройств в этой точке нет.

11.-точка изменения диаметра+отбор воды.

12-концевая точка водовода-сифон.

13-концевая точка водовода, сифона нет.

Примечание.

1. Каталожная характеристика, на напорной линии установлен обратный клапан без обводной линии - признак „0"

2. 4ˣ квадратная характеристика. Обратного клапана нет, затвор открыт - признак „1"

3. 4ˣ квадратная характеристика. Обратный клапан (или затвор) имеет обводную линию - признак „2"

Гу-7-МИ Таблица II Лист №

Исходные данные

Наименование организации _____

Наименование объекта _____

Шифр № Объект №

№№ п/п	№№ ячеек	Обозначен. и размерн. величин	№№ вариантов						
			I	II	III	IV	V	VI	VII
1		m	число насосов						
2		n	число водоводов						
3		GD^2 кгм^2	маховой момент ротора агрегата						
4		M_e кгм	момент, потребляемый насосом (до выключения двигателя)						
5		$M_{тр.}$ кгм	момент, затрачиваемый на преодоление трения в сальниках и подшипниках.						
6		n_0 об/мин	нормальное число оборотов насоса.						
7		$H_0^{нас}$ м	напор, развиваемый насосом (до выключения двигат.)						
8		Z_0 м	отметка уровня воды в резервуаре.						
9		$Z_{0\,сиф}$ м	отметка высшей точки оси сифона (при отсутствии сифона записывается 0).						
10		$\frac{W}{W_{вод}}$	площадь кармана или сифона / площадь поперечного сечения водовода						
11		$Q_{гр}$ м^3/сек	максимальное значение Q/n (или Q), при котором используется график в координатах $Q/n - H_{вв}$ или $(z-H)$.						
12		$K_{об}$	коэффициент, характеризующий гидравлическое сопротивление обводной линии.						
13		ΔL м	расчетная длина участка (расстояние между точками разбивки).						
14		$H_0^{вод}$ м	напор в начале водовода (до выключения двигателя)						
15		$Q_0^{нас}$ м^3/сек	подача воды одним насосом (до выключения двигателя)						
16		D_1 м	Диаметр труб 1-ой части водовода (до 1-ой точки изменения диаметра).						
17		a м/сек	Скорость распространения волн изменения давления						
18		$H_1^{вод}$ м	Напор в начале второй части водовода (до выключения двигателя).						
19		$\frac{Q_{отв_1}}{n}$ м^3/сек	суммарный отбор воды в первой точке изменения диаметра $Q_{отв_1}$, деленный на число водоводов n.						
20		D_2 м	Диаметр труб 2-ой части водовода.						
21		$d_1^{отв}$ м	Диаметр ответвления в 1-ой точке изменения диаметра.						
22		$H_2^{вод}$ м	Напор в начале третьей части водовода (до выключения двигателя).						
23		$\frac{Q_{отв_2}}{n}$ м^3/сек	суммарный отбор воды во 2-ой точке изменения диаметра $Q_{отв_2}$, деленный на число водоводов n.						
24		D_3 м	Диаметр труб 3-ей части водовода.						
25		$d_2^{отв}$ м	Диаметр ответвления во 2-ой точке изменения диаметра.						
26		$H_3^{вод}$ м	Напор в начале четвертой части водовода (до выключения двигателя)						
27		$\frac{Q_{отв_3}}{n}$ м^3/сек	суммарный отбор воды в 3-ей точке изменения диаметра $Q_{отв_3}$, деленный на число водоводов n.						
28		D_4 м	Диаметр труб четвертой части водовода.						
29		$d_3^{отв}$ м	Диаметр ответвления в 3-ей точке изменения диаметра.						

Ру-7-МИ

Таблица III Лист №

Исходные данные

Наименование организации .....

Наименование объекта ..... Объект №

Шифр №

№ №	$\beta > 0$				$\beta < 0$				$Q > 0$				$Q < 0$			
	№ № ячеек	H/β^2	№ № ячеек	M/β^2	№ № ячеек	H/β^2	№ № ячеек	M/β^2	№ № ячеек	H/Q^2	№ № ячеек	M/Q^2	№ № ячеек	H/Q^2	№ № ячеек	M/Q^2
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18																
19																
20																
21																

Гу-7-МИ Таблица IV лист №

Исходные данные

Наименование организации _____

Наименование объекта _____

Шифр № Объект №

№№ п/п	№№ ячеек	№№ вариантов					№№ п/п	№№ ячеек	№№ вариантов				
0							32						
1							33						
2							34						
3							35						
4							36						
5							37						
6							38						
7							39						
8							40						
9							41						
10							42						
11							43						
12							44						
13							45						
14							46						
15							47						
16							48						
17							49						
18							50						
19							51						
20							52						
21							53						
22							54						
23							55						
24							56						
25							57						
26							58						
27							59						
28							60						
29							61						
30							62						
31							63						

Гу-7-Ми Исходные данные Таблица V Лист №

Наименование организации _____

Наименование объекта _____

Объект №

№ № ячеек	№ № в массиве	Варианты I	II	III	IV	V
Массив A_6 - данные о затворах						
	1	Продолжительность времени полного закрытия затвора в сек. (T).				
	2	Значение K в формуле $h=KV^2$ полностью открытого затвора.				
	3	Значение K для моментов времени $\frac{T}{10}(n-2)$ от начала закрытия, где n - номер данной строки в массиве (начиная с n=3 и кончая n=11)				
	4					
	5					
	6					
	7					
	8					
	9					
	10					
	11					
	12	1000000 (условное значение K полностью закрытого затвора)				
Массив A_7 - данные о предохранительном клапане.						
	1	$\Delta h=\frac{h_{max}}{10}$, где h_{max} - пьезометрическая величина наибольшего давления (в м.в.с.)				
	2	h_0 - величина давления (в м.в.с.), при котором клапан открывается.				
	3	h_1 - величина давления (в м.в.с.) при котором клапан закрывается.				
	4	Q - расход через клапан при отсутствии давления.				
	5	Величины расходов воды q л/сек, сбрасываемых через клапан при давлении $h=\frac{h_{max}}{10}(n-4)$, где n - номер данной строки в массиве (начиная с n=5 и кончая n=14)				
	6					
	7					
	8					
	9					
	10					
	11					
	12					
	13					
	14					

№ № ячеек	№ № в массиве	Варианты I	II	III	IV	V
Массив A_8 - данные о резервуарах для впуска воды.						
	1	Превышение начального уровня воды в резервуаре над осью трубопровода.				
	2	Площадь зеркала воды в резервуаре				
	3	Значения S в формуле $h=Sq^2$ при движении воды от резервуара к водоводу				
	4	Значение S при движении воды от водовода к резервуару				

Примечание

1. Строки 1-4 записываются по каждому из резервуаров для впуска воды, сработка уровня которых учитывается при проведении расчета. Программой Гу-7-Ми предусмотрена возможность устройства 5 таких резервуаров.
2. Число резервуаров, сработка уровня в которых не учитывается, ограничено только тем, что общее число мест установки на водоводе противоударной арматуры не должно превышать 20.

Таблица УI

Задание

на подготовку перфоленты для проведения расчета гидравлического удара по программе ГУ-7-МИ

Наименование организации, выдавшей задание _____

Наименование объекта _____

_____

Шифр № _____ Объект № _____

Перфолента №

Число вариантов на перфоленте _____

№№ в порядке перфорации на ленте (ячейка № I42I)	№№ вариантов (ячейка № I420)	№№ таблиц исходных данных					Примечание
		I	П	Ш	IУ	У	
I	2	3					4
I	I	I	I	I	I	I	I. Цифры в столбцах графы 3 означают номера листов таблиц I-У, относящихся к данному варианту.
2	2	-	I	-	-	-	2. Прочерк (-) означает, что по рассматриваемому варианту исходные данные не отличаются от исходных данных по варианту, записанному первым в порядке перфорации.
3							3. Записи в скобках "ячейка № I42I" в наименовании графы I и "ячейка № I420" в наименовании графы 2 означают, что записанные в этих графах числа (номера в порядке перфорации и номера вариантов) всегда вводятся соответственно в ячейку № I42I и № I420.

Задание выдал _____ дата
(подпись)

Перфоленту подготовил _____ _____
(подпись) (дата)

Таблица УП

Задание

на проведение расчета гидравлического удара по программе ГУ-7-МИ

Наименование организации, выдавшей задание _____

Наименование объекта _____

Шифр № Объект №

Перфоленты № Число вариантов на перфоленте

№ № пп	№№ вариантов в порядке перфорации на ленте	Положение ключей (+ включен – выключен) №№ ключей						Восьмеричные числа, вводимые с пульта при проведении расчета по данному варианту		Предполагаемые затраты машинного времени
		I	2	3	4	5	6	В ячейку № 0500	В ячейку №0501	
I	2	3						4	5	6

Предполагаемые затраты машинного времени на проведение расчетов по всем вариантам задания час. мин.

Задание выдал _____ (подпись) _____ (Дата)

Затрачено машинного времени час. мин.

Расчет произвел _____ (подпись) _____ (дата)

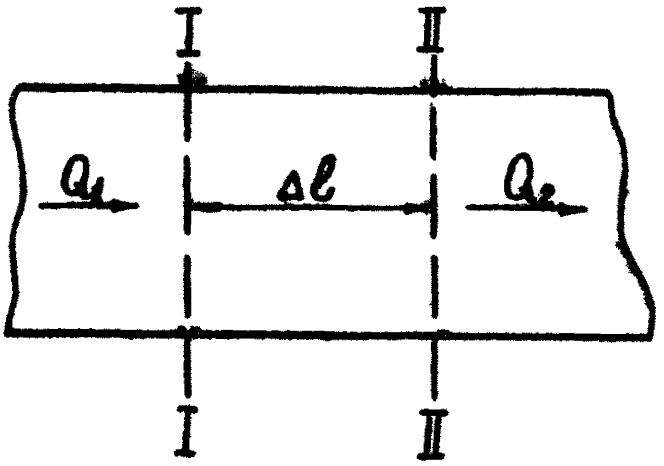

Рис. 1 Отсек трубопровода

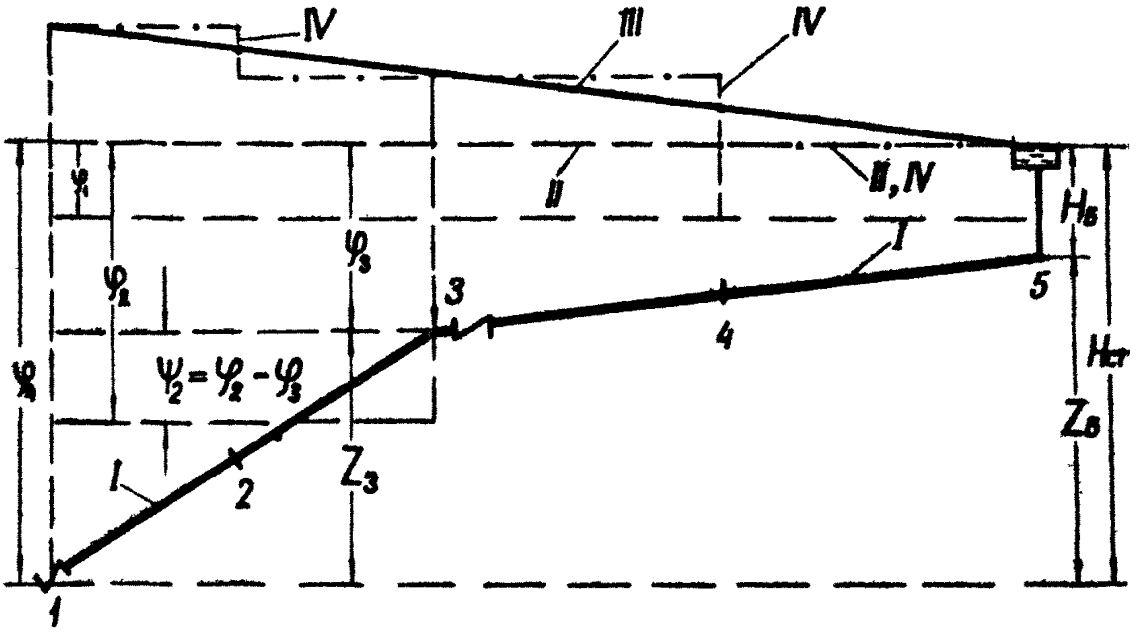

Рис. 2

I-Профиль водовода; II-условная пьезометрическая линия при отсутствии потерь напора в водоводе; III-фактическая пьезометрическая линия; IV-условная пьезометрическая линия при концентрации потерь напора в двух диафрагмах (расположенных в точках 2 и 4).

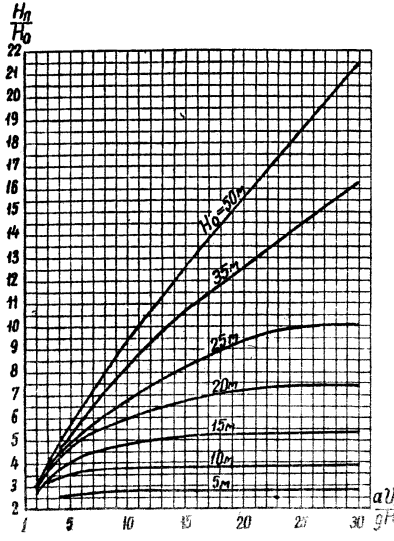

Рис. 3 График для определения давления при защемлении воздуха в местах образования разрывов сплошности потока

H_n — максимальное давление в месте установки клапана, для впуска и защемления воздуха;

H_0 — статическое давление в месте установки этого клапана

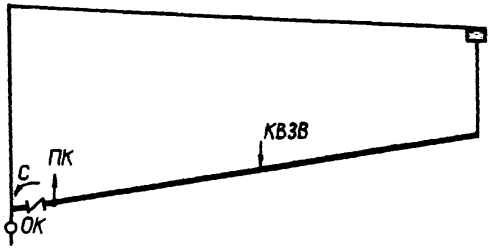

Рис.4. I тип профиля водовода.

С-сброс воды; ПК-предохранительный клапан; КВЗВ-клапан впуска и защемления воздуха; ОК-обратный клапан.

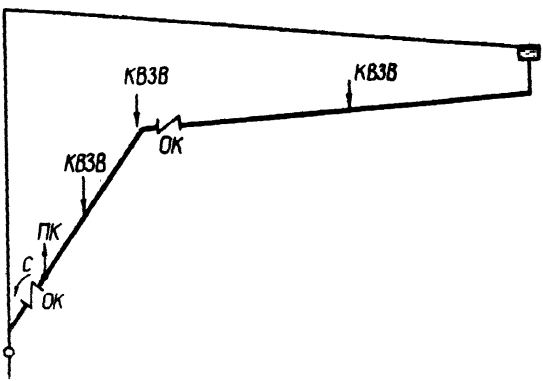

Рис.5. II тип профиля водовода.

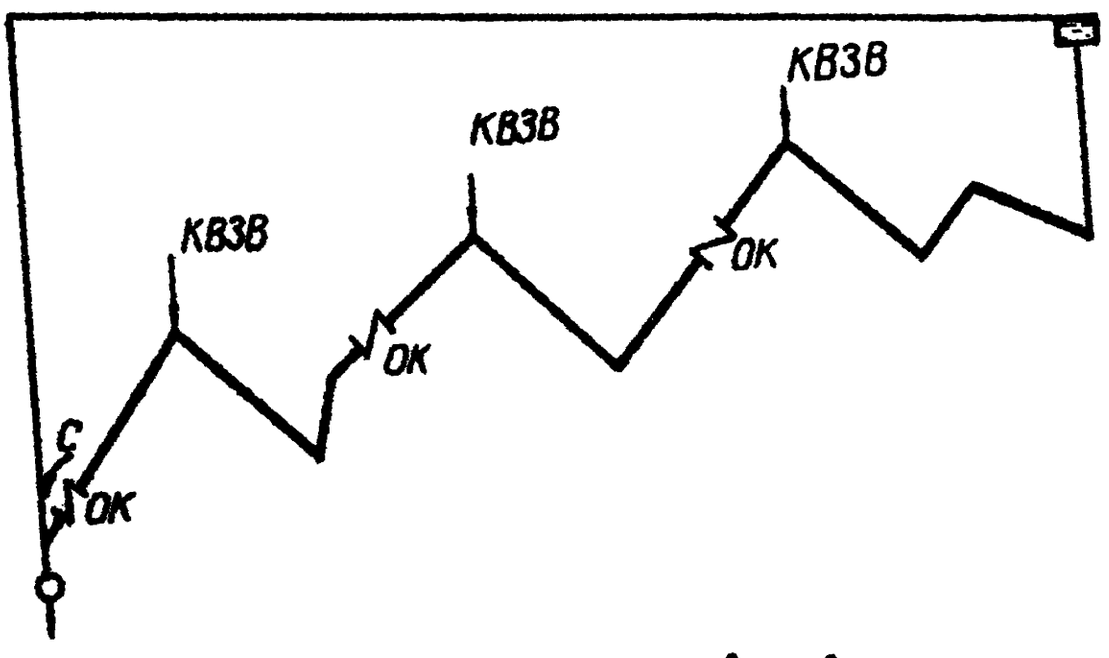

Рис.6. III тип профиля водовода.

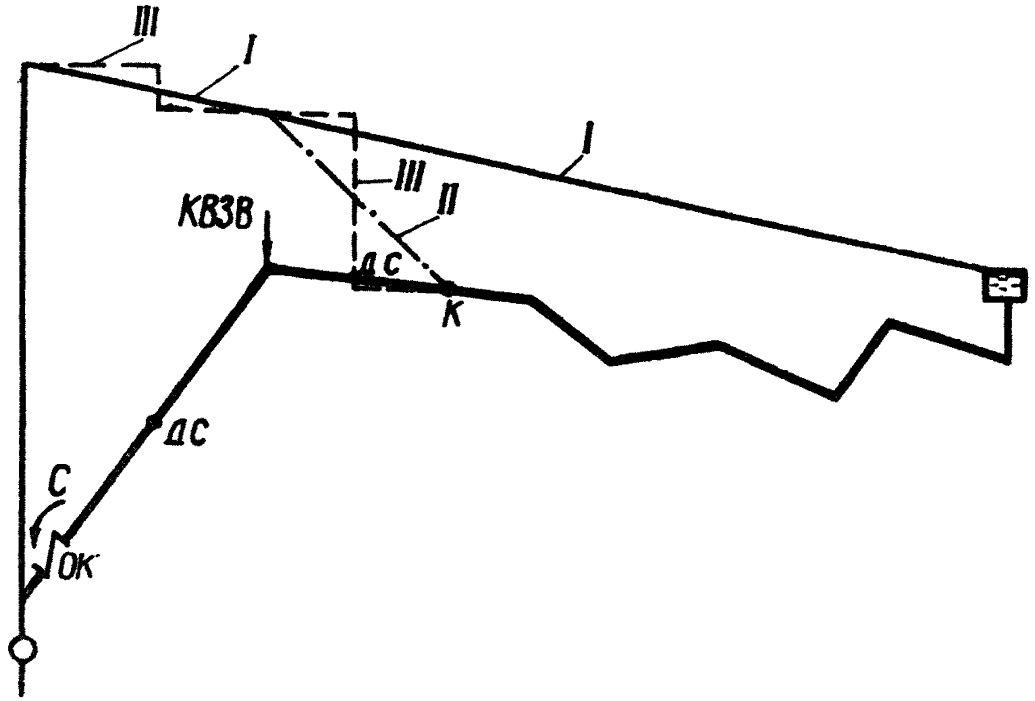

Рис.7. IV тип профиля водовода

ДС – диафрагма – сопротивление; К – концевая точка условной расчетной схемы водовода; I – действительная пьезометрическая линия; II – пьезометрическая линия на концевом участке условной расчетной схемы; III – пьезометрическая линия условной расчетной схемы при концентрации потерь напора в диафрагмах – сопротивлениях.

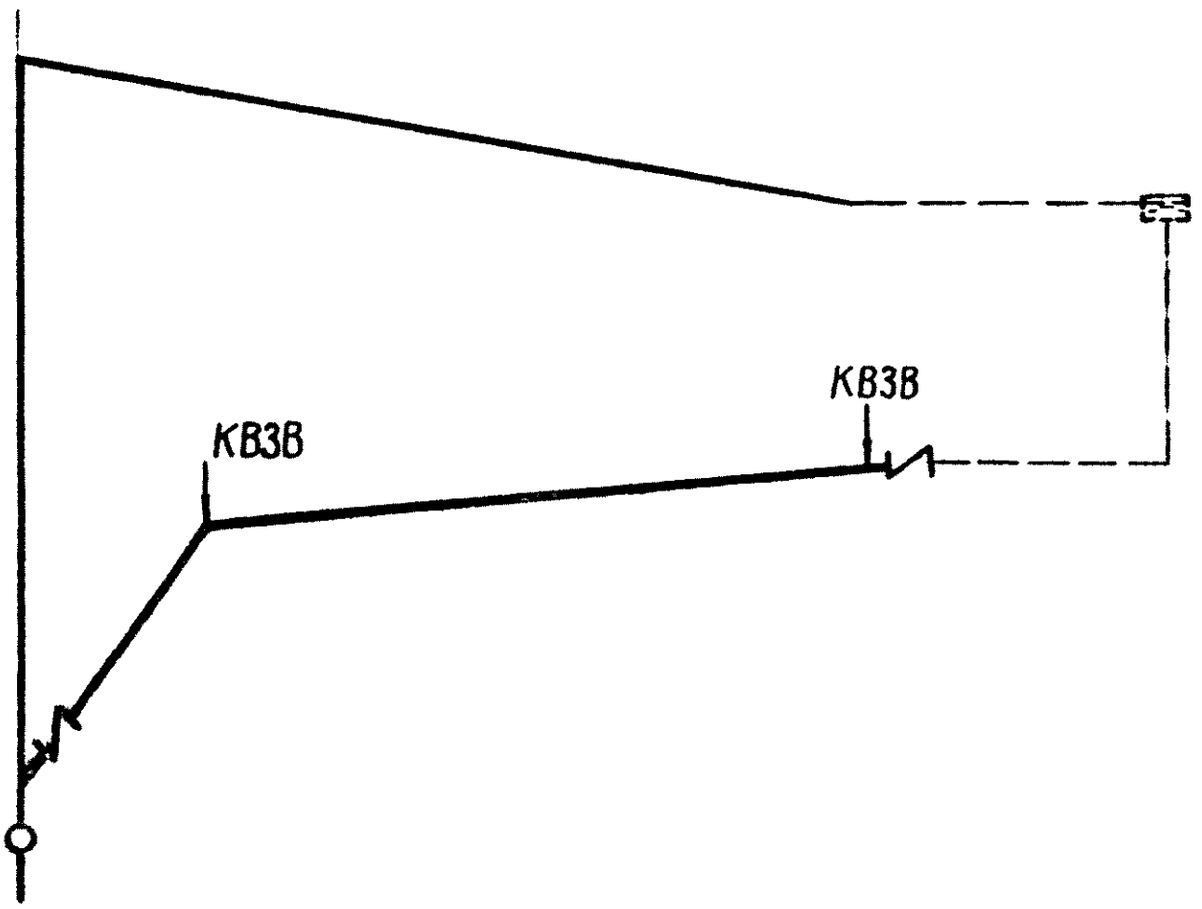

Рис.8. V тип профиля водовода.

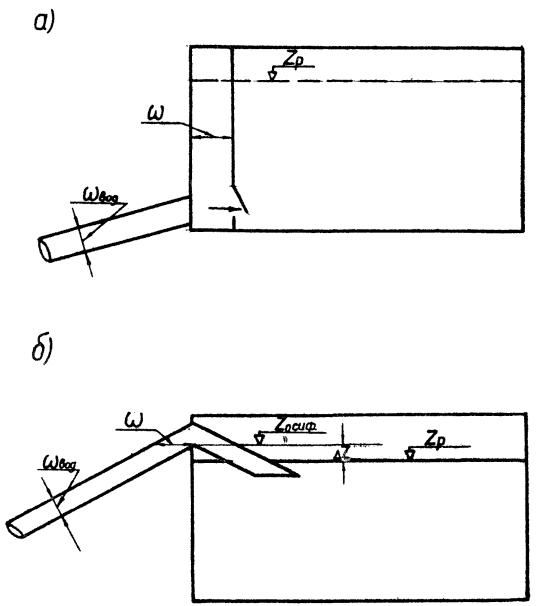

Рис. 9. Схемы примыкания водовода к резервуару.

а) карман; б) сифон.

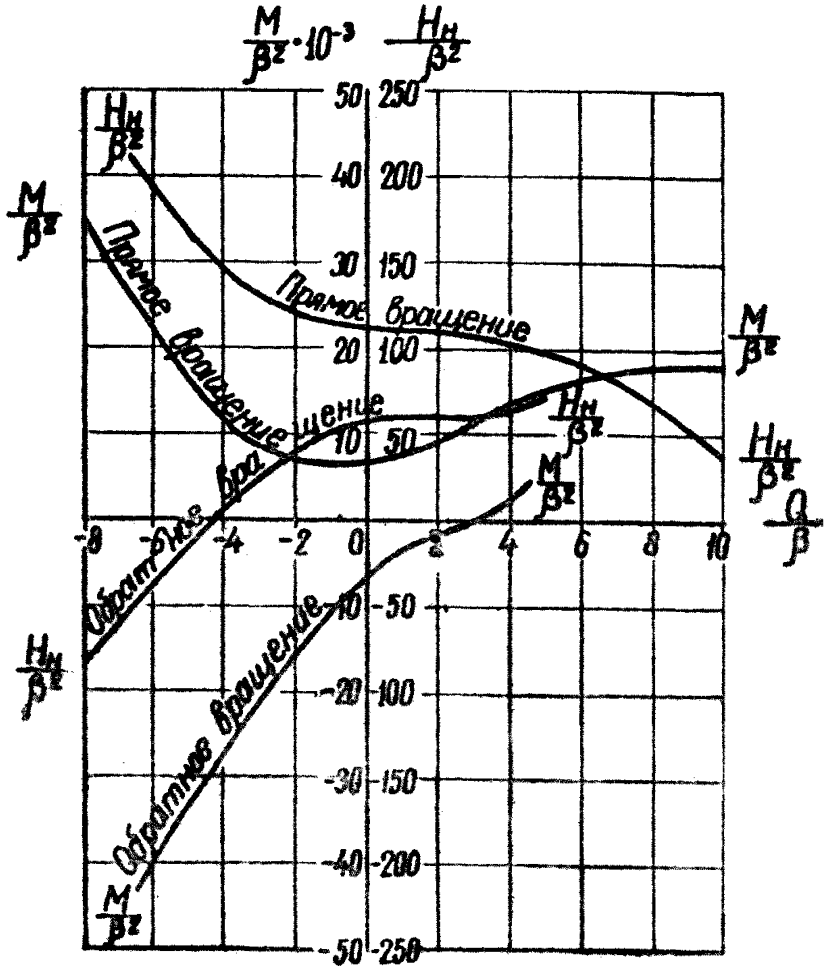

Рис. 10 4-квадрантная характеристика насоса 52В-11 в координатах $\frac{Q}{\beta}$, $\frac{H_н}{\beta^2}$ и $\frac{M}{\beta^2}$

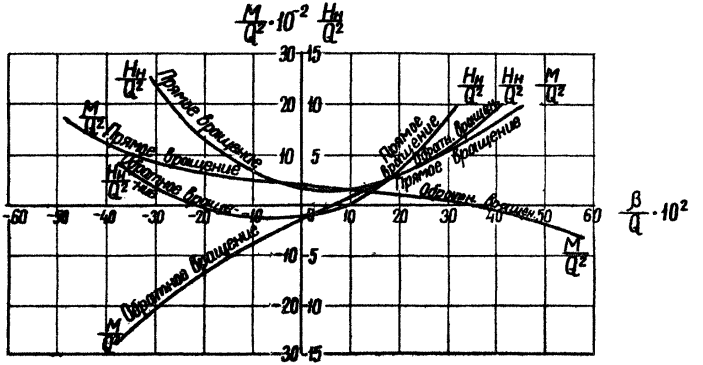

Рис.11 4-квадрантная характеристика насоса 52В-11 в координатах $\frac{\beta}{Q}$, $\frac{H_н}{Q^2}$ и $\frac{M}{Q^2}$

Цена 50 коп.

А-99150. Подп. к печати 19/П-1970 г. Объем 6,0 п.л., тираж 500;
Зак. № Тип. ВНИИ ВОДГЕО, пос. Кучино, Горьков. ж.д., Гидрогородок № 15

Замеченные опечатки

страница	строка	напечатано	следует читать
10	11 снизу	$\Delta h = \varphi < H_Б$	$\Delta h = \varphi_1 < H_Б$
13	2 сверху	$= v - \frac{g}{a}(2\varphi_2 - \varphi_3)$	$= v_0 - \frac{g}{a}(2\varphi_2 - \varphi_3)$
41	3 снизу	восьмеричными	десятичными
72	1 снизу	в графе 1	в графе 2

Внимание!

указанные на стр. 40 — 41 обозначения L_{max} и ΔV_{max} при окончательной отработке программа заменена соответственно на X и W.

gost.e-ecolog.ru