

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего  
профессионального образования**  
**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И  
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)**

**Методические указания к курсовой расчетно-  
графической работе по  
дисциплине «гидрогазодинамика»**

Направление подготовки бакалавров 280700.62

«Техносферная безопасность»

Разработчик  
доцент каф. РЭТЭМ, к.т.н

А.С. Апкарян

Зав. каф. РЭТЭМ, д.т.н.

В.И. Туев

Томск-2013

## 1 Требования к оформлению расчётно-графической курсовой работ

Расчетно-графическая курсовая работа должна быть оформлена в виде пояснительной записки, включающей в себя текст, соответствующие рисунки и графики на стандартном листе формата А4 (210x297). Записка должна иметь титульный лист, выполненный по образцу, указанному в прилож.1. После титульного листа следует поместить исходные данные варианта, приведенные в табл.2,1 и чертеж расчетной гидравлической схемы (см. рис. 2.1) со всеми обозначениями и с указанием номера заданного варианта. Затем излагается ход расчета. При этом сначала должна быть записана общая формула, а затем значения всех величин, входящих в нее. Для всех расчетных величин должны быть указаны единицы физических величин в СИ.

В конце записки помещаются графики, которые должны быть выполнены на миллиметровой бумаге. Оси графиков являются масштабными шкалами и должны быть разделены на равные части. На осях указываются единицы физических величин. Образцы выполнения графиков приведены на рис. 4.1; 5.1; 6.1.

## 2 Задание на курсовую работу

Рассчитать и выбрать оптимальный диаметр трубопровода для транспортировки воды от насоса Н до промышленной установки ПУ. Определить толщину стенок труб, необходимые пьезометрические напоры у насоса и на участках трубопроводов. Построить напорную характеристику трубопровода и график пьезометрических напоров для приведенных условий:

1. максимальный часовой расход воды  $Q_{\max}$ ;
2. согласно схеме установки (рис. 2.1.) длины участков трубопровода:

$$l_{AB}, l_{BC}, l_{CD}, l_{DE}$$

геометрические отметки точек:  $z_A, z_B, z_C, z_D, z_E$

местные сопротивления:

- колен с закруглением под  $\angle 90^\circ$  - 6 шт.

- задвижек Дудло:  
 со степенью открытия 5/8  
 на участке АВ – 1 шт;  
 на участке ВС – 1 шт.  
 со степенью открытия 7/8  
 на участке CD – 1 шт;  
 на участке DE – 1 шт.

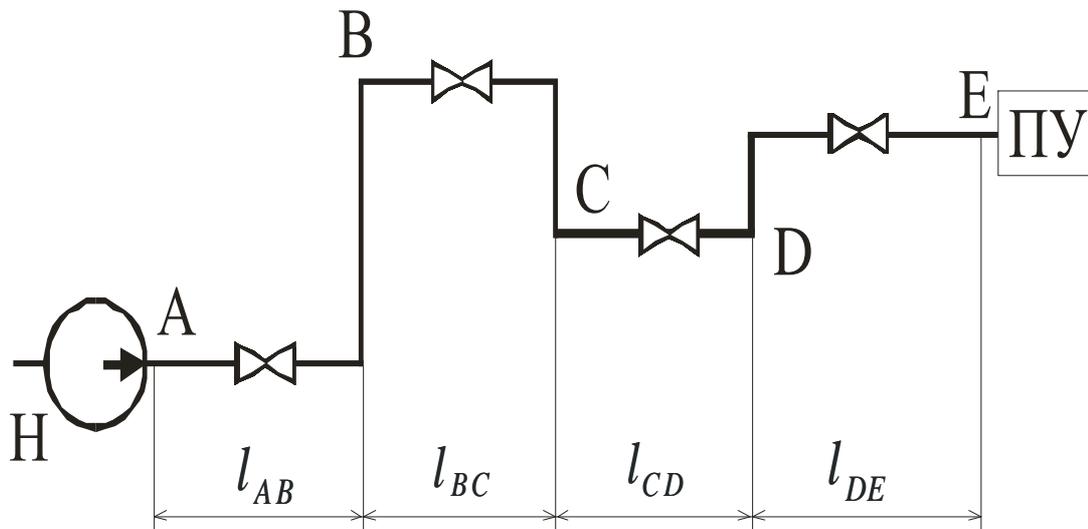


Рис.2.1. Схема водоснабжения ПУ:

Н – насос, ПУ – промышленные установки

3. Напор у потребителя, независимый от потерь напора в трубопроводе (свободный напор) -  $H_{св}$ ;
4. число часов работы установки в сутки -  $n_c$  (час);
5. число дней работы установки в году -  $n_r$  (дней).

Таблица 2.1

№	$Q_{\max}$	$l_{AB}$	$l_{BC}$	$l_{CD}$	$l_{DE}$	$z_A$	$z_B$	$z_c$	$z_D$	$z_E$	$H_{CB}$	$n_C$	$n_r$
1	142	620	900	400	770	40	20	32	44	51	50	24	300
2	138	635	890	410	750	39	18	35	42	60	51	24	300
3	136	640	870	380	760	38	17	33	45	51	52	24	300
4	138	600	880	370	730	37	16	34	48	52	53	24	300
5	134	580	875	375	740	36	20	36	46	58	54	24	300
6	132	590	920	340	750	42	10	35	42	54	56	24	300
7	128	575	910	370	745	41	19	37	44	56	57	24	300
8	125	500	890	365	765	39	18	32	46	54	58	24	300
9	130	562	870	345	790	40	21	35	42	53	59	24	300
10	132	574	860	350	740	38	18	33	45	51	60	24	300
11	146	563	850	360	740	39	19	36	46	55	61	24	300
12	115	542	840	345	770	38	21	35	41	53	50	24	300
13	117	531	780	320	765	41	22	32	43	56	59	24	300
14	121	564	790	330	735	38	18	35	42	58	51	24	300
15	123	588	830	360	745	40	17	36	45	59	53	24	300
16	118	600	825	370	760	39	19	32	46	55	56	24	300
17	120	620	840	380	770	37	21	34	43	54	59	24	300
18	124	480	850	340	780	38	20	32	41	51	56	24	300
19	115	520	840	370	795	43	19	33	45	52	54	24	300
20	125	565	870	380	755	39	22	31	44	54	56	24	300
21	132	550	810	400	740	38	21	35	43	54	59	24	300
22	127	540	830	345	790	42	19	36	40	57	55	24	300
23	128	545	870	365	740	42	18	32	43	55	54	24	300
24	131	575	790	340	745	43	17	33	46	51	53	24	300

### 3 Теоретическая часть

Движение потока в закрытых и сплошь заполненных цилиндрических трубах широко используют для перемещения различных жидкостей (вода, нефть, растворы и т.д.) как в лабораторной, так и в производственной технике.

Отдельные или соединённые между собой трубы, по которым транспортируют жидкости и газы называют трубопроводами. Трубы для трубопроводов изготавливают различных диаметров: от малых для контрольно-измерительной аппаратуры и лабораторной технике до больших, измеряемых метрами (трубопроводы для гидротехнических сооружений).

В зависимости от гидравлической схемы работы трубопроводы подразделяют на простые и сложные. В простых трубопроводах нет точек ответвления на всём промежутке от точки забора до точки потребления. Сложные трубопроводы состоят из основной магистральной трубы и ряда отходящих от неё ответвлений. Трубопроводы бывают с транзитным расходом, когда по всей их длине (от исходной точки до конечной) расход остаётся постоянным, и трубопроводы с путевым расходом, когда расход переменный, т.е. происходит раздача транспортируемой жидкости по пути её следования.

Основные виды местных потерь напора можно условно разделить на следующие группы:

- потери, связанные с изменением сечения потока;
- потери, вызванные изменением направления потока. Сюда относят различного рода колена, угольники, отводы, используемые на трубопроводах;
- потери, связанные с протеканием жидкости через арматуру различного типа (вентили, краны, обратные клапаны, сетки, отборы, дроссель-клапаны и т.д.);
- потери, связанные с отделением одной части потока от другой или слиянием двух потоков в один общий. Сюда относятся, например, тройники, крестовины и отверстия в боковых стенках трубопроводов при наличии транзитного расхода.

#### **4 Определение оптимального диаметра трубопровода**

4.1 Для определения оптимального диаметра трубопровода задаемся рядом значений скорости движения жидкости (от 0,5 до 3,5 м/с) и вычисляем расчетные диаметры труб по формуле:

$$d_p = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{\max}}{\pi \cdot v}} ,$$

Результаты расчета для всех принятых значений скорости приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Диаметры труб для различных значений скорости движения жидкости

Скорость движения жидкости, м/с	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
Диаметр труб, $d_p$ , м	0,297	0,210	0,172	0,149	0,133	0,121	0,112

4.2. Для каждого расчетного диаметра труб  $d_p$  вычисляем приведенные затраты на один год по формуле:

$$S_n = S_э + 0,2S_k ,$$

где  $S_э$  - эксплуатационные затраты, включающие амортизационные отчисления,

стоимость электроэнергии, обслуживания, текущих расходов и др., руб.;

$S_k$  - капитальные затраты, руб.;

0,2 – нормативный коэффициент.

Стоимость обслуживания и текущих расходов примерно одинакова для труб разного диаметра. Поэтому эксплуатационные затраты принимаем равные сумме амортизационных отчислений и стоимости электроэнергии:

$$S_э = S_{ам} + S_{эл} .$$

Капитальные затраты включают стоимость труб ( $S_{тр}$ ) и стоимость монтажа трубопровода ( $S_m$ ):

$$S_k = S_{тр} + S_m .$$

Примерная цена 1 т. труб принимается равной  $G$ . Тогда стоимость будет равна:

$$S_{тр} = Gm ,$$

где  $m$  - масса труб, т.

Масса труб определяется по формуле:

$$m = 7,8 \frac{\pi}{4} [(d_p + 2\delta)^2 - d_p^2] \sum l ,$$

где  $\delta = 0,005 м$  - принятая толщина стенки трубы;

$\sum l$  - суммарная длина всех участков трубопровода, м;

7,8 – плотность стали, т/м<sup>3</sup>.

Стоимость монтажа трубопроводов принимаются равной, примерно 30% стоимости труб:

$$S_m = 0,3S_{mp}, \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления для каждого значения диаметра трубопровода вычисляются по формуле:

$$S_{ам} = \frac{S_{\kappa}}{t_c} ,$$

где  $t_c = 10$  лет – срок службы труб.

Стоимость электроэнергии определяется по формуле:

$$S_{эл} = c \cdot n_c \cdot n_r \cdot N_n ,$$

где  $c$  – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб.;

$N_n$  - мощность потока, кВт.

Мощность потока вычисляется по формуле:

$$N_n = \rho \cdot g \cdot H_n \cdot Q_{\max} \cdot 10^{-3} ,$$

где  $H_n$  - напор, создаваемый насосом, м,

$$H_n = H_r + H_{cv} + aQ_{\max}^2 ,$$

где  $H_r = (z_E - z_A)$  - геометрическая высота, м;

$a$  - сопротивление трубопровода, с<sup>2</sup>/м<sup>5</sup>, равно

$$a = A_{\partial l} \cdot \sum l + A_m \cdot \sum \xi ,$$

где  $A_{\partial l}$  - удельное сопротивление по длине трубопровода, с<sup>2</sup>/м<sup>6</sup>;

$A_m$  - удельное местное сопротивление, с<sup>2</sup>/м<sup>5</sup>;

$\sum \xi$  - сумма коэффициентов местных сопротивлений.

#### 4.3 Расчет численных показателей для определения приведенных затрат

$S_n$  для трубопровода  $d_p = 0,297(м)$  (при скорости движения  $v = 0,5(м/с)$ ):

4.3.1 Определение массы труб в тоннах:

$$m = 7,8 \frac{\pi}{4} \left[ (d_p + 2\delta)^2 - d_p^2 \right] \sum l, \quad m.$$

4.3.2. Определение стоимости труб:

$$S_{mp} = G \cdot m, \text{ руб.}$$

4.3.3. Определение стоимости монтажа трубопровода:

$$S_m = 0,3 \cdot S_{mp}, \text{ руб.}$$

4.3.4. Определение капитальных затрат:

$$S_k = S_{mp} + S_m, \text{ руб.}$$

4.3.5. Определение амортизационных отчислений:

$$S_{ам} = \frac{S_k}{t_c}, \text{ руб}$$

4.3.6. Определение коэффициента гидравлического трения по формуле Прандтля-Никурадзе:

$$\lambda = \frac{1}{\left( 1,74 + 2 \lg \frac{d_p}{K_s} \right)^2},$$

где  $K_s$  - эквивалентная шероховатость труб (принимается 0,4 мм).

4.3.7. Определение удельного сопротивления по длине:

$$A_{дл} = \frac{8\lambda}{\pi^2 \cdot g \cdot d_p^5}, c^2/m^6.$$

4.3.8. Определение удельного местного сопротивления:

$$A_m = \frac{8}{\pi^2 \cdot g \cdot d_p^4}, c^2/m^5.$$

4.3.9. Определение сопротивления трубопровода:

$$a = A_{дл} \cdot \sum l + A_m \cdot \sum \xi, c^2/m^5.$$

$$\sum \xi = 6\xi_{кол} + 2\xi_{зад}^{5/8} + 2\xi_{зад}^{7/8}$$

4.3.10. Определение максимального напора, создаваемого насосом:

$$H_n = H_r + H_{св} + aQ_{max}^2, \text{ м}$$

4.3.11. Определение мощности потока:

$$N_n = \rho \cdot g \cdot H_n \cdot Q_{\max} \cdot 10^{-3} \text{ кВт.}$$

4.3.12. Определение стоимости электроэнергии:

$$S_{эл} = c \cdot 24 \cdot 300 \cdot N_n, \text{ руб.}$$

4.3.13. Определение эксплуатационных затрат:

$$S_{э} = S_{ам} + S_{эл}, \text{ руб.}$$

4.3.14. Определение приведенных затрат в расчете на год:

$$S_n = S_{э} + 0,2S_{к}, \text{ руб.}$$

Расчет численных показателей для определения приведенных затрат  $S_n$  для трубопровода  $d_p$  (при скорости движения  $v$ , м/с:

4.3.1 По полученным параметрам определяем  $m$ , тн

$$4.3.2 \quad S_{mp} = G \cdot m, \text{ руб.}$$

$$4.3.3 \quad S_m = 0,3 \cdot S_{mp}, \text{ руб.}$$

$$4.3.4 \quad S_k = S_{mp} + S_m, \text{ руб.}$$

$$4.3.5 \quad S_{ам} = \frac{S_k}{t_c}, \text{ руб.}$$

$$4.3.6 \quad \lambda = \frac{1}{\left(1,74 + 21g \frac{d_p}{K_{э}}\right)^2}$$

$$4.3.7 \quad A_{дл} = \frac{8\lambda}{\pi^2 \cdot g \cdot d_p^5}, \text{ с}^2/\text{м}^6$$

$$4.3.8 \quad A_m = \frac{8}{\pi^2 \cdot g \cdot d_p^4}, \text{ с}^2/\text{м}^5$$

$$4.3.9 \quad a = A_{дл} \cdot \sum l + A_m \cdot \sum \xi, \text{ с}^2/\text{м}^5.$$

$$4.3.10 \quad H_n = H_r + H_{св} + aQ_{\max}^2, \text{ м.}$$

$$4.3.11 \quad N_n = \rho \cdot g \cdot H_n \cdot Q_{\max} \cdot 10^{-3}, \text{ кВт.}$$

$$4.3.12 \quad S_{эл} = c \cdot 24 \cdot 300 \cdot N_n, \text{ руб.}$$

$$4.3.13 \quad S_{э} = S_{ам} + S_{эл}, \text{ руб.}$$

$$4.3.14. \quad S_n = S_{э} + 0,2S_{к}, \text{ руб.}$$

4.4 Расчет численных показателей для определения приведенных затрат  $S_n$  для трубопровода  $d_p = 0,210 м$  (при скорости движения  $v = 1,0 м/с$ ).

4.5 Расчет численных показателей для определения приведенных затрат  $S_n$  для трубопровода  $d_p = 0,172 м$  (при скорости движения  $v = 1,5 м/с$ ).

4.6 Расчет численных показателей для определения приведенных затрат  $S_n$  для трубопровода  $d_p = 0,149 м$  (при скорости движения  $v = 2,0 м/с$ ).

4.7 Расчет численных показателей для определения приведенных затрат  $S_n$  для трубопровода  $d_p = 0,133 м$  (при скорости движения  $v = 2,5 м/с$ ).

4.8 Расчет численных показателей для определения приведенных затрат  $S_n$  для трубопровода  $d_p = 0,121 м$  (при скорости движения  $v = 3,0 м/с$ ).

4.9 Расчет численных показателей для определения приведенных затрат  $S_n$  для трубопровода  $d_p = 0,112 м$  (при скорости движения  $v = 3,5 м/с$ ):

Таблица 4.2 - Варианты значений скорости движения жидкости, диаметра труб и соответствующих им затрат

№ варианта	Скорость движения жидкости $v, м/с$	Диаметр труб, $d_p, м$	Затраты, руб.				
			$S_k$	$S_{ам}$	$S_{эл}$	$S_{э} = S_{ам} + S_{эл}$	$S_n$
1	0,5	0,297					
2	1,0	0,210					
3	1,5	0,172					
4	2,0	0,149					
5	2,5	0,133					
6	3,0	0,121					
7	3,5	0,112					

По данным таблицы 4.2. строим графические зависимости  $S_k = f(d)$ ,  $S_{э} = f(d)$  и  $S_n = f(d)$ , которые приведены на рис.4.1

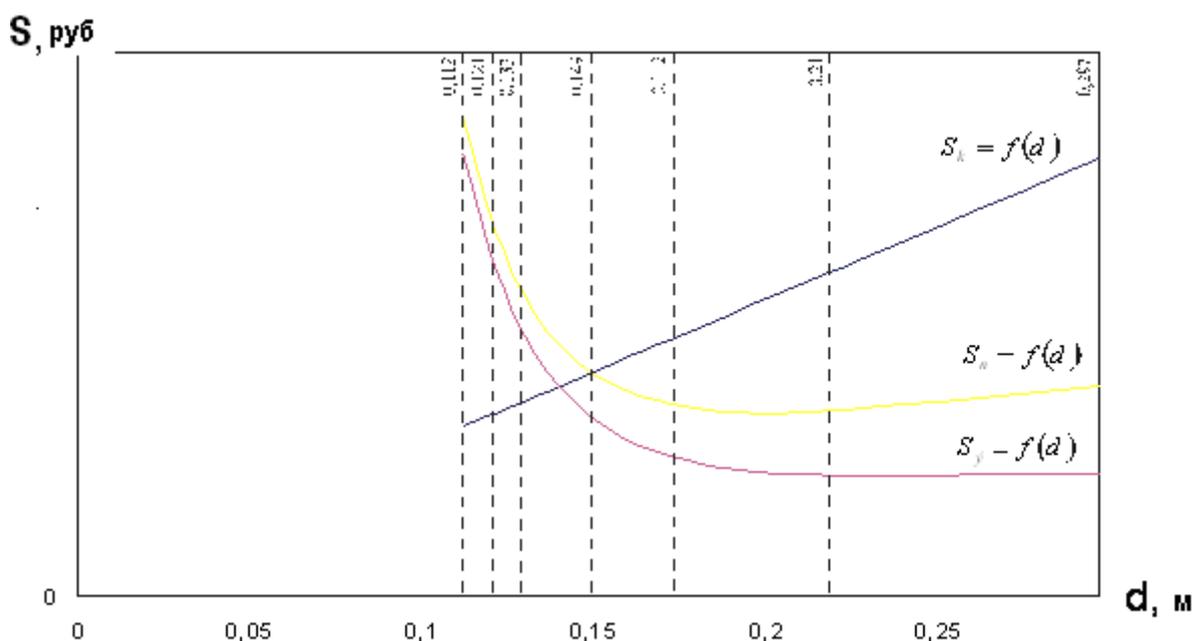


Рис. 4.1. Графическое определение оптимального диаметра трубопровода

Минимальному значению приведенных затрат  $S_n$  соответствует оптимальный диаметр труб. Определить из графических зависимостей, пределы оптимального диаметра трубопровода. Принять к установке стандартный диаметр и толщину стенок труб близкий к расчётному согласно ГОСТ 8732-78 ( $d_{вн}$ ,  $d_{нар}$ ,  $A_{ол}$   $c^2/м^6$ ,  $A_m$   $c^2/м^5$ ).

4.10 Проверка толщины труб по максимальному пьезометрическому напору.

4.11 Максимальный пьезометрический напор имеет место в точке А трубопровода и равен:

$$\frac{P_A}{\rho \cdot g} = H_{св} + (z_E - z_A) + H_{номAE}$$

где  $H_{номAE} = aQ_{max}^2$ .

4.12 Определение сопротивления трубопровода для выбранного стандартного диаметра труб:

$$a = A_{ол} \cdot \sum l + A_m \cdot \sum \xi, \quad c^2/м^5$$

$$H_{номAE} = Q_{max}/3600 \quad м \text{ в.ст.}$$

4.13. Определение максимального давления в точке А:

$$P_{A \max} = \rho \cdot g [H_{cв} + (z_E - z_A) + H_{номAE}], \text{ н/м}^2$$

принимаяем  $P_{A \max}$ , МПа.

4.14 Минимально допустимое значение толщины труб определяем по формуле:

$$\delta_{дон} = \frac{P_{\max} \cdot d_{вн}}{0,47 \cdot K_p}, \text{ м},$$

где  $K_p$  - допустимое напряжение на растяжение для материала труб, МПа (для стальных труб  $K_p=380$  МПа);

Сравнить толщину стенки  $\delta$  с допустимой  $\delta_{дон}$

## 5 Определение пьезометрического и полного напоров в конечных точках трубопровода А и Е

5.1 Пьезометрический напор в точке А:

$$\frac{P_A}{\rho \cdot g} = H_{cв} + (z_E - z_A) + H_{номAE}$$

5.2. Полный напор в точке А:  $H_A = \frac{v_{онм}^2}{2g} + \frac{P_A}{\rho \cdot g} + z_A,$

где  $v_{онм}$  - оптимальная скорость движения жидкости, равная

$$v_{онм} = \frac{4 \cdot Q_{\max}}{\pi \cdot d_{вн}^2} \text{ м/с}$$

5.3. Пьезометрический напор в точке Е равен свободному напору:

$$\frac{P_E}{\delta \cdot g} = H_{cв}, \text{ м.}$$

5.4. Полный напор в точке Е:

$$H_E = \frac{v_{онм}^2}{2g} + H_{cв} + z_E$$

5.5 По исходным данным геометрических отметок точек А, В, С, D, Е ( $z_A, \text{ м}; z_B, \text{ м}; z_C, \text{ м}; z_D, \text{ м}; z_E, \text{ м.}$ ) и протяженности участков между этими точками откладываем их значение в определенном масштабе от плоскости сравнения (0-0) и строим линию геометрических напоров. Аналогично, откладывая значения полных и пьезометрических

напоров в точках А и Е трубопровода и соединяя их вершины прямыми линиями, получим линии полного и статического напоров. Пьезометрические напоры в точках В, С, D определяются графическим методом как разность между статическим и геометрическим напорами в соответствующих точках. Изменение напоров по длине трубопроводов представлено на рис. 5.1.

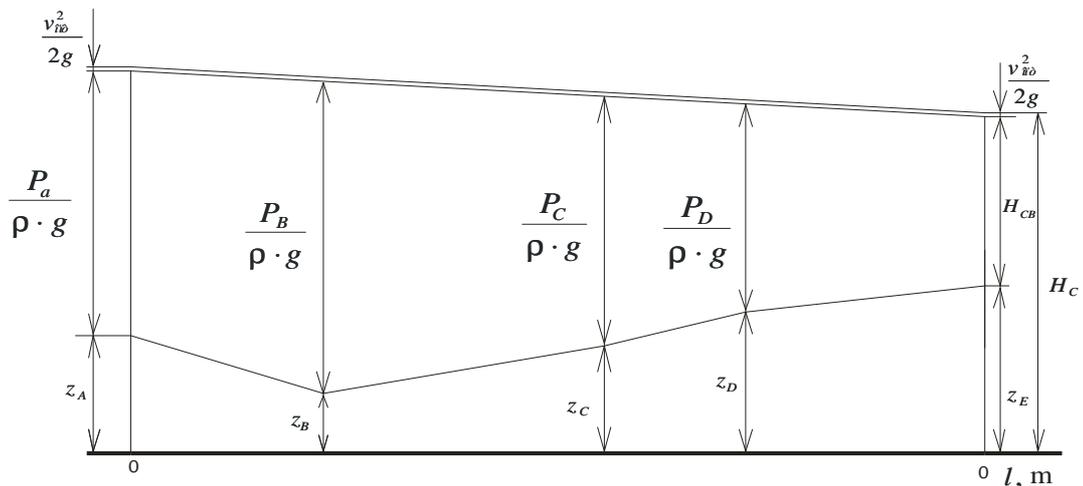


Рис. 5.1. График изменения напоров по длине трубопровода

## 6 Построение напорной характеристики трубопровода

Уравнение напорной характеристики рассматриваемого трубопровода имеет вид:

$$H = H_r + H_{ce} + aQ_{\max}^2$$

где  $H_r = z_E - z_A$  - геометрическая высота, м;

$a$  - сопротивление трубопровода,  $c^2/m^5$ .

Задаваясь произвольными значениями расхода жидкости  $Q$  от 0 до заданного максимального значения, вычисляем  $H$  и строим характеристику трубопровода.

В табл. 5.1. приведены значения  $H$  при различных расходах жидкости.

Таблица 6.1.

$Q,$ $m^3/ч$	0	$Q_1$	$Q_1$	$Q_1$	$Q_1$	$Q_{\max}$
$H, м$	$H_1$	$H_2$	$H_3$	$H_4$	$H_5$	$H_{\max}$

Напорная характеристика трубопровода представлена на рис 5.1.

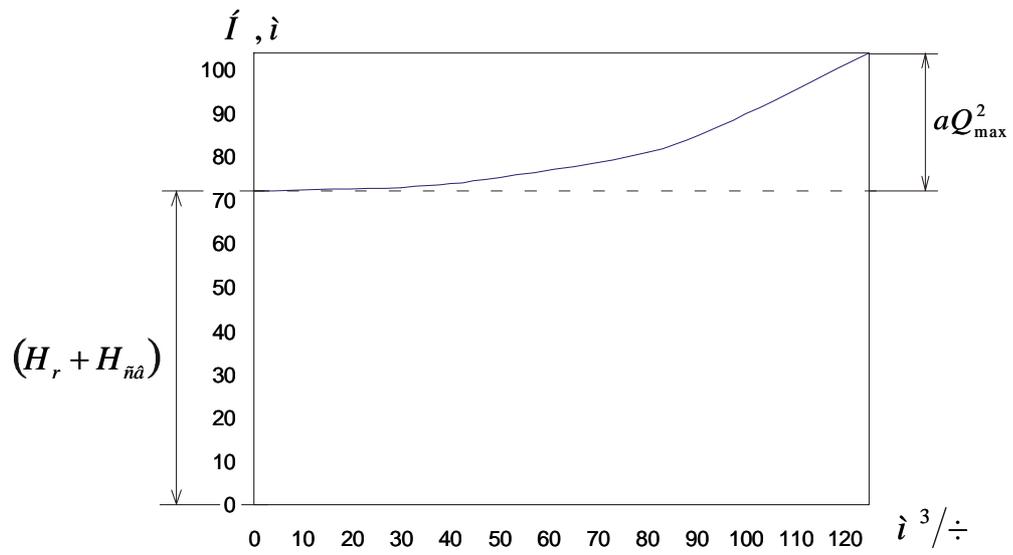


Рис 6.1 - Напорная характеристика трубопровода

## 7 Вывод

**Приложение 1**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования

**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И**

**РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)**

**Курсовая расчетно-графическая работа по  
гидрогазодинамике**

Студент \_\_\_\_\_ курса

-----группы

(подпись) -----(фамилия И.О.)

Зачтено. Преподаватель \_\_\_\_\_ (фамилия И.О.)  
(подпись)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 200 г.

Томск 20 г.

## Литература

- 1 А. С. Ткаченко. Прикладная механика. Курс лекций по гидромеханике : Учебное пособие ; Министерство образования Российской Федерации, Томский государственный педагогический университет. - Томск : Томский государственный педагогический университет, 2002. - 69[1] с. : ил. - Библиогр.: с. 67.
- 2 Е. Ф. Рабинович. Гидравлика : Учебное пособие для техникумов / Е. З. Рабинович. - 2-е изд., испр. - М. : Гостехиздат, 1956. - 395[1] с. .
- 3 А.С. Апкарьян. Гидравлика [Электронный ресурс] : методические указания по лабораторным работам / А. С. Апкарьян ; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (Томск). - Электрон. текстовые дан. - Томск : [б. и.], 2011. - 31 с. Электронное издание: <http://edu.tusur.ru/training/publications/1938>.