

Практична робота №6. Розрахунок насосної установки

Тема: Розрахунок насосної установки

Мета: Навчитись розв'язувати задачі використовуючи формули по темі: «Динамічні насоси»

Рекомендована література

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / В.А.Дідур, О.Д.Савченко, Д.П.Журавель, С.І.Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с. (с. 34 - 47).
2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А.Дідур, О.Д.Савченко, С.І.Пастушенко, С.І.Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с.(с. 30 - 40).
3. Рогалевич, Ю.П. Гідравліка / Ю.П. Рогалевич; – К.: Вища школа, 1993. – 255 с. (с. 10 - 48).
4. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Палишкин; – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с. (с. 22- 34).
5. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П.Исаев, Б.И. Сергеев, В.А.Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400с. (с. 25 - 34).
6. Карасев, Б.В. Гидравлика, основы сельскохозяйственного водоснабжения и канализации / Б.В.Карасев;–Минск: “Высшая школа”, 1983 – 288 с. (с. 14 - 23).
7. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В. Костюченко, В.И.Лаптев, Л.А.Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с. (с. 53 - 64).

1. Теоретична частина

1.1 Основні параметри, порядок підбору динамічних насосів

Основними параметрами насосів являються: подача, напір (тиск), потужність, коефіцієнт корисної дії (ККД) і частота обертання.

Подача насоса Q , $\text{м}^3/\text{с}$, – об'єм або маса рідини, яку насос подає за одиницю часу. Сказане можна виразити формулами

$$Q = W / T \text{ і } Q = M / T, \quad (1)$$

де W – об'єм; T – час; M – маса.

Крім розмірності витрати, $\text{м}^3/\text{с}$, застосовуються й інші (у тому числі й несистемні) – $\text{л}/\text{с}$, $\text{м}^3/\text{г}$ та масові – $\text{кг}/\text{с}$, $\text{т}/\text{г}$.

Напір насоса H , м, – це приріст енергії потоку, віднесеної до одиниці ваги рідини, яка проходить через робочий орган насоса.

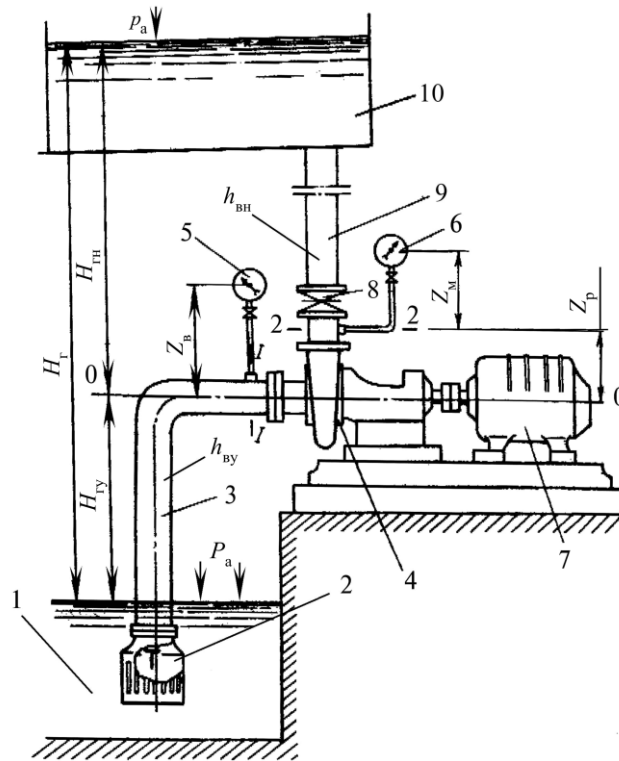


Рис. 1. Схема насосної установки:

1 – джерело; 2 – усмоктувальний пристрій 3 – усмоктувальна труба;
4 – насос; 5 – вакуумметр; 6 – манометр; 7 – електродвигун; 8 – засувка;
9 – напірний трубопровід; 10 – напірний) резервуар

Напір насоса вимірюється в метрах стовпа рідини, яку перекачує насос.

В інженерній практиці розрізняють манометричний (експлуатаційний) і проектний (той, що вимагається) напори.

Манометричний напір встановлюється за показаннями приладів 5 і 6 на діючій насосній установці. (рис. 1).

Для знаходження манометричного напору використаємо рівняння Бернуллі, згідно з яким повна питома енергія визначається по формулі

$$E_{\text{пит пов}} = Z + P/\gamma + \alpha V^2/(2g) = H. \quad (2)$$

Оскільки з енергетичної точки зору напір насоса являє собою різницю повної питомої енергії на виході і вході насоса, можна записати:

$$H = E_{\text{вих}} - E_{\text{вх}} = H_{\text{вих}} - H_{\text{вх}}. \quad (3)$$

Позначимо: $P_{\text{м}}$, $P_{\text{в}}$ – тиск, який показують відповідно манометр і вакуумметр, Па; $H_{\text{гв}}$, $H_{\text{гн}}$ – геометрична (геодезична) висота відповідно усмоктування й нагнітання, м; $H_{\text{г}} = H_{\text{гв}} + H_{\text{гн}}$ – повна геометрична висота підняття рідини, м; $Z_{\text{в}}$, $Z_{\text{м}}$ – перевищення відповідно вакуумметра й манометра над точкою їхнього підключення, м; $Z_{\text{р}}$ – різниця рівнів перерізів 1-1 і 2-2. Приймаючи площину порівняння 0-0 на рівні осі насоса, напір у першому перерізі (на вході насоса) буде

$$H_1 = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g}, \quad (4)$$

на виході з насоса –

$$H_2 = \frac{P_2}{\gamma} + Z_{\text{р}} + \frac{V_2^2}{2g}. \quad (5)$$

Тоді, згідно з рівнянням,

$$H = H_2 - H_1 = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + Z_{\text{р}} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}. \quad (6)$$

Оскільки $p_1 = p_{\text{а}} - p_{\text{в}} + \rho g Z_{\text{в}}$, а $p_2 = p_{\text{а}} + p_{\text{м}} + \rho g Z_{\text{м}}$, то напір насоса буде дорівнювати:

$$H = \frac{p_{\text{м}} + p_{\text{в}}}{\rho g} + (Z_{\text{р}} + Z_{\text{м}} - Z_{\text{в}}) + \frac{V_{\text{н}}^2 - V_{\text{ус}}^2}{2g}. \quad (7)$$

Замінімо $Z_{\text{р}} + Z_{\text{м}} - Z_{\text{в}} = Z$, тоді отримаємо рівняння **манометричного напору**:

$$H = Z + \frac{P_{\text{м}} + P_{\text{в}}}{\rho g} + \frac{V_{\text{н}}^2 - V_{\text{ус}}^2}{2g}, \quad (8)$$

де Z – відстань по вертикалі між точками вимірювання тиску на виході і вході насоса; $V_{\text{н}}$ і $V_{\text{ус}}$ – середні швидкості руху рідини в нагнітальному й усмоктувальному патрубках, які можна знайти за формулою

$$V = 4Q/\pi d^2, \quad (9)$$

де d – діаметр відповідно усмоктувального або нагнітального трубопроводу. Для води рекомендуються такі швидкості: в усмоктувальному трубопроводі при діаметрі до 250 мм – 0,7...1,0 м/с, при діаметрі 250...800 мм – 1,0...1,5 м/с; у нагнітальному – при діаметрі до 250 мм – 1,0...1,5 м/с, при діаметрі 250...800 – 1,3...2,0 м/с [1].

Проектний напір встановлюється за проектною схемою насосної установки за залежністю

$$H = H_{\Gamma} + \sum h_{\text{в}}, \quad (10)$$

де H_{Γ} – геометрична висота підняття рідини,

$$H_{\Gamma} = H_{\text{гв}} + H_{\text{гн}},$$

(11)

де $H_{\text{гв}}$ – висота усмоктування, $H_{\text{гн}}$ – висота нагнітання; $\sum h_{\text{в}}$ – сума втрат напору в усмоктувальному трубопроводі $h_{\text{вв}}$ і нагнітальному $h_{\text{вн}}$.

Тиск насоса виражається залежністю

$$p = \rho g H, \quad (12)$$

де H – напір насоса.

Таким чином, напір насоса – це тиск, виражений у метрах стовпа рідини, яку перекачує насос.

Потужність насоса N , Вт. Розрізняють корисну і споживану потужності.

Корисна потужність $N_{\text{кор}}$ – це робота, яку виконує насос за секунду при переміщенні одного кубічного метра рідини на шляху, що дорівнює висоті стовпа, на який піднімається рідина. Вона визначається за формулою

$$N_{\text{кор}} = \rho g Q H, \quad (13)$$

де Q – подача; H – напір насоса.

Споживана потужність $N_{\text{спож}}$ – це потужність, яку споживає насос. Вона визначається приладами (за силою струму) і вираховується за формулою

$$N_{\text{спож}} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot \eta_{\text{дв}}, \quad (14)$$

де U – лінійна напруга мережі, $U = 380$ В; I – сила струму, А; $\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності (наприклад, $\varphi = 0,89$); $\eta_{\text{дв}}$ – коефіцієнт корисної дії (ККД) електродвигуна (наприклад, $\eta_{\text{дв}} = 0,86$).

Коефіцієнт корисної дії насоса η – це величина співвідношення корисної і споживаної потужностей:

$$\eta = \frac{N_{\text{кор}}}{N_{\text{спож}}}. \quad (15)$$

Частота обертання $n, \text{с}^{-1}$, – це кількість обертів, або ходів робочого органу насоса, за одиницю часу.

Підбір насосів. Насоси підбираються за двома основними технічними показниками (характеристиками) – напором H і подачею Q .

Підбираються насоси за зведеними таблицями або графіками полів відповідного типу насосів, наприклад насосів типу “К” (рис. 2) [1]. На графіках у координатах Q і H нанесені криволінійні клітини (поля), які обмежують область оптимального застосування за ККД того чи іншого насоса. Верхня лінія кожного з полів відповідає напірній характеристиці базового насоса, нижня – напірній характеристиці насоса з обточеним робочим колесом, бокові лінії відповідають робочій зоні насоса, яка обмежується хвилястими лініями.

Марка насоса, який відшуковується (підбирається), визначається по клітині (полю), в якому перетнуться координати заданих Q і H , в якій би частині поля не опинилася точка їхнього перетину. Наприклад, при необхідних напорі $H = 30$ м і подачі $Q = 30 \text{ м}^3/\text{год}$ точка перетину координат опиниться в полі насоса К - 45/30, $n = 2900$ (рис. 2), що означає – цей насос слід приймати для цих умов.

Після того, як насос підібраний, робота ведеться з робочими характеристиками його, за допомогою чого встановлюються дійсні

параметри роботи насоса в цих умовах (із заданими трубопроводами), про що

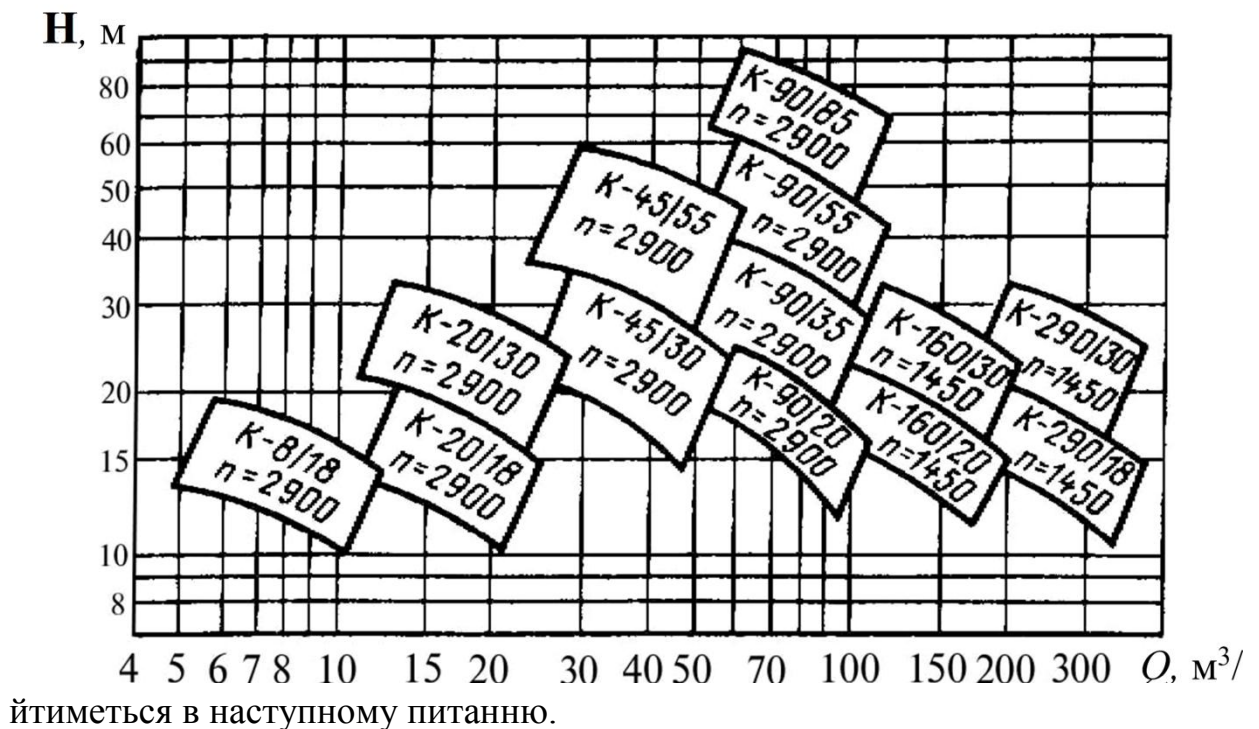


Рис. 2. Зведений графік полів насосів типу "К" (KM)

2. Постановка завдання

Підібрати насос і виконати розрахунок насосної установки (визначити показники її роботи - H , Q , η , N) призначеної для подачі води витратою $Q = 10 \text{ л/с}$ при температурі до 30°C на висоту $H_z = 30 \text{ м}$ по трубопроводу із чавунних труб, усмоктуюча частина якого має довжину $l = 20 \text{ м}$ і діаметр $d = 150 \text{ мм}$, а напірна – довжину $l = 400 \text{ м}$ і діаметр $d = 150 \text{ мм}$. Втрати напору в місцевих опорах прийняти: в усмоктувальній лінії однаковими з втратами напору по довжині, а в напірній лінії – 10% від втрат по довжині (рис. 3).

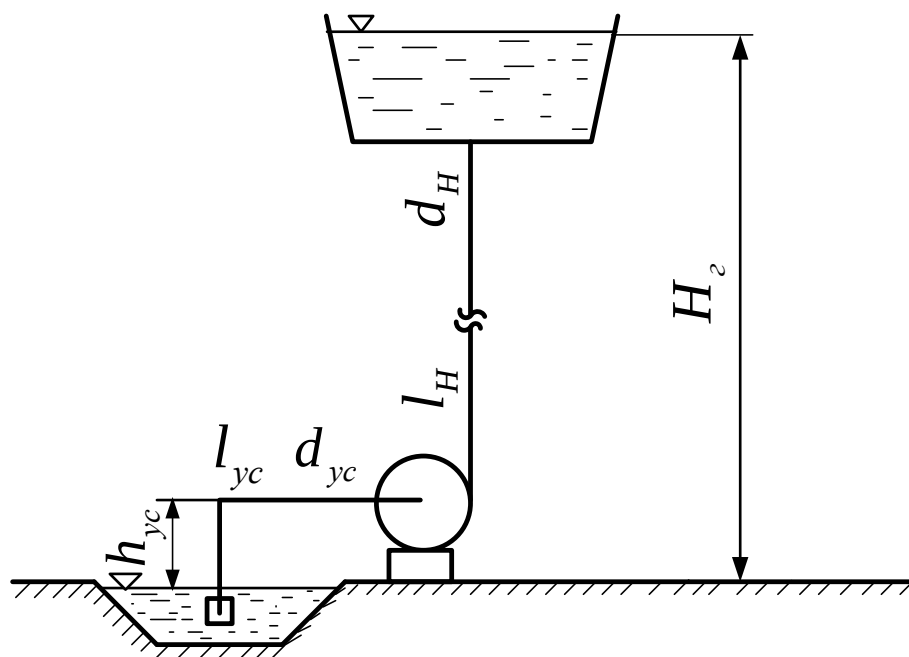


Рис.3. Схема насосної установки.

3. Приклад розв'язку завдання

Керуючись даними по температурі води і проектними технічними показниками насосної установки для даних умов слід прийняти відцентровий консольний насос типу "К". Ці насоси забезпечують напір 14...100 м водяного стовпа і подачу 10...360 л/с.

2. Згідно із заданими подачею $Q = 10 \text{ л/с}$ і необхідною геометричною (геодезичною) висотою підняття води $H_z = 30 \text{ м}$ за зведеним графіком полів насосів типу "К", ("КМ") (рис.2) приймаємо насос К45/30 з подачею $Q = 45 \text{ м}^3 / \text{год}$ і напором $H = 30 \text{ м}$, $n = 2900 \text{ хв}^{-1}$.

3. Знімаємо копію робочих характеристик цього насоса із каталогу [1], або паспорта насоса .

4. Для знаходження дійсних показників роботи насосної установки необхідно сумістити напірні характеристики насоса $H - Q$ і трубопровода $H_T - Q$ (рис.4.).

Для побудови напірної характеристики трубопроводу $H_T - Q$ необхідно визначити декілька її точок.

Як відомо напір в трубопроводі описується рівнянням (1.204) $H_T = H_z + h_g$. Згідно з умовою завдання $H_z = 30\text{ м}$. Втрати напору h_g визначаються за залежністю.

$$h_g = A \cdot l_p \cdot Q^2 \cdot \beta$$

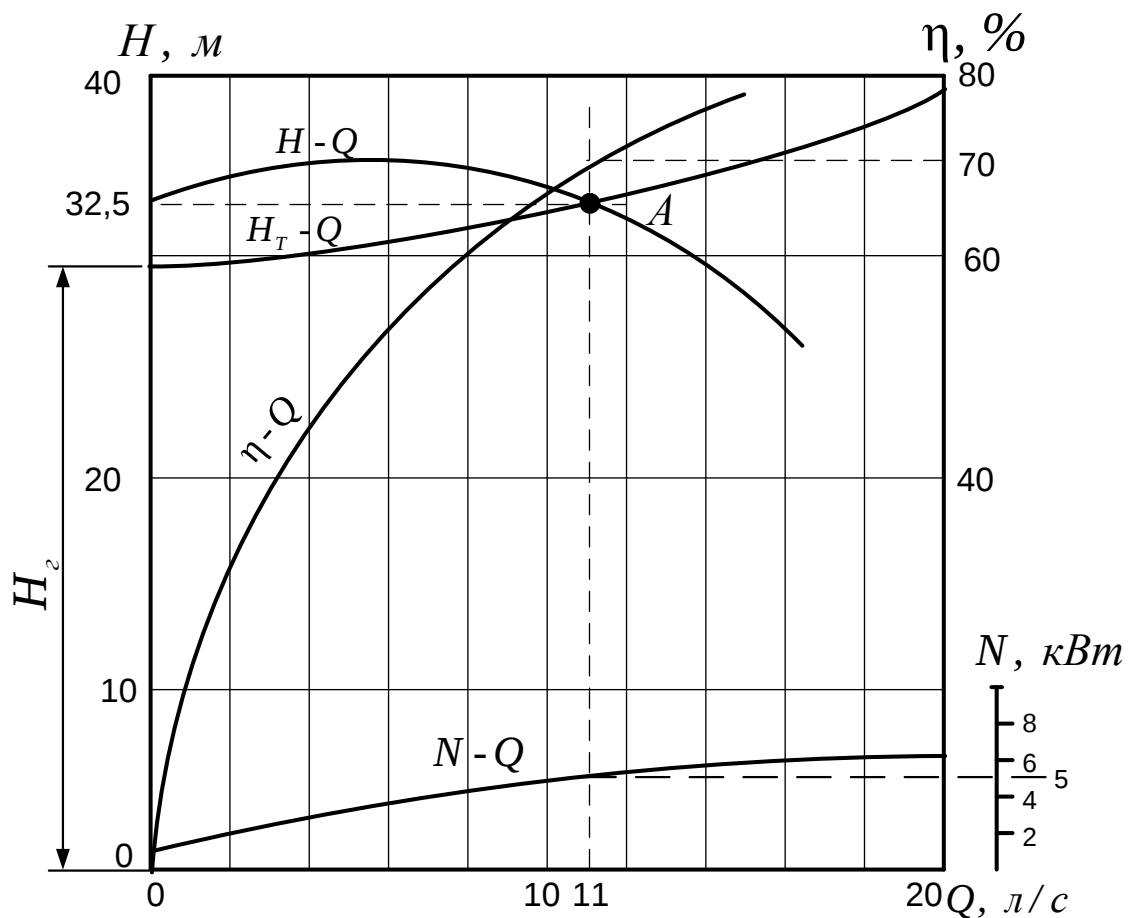


Рис.4 Характеристики сумісної роботи насоса з трубопроводом: А-робоча точка.

Значення параметрів, що входять до цієї залежності встановимо таким чином.

Q - задаємося значеннями 0; 5; 10; 15 л/с ;

A - прийємо за табличними даними [1] як функція діаметра і матеріалу трубопровода – $41,9 \text{ (с/м}^3\text{)}$;

β - прийємо із [1], як функція швидкості $V = 0,65 \text{ м/с} - 1,1$

l_p - прийємо керуючись умовою завдання. Згідно з яким в усмоктувальному трубопроводі:

$$h_{\epsilon_{yc}} = 2h_{\partial o \epsilon_{yc}},$$

$$\text{а в напірному } h_{\epsilon_n} = h_{\partial o \epsilon_n} + 0,1 \cdot h_{\partial o \epsilon_n} = 1,1h_{\partial o \epsilon_n}.$$

Таким чином:

$$l_p = 2l_{yc} + l_n + 0,1 \cdot l_n = 2l_{yc} + 1,1 \cdot l_n = 2 \cdot 20 + 1,1 \cdot 400 = 480 \text{ м}$$

Підставивши значення параметрів в залежність втрат напору отримаємо

$$h_{\epsilon} = 41,9 \cdot 480 \cdot 1,1 \cdot Q^2 = 22123 \cdot Q^2$$

$$\text{Таким чином: } H_T = H_{\Gamma} + 22123 \cdot Q^2$$

Задаючись вище прийнятими значеннями Q знайдемо відповідні їм значення H_T . Результати розрахунків слід внести в табл.1.

Таблиця 1 - Результати розрахунку напору в трубопроводі H_T

$Q, \text{ л/с}$	0	5	10	15	20
$h_{\epsilon}, \text{ м}$	0	0,55	2,2	4,95	8,85
$H_T, \text{ м}$	30	30,55	32,2	34,95	38,85

За отриманими значеннями H_T будемо напірну характеристику трубопровода $H_T - Q$ безпосередньо на координатній площині робочих

характеристик насоса (рис. 3) в тому ж масштабі, що і напірна характеристика насоса. Для цього на осі H відкладаємо $H_z = 30\text{м}$, а далі від неї будуємо параболу. На перетині напірних характеристик насоса $H - Q$ і трубопровода $H_T - Q$ отримаємо робочу точку A .

5. По відповідним осям (рис. 3) для робочої точки отримаємо наступні значення показників роботи насосної установки : $H = 32,5\text{м}$; $Q = 11\text{л/с}$;
 $\eta = 70\% = 0,7$; $N = 5\text{кВт}$

Висновок - отримані показники роботи насосної установки забезпечують вимоги завдання.

4. Самостійне завдання

Самостійно виконати гідравлічний розрахунок насосної установки згідно поставленого завдання за наступними варіантами – Таблиця 2, варіант вибирається по останній цифрі номера залікової книжки.

Таблиця 2- Вихідні дані для виконання завдання

Вихідні дані	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$d_1, \text{мм}$	20	30	40	45	50	55	60	65	70	75
$d_2, \text{мм}$	10	20	30	35	40	45	50	55	60	65
$L_1, \text{м}$	10	20	15	20	10	15	20	10	15	20
$L_2, \text{м}$	200	300	400	550	660	400	500	300	200	100
$H_z, \text{м}$	30	35	40	445	50	55	60	65	70	75
$Q, \text{л/с}$	30	50	60	70	80	85	90	95	10	15