

УДК 621.65.03

ЖДАНОВА А.В., студент гр. ТЭб-231 (КузГТУ)

Научный руководитель: ДВОРОВЕНКО И.В., к.т.н., доцент (КузГТУ)  
г. Кемерово

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО И ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПОДКЛЮЧЕНИЯ НАСОСОВ К ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СЕТИ

Насос – машина для создания потока жидкой среды, его перемещения и увеличения его энергии. Данные устройства преобразуют механическую энергию двигателя в энергию перемещаемой жидкости, повышая её давление. Разность давлений жидкости в насосе и трубопроводе обуславливает её перемещение [1].

В современных гидравлических системах может быть последовательно или параллельно установлено несколько насосов, работающих на систему совместно.

Для определения гидравлического режима работы сети необходимо построить гидравлические характеристики насосов, работающих на сеть, и самой сети. Точка пересечения этих характеристик определяет гидравлический режим сети. При работе нескольких насосов на одну сеть нужно строить суммарную гидравлическую характеристику насосов. При последовательном подключении суммируют напоры насосов при одинаковом расходе, при параллельном подключении – расходы каждого насоса при одинаковом напоре. Точка гидравлического режима при этом будет смещаться по сравнению с режимом работы одного насоса на сеть.

Эффективность параллельного включения насосов в сеть определяется величиной увеличения производительности (объемного расхода) насосов по сравнению с производительностью одного насоса, а эффективность последовательного включения – величиной увеличения напора [2].

Задачей исследования было выявление показателя, определяющего эффективность использования последовательного или параллельного включения насосов при работе на сеть. В качестве такого показателя принимаем соотношение длины трубопровода к его диаметру; эффективность подключения можно принять равным не менее чем пятидесятипроцентному увеличению напора при последовательном подключении и такому же увеличению расхода в сети при параллельном подключении насосов по сравнению с работой одного насоса.

С целью исследования этой проблемы предлагается оценить эффективность подключения нескольких насосов при различных характеристиках сети на примере различных марок насосов. Для исследования взяты марки, представленные в таблице 1 [3].

Таблица 1. Коэффициенты напорной характеристики насосов

Марка насоса	$H_0$ , м	$s_0$ , $\text{м}\cdot\text{с}^2/\text{м}^6$
СЭ-1250-140-11	169,8	246
Д1250-65	76,3	96
К 290/18	24	925

Для построения графиков характеристики насоса и характеристики сети совместно решались уравнения:

$$\begin{cases} H = m \left( H_0 - s_0 \left( \frac{V}{n} \right)^2 \right), \\ H = \lambda \frac{0,81}{g} \frac{L}{d^5} V^2, \end{cases} \quad (1)$$

$$(2)$$

где  $H$  – напор, м;  $V$  – объемный расход жидкости,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $m$ ,  $n$  – количество последовательно и параллельно включенных насосов соответственно;  $H_0$  – условный напор насоса при нулевом расходе, м;  $s_0$  – условное внутреннее сопротивление насоса,  $\text{м}\cdot\text{с}^2/\text{м}^6$ ;  $\lambda$  – безразмерный линейный коэффициент сопротивления трения;  $L$  – длина трубопровода, м;  $d$  – диаметр трубопровода, м;  $g = 9,81 \text{ м}/\text{с}^2$  – ускорение свободного падения.

Для упрощения расчетов принимаем коэффициент сопротивления трения постоянным  $\lambda = 0,03$ .

Поскольку в формуле (2) стоит соотношение длины трубопровода к диаметру в пятой степени, то в качестве показателя эффективности совместного включения насосов принимаем эту величину  $L/d^5$ .

Для построения графиков гидравлического режима было рассмотрено 5 различных сетей с изменяющимся значением длины  $L$  и постоянным диаметром  $d$  (таблица 2).

Таблица 2. Параметры сетей

№ сети	$L$ , м	$d$ , м	$L/d^5$
1	2	0,2	6 250
2	10	0,2	31 250
3	40	0,2	125 000
4	100	0,2	312 500
5	500	0,2	1 562 500

По уравнениям (1) и (2) были построены графики гидравлических характеристик одного и двух последовательно подключенных насосов, указанных в табл. 1 (рис. 1).

Для каждого насоса было рассчитано относительное приращение напора при подключении второго насоса последовательно по формуле (3):

$$\delta H = \frac{H_2 - H_1}{H_1} * 100\%, \quad (3)$$

где  $H_1$  и  $H_2$  – напор одного насоса и двух последовательно подключенных насосах соответственно.

Графики зависимостей  $\delta H$  от отношения  $L/d^5$  представлены на рисунке 2.

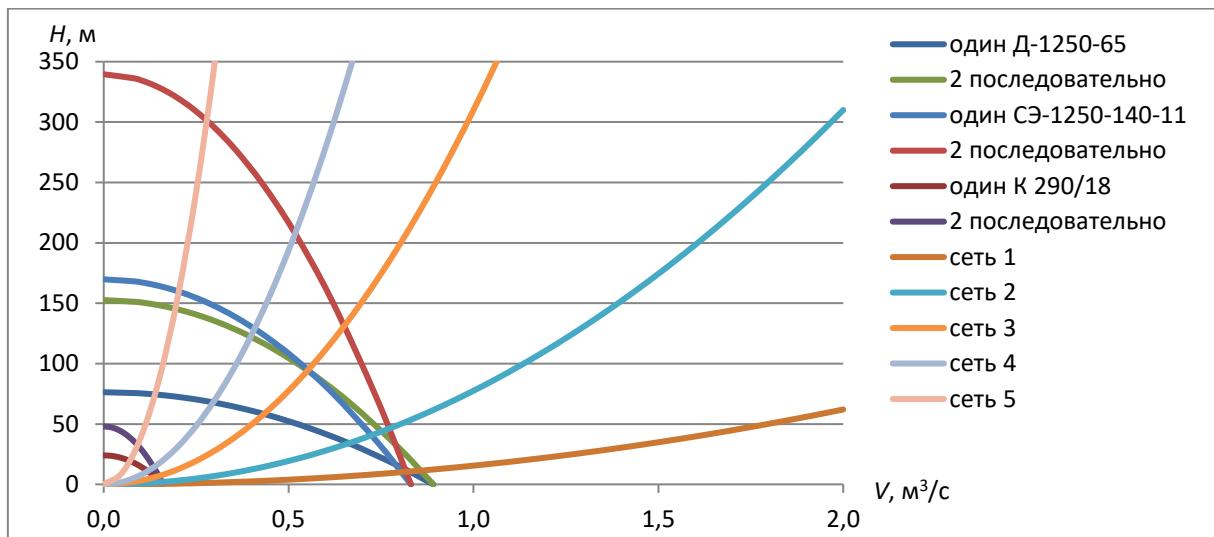


Рисунок 1. Графики гидравлических характеристик сетей и насосов при последовательном подключении

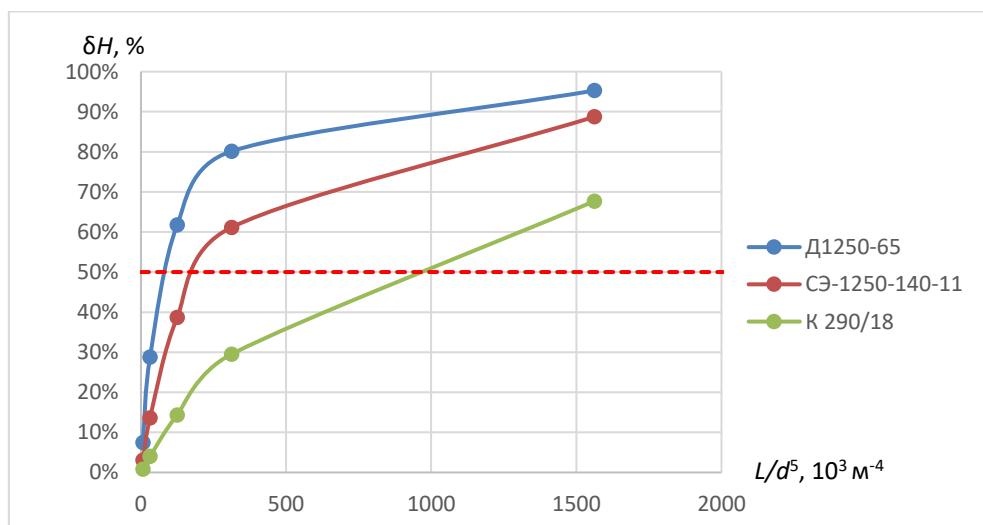


Рисунок 2. Графики зависимостей  $\delta H$  от отношения  $L/d^5$

Из графика на рис. 2 видно, что напорно-расходные характеристики насосов оказывают большое влияние на эффективность последовательного включения. При большой производительности насоса ( $1250 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) эффективное последовательное включение происходит при соотношении  $L/d^5$  более двухсот тысяч, при малой производительности ( $290 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) такой эффект достигается при соотношении в четыре раза большем.

Также проведено исследование параллельного включения двух насосов (табл. 1). Результаты представлены в виде графиков (рис. 3 и 4). Относительное

приращение производительности при подключении второго насоса параллельно рассчитывалось по формуле (4):

$$\delta V = \frac{V_2 - V_1}{V_1} * 100\%, \quad (4)$$

где  $V_1$  и  $V_2$  – объемные расходы одного насоса и двух параллельно подключенных насосов соответственно.

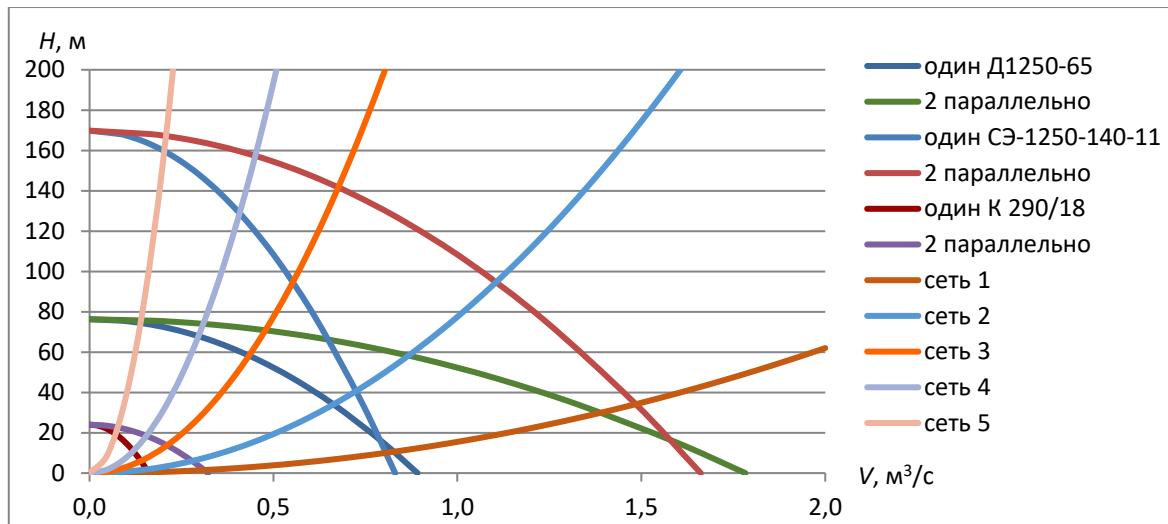


Рисунок 3. Графики гидравлических характеристик сетей и насосов при параллельном подключении

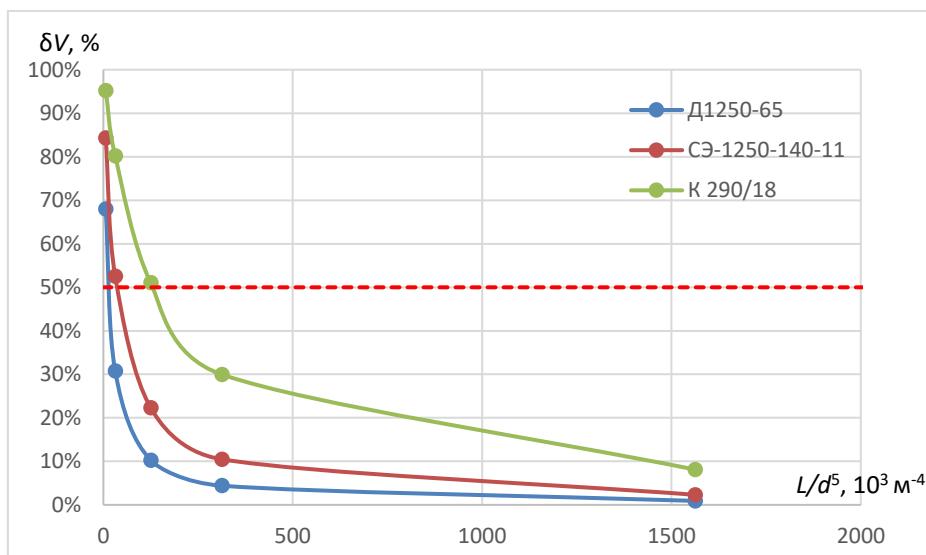


Рисунок 4. Графики зависимостей  $\delta V$  от отношения  $L/d^5$

При соотношении  $L/d^5$  менее двухсот тысяч наблюдается увеличение расходов более 50% при параллельном включении насосов по сравнению с одним насосом. Из графика на рис. 4 также видно влияние напорно-расходных характеристик насосов на эффективность параллельного включения насосов. Насосы меньшей производительности дают эффективное параллельное включение при больших соотношениях длины к диаметру.

На основании проведенного исследования можно сделать заключение, что использование соотношения  $L/d^5$  не дает однозначной оценки эффективности схемы включения насосов: дополнительно нужно вводить коэффициенты, учитывающие напорно-расходную характеристику используемых насосов. Однако можно сделать вывод, что уменьшение соотношения длины трубопровода к его диаметру повышает эффективность при параллельном включении насосов, а увеличение этого соотношения повышает эффективность последовательного включения.

Список литературы:

1. Аникин, Ю. В. Насосы и насосные станции: учебное пособие / Ю. В. Аникин, Н. С. Царев, Л. И. Ушакова ; научный редактор В. И. Аксенов ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. — Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2018. — 138 с.
2. Черкасский, В. М. Насосы, вентиляторы, компрессоры: Учебник для теплоэнергетических специальностей вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. - 416 с., ил.
3. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. – 7-е изд. стереот. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 472 с.: ил.