

## **Методические указания по выполнению курсового проекта по курсу**

### **Системы Автоматического Управления для групп Тф – 6,7**

#### **«ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ВАРИАНТОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ РАСХОДА ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ В БАРАБАННОМ КОТЛОАГРЕГАТЕ»**

##### **Задание на курсовой проект**

Оценить экономическую целесообразность регулирования расхода питательной воды в барабанном котлоагрегате одним из способов:

1. Один насос и дроссельный регулирующий клапан на основном трубопроводе.
2. Один насос и дроссельный регулирующий клапан на байпасе основного трубопровода.
3. Три насоса включенных параллельно на основном трубопроводе.
4. Регулирование расхода питательной воды за счет изменения частоты электрического тока в электроприводе насоса.

N– порядковый номер студента по журналу.

Котел, паропроизводительностью  $50 \cdot N$ , если  $N \leq 10$  и  $50 \cdot (N-10)$ , если  $N > 10$  т/час, работает в переменном режиме: с 7 до 22 часов нагрузка 100%, остальное время нагрузка 30%. Питательная вода с температурой  $150^\circ\text{C}$  подается по трубопроводу диаметром  $D$ , мм. со скоростью 3 м/с на высоту 25 м., общая длина стальных труб трубопровода  $30+N$  метров с  $(N+20)/5$  поворотов на  $90^\circ$ . Давление на входе в насос 0,5 МПа.

1. Составить гидравлическую схему участка регулирования: от источника питания (насосная установка) до конечной точки ( барабан котла). Предусмотреть по ходу движения питательной воды два теплообменника, один из которых трехсекционный и сужающее устройство в виде диафрагмы для измерения расхода. Определить диаметр трубопровода питательной воды и гидравлическое сопротивление отдельных участков трубопровода. В теплообменниках учесть два типа гидравлического сопротивления: «внезапное расширение» и «внезапное сужение» трубопроводов 1:5. Гидравлическое сопротивление пучков труб в теплообменниках принять равным 2,5 м. для нагрузки 100%.

2. Для первого варианта схемы установки (Один насос и дроссельный регулирующий клапан на основном трубопроводе ) выполнить проверочный

расчет регулирующего органа. По диаметру трубопровода и другим параметрам выбрать регулирующий клапан, построить его расходную характеристику и определить необходимое перестановочное усилие. Проверить регулирующий орган на кавитацию.

Выбрать исполнительный механизм для перемещения штока клапана и подобрать кинематическую схему сочленения его с регулирующим органом.

3. Определить необходимый напор насоса с учетом гидравлического сопротивления трубопровода с запасом 1,15, выбрать тип и мощность электропривода насоса. Построить напорную характеристику сети и выбранного насоса в зависимости от расхода питательной воды на одном графике. Отметить рабочие точки.

Определить годовое число часов работы насосной установки в каждом режиме, если общее число часов работы котла в год составляет 7920.

Оценить стоимость (капитальные затраты) применяемого оборудования для регулирования расхода питательной воды каждым способом (без стоимости труб и монтажа).

Рассчитать стоимость затрат на электроэнергию, необходимую для подачи питательной воды в котел для каждого варианта, исходя из цены 1руб/кВт.

Определить срок окупаемости устанавливаемого оборудования, если нормативный срок окупаемости  $E$  равен 7 лет.

### **Содержание расчетно-пояснительной записки.**

1. Титульный лист
2. Содержание.
3. Задание на типовой расчет (свой вариант!).
4. Гидравлическая схема участка регулирования от источника питания до конечной точки (или от начальной точки схемы с «бесконечной мощностью» до конечной точки с «бесконечной мощностью») для определения перепада давления на регулирующем органе(4 варианта)
5. Расчет диаметра трубопровода питательной воды и гидравлического сопротивления отдельных участков трубопровода. Для нагрузки 30% диаметр остается неизменным, а определяется скорость движения питательной воды и гидравлическое сопротивление отдельных участков трубопровода.
6. Выбор и проверочный расчет регулирующего органа с конструктивной и расходной характеристиками.
7. Расчет перестановочного усилия регулирующего органа для выбора исполнительного механизма.
8. Обоснование и кинематическая схема сочленения исполнительного механизма с регулирующим органом.

9. Расчет необходимого напора насоса с учетом гидравлического сопротивления трубопровода. Тип и мощность электропривода насоса. Основные характеристики.

10. Напорная характеристика сети и насоса в зависимости от расхода среды на одном графике. Отметить рабочие точки.

11. Определение годового числа часов работы насосной установки в каждом режиме.

12. Оценка стоимости (капитальные затраты) применяемого оборудования для регулирования расхода питательной воды каждым способом (без стоимости труб и монтажа).

13. Расчет стоимости затрат (эксплуатационные затраты) на электроэнергию, необходимую для подачи питательной воды в котел для каждого варианта, исходя из цены 1руб/кВт.

14. Определить срок окупаемости устанавливаемого оборудования, если нормативный срок окупаемости Е равен 7 лет.

15. Выводы.

16.Использованная литература и сайты.

Общий объем расчетно-пояснительной записки 25-30 стр. (включая рисунки).

### **Обязательные рисунки.**

1. Гидравлическая схема участка регулирования с указанием давления в основных точках схемы.

2. Варианты реализации насосной установки.

3. Напорная характеристика сети и насоса в зависимости от расхода на одном графике для каждого варианта с отмеченными рабочими точками.

4. Чертеж регулирующего органа (клапан в разрезе с установочными размерами), А4.

5. Кинематическая схема сочленения исполнительного механизма с регулирующим органом.

**Последний срок сдачи расчетного задания – 6.05.2019 г.**

### **Методические указания**

1. Скорость течения среды в трубе (м/с)

$$W = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2},$$

где Q –расход среды в трубе, м<sup>3</sup>/с

D – внутренний диаметр трубопровода, м

Из этой формулы определяем внутренний диаметр трубопровода, добавляем толщину стенки и выбираем ближайший типоразмер диаметра.

2. Гидравлическое сопротивление трубопровода рассчитывается через число  $Re$  и динамическая вязкость среды или берется из таблицы.

$$Re = \frac{w \cdot D}{\nu}$$

где  $\nu$  – динамическая вязкость среды при соответствующей температуре.

**Таблица 1**

**Динамическая вязкость воды**

$t, ^\circ\text{C}$	0	20	40	60	80	100	120	140
$\mu \cdot 10^6, \text{Па} \cdot \text{с}$	1788	1004	653,3	469,9	355,1	282,5	237,4	201,1
$t, ^\circ\text{C}$	160	180	200	220	240	260	280	300
$\mu \cdot 10^6, \text{Па} \cdot \text{с}$	173,6	153,0	136,4	124,6	114,8	105,9	98,1	91,2

**Динамическая вязкость воды при температуре  $20^\circ\text{C}$  равна  $1004 \cdot 10^{-6} \text{Па} \cdot \text{с}$ .** В таблице даны значения коэффициента динамической вязкости воды в зависимости от температуры при нормальном атмосферном давлении (760 мм.рт.ст.). Вязкость в таблице указана при температуре от 0 до  $300^\circ\text{C}$ .

**Динамическая вязкость при нагревании воды также уменьшается,** вода становится менее вязкой и при достижении [температуры кипения](#)  $100^\circ\text{C}$  величина вязкости воды составляет всего  $282,5 \cdot 10^{-6} \text{Па} \cdot \text{с}$ .

Источник: [Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи.](#)

3. Удельное гидравлическое сопротивление трубы  $\zeta$

$$\zeta = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}$$

4. Гидравлическое сопротивление трубопровода, м

$$H = \Delta P = \zeta \cdot \frac{L \cdot w^2}{2 \cdot g \cdot D}$$

где  $L$  – длина прямого участка трубы,

$g$  – ускорение свободного падения.

5. Определив далее гидравлическое сопротивление поворотов, расширений, сужений, высоту подъема и пр., нетрудно, просуммировав, получить значение полного требуемого напора. Умножаем на коэффициент запаса.
6. Поверочный расчет регулирующего органа с конструктивной и расходной характеристиками выполняется по методическим указаниям, выложенным на сайт кафедры.
7. Повторив расчет для других скоростей среды, получим напорную характеристику трубопровода (сети).
8. По каталогам выбираем насос с электроприводом и строим его напорную характеристику и здесь же строим напорную характеристику сети. Отмечаем рабочие точки для максимального и минимального расходов.
9. Полезная мощность электропривода с непосредственным присоединением к валу насоса рассчитывается по формуле

$$P = \frac{K \cdot \gamma \cdot Q \cdot H}{1000 \cdot \eta_n}, \text{ кВт}$$

где  $K$  коэффициент запаса (1,1 – 1,4)

$\gamma$  – удельный вес среды, н/м<sup>3</sup> (холодная вода  $\gamma = 9810$ )

$Q$  – производительность насоса, м<sup>3</sup>/с

$H$  – напор насоса, м

$\eta_n$  – КПД насоса (0,6 – 0,75)

10. При изменении частоты вращения электропривода  $n$ , мощность, напор и производительность изменяются следующим образом:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{(n_1)^3}{(n_2)^3} \quad \frac{H_1}{H_2} = \frac{(n_1)^2}{(n_2)^2} \quad \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

11. Определяем годовые затраты на электроэнергию для каждого варианта реализации питательной установки  $З$ , руб.
12. Определяем стоимость применяемого оборудования для регулирования расхода питательной воды каждым вариантом реализации питательной установки  $K$ , руб.
13. Рассчитываем годовые затраты на каждый вариант реализации питательной установки

$$\Xi = \frac{K}{E} + З$$

14. Полученные результаты сводим в таблицу и делаем выводы.

## Полезные ссылки

### Основные принципы подбора насосов. Расчет насосов

[http://www.ence-](http://www.ence-pumps.ru/podbor_raschet_nasosov.php#centrifugal_pump_power)

[pumps.ru/podbor\\_raschet\\_nasosov.php#centrifugal\\_pump\\_power](http://www.ence-pumps.ru/podbor_raschet_nasosov.php#centrifugal_pump_power)

<http://www.opengost.ru/> Государственный ордена Трудового Красного-  
Знамени проектный институт ПРОЕКТМОНТАЖАВТОМАТИКА

<http://www.zeim.ru/ru/production/mechanism/MEO>

**1. ГОСТ 16443-70 «Устройства исполнительные. Методы расчета пропускной способности, выбора условного прохода и пропускной характеристики».**

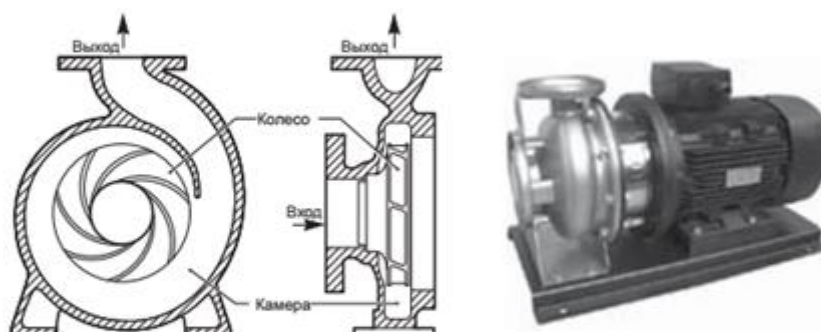
**2. РМ 4-163-77 «Расчет и применение регулирующих органов в системах автоматизации технологических процессов».**

**3. РМ 4-173-79. Системы автоматизации технологических процессов. Расчет электрических исполнительных механизмов при проектировании (расчет перестановочных усилий)**

1.	Благов Э.У., Ивницкий Б.Я. Дроссельно – регулирующая арматура ТЭС и АЭС. М.: Энергоатомиздат, 1990.
2.	ГОСТ 356-80. Арматура и детали трубопроводов. Давления условные пробные и рабочие. Ряды.
3.	СТ СЭВ 254-76. Соединения трубопроводов и арматуры. Проходы условные.
4.	Арматура энергетическая для ТЭС и АЭС. Отраслевой каталог. М.: НИИЭинформэнергомаш, 1981.
5.	Гуревич Д.Ф., Шпаков О.Н. Справочник конструктора трубопроводной арматуры. Л.: Машиностроение, 1975.
6.	Емельянов А.И., Емельянов В.А. Исполнительные устройства промышленных регуляторов. М.: Машиностроение, 1975.
7.	Имбрицкий М.И. Справочник по арматуре тепловых электростанций. М.: Энергоиздат, 1981.
8.	Казинер Ю.Я., Слободкин М.С. Арматура система автоматического управления. М.: Машиностроение, 1977.
9.	Гуревич Д.Ф., Ширяев В.В., Пайкин И.Х. Арматура атомных электростанций. Справочное пособие. М.: Энергоиздат, 1982.
10.	Плетнев Г.П. Автоматическое управление и защита теплоэнергетических установок электростанций. -М.: Энергоатомиздат, 1986. 343 с. (см.с. 182-187).
11.	В.и. Плютинский, В.И. Погорелов. Автоматическое управление и защита теплоэнергетических установок АЭС./Учебник для техникумов.- М.: Энергоатомиздат, 1983.- 296 с.

## Приложение

### Центробежный насос с электроприводом



### Стандартные характеристики центробежного насоса

**Полезная мощность** ( $P_u$ ), переданная жидкости, рассчитывается по формуле:  $P_u = \rho g H Q$  (в Вт)

**Механическая мощность** ( $P$ ) рассчитывается с учетом КПД ( $\eta$ ) насоса:

$$P = (1/\eta) P_u = (1/\eta) \rho g H Q$$

Коэффициент полезного действия насоса  $\eta$  изменяется в зависимости от подачи насоса. Он равен нулю, если напор или подача также равны нулю. В этом случае никакой энергии жидкости не передается.

Номинальная рабочая точка (БЕР, Best Efficiency Point), определяется как точка характеристики, в которой КПД максимален.

На **Рисунке 5** представлены характеристики изменения напора, КПД и мощности в зависимости от подачи для типового центробежного насоса.

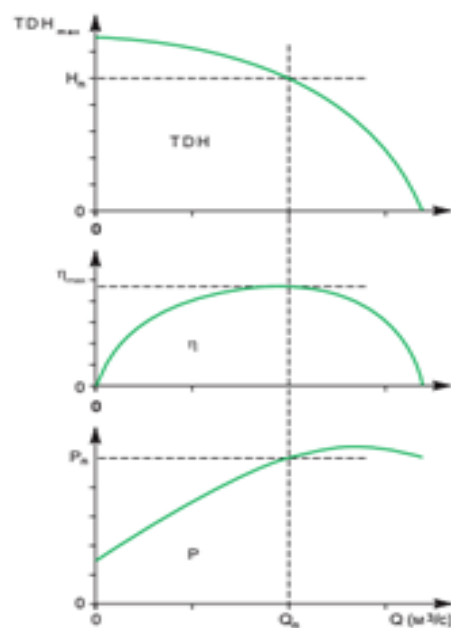
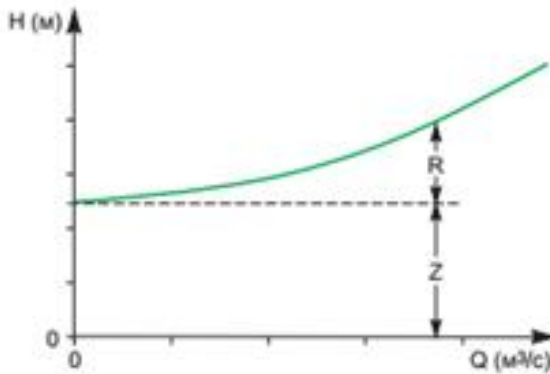


Рис. 5. Стандартные характеристики центробежного насоса.

## Рабочая точка

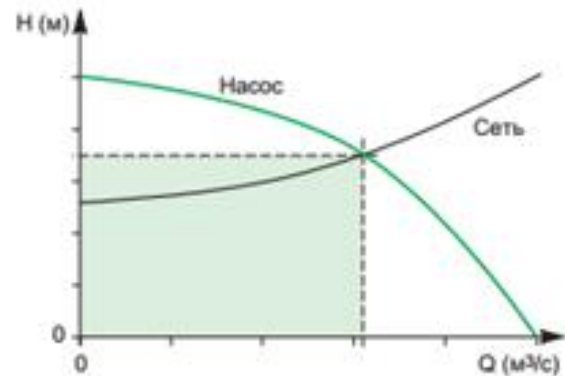
Потеря напора  $R$  пропорциональна квадрату подачи. Кривая, представляющая собой характеристику сети, показана на [Рисунке 7](#).



**Рис. 7.** Характеристика сети.

Рабочая точка насоса при установке в соответствующей сети определяется пересечением характеристик насоса и сети, как показано на [Рис 8](#).

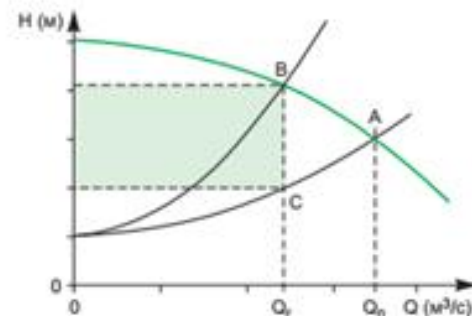
В этом случае, полезная мощность, передаваемая насосом жидкости (равная  $gHQ$ ) пропорциональна заштрихованной площади на рисунке.



**Рис. 8.** Рабочая точка насоса в сети.

$H$ : напор насоса  
 $Z$ : высота столба жидкости (статический напор)  
 $R$ : потеря напора (динамический напор)

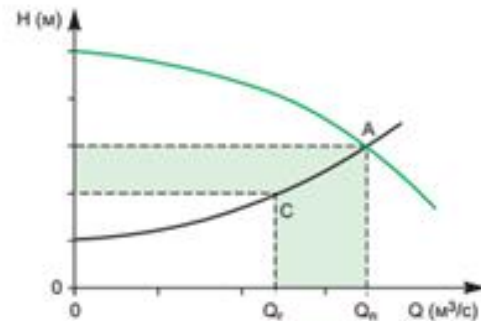
## Изменение расхода при постоянной частоте вращения



### Использование клапанов, установленных за насосом

Целью данного решения является уменьшение эффективного поперечного сечения трубопровода за насосом. В результате увеличиваются потери напора в сети, которые выражаются в повышении давления на выходе насоса и рассеивании энергии в жидкости.

На [Рисунке 9](#), точка A - рабочая точка при номинальной подаче  $Q_n$ . Точка B - рабочая точка при редуцированной подаче  $Q_r$ . Оптимальной рабочей точкой сети при подаче  $Q_r$  должна быть точка C. Заштрихованный сектор - потери при данном способе регулирования.



### Использование байпасной линии

Принцип заключается в возврате части жидкости на всасывающий патрубок насоса при помощи байпасного клапана. Это позволяет точно регулировать подачу насоса, однако недостатком такой схемы регулирования является низкий КПД.

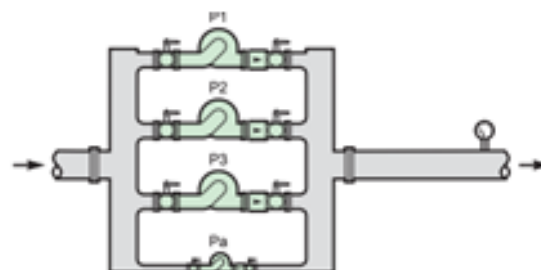
На [Рисунке 10](#), точка A - рабочая точка, соответствующая номинальной подаче  $Q_n$ . Оптимальной рабочей точкой для данной сети при пониженной подаче  $Q_r$  должна быть точка C. Расположенный за насосом байпасный клапан практически не изменяет характеристику сети. Заштрихованные сектора соответствуют потерям при использовании байпасного клапана. Этот тип регулирования позволяет получать режимы работы с небольшой подачей без риска превышения максимально допустимого давления на выходе насоса.



## Периодическая и параллельная работа насосов

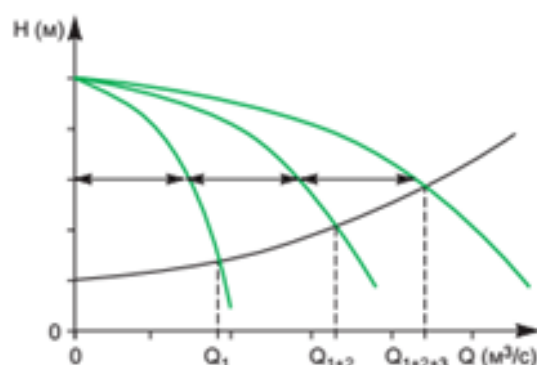
Режим периодической работы насоса используется для заполнения резервуаров (ночь)

Когда насос работает с наибольшим расходом, потери напора больше. Оптимальное КПД, мин. расход эл. энергии



Рассмотрим пример параллельной работы трех идентичных насосов. Результирующая характеристика представляет собой сумму подач всех насосов при постоянном напоре.

В сети в таком случае возможны три рабочих точки, положение которых определяется количеством находящихся в работе насосов, как показано на Рис. 12.



Обратите внимание, что  $Q_{1+2} < 2 Q_1$ .

Это происходит из-за увеличения сопротивления сети (трение).

Рис. 12. Параллельная работа идентичных насосов.

<http://www.rimos.ru/catalog/pump/12120>

Напор, м	32
Частота вращения, об/мин	1450
Потребляемая мощность, кВт	29

ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА CM 150-125-315-4

