

Показатели энергетической эффективности

1. Удельный расход энергоресурсов на единицу выпускаемой продукции (на примере насосных агрегатов)

- Применительно к насосным агрегатам можно говорить:
- об удельных расходах насоса Y_0' (кВтч/м³);
- об удельных расходах всего агрегата: насос – двигатель Y_0 (кВтч/м³):

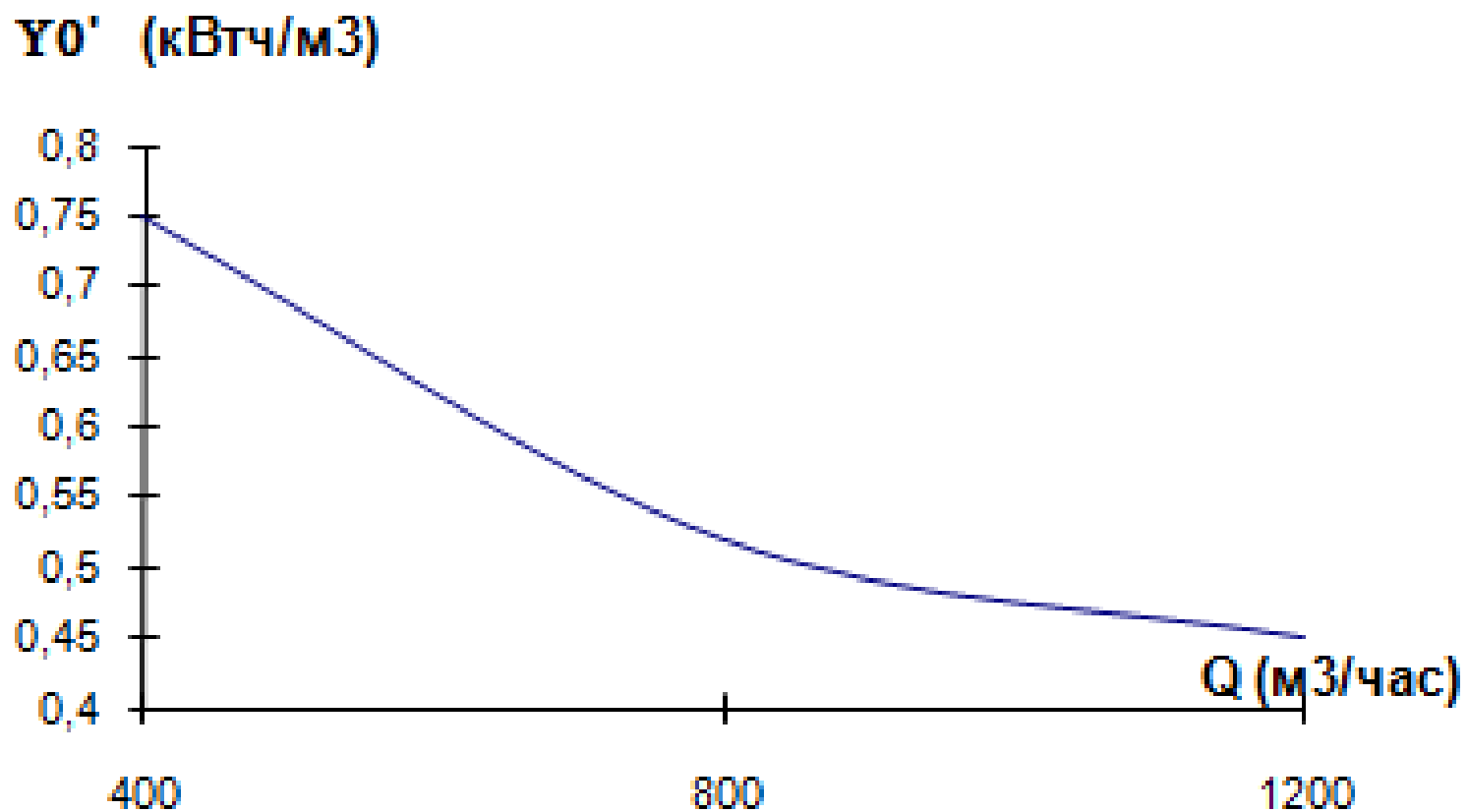
$$Y_0 = Y_0' / \eta_{\text{ДВ}}$$

- $\eta_{\text{ДВ}}$ – КПД двигателя.

Значение γ_0' может быть определено из:

- $N(Q)$ – зависимости мощности на валу насоса от величины подачи воды;
- $\eta_n(Q)$ – зависимости КПД насоса от величины подачи воды;
- $H(Q)$ – зависимости напора, развиваемого насосом, от величины подачи воды:

Зависимость удельного расхода $\gamma_0'(Q)$ для насоса Д1250-125.



К.т.н., доцент ЭНИН ТПУ Климова Г.Н.

Удельный расход – функция от объемов подачи жидкости Q



1. Плотность

- 1000 кг/м³
- 9810 н/см³
- 102 кгс С²/м⁴

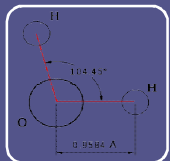


2. Молярная теплоемкость

75,37 Дж/(моль·К)

3. Молярная масса

8,01528 г/моль.



4. Теплопроводность

- 0,56 Вт/(м·К).

$$Y'_0(\text{кВт}) = \frac{N(Q)}{Q} =$$
$$= 0,00272 \cdot \frac{H(Q)}{102 \cdot \eta_n(Q) \cdot \eta_{дв}(Q)}$$

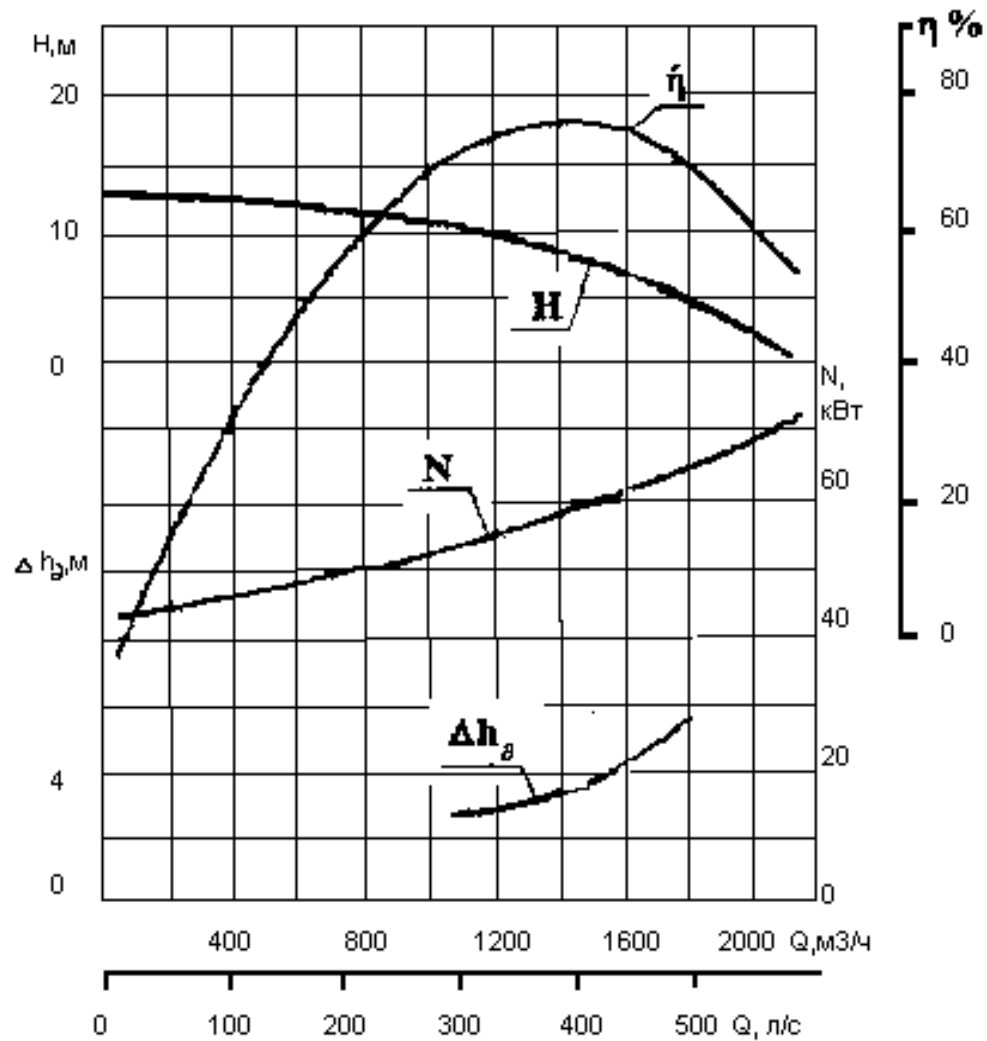
- где γ – масса одного м³ жидкости (воды).

Пример 1

Исходные данные

- Определить превышение фактического удельного расхода его нормативного значения, если известны данные:
- **ДВИГАТЕЛЬ:** $U=0,4\text{кВ}$, $N_{\text{ном}} = 100\text{ кВт}$; $\cos \varphi = 0,88$; $\eta_{\text{д}} = 91\%$; $n = 730\text{ об/мин}$.
- Фактические данные: $N_{\text{фак.д}} = 50\text{ кВт}$;
- **НАСОС:** марка - Д 2000-21, $Q_{\text{н}} = 2000\text{ м}^3/\text{ч}$;
 $H_{\text{н}} = 21\text{ м}$.

Рабочие характеристики насоса от величины Q (для насоса – Д2000-21)



К.т.н., доцент ЭНИН ТПУ Климова Г.Н.

Решение

- По данным фактического электропотребления насосным агрегатом, по характеристике насоса определяем его рабочие параметры (производительность Q , напор H , КПД η_n):
- $Q = 800 \text{ м}^3/\text{ч}; \quad H = 12\text{м}; \quad \eta_n = 60 \text{ \%};$

1. Определяем удельный расход насоса:

$$Y'_0 = \frac{N_1}{Q} = \frac{N_{\text{фак.}} \cdot \eta_{\text{дв}}}{Q_1} = \frac{50 \cdot 0,6}{800} = 0,038 \text{ кВтч/м}^3$$

2. Определяем удельный расход агрегата:

$$Y_0 = \frac{Y'_0}{\eta_{\text{дв}}} = \frac{0,038}{0,91} = 0,041 \text{ кВтч/м}^3$$

3. Определяем удельный расход насоса при номинальных условиях работы:

$$Y_{\text{ном0}} = \frac{68}{0,91 \cdot 2000} = 0,037 \text{ кВтч/м}^3$$

4. Превышение нормативного значения:

$$\Delta Y = \frac{Y_0 - Y_{\text{ном0}}}{Y_{\text{ном0}}} \cdot 100\% = \frac{0,041 - 0,037}{0,037} \cdot 100 = 11\%$$

Мощность ЭД для насоса

$$N_{\text{дв}} (\text{кВт}) = \frac{K \cdot Q \cdot H \cdot \gamma}{1000 \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{пер}}}$$

- $K=1,1:1,4$ – к-т запаса;
- γ - удельный вес жидкости;
- $\eta_{\text{н}}$ - КПД насоса;
- $\eta_{\text{пер}}$ - КПД передачи (1-при непосредственном вкл.)
- Q , м³/с – подача жидкости;
- H , м.в.ст. – высота подачи жидкости.

КПД насоса

Желательно
принимать из
технического
паспорта
насоса или
каталога.

**Если нет
техпаспорта**

Для поршневых насосов	0,7:0,98
Для центробежных с высоким давлением	0,6:0,75
Для центробежных с низким давлением	0,3:0,6

Связь технических характеристик

- При выборе двигателя для центробежного насоса следует иметь в виду:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{n_1^3}{n_2^3}; \quad \frac{H_1}{H_2} = \frac{n_1^2}{n_2^2};$$
$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}; \quad \frac{M_1}{M_2} = \frac{n_1}{n_2}.$$

Электроэнергия, потребляемая насосом

$$W(\text{кВтч}) = \frac{Q \cdot H \cdot \gamma}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{дв}}} \cdot T$$

- $\eta_{\text{дв}}$ - КПД двигателя;
- T , ч – время работы насоса за год.

Расход ЭЭ снизится, если:

1. Повысить КПД передачи или установить рабочее колесо насоса на валу двигателя.
2. Использовать новые материалы для уплотнений, улучшить балансировку рабочих колес, проводить качественный ремонт, заменить старое оборудование на новое.
3. Повысить $\eta_{дв}$ путем замены на более экономичный, изменить параметры питающего напряжения (повышая к-т мощности).
4. Уменьшить потери напора в трубопроводе (увеличиваются при отложениях накипи, неисправных задвижках).
5. Сократить утечки через уплотнения, внедрить обратное водоснабжение.
6. Рационально регулировать работу насоса путем перехода от дросселирования к управлению скоростью вращения двигателя или изменению числа работающих насосов.

Пример 2

Исходные данные

- Насос приводится ЭД с $n_1=1450$ об/мин. И создает напор $H=36$ м при подаче $Q=90$ м³/час. $\eta_n = 0,6$.
- **Определить** $N_{дв}$, N_n , Q_n при $n_2=960$ об/мин.

Решение

1. Мощность ЭД при $n=1450$ об/мин:

$$N_1 = \frac{K \cdot Q \cdot H \cdot \gamma}{1000 \cdot \eta_n \cdot \eta_{пер}} =$$
$$= \frac{1,25 \cdot 9810 \cdot 90 \cdot 36}{1000 \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot 3600} = 184 \text{ кВт}$$

2. Мощность ЭД при $n_2 = 960$ об/мин:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{n_1^3}{n_2^3} \rightarrow N_2 = 184 \cdot \frac{960^3}{1450^3} = 53,4 \text{ кВт.}$$

3. Напор насоса при $n_2 = 960$ об/мин:

$$H_2 = H_1 \cdot \frac{n_2^2}{n_1^2} = 36 \cdot \frac{960^2}{1450^2} = 15,8 \text{ м.}$$

4. Производительность насоса при $n_2 = 960$ об/мин:

$$Q_2 = Q_1 \cdot \frac{n_2}{n_1} = 90 \cdot \frac{960}{1450} = 59,6 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

2. Коэффициент полезного действия

$$\eta = \frac{W_{\text{п.исп.}}}{W_{\text{п}}} \cdot 100\%$$

Полезно использованная энергия

Подведенная энергия

- При использовании в технологическом процессе нескольких видов

$$\eta_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N (a_i \cdot \eta_i)$$

где η_i – энергетический КПД для данного вида энергоносителя,
 a_i – доля данного энергоносителя в общем объеме.

Экономия ЭЭ при повышении КПД насоса

Способы повышения

Уменьшение зазоров в щелевых уплотнениях (на 0,1 мм в среднем повышает КПД на 1%);

Механически сбалансированное и гидравлически разгруженное рабочее колесо (1-2%);

Низкая шероховатость проточной части (1-2%).

$$W_1 = 0,00272 \frac{Q \cdot H}{\eta_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{н}}} \cdot T$$

$$W_2 = 0,00272 \frac{Q \cdot H}{\eta_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{н}}''} \cdot T$$

$$\Delta W = W_1 - W_2$$

- где T – время работы насосного агрегата с новым значением КПД

$$0,00272 = 9810 / (1000 \cdot 3600)$$

- Или:

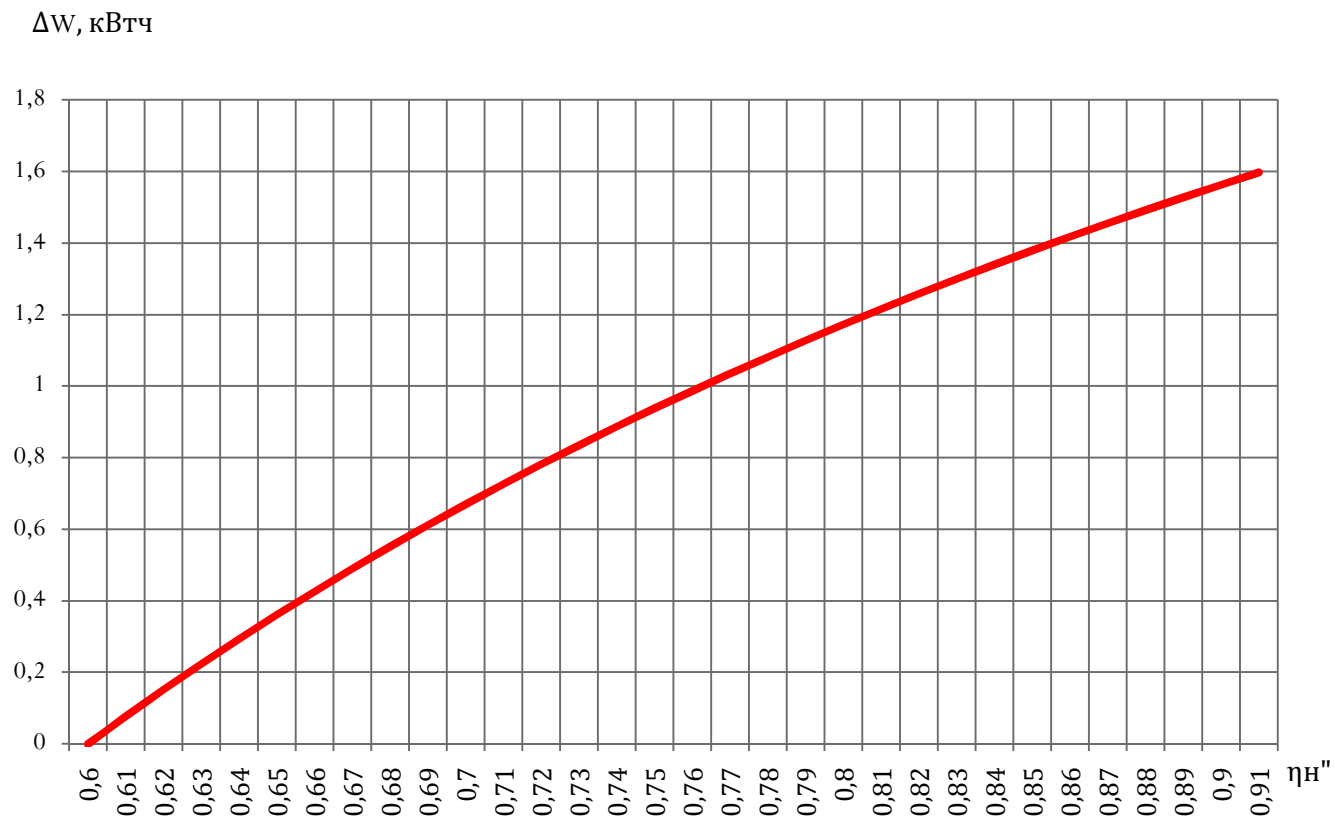
$$W_1 = 0,00272 \frac{Q \cdot H \cdot T}{\eta_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{дв}}} \cdot \frac{\eta_{\text{н}}'' - \eta_{\text{н}}'}{\eta_{\text{н}}' \cdot \eta_{\text{н}}''}$$

Пример 3

Исходные данные

Решение

- Определить часовую экономию ЭЭ для условий предыдущего примера, если КПД насоса повысили на 4%, КПД двигателя равен 0,91.



Часовая экономия ЭЭ при повышении КПД насоса

Экономия ЭЭ при использовании ЧРП

Необходимые исходные данные

- **1. Регистрируем номинальные данные вентилятора (насоса):**

- $Q_{\text{НОМ}}$, м³/час,
- $H_{\text{НОМ}}$, м В.СТ.,
- $\eta_{\text{НОМ}}$

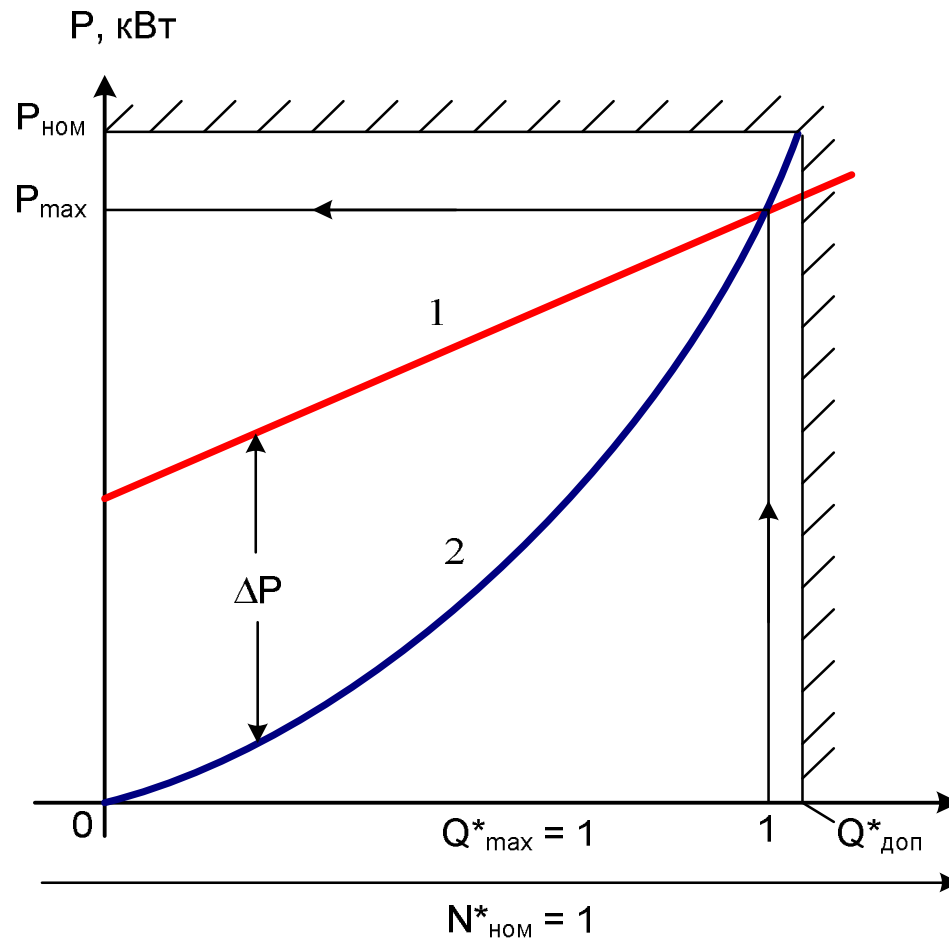
- **2. Номинальные данные двигателя**

- $P_{\text{ДВ.НОМ}}$, кВт,
- $n_{\text{НОМ}}$, об/мин,
- $\eta_{\text{ДВ.НОМ}}$;

3. На действующей установке измеряем или устанавливаем расчетным путем:

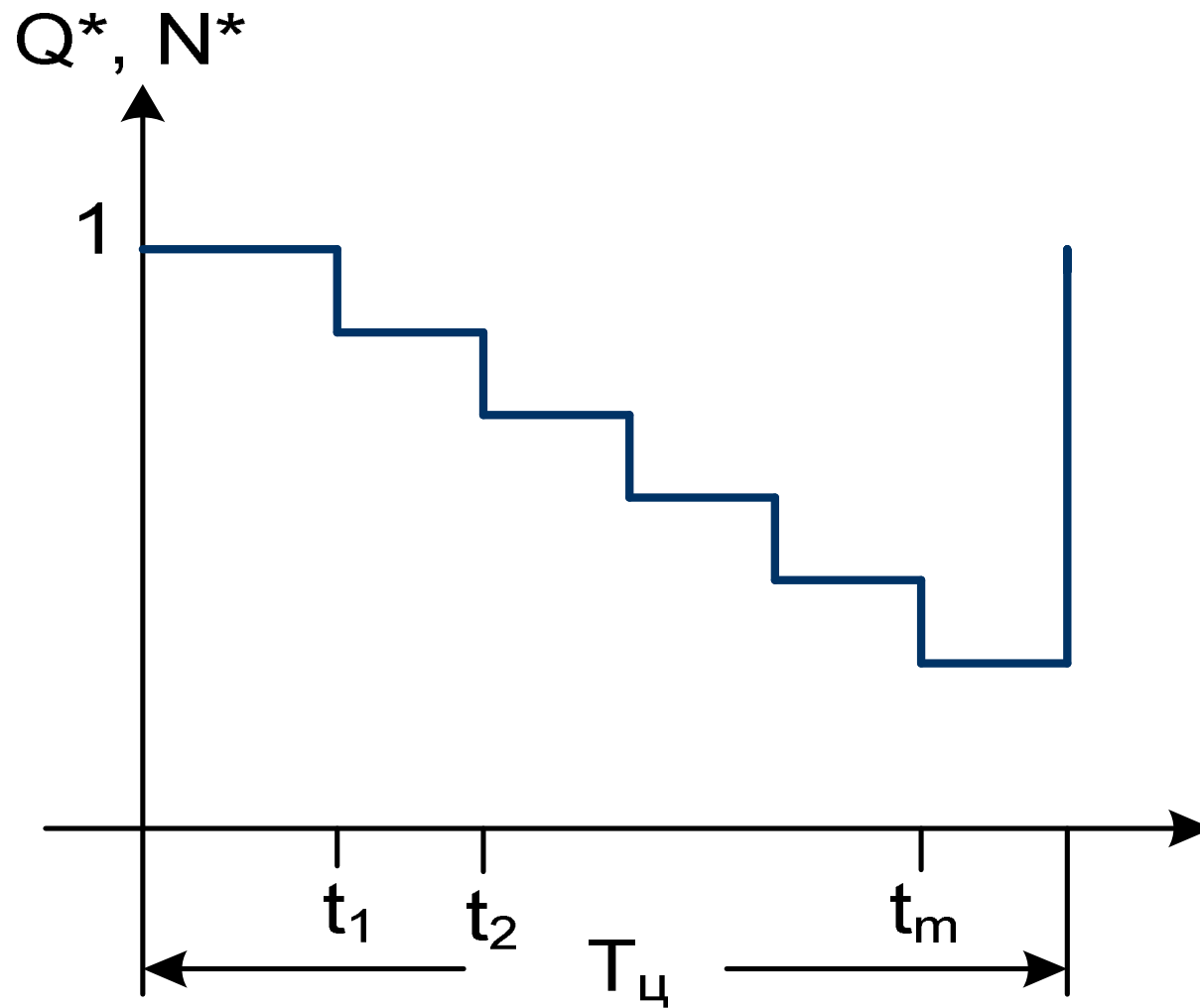
- мощность P , кВт, потребляемую двигателем,
- производительность Q , м³/час, при полностью открытой задвижке или заслонке (P_{\max} и Q_{\max}) и в ряде промежуточных точек.
- Строим зависимость потребляемой мощности P , кВт, от относительного расхода Q^* ,
- При частотном регулировании скорости по формуле $P = P_{\max}(Q^*)^3$ получаем кривую 2 на рис. 1.

Должен получиться рисунок 1



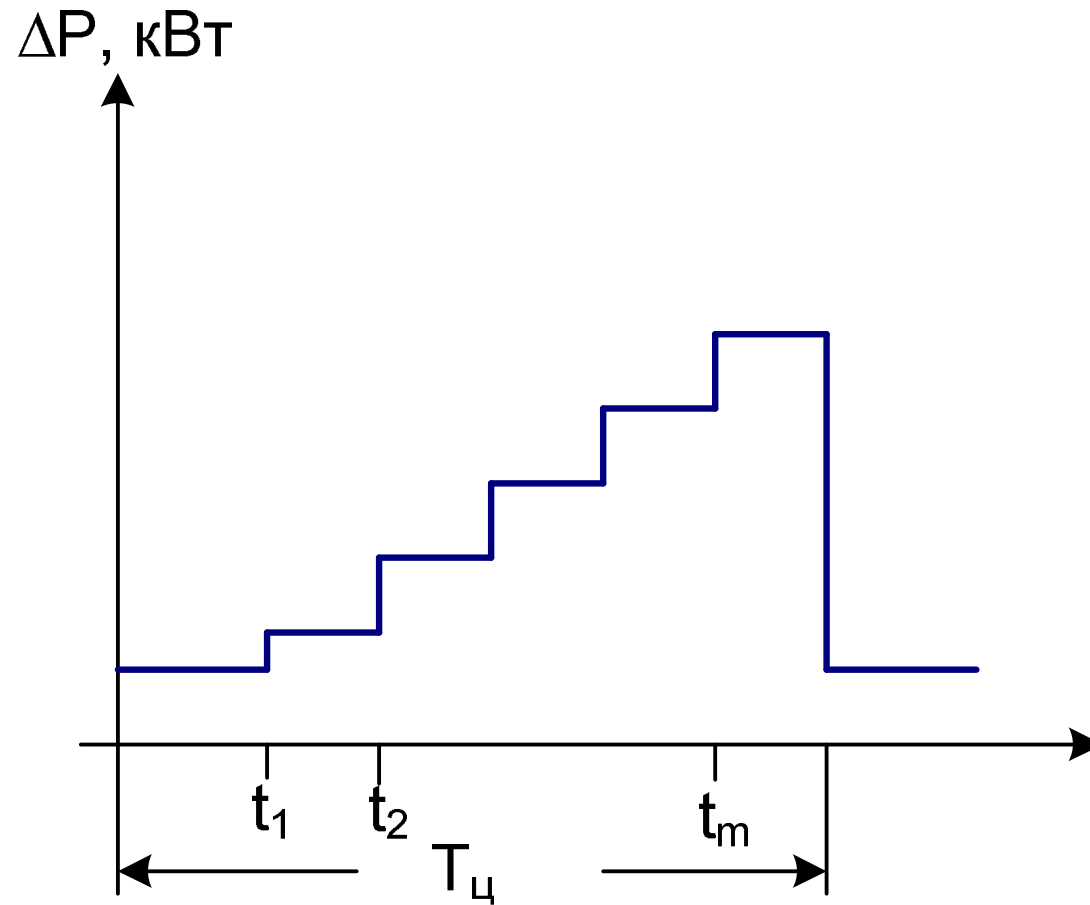
- **4. Определяем требуемую мощность преобразователя частоты $P_{пч}$, кВт:**
- $P_{пч} = (1,1-1,2)P_{max}$.
- Разница ΔP между кривыми 1 и 2 - экономия мощности при частотном регулировании скорости.
- Строим диаграмму зависимости относительного расхода Q^* или относительной мощности блока N^* от времени t - рис. 2.
- За цикл удобно принять число часов работы насоса или энергоблока в сутки или в год.

Рис. 2. Зависимость Q^* , N^*



- Перестраиваем с помощью рис. 1 диаграмму расхода $Q^*(t)$ или $N^*(t)$ в диаграмму сэкономленной мощности $\Delta P(t)$ (рис. 3), определяя ΔP , на каждом интервале по соответствующему значению Q^* или N^* из рис. 2.

Рис. 3. График сэкономленной мощности



- Определяем энергию, сэкономленную за цикл (день, неделя, месяц, год) $\Delta W_{\text{ц}}$:

$$\Delta W_{\text{ц}} = \sum_i^m \Delta P_i \cdot t_i$$

- где m - число участков цикла с разными ΔP_i .
- Определяем при заданном тарифе $C_{\text{ээ}}$ (руб/кВт·ч) стоимость сэкономленной электроэнергии за год (руб/год):

$$\Delta C_{\text{ээ}} = \Delta W_{\text{ц}} \cdot C_{\text{ээ}}$$

- Определяем срок окупаемости новой техники:
- Для насосов и вентиляторов, непосредственно участвующих в процессе производства электроэнергии на ТЭС определяем возможное увеличение номинальной мощности энергоблока
- $\Delta N = (0,01 \div 0,02)K \cdot N_{ном}$,

- где $K = \frac{P_{\text{пч}}}{P_{\Sigma}}$ - коэффициент, равный отношению мощности электроприводов, оснащенных ЧРП к общей мощности электроприводов энергоблока (или ТЭС);

- Определяем стоимость нового строительства электростанции (энергоблока) мощностью ΔN :

$$C_{ЭС} = \Delta N \cdot C_N,$$

- где C_N - стоимость одного кВт вновь сооружаемой ТЭС или энергоблока, руб./кВт (55000 – 60000 руб./кВт).

- Определяем срок окупаемости ЧРП по соотношению

$$T = \frac{Ц_{пч} - Ц_{ЭС}}{\Delta C_{ЭЭ}} = \frac{\Delta Ц}{\Delta C_{ЭЭ}}$$

- Для прочих насосов и вентиляторов определяется простой срок окупаемости выбранного оборудования $T_{ок}$,

$$T_{ок} = \frac{Ц_{пч}}{\Delta W \times C_{ээ} \times k}$$

- где $C_{ПЧ}$ - стоимость выбранного оборудования, руб.;
- $C_{ЭЭ}$ - тариф (цена) 1 кВт·ч ээ, руб.;
- $k > 1$ - коэффициент, учитывающий эффект дополнительного ресурсосбережения, для сетевых и подпиточных насосов ТЭС значение коэффициента k может быть принято равным $k = 1,25 - 1,35$.

Пример 4

Условие

- Для двигателя 15 кВт, установленного в системе водоснабжения школы и работающего с 8 до 18 час с диаграммой относительного расхода на рис. А требуется определить экономию ЭЭ (ΔW) и срок окупаемости (T) при замене системы дросселирования на ЧРП, при работе в году в течение 240 дней.

1. Стоимость ЧРП 8800 руб./кВт.
2. Стоимость ЭЭ 2,14 руб./кВтч.
3. Номинальные данные двигателя:

$$P_{\text{дв.ном}} = 15 \text{ кВт}, n_{\text{ном}} = 1430 \text{ об/мин},$$

$$\eta_{\text{дв.ном}} = 92\%.$$

4. Измеренная потребляемая мощность при $Q^* = 1$ (полностью открытая заслонка) $P_{\text{макс}} = 11$ кВт, а при полностью закрытой заслонке 6 кВт - график 1 на рис. В.

Рис. А.

Диаграмма относительного расхода

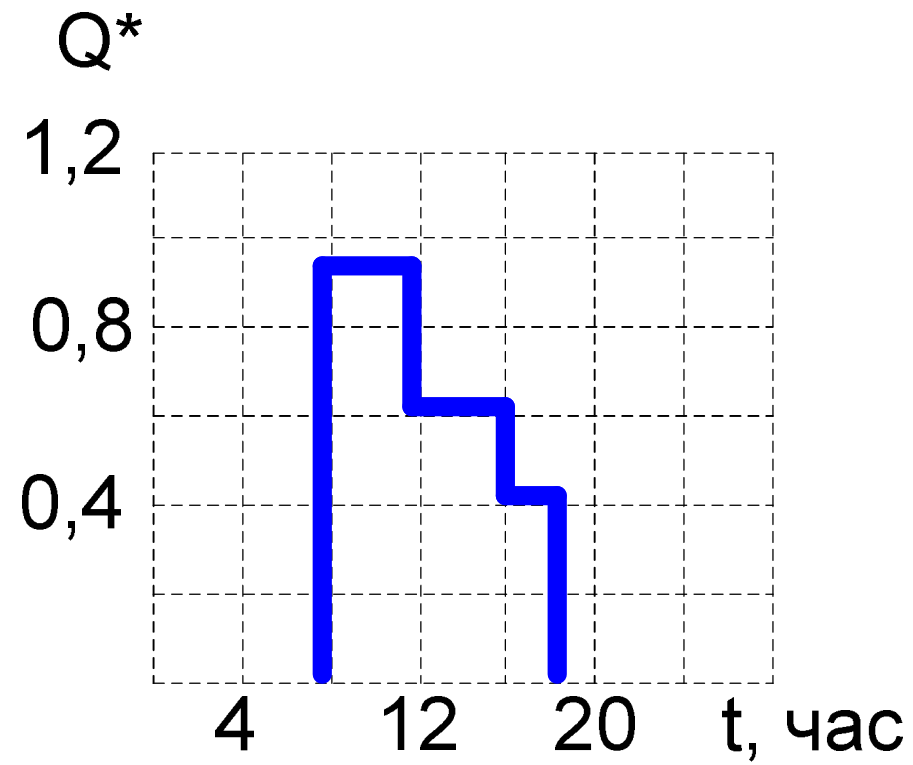
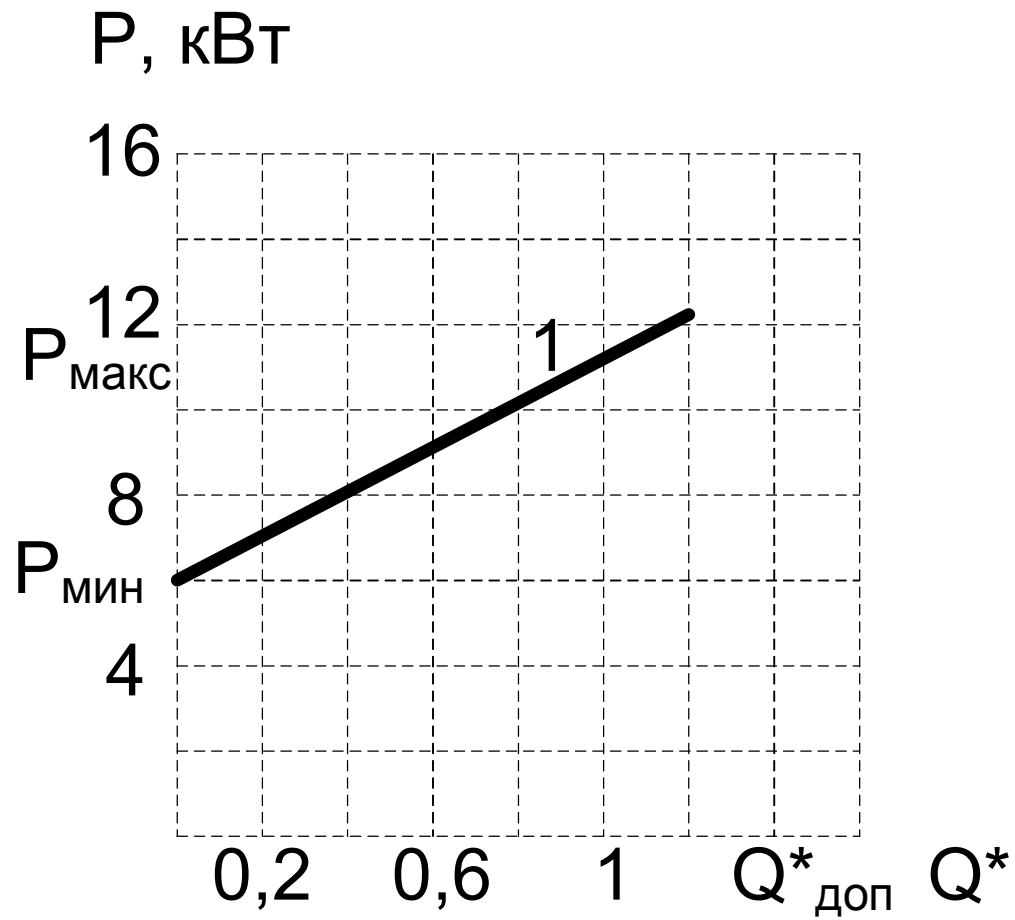


Рис. В.

Характеристика дросселирования



Решение

1. Находим требуемую мощность ЧРП:

$$P_{\text{пч}} = 1,1 \cdot P_{\text{макс}} = 1,1 \cdot 11 = 12,1 \text{ кВт.}$$

2. Выбираем $P_{\text{пч}} = 12 \text{ кВт.}$

3. Стоимость ЧРП:

$$C_{\text{пч}} = C_p \cdot P_{\text{пч}} = 8800 \cdot 12 = 105,6 \text{ тыс. руб.}$$

4. Строим зависимость $P(Q^*)$ - график 2 на рис. В.

Построена по формуле

$$P = P_{\text{макс}} (Q^*)^3 = 11 \cdot (Q^*)^3.$$

- $P_1 = 11 \cdot (0,4)^3 = 0,7$ кВт;
- $P_2 = 11 \cdot (0,6)^3 = 2,4$ кВт;
- $P_3 = 11 \cdot (0,9)^3 = 8$ кВт;
- $P_4 = 11 \cdot (1)^3 = 11$ кВт.

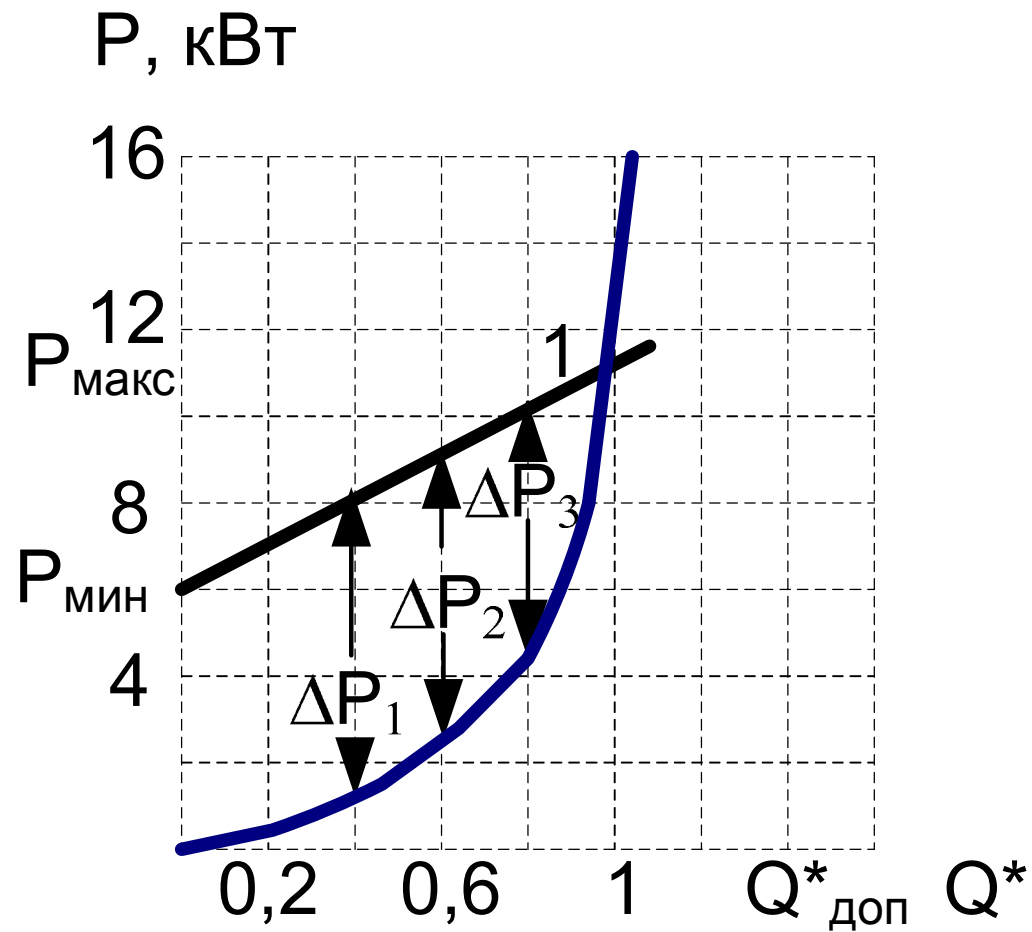
5. Допустимая производительность при полном использовании двигателя составит

$$P_{\text{ном}} = P_{\text{дв.ном}} / \eta_{\text{дв. ном}} = \\ = 15 / 0,92 = 16,3 \text{ кВт.}$$

6. Максимально-допустимая величина относительного расхода составит

$$Q^*_{\text{доп}} = 1,12, \text{ т.е. } Q^*_{\text{доп}} > 1.$$

7. По диаграмме $Q^*(t)$ на рис. А и кривым на рис. В определяем ΔP_1 , ΔP_2 , ΔP_3 .



8. Энергия, сэкономленная за цикл (сутки):

$$\Delta W_{\text{ц}} = \Delta P_1 t_1 + \Delta P_2 t_2 + \Delta P_3 t_3 =$$

$$= (8 - 0,7) \cdot 4 + 6,7 \cdot 4 + 2,5 \cdot 2 = 61 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

9. Энергия, сэкономленная за год :

$$\Delta W_{\text{год}} = \Delta W_{\text{ц}} \cdot D = 61 \cdot 240 =$$

$$= 14640 \text{ кВт}\cdot\text{ч/год.}$$

10. Простой срок окупаемости по электроэнергии

$$T'_{\text{ок}} = C_{\text{пч}} / (\Delta W_{\text{год}} * T_{\text{ээ}}) =$$

$$= 105600 / (14640 * 2,14) = 3,4 \text{ года.}$$

11. С учетом таких факторов, как - расходы на ремонт, увеличение срока службы и т.п. можно принять $k = 1,1$. Тогда

$$T_{\text{ок}} = T'_{\text{ок}} / k = 3,4 / 1,1 = 3,1 \text{ года.}$$

Расчет сроков окупаемости внедрения регулируемого электропривода

Определение укрупненных капиталовложений в ЧРП

1. Стоимость выбранного регулируемого электропривода $C_{\text{чрп}}$ согласно договорной цене фирмы – поставщика (на основании тендера).
2. Стоимость электротехнических устройств и КИП составляет ориентировочно 3-5 % от стоимости ЧРП.
3. Стоимость строительно-монтажных работ – 5-10% от стоимости оборудования.

4. Стоимость пуско-наладочных работ – 3-5% от стоимости оборудования.
5. Стоимость оборудования:

$$C_{\text{об.}} = C_{\text{рэл}} + (0,03 - 0,05) * C_{\text{рэл}}, \text{ тыс. руб.}$$

6. Капиталовложения в мероприятие:

$$K_{\text{рзп}} = C_{\text{об}} + (0,05-0,1) * C_{\text{об}} + (0,03-0,05) * C_{\text{об}},$$

тыс.руб.

7. Определение срока окупаемости мероприятия:

$$Cp_{\text{ок}} = K_{\text{рзп}} / (\Delta B * C_{\text{топл}}), \text{ лет.}$$

где $K_{\text{рзп}}$ – капиталовложения в мероприятие, тыс. руб.;

ΔB – экономия топлива от внедрения мероприятия, т у.т. (кВтч);

$C_{\text{топл}}$ – стоимость 1 т у.т. (кВтч) (тыс.руб.), уточняется на момент составления расчета.