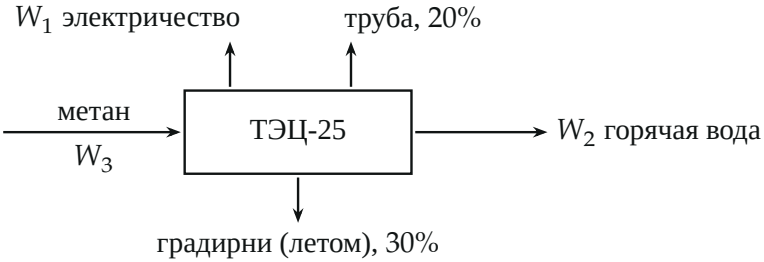
Тепловая электростанция ТЭЦ-25

Задача 8. [МОШ 2016/17, 8 класс, задача 8] В г. Москве в районе Очаково работает мощная тепловая электрическая станция с названием «ТЭЦ-25». Максимальная электрическая мощность этой станции составляет $W_1 = 1370$ МВт. Кроме выработки электроэнергии, эта станция может одновременно поставлять теплоту с мощностью $W_2 = 4088$ Гкал/ч для снабжения соседних районов города горячей водой и для обогрева домов. Станция работает на природном газе метане (CH_4), при сгорании $m_0 = 16$ г которого выделяется количество теплоты $Q = 797$ кДж. В атмосферу через трубы вместе с продуктами сгорания всегда выбрасывается 20% энергии, полученной в результате сгорания топлива. В летнем режиме, когда дома отапливать не нужно, станция работает на 80% своей максимальной электрической мощности, и при этом 30% выделившейся при сгорании метана теплоты всё равно приходится отводить в атмосферу при помощи испарения воды в специальных устройствах – градирнях. Удельная теплота парообразования воды $L = 2256$ кДж/кг, одна калория равна примерно 4,2 Дж.

1. Каков у станции расход топлива (в кг/с) зимой?
2. Каков КПД использования тепловой энергии при её преобразовании в электрическую зимой?
3. Какое количество воды ежесекундно превращается в пар (в л/с) в градирнях станции летом?
4. Какая мощность поставляется потребителям горячей воды в домах летом?



Поясняющий рисунок: потоки энергии станции.

▲ **Решение. Что происходит.** Вся энергия, выделившаяся при сгорании метана, делится на потоки: электричество, горячая вода городу, выброс в трубу (всегда 20% от полной мощности сгорания) и, летом, испарение воды в градирнях (30%). Мощности складываются в баланс. Зимой известны электрическая мощность и мощность отпуска тепла городу — из баланса находим полную мощность сгорания, по ней — расход газа и КПД. Летом полная мощность сгорания падает вместе с электрической, а то, что осталось после трубы, градирен и электричества, уходит потребителям. Класс задачи: тепловой баланс, мощность, КПД.

Обозначения. $W_1 = 1370$ МВт — максимальная электрическая мощность, W_2 — мощность отпуска тепла городу зимой, W_3 — полная мощность сгорания топлива зимой; W_1', W_3', W_2' — те же величины летом; W_4 — мощность, уходящая в градирни.

Пункты 1 и 2: зима.

1. Перевод в ватты. 1 Гкал $= 10^9$ кал $= 4{,}2 \cdot 10^9$ Дж, час $= 3600$ с:

$$W_2 = \frac{4088 \cdot 4{,}2 \cdot 10^9 \text{ Дж}}{3600 \text{ с}} \approx 4{,}77 \cdot 10^9 \text{ Вт} = 4769 \text{ МВт}.$$

2. Баланс энергии зимой. Закон сохранения энергии для станции за единицу времени: вся мощность сгорания W_3 расходуется на электричество W_1, теплоту городу W_2 и выброс в трубу $0{,}2\,W_3$:

$$W_3 = W_1 + W_2 + 0{,}2\,W_3 \quad \Rightarrow \quad W_3 = \frac{W_1 + W_2}{0{,}8}.$$

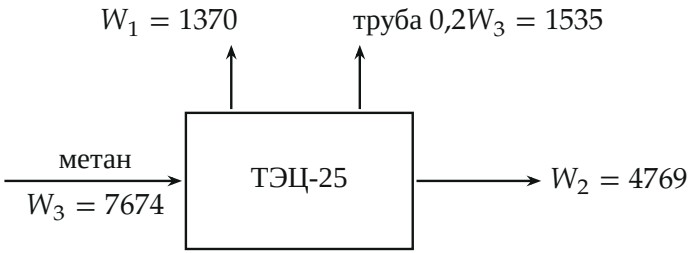
Числа: $W_3 = \dfrac{1370 + 4769}{0{,}8} \approx 7674$ МВт.

3. Расход топлива. При сгорании $m_0 = 16$ г выделяется $Q = 797$ кДж, то есть $q = \dfrac{Q}{m_0} = \dfrac{797 \text{ кДж}}{0{,}016 \text{ кг}} \approx 49{,}8$ МДж/кг. Расход $\mu = W_3/q$:

$$\mu = \frac{7674 \text{ МВт}}{49{,}8 \text{ МДж/кг}} \approx 154 \text{ кг/с}.$$

4. КПД зимой. Доля тепла топлива, превращённая в электричество:

$$\eta = \frac{W_1}{W_3} = \frac{1370}{7674} \approx 0{,}1785 = 17{,}85\%.$$



Потоки мощности зимой, МВт: вся мощность сгорания разделена на электричество, горячую воду городу и выброс в трубу.

Пункты 3 и 4: лето.

5. Мощность сгорания летом. Электрическая мощность $W_1' = 0{,}8\,W_1 = 1096$ МВт. Принимаем, что станция превращает в электричество ту же долю тепла топлива, что и зимой (η не изменился), поэтому

$$W_3' = \frac{W_1'}{\eta} = 0{,}8\,W_3 \approx 6139 \text{ МВт}.$$

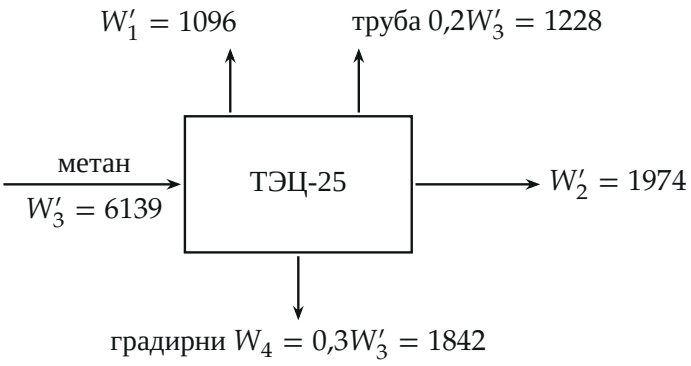
6. Градирни. Летом в атмосферу отводится 30% тепла сгорания испарением воды: $W_4 = 0{,}3\,W_3' \approx 1842$ МВт. Каждый килограмм воды при испарении забирает L, значит, в секунду испаряется

$$\mu_в = \frac{W_4}{L} = \frac{1842 \text{ МВт}}{2{,}256 \text{ МДж/кг}} \approx 816 \text{ кг/с} \approx 816 \text{ л/с}$$

(плотность воды 1 кг/л; при округлении КПД до 17,85% получается 816,5 л/с).

7. Горячая вода потребителям. Остаток от сгорания — в дома:

$$W_2' = W_3' - W_1' - 0{,}2\,W_3' - W_4 = 0{,}5\,W_3' - W_1' \approx 3070 - 1096 \approx 1974 \text{ МВт}.$$



Потоки мощности летом, МВт: добавились градирни, отпуск тепла в дома — остаток.

Обратите внимание. Потери в трубу — 20% от *полной* мощности сгорания, а не от электрической. Гкал/ч переводим в ватты (делим на 3600 с). Летом не нужно искать расход топлива заново через Q: достаточно, что электрическая мощность упала в 0,8 раза при том же КПД.

Проверка. Баланс зимой: $1370 + 4769 + 0{,}2 \cdot 7674 = 7674$ МВт — сходится. Летом: $1096 + 1974 + 1842 + 1228 = 6140$ МВт при $W_3' = 6139$ МВт (разница — округление). Размерность расхода: (Вт)/(Дж/кг) = кг/с. Смысл: летом отпуск тепла в дома (1974 МВт) почти втрое меньше зимнего (4769 МВт), а доля потерь в градирнях зато заметная — 30%.

Ответ. 1) расход топлива зимой ≈ 154 кг/с; 2) КПД $\approx 17{,}85\%$; 3) ≈ 816 л/с воды ($\approx 816{,}5$ л/с при округлении КПД до 17,85%); 4) потребителям летом ≈ 1974 МВт.