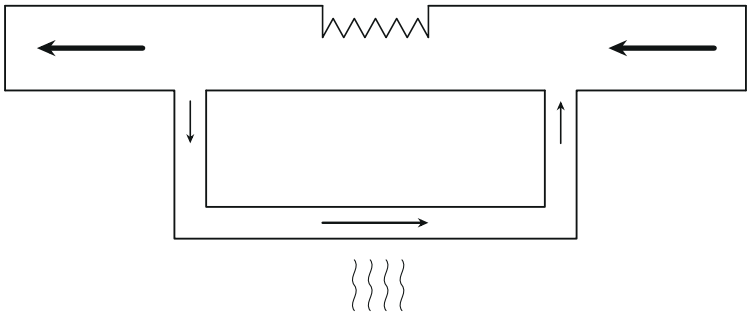
# Тепловая станция

**Задача 2.** [ИОШ 2022/23, 10 класс, задача 2] Тепловая станция нагревает воду для обеспечения небольшого микрорайона горячей водой. Для этого на станцию с помощью насосов подаётся вода, которая нагревается мощными нагревателями. Для обеспечения теплом самой станции часть потока нагретой воды проходит через помещения станции, охлаждается до первоначальной температуры и возвращается в поток воды, поступающий на станцию (см. рисунок). Известно, что если для обеспечения теплом самой станции используется десятая часть потока воды, то выходящая со станции вода нагревается на величину $\Delta T$. На какую величину $\Delta T_1$ нагреется вода на станции, если для обеспечения её теплом будет использоваться восьмая часть потока воды, нагреваемой нагревателем? Ответ обосновать.



▲ **Решение. Что происходит.** Это задача на тепловой баланс в установившемся режиме: температуры в каждой точке не меняются, вода нигде не копится, мощность нагревателя постоянна. Хитрость схемы — петля отопления: вода, прошедшая через помещения станции, остыла до исходной температуры и снова идёт через нагреватель. Поэтому через нагреватель течёт больше воды, чем уходит в микрорайон, и каждая её порция нагревается меньше. Чем больше доля петли, тем меньше нагрев.

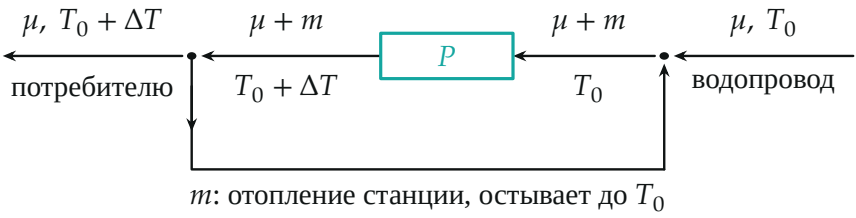
**Обозначения.** $T_0$ — температура воды из водопровода; $\mu$ — масса воды, поступающей на станцию (и уходящей с неё) за единицу времени; $m$ — масса воды, проходящей за единицу времени через отопление

станции; $P$ — мощность нагревателя; $c$ — удельная теплоёмкость воды; $k$ — доля потока через нагреватель, уходящая в отопление станции ($k = 1/10$, затем $k = 1/8$).

**1. Расходы в схеме.** Вода не копится и не теряется, поэтому со станции уходит столько же воды, сколько приходит: $\mu$ за единицу времени. Перед нагревателем к потоку из водопровода добавляется вернувшаяся из отопления вода, значит, через нагреватель течёт $\mu + m$. После нагревателя этот поток делится: $m$ — в отопление, $\mu$ — потребителю. По условию в отопление идёт доля $k$ потока через нагреватель:

$$m = k(\mu + m) \quad \Rightarrow \quad \mu + m = \frac{\mu}{1-k}.$$

При $k = 1/10$ получаем $\mu + m = \frac{10}{9}\mu$, при $k = 1/8$ получаем $\mu + m = \frac{8}{7}\mu$.




*Расходы воды за единицу времени и температуры в схеме станции: через нагреватель идёт больше воды, чем уходит потребителю.*

**2. Температура перед нагревателем.** Вода из водопровода имеет температуру $T_0$, вода из отопления остыла тоже до $T_0$, поэтому их смесь перед нагревателем имеет температуру $T_0$. После нагревателя вся вода имеет температуру $T_0 + \Delta T$ — такая же уходит и потребителю, и в отопление.

**3. Уравнение теплового баланса нагревателя.** За единицу времени нагреватель отдаёт воде $P$, и эта теплота идёт на нагрев всей проходящей через него воды от $T_0$ до $T_0 + \Delta T$:

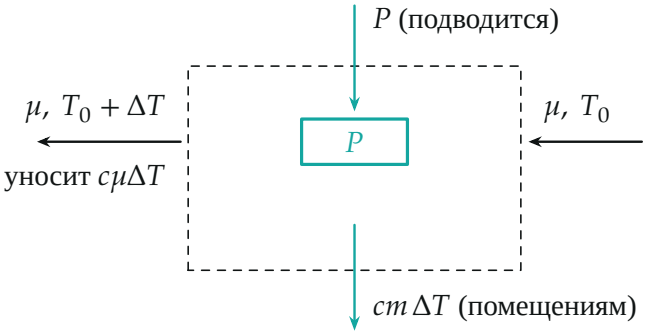
$$P = c(\mu + m)\Delta T = \frac{c\mu\,\Delta T}{1-k} \quad \Rightarrow \quad \Delta T = \frac{(1-k)P}{c\mu}.$$

Мощность нагревателя и расход воды на станцию в обоих случаях одни и те же — меняется только доля $k$. Нагрев воды линейно убывает с ростом $k$.

**4. Второй способ — баланс всей станции.** Обведём всю станцию вместе с отоплением. Внутрь приходит $P$, наружу уходит теплота с горячей водой потребителю $c\mu\Delta T$ и теплота, отданная помещениям станции, $cm\Delta T$ (вода в петле остывает на $\Delta T$):

$$P = c\mu\Delta T + cm\Delta T = c(\mu + m)\Delta T,$$

то же уравнение.

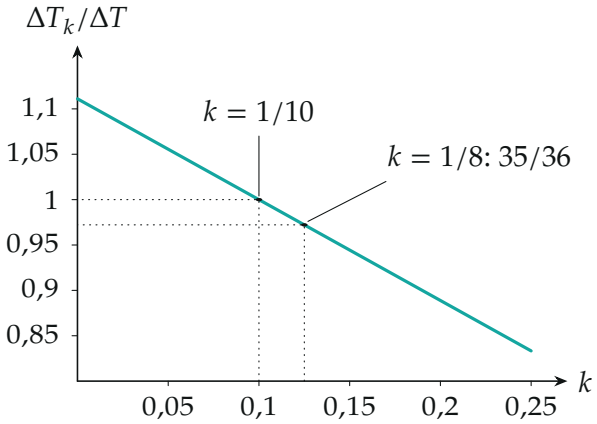



*Баланс энергии для всей станции (пунктир): подведённая мощность $P$ уходит с горячей водой потребителю и в помещения станции.*

**5. Отношение нагревов.** Запишем результат п. 3 для двух случаев и поделим:

$$\frac{\Delta T_1}{\Delta T} = \frac{1 - \frac{1}{8}}{1 - \frac{1}{10}} = \frac{7/8}{9/10} = \frac{35}{36} \approx 0{,}97.$$

Нагрев уменьшился на $1/36$ (меньше чем на 3 %): в отопление станции уходит больше нагретой воды, и та же мощность делится на больший поток через нагреватель.




*Нагрев воды в зависимости от доли $k$ потока на отопление станции (в единицах $\Delta T$): прямая $(1-k)/0{,}9$; точки — два случая задачи.*

**Обратите внимание.** Доля $k$ в условии отсчитывается от потока через нагреватель, а не от потока из водопровода: «десятая часть потока» — это $m = (\mu + m)/10$, то есть $m = \mu/9$, а не $\mu/10$.

**Ответ.** $\Delta T_1 = \dfrac{1-1/8}{1-1/10}\,\Delta T = \dfrac{35}{36}\,\Delta T \approx 0{,}97\,\Delta T$.

**Проверка.** Размерность: отношение температур безразмерно. Предел: при $k \to 0$ (станция не греется) вся мощность идёт потребителю, $\Delta T = P/(c\mu)$ — максимальный нагрев; при $k \to 1$ вся вода крутится в петле, потребителю нагретой воды не достаётся, $\Delta T \to 0$. Знак: $k$ выросло с $1/10$ до $1/8$ — нагрев уменьшился, $\Delta T_1 < \Delta T$.

**Физический смысл.** Чем больше горячей воды станция тратит на себя, тем меньше нагрев воды, уходящей потребителю, при той же мощности нагревателя.

**Ответ.** $\Delta T_1 = \dfrac{35}{36}\,\Delta T \approx 0{,}97\,\Delta T$.