

Физика-7

Урок 13-14 От пара к пользе: Турбина, КПД и тайна холодильника

Цель урока: Понять, как работает паровая турбина, научиться оценивать эффективность тепловых двигателей и выяснить, зачем любому двигателю нужен «холодильник».

1. Введение

Ребята, мы уже знаем, что внутреннюю энергию топлива (пара) можно превратить в механическую работу. Самый простой пример — поршневой двигатель. Но у него есть недостатки: он громоздкий, создаёт вибрацию и имеет ограниченную мощность.

А что если заставить пар вращать вал напрямую, без поршня? Представьте себе водяную мельницу, только вместо воды — струя пара. Как вы думаете, это возможно?

2. Паровая турбина

Теория:

Паровая турбина — это тепловой двигатель, в котором пар не давит на поршень, а бьёт в лопатки, заставляя колесо (ротор) вращаться.

Устройство:

Неподвижные сопла: В них пар расширяется, его давление падает, а скорость (кинетическая энергия) бешено растёт.

Рабочие лопатки: Закреплены на вращающемся диске (роторе). Струя пара, вылетая из сопел, ударяет в эти лопатки и отдаёт им свою энергию.

Вал: Соединён с ротором и передаёт вращение генератору электрического тока или винту корабля.

Принцип работы:

Потенциальная энергия сжатого пара → Кинетическая энергия струи пара → Механическая энергия вращения турбины.

Интересный факт:

КПД современных паровых турбин на тепловых электростанциях может достигать 40-45%, а их мощность — до 1,5 миллионов киловатт (это как 1,5 миллиона пылесосов!). Лопатки турбины вращаются со скоростью 3000 оборотов в минуту, и их балансируют с ювелирной точностью, иначе турбину просто разорвёт от вибрации.

3. КПД теплового двигателя

Теория:

Любой тепловой двигатель работает по замкнутому циклу. Ему нужно:

Нагреватель — сжигает топливо и отдает энергию Q_1 рабочему телу (пару, газу).

Рабочее тело — пар или газ — совершает полезную работу A , расширяясь.

Холодильник — забирает остатки энергии Q_2 , чтобы охладить пар/газ и вернуть его в исходное состояние (для нового цикла).

Без холодильника двигатель не сможет работать циклически!

Формула КПД: $\eta = Q_1 / A \times 100\%$

Но так как $A = Q_1 - Q_2$ (энергия нагревателя минус энергия, выброшенная в холодильник), то:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \times 100\% = \left(1 - \frac{Q_2}{Q_1}\right) \times 100\%$$

Нагреватель — даёт энергию (дорогое топливо).

Холодильник — забирает энергию (потери).

Работа — то, ради чего все затевалось.

Почему КПД не может быть 100%? Потому что часть энергии неизбежно уходит в холодильник (в атмосферу, в охлаждающую воду). Это плата за цикличность работы.

4. Решение задач

Задача 1 (Простая, на понимание КПД)

В идеальном тепловом двигателе нагреватель передал газу 80 кДж энергии. При этом газ совершил полезную работу 20 кДж.

1. Какое количество теплоты отдано холодильнику?

2. Чему равен КПД двигателя?

• Решение:

1. $Q_1 = 80 \text{ кДж}, A = 20 \text{ кДж}.$

$Q_2 = Q_1 - A = 80 - 20 = 60 \text{ кДж}.$

2. $\eta = \frac{A}{Q_1} \times 100\% = \frac{20}{80} \times 100\% = 25\%.$

Задача 2 (Паровая турбина)

Паровая турбина мощностью 50 МВт работает с КПД 25%. Какое количество теплоты каждую секунду получает турбина от нагревателя?

• Решение:

Мощность $N = 50 \text{ МВт} = 50 \times 10^6 \text{ Вт}$. Это и есть работа A , совершаемая за 1 секунду.

КПД $\eta = 0,25$.

Формула: $\eta = \frac{A}{Q_1} \rightarrow Q_1 = \frac{A}{\eta}.$

$Q_1 = \frac{50 \times 10^6}{0,25} = 200 \times 10^6 \text{ Дж} = 200 \text{ МДж}.$

(Это огромная энергия, сравнимая со взрывом нескольких десятков килограммов тротила каждую секунду!).

5. Интересные факты Про холодильник в двигателе. Самым первым холодильником для паровой машины была простая лужа или река. Воду из реки использовали для охлаждения отработанного пара, превращая его обратно в воду (конденсируя). Именно поэтому все старые заводы строили на берегах рек.

Про КПД. КПД первых паровых машин Ньюкомена (18 век) был меньше 1%. Это значит, что из 100 мешков угля только 1 мешок работал полезно, а 99 сжигались впустую.

Про турбины. Самая мощная в мире паровая турбина может давать столько энергии, сколько вырабатывают 1000 ветряных турбин вместе взятых. Но она не работает без постоянного потока пара.

Холодильник в доме. Обычный компрессорный холодильник на кухне — это тоже тепловой двигатель, работающий "наоборот". Он не сам создаёт холод, а "выкачивает" тепло из камеры наружу (задняя стенка холодильника горячая именно поэтому).

6. Вопросы для обсуждения

Почему лопатки турбины делают из специальных жаропрочных сплавов, а не из обычной стали?

Можно ли создать вечный двигатель, если отключить холодильник и возвращать весь пар обратно в котёл?

(Ответ: Нет, так как по второму закону термодинамики невозможен самопроизвольный переход тепла от холодного тела к горячему без затрат работы извне).

Что будет, если в холодильнике двигателя температура будет такая же, как в нагревателе? (Тогда работа не будет совершаться вообще).

Домашнее задание:

Придумать, как можно было бы использовать "бросовое" тепло Q_2 от тепловой электростанции (например, для обогрева теплиц или плавательных бассейнов). Это называется утилизация тепла.