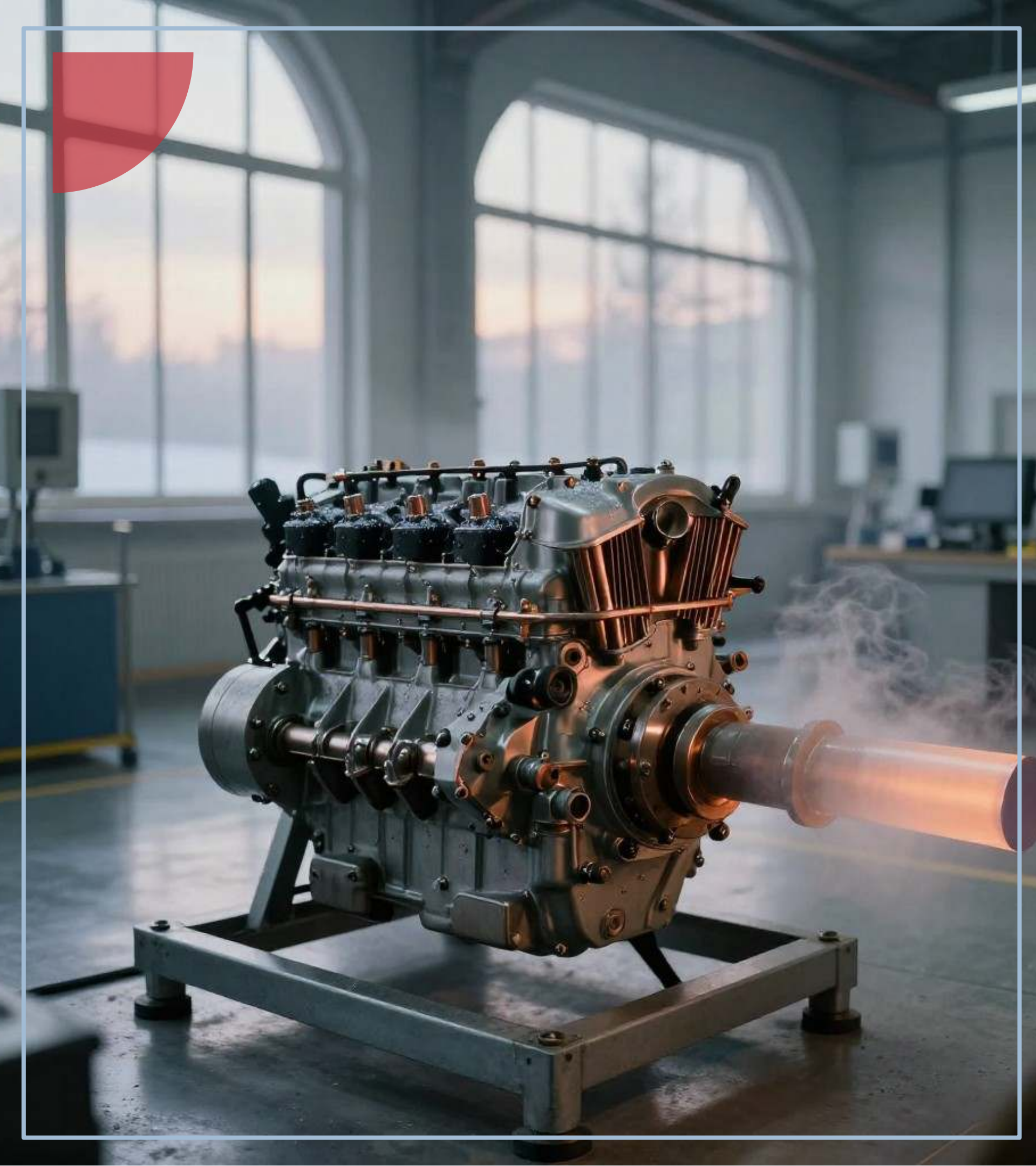


# Тепловые двигатели: как теплота превращается в движение

Теплота от топлива или нагретого рабочего тела превращается в механическую работу.





# Почему тепловые двигатели стали важнейшим изобретением

Нужда в более мощной и «самостоятельной» энергии привела к развитию тепловых двигателей в XVIII–XIX веках. Паровая машина Джеймса Уатта запустила фабрики, шахты и железные дороги, затем появились ДВС, турбины и реактивные системы. Их общий принцип — расширение рабочего тела под действием теплоты.

# Принцип действия теплового двигателя

В конструкции есть нагреватель, рабочее тело и холодильник. Рабочее тело получает теплоту, нагревается и расширяется, создавая механическую работу.

После совершения работы часть энергии не «исчезает», а передаётся холодильнику. Тепло отводится, чтобы подготовить рабочее тело к следующему повторению процесса.

Непрерывность работы обеспечивается циклом: нагрев, расширение, охлаждение и затем сжатие. Именно повторяемость стадий превращает поток теплоты в устойчивое движение.

# Рабочее тело и термодинамический цикл

Роль рабочего тела выполняют газ, пар или продукты сгорания топлива. От их состояния зависят давление, температура и способность совершать работу.

На диаграммах  $p$ – $V$  и  $T$ – $S$  видно соотношение «полезной» части и потерь: какая доля теплоты превращается в работу, а какая уходит в холодильник.

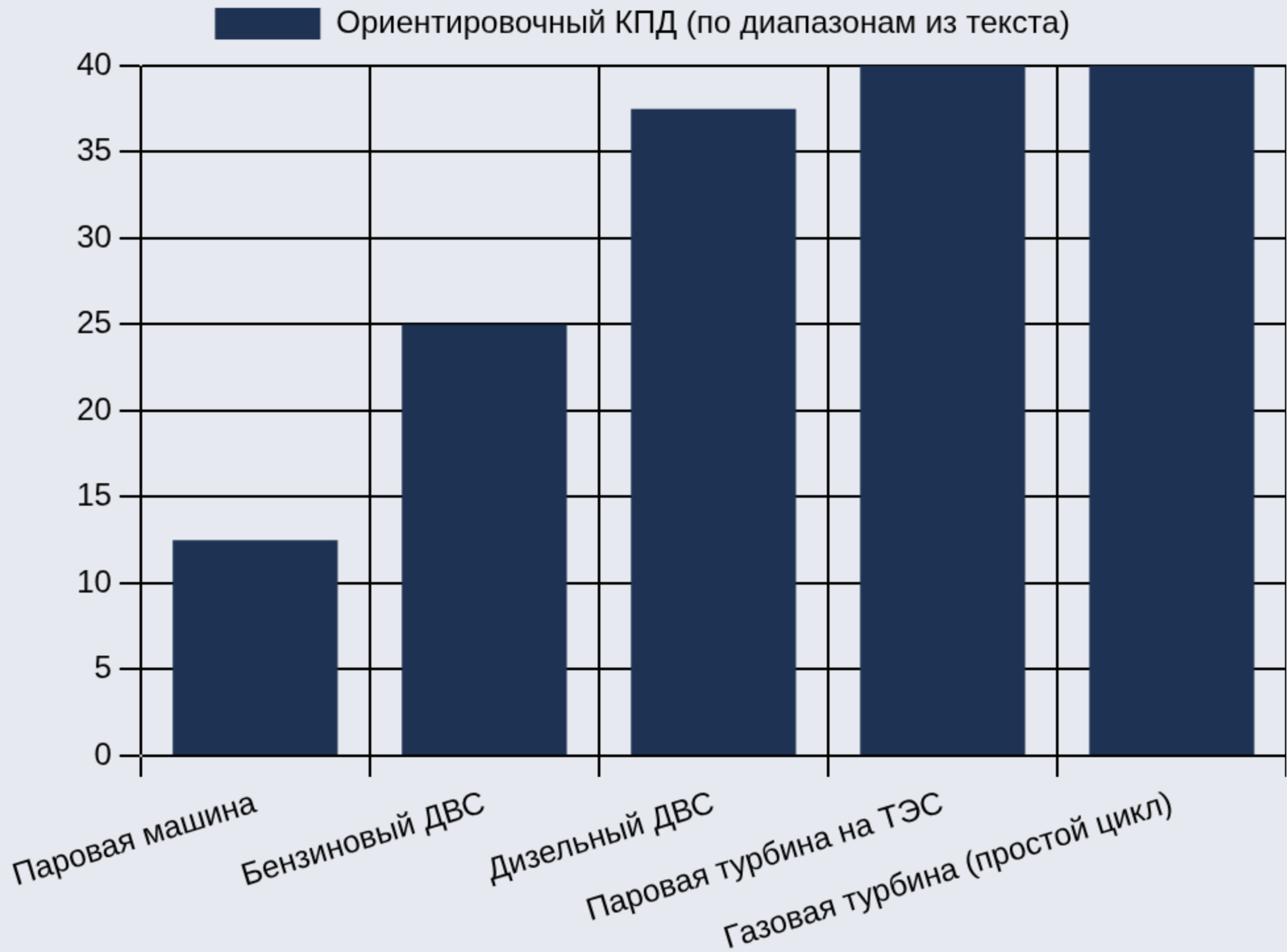
Термодинамический цикл — это повторяющийся набор стадий: нагрев, расширение, охлаждение и сжатие. Разные двигатели реализуют разные последовательности и условия.

По площади, ограниченной линиями цикла на диаграмме  $p$ – $V$ , можно судить о величине совершённой работы: больше «занимаемая» площадь — больше полезный эффект.

# Сравнение КПД различных тепловых двигателей

Значения на столбиках взяты как середины указанных диапазонов и служат ориентиром, чтобы сравнить порядок величин.

Рост КПД связан прежде всего с более высокими температурами рабочего тела и снижением тепловых потерь, но ограничения термодинамики сохраняются для всех двигателей.



Данные из школьного курса физики (диапазоны КПД: паровая машина 10–15%, бензиновый 20–30%, дизельный 30–45%, паровая турбина 35–45%, газовая турбина до 40%).

# 100%

Даже идеальный двигатель не может превратить всю теплоту в работу, поэтому КПД всегда меньше полного «полного» значения.

Максимальный КПД задаётся формулой  $\eta = 1 - T_2/T_1$ . При конечной разнице температур результат неизбежно меньше 100%.

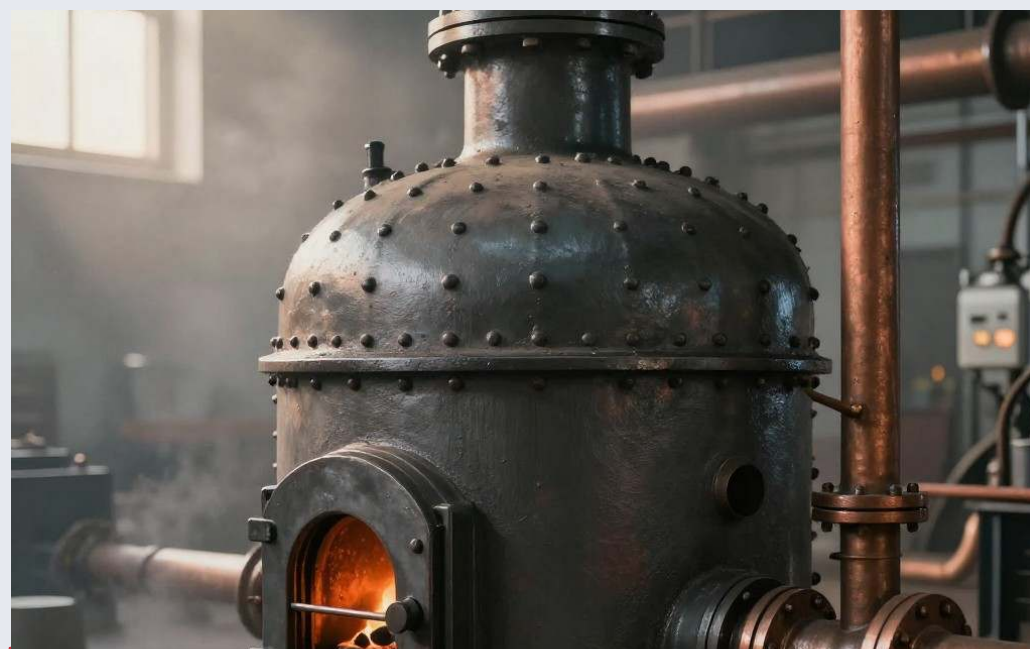
*Второй закон термодинамики и вывод предела Карно  
(школьный курс физики).*

# Паровая машина — первый массовый тепловой двигатель



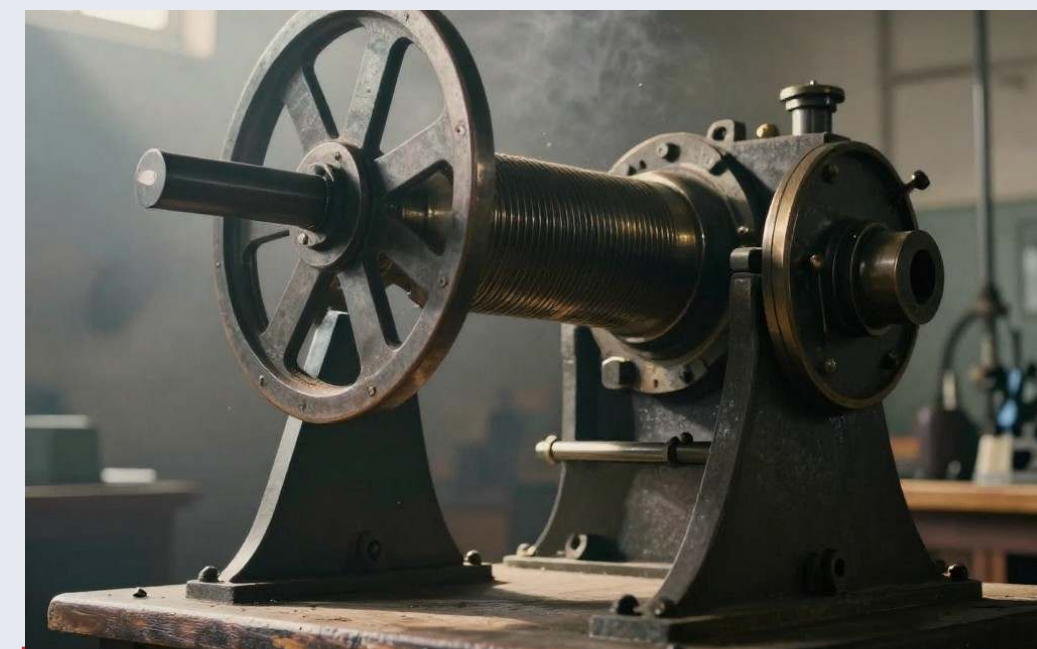
## Паровоз, который изменил расстояния

Паровые машины XIX века работали на угле и приводили в движение паровозы и суда. Давление пара толкало поршень, а движение передавалось механизмам. Это сделало дальние перевозки регулярными и ускорило развитие городов и торговли.



## Уголь, котёл и промышленная скорость

На фабриках и в шахтах пар становился «двигателем» производства. Машина позволяла получать устойчивую мощность и приводить в действие станки. Предприятия быстрее наращивали выпуск, а индустриальная эпоха стала ощутимой в повседневной жизни людей.



## Паровая машина Уатта как технологический прорыв

Технические решения сделали паровой привод практичным и экономичным для массового использования. Исторические примеры связаны с именем Джеймса Уатта и с распространением поршневых установок. Визуально хорошо передают паровая машина и промышленный цех XIX века.

# Двигатель внутреннего сгорания



## Сгорание внутри цилиндра

Топливо воспламеняется прямо в цилиндре. Расширяющиеся газы толкают поршень и превращаются в механическое движение коленчатого вала.



## Циклы Отто и Дизеля

Бензиновые двигатели часто связывают с циклом Отто, а дизельные — с циклом Дизеля. Различается способ воспламенения и особенности рабочих процессов.



## Компактность и высокая удельная мощность

Такая схема помогает получить большую мощность при сравнительно небольших размерах и массе. Поэтому ДВС широко используют в транспорте.

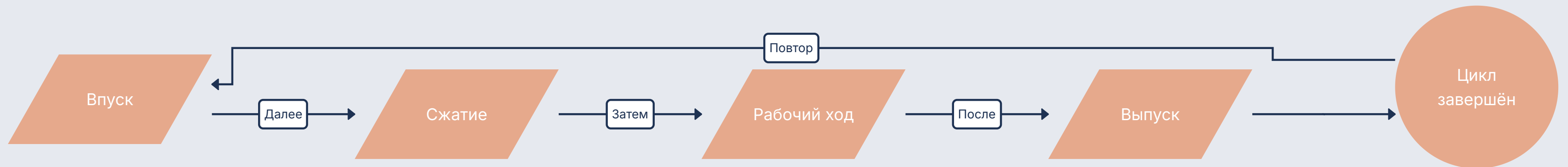


## Где теряется энергия

Значимые потери связаны с нагревом деталей, выхлопными газами и трением. Поэтому полезная работа всегда меньше энергии топлива.

# Четырехтактный цикл ДВС

Последовательность тактов: впуск → сжатие → рабочий ход → выпуск; полный цикл завершается за два оборота коленчатого вала.



# Паровые и газовые турбины

## Паровая турбина в тепловой энергетике

Энергия перегретого пара раскручивает турбину, а вал приводит в действие генератор. Так теплота топлива сначала становится механическим вращением.

## Газовая турбина в энергетике

Горячие газы непосредственно вращают турбину, что делает систему пригодной для работы в энергетических комплексах. Высокие скорости вращения поддерживаются правильно подобранными материалами.

## Уточнение для атомных станций

В атомной энергетике пар получают за счёт тепла реактора. Паровые турбины продолжают оставаться ключевым способом преобразования энергии в электричество.

## Газовая турбина в авиации

В авиации турбина обеспечивает тягу за счёт работы в системе с ускорением газового потока. Здесь важны отношение мощности к массе и устойчивость на режимах.

# Основные типы тепловых двигателей: сравнение

Сопоставим ключевые параметры: источник энергии, тип рабочего процесса, типичные области применения и ориентировочный КПД. На этой основе удобно понять, почему выбор двигателя определяется задачей, условиями работы и доступным топливом.

Чем выше температурный уровень рабочего тела и совершеннее организация процесса, тем выше КПД; однако реальные ограничения всегда сохраняются из-за потерь и необратимостей.

| Тип двигателя                  | Источник энергии              | Применение                     | Ориентировочный КПД |
|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------|
| Паровая машина                 | Уголь (пар)                   | Фабрики, локомотивы XIX века   | 10–15%              |
| Двигатель внутреннего сгорания | Бензин, дизель, газ (топливо) | Автомобили, грузовой транспорт | 20–45%              |
| Турбина                        | Пар или горячие газы          | Электростанции, авиация        | 35–45%              |

# Куда уходит энергия топлива

Даже при исправной работе двигателя часть энергии неизбежно уходит в тепло: это и нагрев деталей, и тепловой поток с выхлопом, и потери на трение.

Диаграмма показывает, что полезная работа всегда меньше суммарных потерь, поэтому КПД реальных тепловых машин ограничен физическими причинами.



Обобщённое учебное описание структуры потерь в тепловых двигателях; доли указаны как качественные/условные для наглядности (без привязки к точным замерам).

# Почему КПД не может быть равен 100%

01

Второй закон термодинамики запрещает полное превращение теплоты в работу: часть энергии обязательно должна перейти к менее нагретой среде, даже если процесс протекает правильно.

02

Для работы теплового двигателя нужны два температурных уровня — нагреватель и холодильник. Разность температур создаёт «движущую силу», но передача тепла в холодильник неизбежна.

03

Дополнительные необратимости усиливают потери: трение между деталями, сопротивление движению газов, турбулентность, утечки тепла и неполное сгорание топлива уменьшают долю полезной работы.

# Тепловые двигатели в транспорте

+ Автомобили, автобусы, грузовики, тепловозы, корабли, самолёты и ракеты используют тепловые двигатели разных типов: выбор определяется требуемой тягой, ресурсом и условиями эксплуатации.

+ Реактивный двигатель создаёт тягу за счёт выброса горячих газов назад с большой скоростью: чем эффективнее преобразование энергии в скорость потока, тем выше тяга.

+ Для транспорта особенно важны удельная мощность и масса установки, реальная надёжность в режимах разгона и длительной работы, а также запас топлива и логистика дозаправки.

+ Тепловые двигатели сделали возможными дальние перевозки и массовую мобильность, потому что обеспечивают большой запас энергии в топливе и работают в широком диапазоне скоростей.



# Тепловые двигатели в энергетике

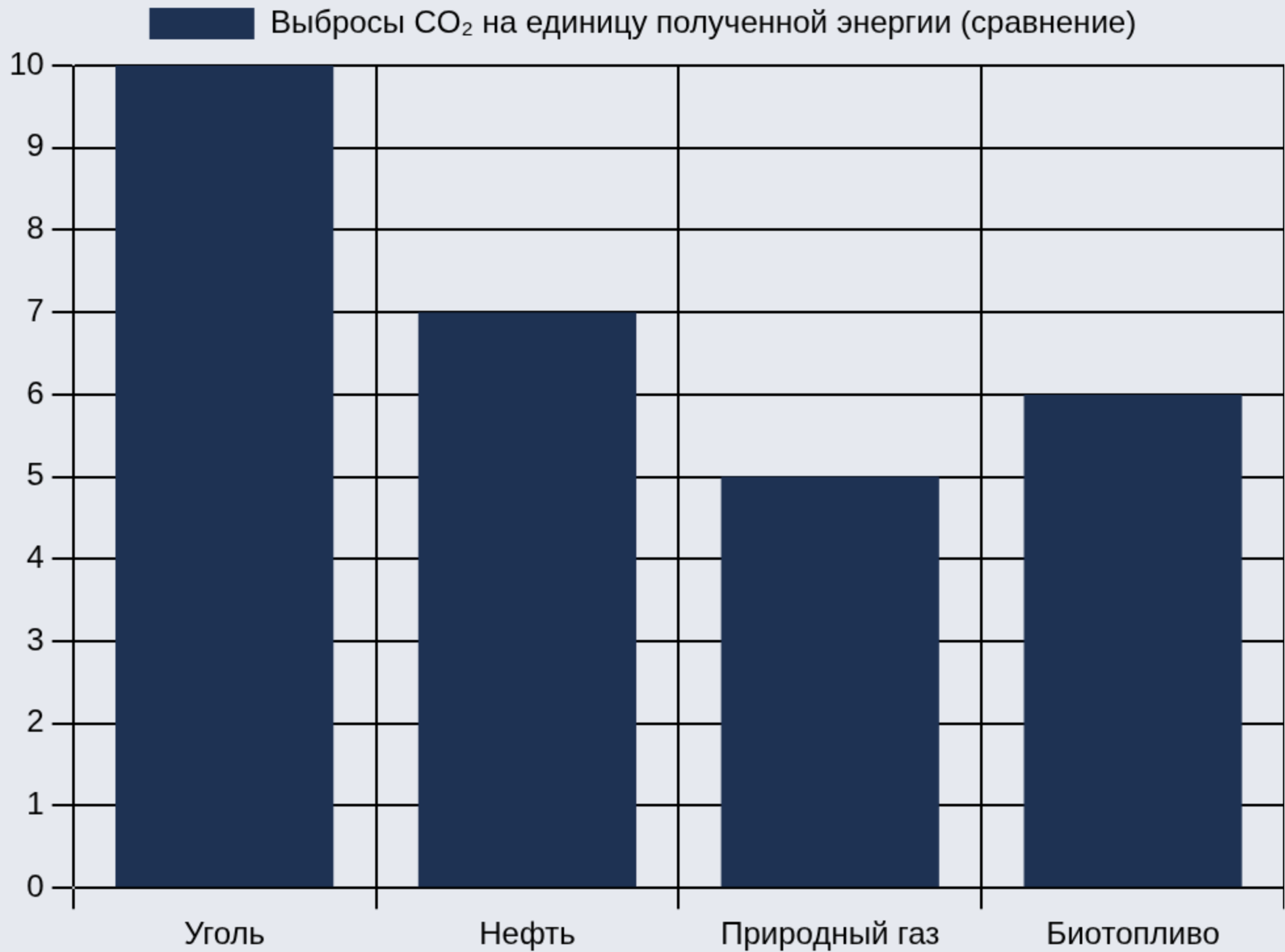
На тепловых электростанциях химическая энергия топлива сначала превращается в теплоту, затем рабочее тело запускает турбину, и уже вращение турбины приводит в действие генератор.

Паровые и газовые турбины работают как «преобразователи потока» энергии: тепловая энергетика остаётся ключевой основой энергоснабжения, но требует повышения эффективности и контроля выбросов.

# Топливо и выбросы углекислого газа

Биотопливо может как снижать, так и увеличивать экологическую нагрузку: итог зависит от выращивания сырья, переработки, логистики и полного жизненного цикла.

Сравнение показывает устойчивую тенденцию: уголь даёт наибольшие выбросы, нефть — промежуточные, природный газ — меньшие; для биотоплива результат неоднозначен.



Обобщённые учебные данные о выбросах CO<sub>2</sub> по жизненному циклу; значения представлены как сравнительные индексы для наглядности.

# Экологические и социальные последствия использования тепловых двигателей



## Загрязнение воздуха

Тепловые двигатели увеличивают выбросы парниковых газов и вредных веществ, ухудшая качество воздуха. Наиболее значимы продукты сгорания: углекислый газ, оксиды азота, оксиды серы и частицы.



## Шум и локальное воздействие

Помимо выбросов, транспортные и энергетические установки создают шум и локальное загрязнение. Эти факторы влияют на самочувствие и качество жизни жителей рядом с магистралями и объектами энергетики.



## Требования к контролю и модернизации

Рост экологических требований стимулирует очистку выбросов, повышение эффективности и обновление оборудования. Без мер по снижению потерь и фильтрации загрязнители накапливаются в среде.

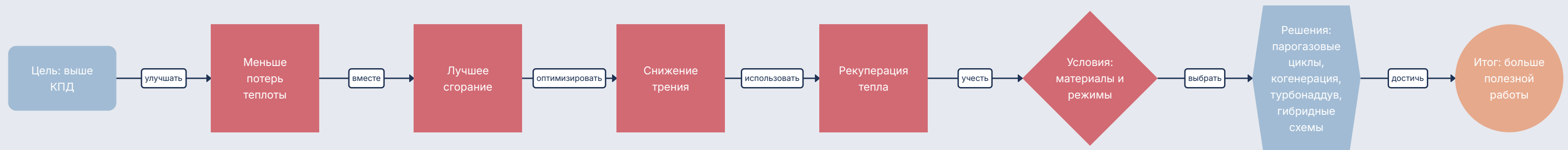


## Влияние на здоровье и климат

Вредные примеси ухудшают здоровье, а накопление парниковых газов способствует изменению климата. Социальные последствия отражаются и на экономике, и на долгосрочных рисках.

# Пути повышения эффективности тепловых двигателей

Схема показывает, как разные инженерные решения уменьшают потери и повышают долю полезной работы.



# Современные альтернативы и границы применения

01

Электродвигатели постепенно вытесняют тепловые в части городского транспорта: у них высокий КПД и нет локальных выхлопов, а обслуживание часто проще благодаря отсутствию сложного процесса горения.

02

Однако тепловые двигатели остаются крайне важными в авиации, тяжёлом грузовом транспорте, морских перевозках и крупной энергетике: там критичны дальность действия и энергетическая ёмкость топлива.

03

Ограничением служит не только КПД, но и плотность энергии топлива, скорость заправки или перегрузки и требования к массе и объёму энергетической установки.

# Тепловые двигатели: мощная технология с физическими пределами

Тепловые двигатели лежат в основе промышленности, транспорта и энергетики, но их КПД ограничен вторым законом термодинамики: потери полностью устранить невозможно. Будущее — рост эффективности и более чистые источники энергии.

