

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО
СГОРАНИЯ**Сулейманова Мукаддас Бахтияровна,***старший преподаватель кафедры**«Горная электромеханика»**Навоийского государственного**горно-технологического университета***Худойбердиев Лочин Некович,***и.о. доцента кафедры «Горная электромеханика»**Навоийского государственного**горно-технологического университета*

Аннотация. В статье рассматриваются экологические аспекты работы двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Проведён анализ вредных выбросов, таких как CO_2 , NO_x , CH и CO . Приведены формулы для расчёта выбросов и коэффициента полезного действия двигателя. Рассмотрены современные методы снижения токсичности: каталитическая нейтрализация, системы EGR, SCR, DPF, а также использование альтернативных видов топлива (метан, пропан-бутан, биотопливо). Отдельное внимание уделено сравнительному анализу бензиновых, дизельных и гибридных двигателей.

Ключевые слова: ДВС, экология, выбросы, каталитический нейтрализатор, КПД, топливо, Евро-6, биотопливо.

Введение: Двигатели внутреннего сгорания (ДВС) на протяжении более века являются основным источником механической энергии для транспорта и промышленности.

Однако их эксплуатация сопровождается выбросами вредных веществ, влияющих на состояние атмосферы, климата и здоровья человека. Основными направлениями экологического совершенствования ДВС являются:

- снижение количества выбросов CO_2 и NO_x ;

- повышение полноты сгорания топлива;
- применение систем очистки выхлопных газов;
- переход на экологически чистые виды топлива.

В современном мире, где вопросы изменения климата выходят на первый план, требования к экологичности автомобилей постоянно ужесточаются. Введение норм «Евро» стало одним из важнейших шагов в ограничении выбросов транспортных средств.

1. Историческое развитие экологических стандартов

Первые экологические нормы для автотранспортных средств начали разрабатываться в США в 1960-х годах. В Европе стандарты получили обозначение «Евро» и начали действовать с 1992 года.

В результате введения стандартов Евро количество токсичных выбросов транспортных средств снизилось более чем в 5 раз по сравнению с 1990-ми годами.

Основные загрязняющие вещества и их характеристики

В процессе работы двигателя внутреннего сгорания образуется большое количество побочных продуктов сгорания топлива. Главными загрязняющими веществами являются:

Оксид углерода (CO) — образуется при неполном сгорании топлива. Бесцветный и без запаха газ, который при вдыхании блокирует перенос кислорода в крови.

Углеводороды (CH) — результат неполного сгорания углеводородов топлива. Способствуют образованию фотохимического смога и оказывают канцерогенное действие.

Оксиды азота (NO_x) — образуются при высоких температурах сгорания. Являются причиной кислотных дождей и загрязнения озонового слоя.

Углекислый газ (CO₂) — основной парниковый газ, влияющий на глобальное потепление.

Для оценки экологических характеристик ДВС используются следующие зависимости.

Расчёт массы выбросов CO₂

Масса выделяемого углекислого газа рассчитывается по формуле:

$$m_{CO_2} = m_t \times \omega_a \times \frac{44}{12}$$

где:

- m_t — масса топлива, кг;
- ω_a — массовая доля углерода в топливе;
- 44 и 12 — молярные массы CO₂ и C соответственно.

Если двигатель сжигает 5 кг топлива с содержанием углерода 85%, тогда:

$$m_{CO_2} = 5 \times 0.85 \times \frac{44}{12} = 15.6 \text{ кг/ч}$$

Коэффициент полезного действия (КПД) двигателя определяется как:

$$\eta = \frac{N_e \times 3600}{G_t \times Q_n}$$

где:

N_e — эффективная мощность, кВт;

G_t — расход топлива, кг/ч;

Q_n — теплота сгорания топлива, кДж/кг.

Сравнение выбросов различных видов топлива

Ниже приведена таблица-1, показывающая различия в уровне выбросов при работе двигателя на разных видах топлива.

Таблица-1

Вид топлива	CO ₂ (г/км)	NO _x (г/км)	CH (г/км)	CO (г/км)
Бензин	250	0.08	0.05	0.70

Дизель	200	0.20	0.03	0.40
Газ (метан)	180	0.05	0.01	0.10
Биотопливо	120	0.04	0.02	0.15

Как видно, использование биотоплива и газового топлива существенно снижает уровень выбросов CO_2 и CO , что делает их наиболее экологичными альтернативами.

Графическая зависимость выбросов CO_2 от расхода топлива

Связь между расходом топлива и объёмом выбросов CO_2 носит практически линейный характер:

$$\text{CO}_2 = 3.1 \times x + 1.5$$

где x — расход топлива (л/ч). Увеличение расхода топлива приводит к росту массы выбросов.

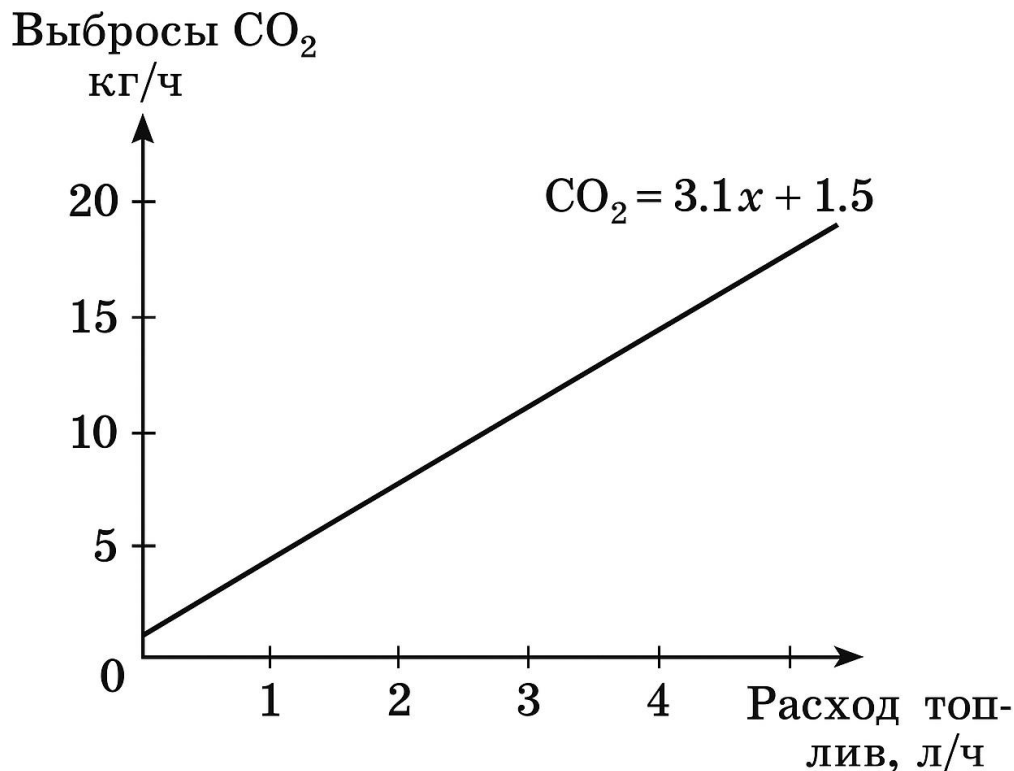


Рис. 1 – Зависимость выбросов CO_2 от расхода топлива

Современные двигатели внутреннего сгорания оснащаются системами, позволяющими значительно снизить количество вредных выбросов. Наиболее распространённые из них:

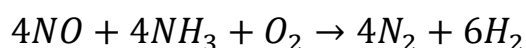
Система EGR (Exhaust Gas Recirculation) возвращает часть выхлопных газов обратно во впускной коллектор. Это снижает температуру горения и уменьшает образование оксидов азота (NO_x).

Формула снижения концентрации NO_x при использовании системы EGR:

$$NO_{x_EGR} = NO_0 \times (1 - k_{EGR})$$

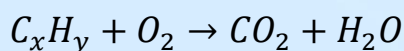
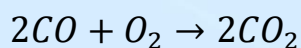
где k_{EGR} — коэффициент эффективности рециркуляции (0.15–0.25).

Система SCR (Selective Catalytic Reduction) используется в дизельных двигателях. В выхлоп вводится раствор мочевины (AdBlue), который реагирует с оксидами азота:



В результате вредные оксиды азота (NO_x) превращаются в безвредные азот и водяной пар. Эффективность таких систем достигает 85–90%.

DPF-фильтр (Diesel Particulate Filter) применяется для улавливания сажи и микрочастиц. Он задерживает до 95% частиц размером менее 0.01 мкм. Процесс регенерации фильтра происходит автоматически при повышенной температуре выхлопа. Катализатор является обязательным элементом современных бензиновых двигателей. Он осуществляет окисление угарного газа и углеводородов:



Эффективность современных нейтрализаторов превышает 95%, что делает их одним из ключевых средств борьбы с загрязнением атмосферы.

Экологическое воздействие ДВС:

Влияние на атмосферу

Выбросы CO_2 , NO_x и CH оказывают комплексное влияние на состав атмосферы.

Оксиды азота участвуют в образовании кислотных дождей, а углекислый газ усиливает парниковый эффект. По данным Европейской экологической комиссии, транспортная отрасль ответственна за 25% всех выбросов CO_2 .

Влияние на водные ресурсы

Продукты неполного сгорания топлива попадают в водоёмы через атмосферные осадки. В результате происходит закисление воды, гибель микроорганизмов и накопление тяжёлых металлов в донных отложениях.

Влияние на здоровье человека

Мелкодисперсные частицы ($\text{PM}_{2.5}$) и оксиды азота вызывают заболевания дыхательных путей и сердечно-сосудистой системы. По оценкам ВОЗ, ежегодно загрязнение воздуха приводит к преждевременной смерти более 4 миллионов человек во всём мире.

Уменьшение негативного воздействия двигателей внутреннего сгорания возможно не только за счёт внешних систем очистки, но и благодаря совершенствованию самого двигателя. Ниже приведены ключевые инженерные направления модернизации ДВС:

Оптимизация процесса смесеобразования

Совершенствование впрыска топлива обеспечивает более полное его сгорание. В современных системах применяются топливные форсунки с многоточечным впрыском (MPI) и системы непосредственного впрыска (GDI, Common Rail).

Это позволяет:

- снизить расход топлива на 10–15%;
- уменьшить выбросы CO и CH до 30%;
- повысить КПД двигателя до 42–45%.

Формула коэффициента полноты сгорания топлива:

$$\alpha = \frac{G_B}{G_T \times k_{ст}}$$

где G_B — подача воздуха, G_T — подача топлива, $k_{ст}$ — стехиометрическое соотношение.

Совершенствование системы зажигания

Применение многократного искрового зажигания (Multi-Spark) и плазменных систем воспламенения способствует стабильному горению смеси при низких температурах. Это обеспечивает снижение выбросов СН на 25–35%.

$$Q = \eta_t \times Q_H$$

где η_t — термический КПД, Q_H — теплота сгорания топлива.

Использование турбонаддува и фазовращателей (VVT)

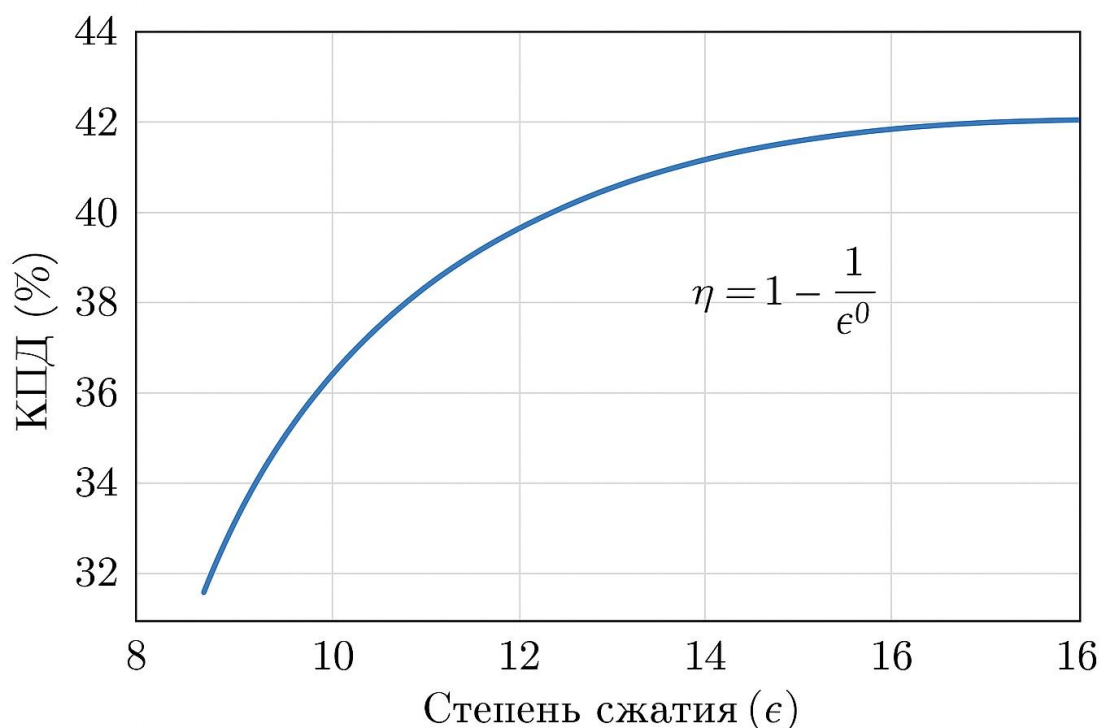


Рис. 2 – Влияние степени сжатия на КПД ДВС

Системы турбонаддува (Turbocharger) повышают коэффициент наполнения цилиндров и снижают относительный расход топлива. А системы изменения фаз газораспределения (VVT, VTEC) позволяют регулировать наполнение цилиндров в зависимости от нагрузки и оборотов.

Эти технологии дают:

- увеличение мощности на 15–20%;
- снижение выбросов CO₂ на 10–12%;
- улучшение экономичности при частичных нагрузках.

Повышение термодинамической эффективности

Для улучшения теплового баланса двигателя применяются:

- облегчённые поршни и шатуны, снижающие механические потери;
- системы охлаждения с электронным управлением;
- использование низковязких масел с пониженным коэффициентом трения.

Термодинамический КПД можно выразить как:

$$\eta_t = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

где T_1 — температура в конце сжатия, T_2 — температура в конце расширения.

Применение интеллектуальных систем управления (ECU)

Современные электронные блоки управления (ECU) анализируют сотни параметров в реальном времени. Это позволяет адаптировать процесс сгорания под оптимальные условия и минимизировать вредные выбросы.

Основные функции ECU:

- регулировка угла опережения зажигания;
- коррекция состава смеси;
- контроль температуры и давления в цилиндрах;
- диагностика каталитического нейтрализатора и DPF.

Эффект от внедрения адаптивных систем управления — снижение выбросов CO и NO_x на 20–30%, улучшение экономичности до 10%.

Выводы:

Двигатели внутреннего сгорания остаются важнейшим источником механической энергии, однако они оказывают значительное воздействие на окружающую среду. Основными загрязняющими веществами являются CO_2 , NO_x , CH и CO , формирующие парниковый эффект, кислотные дожди и смог.

Применение систем EGR, SCR, DPF и каталитических нейтрализаторов позволяет снизить токсичность выхлопных газов на 70–90%. Внедрение современных инженерных решений — таких как непосредственный впрыск топлива (GDI), турбонаддув, фазорегуляторы (VVT), интеллектуальные блоки управления (ECU) — обеспечивает уменьшение выбросов CO_2 до 40% и повышение КПД двигателя до 45%. Использование альтернативных видов топлива (метан, биодизель, водород) способствует дальнейшему снижению вредных выбросов и открывает перспективы для создания «зелёных» ДВС будущего. Совокупность технических, организационных и нормативных мер позволяет не только повысить эффективность двигателя, но и существенно снизить его негативное влияние на атмосферу, воду и здоровье человека.

Список литературы

1. Боровиков В.А., Двигатели внутреннего сгорания: теория, расчёт, экология. — М.: Машиностроение, 2019.
2. Калашников С.В., Экологическая безопасность транспортных средств. — СПб.: Питер, 2020.
3. Heywood J.B., Internal Combustion Engine Fundamentals. — McGraw-Hill, 2018.
4. ГОСТ Р 52033-2003. Выбросы загрязняющих веществ автомобильными двигателями. Нормы и методы испытаний.
5. European Environment Agency. Transport and Environment Report 2023. — Luxembourg: Publications Office of the EU, 2023.
6. ВОЗ (WHO). Air Pollution and Health Report. — Geneva, 2022.