

DOI 10.35694/YARCX.2020.52.4.016



ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ, ОХРАНА ТРУДА И ТРАНСПОРТ

П.С. Орлов (фото)

д.т.н., доцент, заведующий кафедрой электрификации

И.М. Соцкая

к.т.н., доцент, заведующий кафедрой технического сервиса

**Экология, парниковый
эффект, вредные
загрязняющие
выбросы, экологичный
электротранспорт,
системы впрыска
топлива,
электрогидравлический
эффект**

*Ecology, greenhouse
effect, harmful polluting
emissions, environment-
oriented electric transport,
fuel injection systems,
electrohydraulic effect*

Современная наука причиной потепления климата и грядущей экологической катастрофы считает усиление парникового эффекта, зависящего от увеличения содержания двуокиси углерода CO_2 и метана CH_4 , обусловленное интенсивным сжиганием ископаемых органических топлив и разложения (гниения) органических отходов. Проблема усугубляется тем, что парниковые газы накапливаются и попадают в атмосферу Земли даже без влияния человеческой деятельности: хозяйственное воздействие человека на окружающую среду увеличивает производимый парниковый эффект и загрязняет окружающую среду. Загрязняющим считается любое вещество, попадающее в ареал человеческой жизнедеятельности в количествах, превышающих фоновые значения и оказывающих вредное воздействие на здоровье населения и окружающую среду. Большая часть вредных выбросов находится в газообразном и жидком состояниях, а около половины их объёма составляет угарный газ – CO (более 50% загрязняющих веществ) [1].

Не следует забывать «дремлющие» загрязнители и отравители атмосферы Земли: гидрид метана в приполярных акваториях Северного ледовитого океана и сероводород черноморского бассейна, являющиеся естественными северными и южными границами Российской Федерации.

Максимум выбросов из стационарных источников пришёлся на 2007 г. (20,6 млн т), а транспорта – на 2005 г. (15,4 млн т) (рис. 1).

Объём выбросов загрязняющих веществ в атмосферу России в 2016 г. составил 31,6 млн т, в том числе 14,3 млн т выброшено автомобильным и железнодорожным транспортом. Рост совокупного объёма выбросов в 2015–2016 гг. связан с ростом (на 8,2%) транспортных средств (с учётом железнодорожного транспорта). В 2010–2016 гг. число легковых автомобилей в России выросло на 31,5%, превысив 45,2 млн единиц, увеличив долю загрязнения атмосферы транспортом до 45,1%. Лидируют по транспортным выбросам Москва и Московская область (табл. 1).

Вместе с тем удельные выбросы Москвы (79 кг/чел.) и Санкт-Петербурга (85 кг/чел.) ниже среднероссийского уровня (96 кг/чел.). Тенденция роста транспортных загрязнений по 0,57 млн т/год вероятна в связи с ростом дорожной инфраструктуры [2].

Критическое состояние экологии крупных городов и истощаемость природных ресурсов приводят к развитию альтернативных

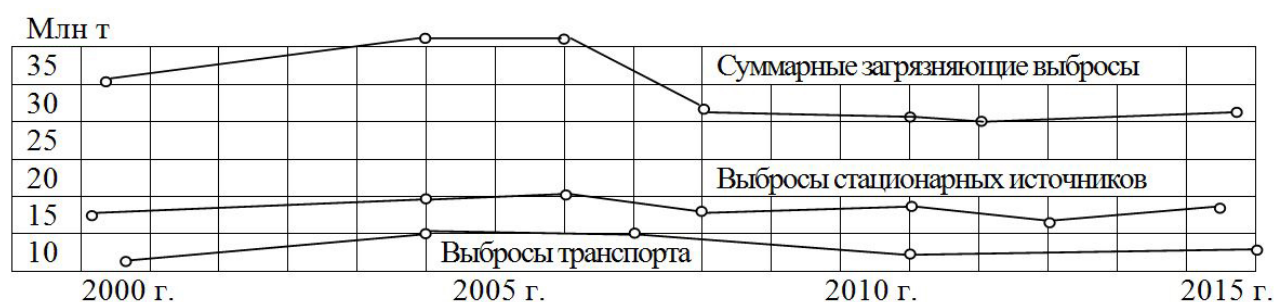


Рисунок 1 – Динамика выброса загрязняющих веществ в атмосферу, млн т

видов транспорта. Электротранспорт – эффективное решение экологической проблемы городов и один из самых перспективных видов транспорта на ближайшее время. Грузоперевозки железнодорожным транспортом последнее десятилетие растут и приносят прибыль государству, как и в начале прошлого века, когда в больших городах Российской Империи появились трамваи. Современный железнодорожный и городской электротранспорт имеет экономические преимущества. Электробус, несмотря на более высокую первоначальную стоимость по сравнению с автобусом с ДВС за счёт более низких эксплуатационных расходов, имеет сопоставимые сроки окупаемости [3].

Методики исследования

Для городов и крупных посёлков проблема выбросов может быть решена городским электротранспортом и заменой бензина и дизельного топлива на пропан-бутан, но междугородный транспорт в Восточной части России ещё достаточно долго останется работать на традиционных топливах. Именно поэтому экологическая про-

блема остаётся актуальной и вызывает настоятельную необходимость совершенствования топливных систем ДВС.

17 лет назад в России было до 110 тыс. общественных автобусов, троллейбусов и трамваев, курсирующих по 114 городам (примерно по 12 тыс. единиц на город). В настоящее время автобусов осталось лишь 70 тыс. (63% от их количества), трамваев – 8,3 тыс. (убыль – 30%), троллейбусов – 10,7 тыс. (–11%). Трамвайных путей в России – 2,5 тыс. км, троллейбусных линий – 4,8 тыс. км. Часть спада численности автобусного транспорта объясняется ростом легковых автомобилей с 20,3 до 43 млн единиц, что привело к «пробкообразованиям» практически во всех областных городах России. Тем не менее, общественный транспорт России только в 2017 г. перевёз 12 млрд пассажиров. Автобусный транспорт связывает 78 тыс. сёл; в стране 5,3 тыс. межрегиональных автобусных маршрутов, но только 20 регионов с 2010 г. по 2017 г. заменили 10% автобусного парка. В среднем по России 49 общественных автобусов на 100 тыс. пассажиров, а в 1990 г. было 103. В то же время в Ивановской области, в Бурятии и ещё в

Таблица 1 – Регионы с максимальными выбросами, тыс. т

Регион	Год					Удельный вес к итогу, %	Количество выбросов в среднем на 1 чел., кг
	2012	2013	2014	2015	2016		
Всего	12687	13347	13622	13819	14105	2016 г.	2016 г.
Москва	924	930	929	919	975	6,9	79
Московская область	705	741	770	772	774	5,5	105
Краснодарский край	455	524	538	550	562	4,0	101
Ростовская область	296	354	454	452	458	3,2	108
Башкортостан	305	335	444	450	458	3,2	112
Санкт-Петербург	419	464	442	447	448	3,2	85
Свердловская область	420	458	432	418	428	3,0	99

десятике регионов приходится по 7–30 автобусов на 100 тыс. пассажиров, а в Санкт-Петербурге и в Ханты-Мансийске их 166 и 134 соответственно. Много автобусов, работающих на сжиженном газе, выпущенных к олимпийским играм, разъезжалось по России и работает в Санкт-Петербурге, Казани и в других городах. Несколько помог автобусному парку, работающему на сжиженном газе, Газпром. Мы согласны с мнением А. Павлова, что решением Правительства на сжиженный газ необходимо перевести половину общественного транспорта в городах-миллионниках, до трети – в остальных городах и 10% – в селах. Только в ближайшие годы потребуется 4,4 тыс. «газовых» автобусов (по 1,3–1,7 тыс. в год), а к 2024 г. – до 19,49 тыс.

Нижегородская область предполагает купить по этой программе 144 машины – по 10,4–11,8 млн за один автобус при стоимости обычного автобуса от 5 до 8 млн руб. за единицу [4].

Следует отметить, что с самого своего появления электротранспорт — трамваи (а затем и троллейбусы) в городах, электровозы на железной дороге и электрокары на производстве, по сравнению с другими видами транспортной тяги, оказались вне конкуренции.

Как известно, первый электрический трамвай в России появился в Киеве, а затем в Нижнем Новгороде (1896 г.). Познакомившись с новым видом транспорта на Нижегородской ярмарке, ярославский городской голова И.А. Вахрамеев вернулся в Ярославль с твердым убеждением в пользу электрического трамвая.

Современные трамваи и троллейбусы способны к рекуперации энергии на спусках и при торможении, возвращая электрическую энергию в сеть. Вместе с тем, применение тиристорных систем управления снижает потребление электрической энергии почти на треть. Современный троллейбус потребляет 170 кВт*час электрической энергии на 100 км пути и возвращает в сеть 58 кВт*час; итого – 1,2 кВт*час на 1 км пробега, затраты — не более 3 рублей на 1 км против 14 рублей на километр пробега на дизельное топливо для автобуса. Но даже эти высокие цены на дизельное топливо при цене поездки для одного пассажира порядка 26–30 рублей у специалистов не являются основанием говорить об убыточности автобусного сообщения, не говоря уже о маршрутках, а вот «пробок», конечно, они прибавляют. В 2017 г. в России было выпущено 34 тыс. автобусов против полутора сотен троллейбусов, которых в 1990 г. выпускалось до 2,3 тыс. в год.

С 2000 г. по 2014 г. выпускали до 800 троллейбусов в год [4].

С середины 60-х и до середины 80-х годов прошлого столетия по центру Москвы курсировали грузовые троллейбусы с ДВС, заезжавшие даже во дворы магазинов. На многих предприятиях СССР существовал и сохранился в России межцеховой электрокарный транспорт, питающийся от железо-никелевых аккумуляторов. Так, в начале 60-х годов прошлого века кордный цех Ярославского Шинного завода был связан с основным производством заводской грузовой троллейбусной линией, проходящей прямо по транспортным артериям цехов.

В Соединенных Штатах Америки в середине 60-х годов XX века всерьез прорабатывался вопрос применения в качестве альтернативного топлива для ДВС жидкого аммиака.

Во время Великой Отечественной войны в Ленинграде велась настоящая борьба за экономию энергоресурсов, и на одной из выставок прямо в выставочном зале работал автомобиль на «загрязнённом» воздухом водороде из аэростатов, а из выхлопной трубы автомобиля шёл водяной пар.

Перед Московской олимпиадой 1980 года рассматривалась проблема экологичного водородного топлива для авиации и автотранспорта. Не менее экономичны топливные элементы, как источники электроэнергии на транспорте. Во время последней олимпиады по Москве курсировало более тысячи электробусов с литиевыми аккумуляторами, разъезжавшиеся работать по всей стране. Электробусы оказались экономичнее обычных автобусов даже с учётом того, что они потребляют в два раза больше электроэнергии, чем обычные троллейбусы [3].

Результаты исследования

Продолжается совершенствование и ДВС в целях повышения его экономичности и экологичности.

В цилиндре двигателя при сжатии воздух нагревается до температуры воспламенения дизельного топлива, впрыснутого в камеру сгорания насосом высокого давления. Количество топлива, поступившего за один ход плунжера насоса высокого давления (НВД), в первом приближении пропорционально крутящему моменту двигателя. Но у дизельного двигателя нет положения управляющей рейки, позволяющего точно поддерживать число оборотов без регулятора, и на холостом ходу обороты двигателя будут либо падать, пока

двигатель не остановится, либо будут расти, и двигатель пойдёт «в разнос» и разрушится, так как дизель работает с избытком воздуха при отсутствии эффективного «дросселирования» поступающего в двигатель воздушного заряда при возрастании числа оборотов коленвала [5].

Отсюда появляется необходимость оснащения двигателя регулятором числа оборотов, и рядные насосы высокого давления (НВД) используют центробежные регуляторы или системы электронного управления двигателем (EDC) [4].

Система впрыска Common Rail (общая рампа) – самая совершенная топливная система современных дизельных двигателей, основанная на подаче топлива к форсункам от общего аккумулятора высокого давления – топливной рампы, разработанная фирмой Bosch. Наибольшее распространение получили ещё три аналогичных типа систем: DELPHI, DENSO и SIEMENS, снижающие расход топлива, токсичность выхлопа, уровень шума

дизеля. Главное преимущество системы Common Rail — широкий диапазон регулирования давления топлива и момента начала его впрыска, достигнутые разделением процессов создания давления и впрыска. Конструктивно система впрыска Common Rail составляет контур высокого давления топливной системы, включающий топливный насос высокого давления, клапан дозирования топлива, регулятор давления топлива (контрольный клапан), топливную рампу и форсунки, объединённые топливопроводами [5].

Совершенствование системы Common Rail осуществляется путём увеличения давления впрыска (табл. 2).

Рост давления в системе впрыска позволяет впрыснуть в цилиндр за единицу времени больше топлива и развить большую мощность.

Насос высокого давления создаёт необходимое давление топлива и накапливает его в топливной рампе. Клапан дозирования топлива

Таблица 2 – Этапы развития системы впрыска топлива Common Rail

Поколение системы	Давление впрыска МПа	Год разработки
1	140	1999
2	160	2001
3	180	2005
4	220	2009

регулирует количество топлива, подаваемого к топливному насосу высокого давления в зависимости от потребности двигателя, конструктивно объединён с НВД.

Регулятор давления топлива управляет давлением топлива в системе, в зависимости от нагрузки на двигатель, накапливает и содержит его под высоким давлением, смягчает колебания давления, возникающие вследствие пульсации подачи от ТНВД, распределяет топливо по форсункам. В системе используются электрогидравлические форсунки или пьезофорсунки. Впрыск топлива электрогидравлической форсункой осуществляется за счёт управления электромагнитным клапаном. Активным элементом пьезофорсунки являются пьезокристаллы из титаната бария, значительно повышающие скорость работы форсунок [5].

Представляет огромный интерес электрогидравлический эффект Юткина — высоковольтный электрический разряд в жидкой среде, вызывающий появление сверхвысоких импульс-

ных давлений выше ста тысяч атмосфер, электромагнитное излучение в широком спектре частот, вплоть до рентгеновского, и кавитационные явления. Открыт в 1933 г. советским учёным Львом Александровичем Юткиным – способ преобразования электрической энергии в механическую, совершаемый без промежуточных механических звеньев, с высоким КПД, вызывающий локальное повышение температуры. Одно из серьёзнейших преимуществ эффекта и его практическая ценность – стопроцентная повторяемость и простота реализации даже в домашних условиях, без применения дорогостоящего лабораторного оборудования и материалов [6].

Следует отметить, что под воздействием электрогидравлического удара вода может диссоциировать до атомарного состояния, поэтому следует полагать, что подобное воздействие на дизельное топливо приведёт к его разложению, а образовавшийся газ растворится в топливе и будет способствовать более эффективному под-

жигу и более полному сгоранию последнего в камере сгорания, сокращая вредные выбросы.

Как свидетельствуют данные таблицы 3, в 2015 г. выбросы парниковых газов в России сократились на 45% по сравнению с 1990 г., что

обусловлено в основном сокращением объемов производства в отраслях экономики страны.

Загрязнение окружающей среды токсичными компонентами отработавших газов (ОГ) двигателей (выхлопа) приводит к снижению

Таблица 3 – Выбросы парниковых газов в России

Источник парниковых газов	Объём выбросов, млрд т					Доля, %	
	1990 г.	2000 г.	2005 г.	2008 г.	2015 г.	1990 г.	2015 г.
Энергетика	3,08	1,84	2,07	2,18	2,19	81,7	82,8
Промышленность	0,3	0,2	0,21	0,21	0,21	7,9	7,9
Сельское хозяйство	0,32	0,15	0,14	0,13	0,13	8,4	5,0
Отходы	0,08	0,08	0,09	0,09	0,11	2,0	4,3

урожайности сельскохозяйственных культур, продуктивности животноводства и рыболовства, а их повышенные концентрации на рабочих местах и в кабинах автомобилей, тракторов и самоходных машин пагубно воздействует на здоровье работающих и приводит к снижению производительности труда и угрожает их здоровью.

При этом более половины указанных выбросов обусловлены неудовлетворительным техническим состоянием машин.

Выводы

Концентрация токсичных компонентов в отработавших газах дизелей в условиях реальной эксплуатации во многом определяется техническим состоянием и качеством работы топливных систем (ТС). Одними из основных элементов ТС высокого давления дизелей, от которых зависит её работоспособность, являются прецизионные детали: плунжерные пары, распылители форсунок и нагнетательные клапаны. В результате эксплуатации дизельных двигателей происходит повышенный износ прецизионных деталей топливной аппаратуры, и, как следствие, нарушаются такие регулировочные параметры топливной аппаратуры (ТА), как цикловая подача ($q_{ц}$), угол начала ($\phi_{впр}$) и продолжительность впрыска топлива и давление начала нагнетания топлива форсункой ($P_{ф}$), приводящие к изменению параметров топливоподачи, ухудшая экологические показатели. При создании новых двигателей влияние износов деталей ТА на экологические показатели не учитывается, поэтому одним из направлений к решению проблемы снижения вредных выбросов дизелей является

оптимизация регулировочных параметров при проведении ремонтно-обслуживающих работ. В результате исследований разработана методика расчёта гидравлических потерь в топливных системах. На основе проведённого анализа гидравлических потерь установлено, что данные потери минимальны в аккумуляторной топливной системе (АТС), наиболее близки к ней по величине потерь насос-форсунки. Сравнительный анализ рабочего процесса АТС и насос-форсунок показал, что обе ТС при полной нагрузке имеют практически одинаковые показатели по выбросам ВВ, а при работе без нагрузки наилучшие имеет АТС, что свидетельствует о высокой эффективности АТС в более широком диапазоне рабочих режимов. Кроме того, конструкция отечественных автотракторных дизелей не позволяет устанавливать насос-форсунки, что также говорит о большей целесообразности применения АТС, повышающей эксплуатационную экономичность дизельных двигателей и снижающей интоксикацию водителей транспортных средств [7; 8].

Исключения «схватывания» между поверхностями толкателя и ролика, имевшего место при испытаниях разработанного отечественного аналога ТНВД фирмы Bosch с безосевым толкателем, можно достичь, поместив графитовую кассету – обойму – у места контакта. Вместе с тем, исследования и анализ работы ультразвуковых насос-форсунок и особенно создание и апробация работы насос-форсунок, использующих электрогидравлический эффект, осуществляющий прямое преобразование электрической энергии в механическую работу с высоким КПД, представляет очень большой интерес.

Литература

1. Шкрабак, В.В. Технические мероприятия повышения экологической эффективности топливных систем дизелей [Текст] / В.В. Шкрабак, П.С. Орлов, А.С. Ладыгин, А.П. Перепелин, Р.В. Шкрабак // Информационно-аналитическое, правовое и маркетинговое обеспечение инновационно-технологического развития социально-экономических систем в условиях глобализации: сб. статей Международ. науч.-практ. конф. – Ставрополь: АГРУС Ставропольского аграрного университета, 2018. – С. 90–104.
2. Григорьев, Л. Экология и экономика: сокращение загрязнения атмосферы [Текст] / Л. Григорьев, А. Голишев, А. Лобанова, В. Павлюшина // Автомобильный транспорт. – 2017. – № 12. – С. 42–48.
3. Соцкая, И.М. Электрический транспорт на современном этапе развития [Текст] / И.М. Соцкая, Е.В. Соцкая // Инновационный путь развития АПК: сб. науч. тр. по материалам XL Международ. науч.-практ. конф. профессорско-преподавательского состава. – Ярославль: Изд-во ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, 2017. – С. 351–355.
4. Павлов, А. Транспортное неравенство [Текст] / А. Павлов // Аргументы недели. – 2018. – № 7 (600), 22 февраля.
5. Система впрыска топлива Common Rail дизельных ДВС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.drive2.ru/b/521979127587144415/> (дата обращения: 01.12.2019).
6. Эффект Юткина – электрогидравлический эффект [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://xn--80aaafitebbc3auk2aepkhr3ewjpa.xn--p1ai/effekt-yutkina-elektrogidravlicheskij-effekt/> (дата обращения: 12.12.2019).
7. Ладыгин, А.С. Анализ путей повышения эффективности топливных систем дизелей [Текст] / А.С. Ладыгин, П.С. Орлов, А.П. Перепелин // Инновационные направления механизации сельскохозяйственного производства и обслуживания сельскохозяйственной техники: сб. науч. тр. по материалам Национальной науч.-практ. конф. – Ярославль: Изд-во ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, 2018. – С. 3–8.
8. Mollenhauer, K. Handbook of Diesel Engines [Text] / K. Mollenhauer, H. Tschoeke. – Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. – 636 p.

References

1. Shkrabak, V.V. Tekhnicheskie meropriyatiya povysheniya ekologicheskoy effektivnosti toplivnyh sistem dizelej [Tekst] / V.V. Shkrabak, P.S. Orlov, A.S. Ladygin, A.P. Perepelin, R.V. Shkrabak // Informacionno-analiticheskoe, pravovoe i marketingovoe obespechenie innovacionno-tekhnologicheskogo razvitiya social'no-ekonomicheskikh sistem v usloviyah globalizacii: sb. statej Mezhdunarod. nauch.-prakt. konf. – Stavropol': AGRUS Stavropol'skogo agrarnogo universiteta, 2018. – S. 90–104.
2. Grigor'ev, L. Ekologiya i ekonomika: sokrashchenie zagryazneniya atmosfery [Tekst] / L. Grigor'ev, A. Golishev, A. Lobanova, V. Pavlyushina // Avtomobil'nyj transport. – 2017. – № 12. – S. 42–48.
3. Sotskaya, I.M. Elektricheskij transport na sovremennom etape razvitiya [Tekst] / I.M. Sotskaya, E.V. Sotskaya // Innovacionnyj put' razvitiya APK: sb. nauch. tr. po materialam XL Mezhdunarod. nauch.-prakt. konf. professorsko-prepodavatel'skogo sostava. – Yaroslavl': Izd-vo FGBOU VO Yaroslavskaya GSKHA, 2017. – S. 351–355.
4. Pavlov, A. Transportnoe neravenstvo [Tekst] / A. Pavlov // Argumenty nedeli. – 2018. – № 7 (600), 22 fevralya.
5. Sistema vpryska topliva Common Rail dizel'nyh DVS [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.drive2.ru/b/521979127587144415/> (data obrashcheniya: 01.12.2019).
6. Effekt Yutkina – elektrogidravlicheskij effekt [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://xn--80aaafitebbc3auk2aepkhr3ewjpa.xn--p1ai/effekt-yutkina-elektrogidravlicheskij-effekt/> (data obrashcheniya: 12.12.2019).
7. Ladygin, A.S. Analiz putej povysheniya effektivnosti toplivnyh sistem dizelej [Tekst] / A.S. Ladygin, P.S. Orlov, A.P. Perepelin // Innovacionnye napravleniya mekhanizacii sel'skohozyajstvennogo proizvodstva i obsluzhivaniya sel'skohozyajstvennoj tekhniki: sb. nauch. tr. po materialam Nacional'noj nauch.-prakt. konf. – Yaroslavl': Izd-vo FGBOU VO Yaroslavskaya GSKHA, 2018. – S. 3–8.
8. Mollenhauer, K. Handbook of Diesel Engines [Text] / K. Mollenhauer, H. Tschoeke. – Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. – 636 p.