

УДК 621.436

Марченко А.П., д-р техн. наук, Парсаданов И.В., д-р техн. наук

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЗАЦИИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Двигатели внутреннего сгорания (ДВС) в настоящее время, в ближайшей и более отдаленной перспективе есть и останутся основным источником энергии для обеспечения потребности человечества. ДВС доминируют на транспорте в сельском хозяйстве, строительстве, военной технике, то есть в определяющих отраслях любой страны.

За последнее 30 лет число ДВС возросло в три раза. Наибольшее их количество установлено на автотранспорте и самоходных сельскохозяйственных машинах. К примеру, в Украине в автотранспорте сосредоточено 60% и агропромышленном комплексе 25% суммарной мощности всех ДВС.

Возрастающие потребности человечества в производстве энергии предопределяет увеличение расхода природных ресурсов и загрязнение окружающей среды. Естественно, что ДВС потребляют наиболее значительную долю нефтепродуктов и одновременно являются активным, постоянно действующим фактором химического, механического, теплового и других видов вредного воздействия на окружающую среду. Максимальный ущерб окружающей среде причиняется химическим фактором, связанным с загрязнением атмосферы токсичными веществами, находящимися в отработавших газах (ОГ).

Можно утверждать, что в настоящее время повышение технического уровня ДВС в первую очередь связано с их экологизацией, то есть разработкой и реализацией решений, позволяющих оказывать позитивное воздействие на сохранение природных ресурсов и окружающей среды за счет снижения расхода топлива и минимизации выбросов токсичных веществ в атмосферу с ОГ при эксплуатации двигателей.

В связи с этим необходимо сформулировать проблемы экологизации ДВС и рассмотреть пути их

решения.

Первой и, пожалуй, главной проблемой экологизации является снижение загрязнения окружающей среды отработавшими газами двигателей внутреннего сгорания при уменьшении расхода топлив нефтяного происхождения.

Решение этой проблемы предусматривает решение следующих основных задач:

- повышение эффективности смесеобразования и сгорания;
- совершенствование конструкции двигателя и внедрение в производство прогрессивных технологий;
- улучшение характеристик традиционных топлив нефтяного происхождения;
- расширение применения альтернативных топлив;
- применение эффективных систем нейтрализации ОГ;
- повышение теплоиспользования;
- электронизация управлением двигателя;
- улучшение условий эксплуатации.

Смесеобразование представляет собой процесс взаимодействия топлива и окислителя, обеспечивающий заданный закон сгорания и зависит от свойств и энергии топлива и воздушного заряда, подаваемых за цикл в камеру сгорания, а также конструкции элементов двигателя, влияющих на этот процесс. От организации смесеобразования и закона сгорания топлива непосредственно зависят показатели топливной экономичности и токсичности выбросов ОГ двигателя.

Можно утверждать, что достигнутый в последние годы новый уровень экологических показателей автомобильных ДВС, соответствующий нормам ЕВРО-2 и ЕВРО-3 обеспечен в основном за счет повышения эффективности смесеобразования и сгора-

ния.

С этой целью реализовано непосредственное впрыскивание топлива, оптимизированы конструкции камеры сгорания и степень сжатия, интенсифицированы параметры топливоподачи, улучшены показатели воздухообеспечения, найдено применение рециркуляция ОГ.

Вместе с тем отметим, что за это же время снизились темпы улучшения топливной экономичности, т.е. прогресс в улучшении смесеобразования и сгорания направлен главным образом на снижение токсичности ОГ ДВС. И второе, необходимо констатировать, что резервы в улучшении смесеобразования и сгорания в значительной степени исчерпаны.

Следующей по значимости задачей, которая позволила достичь прогресса в экологизации ДВС, является совершенствование их конструкции и применение прогрессивных технологий. Ужесточение технологических допусков, автоматизация сборочных операций, применение новых высокопрочных и антифрикционных материалов улучшение характеристик систем и узлов обеспечивает повышение уровня топливно-экологических показателей ДВС.

К принципиально новым подходам к проектированию и технологической проработке ДВС, в первую очередь автомобильных, следует отнести принцип «достаточной прочности». Так как требования к экологическим показателям ДВС изменяются в среднем раз в три года, двигатель в эксплуатации теряет свои качества, а ремонт его требует больших затрат и не всегда эффективен, при проектировании детали и узлы двигателя рассчитываются на 6...7 лет эксплуатации. Такой подход конечно же выгоден для моторостроительных фирм, но требует экономического обоснования с учетом энергетических и экологических затрат, связанных с увеличением объемов производства и утилизацией отработавших свой срок ДВС.

Определенный резерв в повышении топливной экономичности и снижении выбросов вредных веществ с ОГ двигателей связан с улучшением физико-химических характеристик традиционных топлив

нефтяного происхождения. На расход топлива и токсичность ОГ влияют цетановое (октановое) число, вязкость, содержание ароматических углеводородов, температура кипения, теплота испарения, содержание вредных примесей и другие свойства топлив.

Однако этот резерв в повышении топливно-экологических показателей ДВС используется не полностью из-за увеличения стоимости топлив. Напротив, прогнозируется ухудшение характеристик топлив в связи со снижением качества добываемой нефти. Исключение составляет расширение производства неэтилированных бензинов и незначительного количества малосернистого дизельного (городского) топлива.

Одним из направлений удовлетворения потребности в топливе, и значительным вкладом в решение проблемы экологизации ДВС является применение альтернативных топлив. К альтернативным топливам относят топлива, не являющиеся продуктами переработки нефти и традиционные нефтяные топлива, модифицированные различными добавками.

Актуальность использования альтернативных топлив определена законодательно практически во всех развитых странах мира. Производителям и потребителям альтернативных топлив на государственном уровне предоставляются различные виды льгот. Вместе с тем анализ показывает, что до настоящего времени практическое применение того или иного альтернативного топлива не получает широкого распространения и носит локальный характер. Это связано в первую очередь с первоначальными производственными и эксплуатационными затратами при широкомасштабном переводе ДВС на какое либо альтернативное топливо, а также с лоббированием такого процесса производителями традиционных нефтяных топлив.

При рассмотрении возможности применения того или иного альтернативного топлива в ДВС необходимо учитывать его стоимость, доступность, безопасность, воздействие продуктов его сгорания на окружающую среду. Современный подход к проблеме применения альтернативных топлив предполагает

давать оценку топливу с учетом полного жизненного цикла, включающей экономические затраты и экологические издержки при его добыче, переработке и сгорании в ДВС [1]. Такая оценка позволяет получить более полное представление об экономической и экологической эффективности применения конкретного альтернативного топлива, чем в случае, когда рассматривается только система «ДВС – топливо – ресурсосбережение – окружающая среда».

Важным научным направлением является исследование особенностей изменения условий смесеобразования и сгорания ДВС, при применении альтернативных топлив. Результатом таких исследований являются рекомендации по улучшению показателей топливной экономичности и токсичности ОГ двигателей [2].

Системы нейтрализации являются одним из основных средств сокращения выброса вредных веществ с ОГ двигателей. Проблема широкого применения этих систем связана с обеспечением их эффективности при длительном сроке эксплуатации без использования дорогостоящих материалов и отрицательного влияния на топливную экономичность ДВС.

Повышение теплоиспользования является одним из перспективных путей снижения расхода топлива ДВС в эксплуатации и, соответственно, выбросов вредных веществ с ОГ. Повышение теплоиспользования связывают:

- с уменьшением потерь теплоты в окружающую среду через стенки цилиндра, головку, поршень, воздухоохладитель;
- с уменьшением потерь теплоты, отводимой с отработавшими газами с последующим использованием ее в силовой газовой турбине;
- с применением систем вторичного использования теплоты.

Электронизация управлением ДВС обеспечивает улучшение эксплуатационной топливной экономичности на 5...7% (в некоторых случаях до 10...15%), снижение до 50% выбросов вредных веществ [3] благодаря более точной реализации зако-

нов управления углом опережения впрыскивания топлива и дозированием подачи воздуха в функциях частоты вращения коленчатого вала и нагрузки двигателя. Перспективные нормы на выбросы вредных веществ с ОГ ориентированы на электронизацию управлением ДВС, этому способствует постепенное устранение препятствий к практическому применению электронных систем управления, связанных со сложностью технического обслуживания и надежностью работы в эксплуатации.

Влияние условий эксплуатации ДВС на расход топлива и выбросы вредных веществ с ОГ определяется режимами работы и качеством технического обслуживания. Экономические и экологические показатели ДВС рассматриваются, как правило, на установленных режимах, однако при эксплуатации двигателя, особенно транспортные, работают практически только на неустановившихся режимах. И если влияние неустановившихся режимов на топливную экономичность ДВС изучено довольно досконально, то важной научно-технической задачей представляется теоретические и экспериментальные исследования влияния неустановившихся режимов на экологические показатели.

Выбор режимов работы автотранспортных ДВС, обеспечивающих максимальную топливную экономичность при минимальной токсичности ОГ, во многом зависит от категории и технического состояния дорог, оптимальной загрузки и правильной эксплуатации автомобиля. И если учитывать реальный топливно-экологический ущерб, причиняемый окружающей среде при эксплуатации автомобиля, то можно отметить не соответствие между требованиями, регламентирующими технический уровень ДВС, и требованиями к внешним условиям, которые в равной степени должны обеспечивать снижение доли топливно-экологического ущерба.

Ко второй проблеме экологизации следует отнести объективную оценку топливно-экологических показателей ДВС в эксплуатации и разработку, основанных на ней требований к техническому уровню двигателей.

Несмотря на то, что повышению топливной экономичности и экологической эффективности ДВС уделяется огромное внимание, до настоящего времени отсутствуют методы и принципы комплексной оценки расхода топлива и токсичности ОГ, которые бы учитывали особенности работы двигателей в эксплуатации.

Сегодня существуют законодательные нормативы на ограничение уровней удельного эффективного расхода топлива и выбросов вредных веществ с ОГ двигателей. Но удельный эффективный расход топлива нормируется на отдельных режимах, а выбросы вредных веществ определяются в результате испытаний по специальным циклам, которые (и режимы и циклы) далеко не всегда характеризуют условия эксплуатации ДВС. Кроме того, требования этих законодательных нормативов в некоторых случаях противоречат друг другу.

Комплексная оценка расхода топлива и токсичности ОГ должна учитывать степень загрузки двигателя в эксплуатации, продолжительность работы времени на фиксированных режимах, климатические условия, опасность загрязнения тех территорий и ландшафтов, на которых работает двигатель.

На примере двигателей для сельскохозяйственных машин рассмотрим действующие в Украине нормативные требования, к показателям расхода топлива и токсичности выбросов с ОГ.

Топливную экономичность двигателей сельскохозяйственных машин, а на них устанавливаются исключительно дизели, оценивают удельным эффективным расходом топлива на режиме номинальной мощности ($g_{eн}$), который определяется при стендовых испытаниях двигателя. Удельный эффективный расход топлива является регламентируемой величиной и не должен превышать следующие значения:

- 220 г/(кВт·ч) для дизелей с объемом цилиндров от 4 до 7,5 л;
- 218 г/(кВт·ч) для дизелей с объемом цилиндров от 7,5 до 10 л;
- 215 г/(кВт·ч) для дизелей с объемом цилиндров свыше 10 л.

В тоже время известно, что $g_{eн}$ не может в полной мере характеризовать топливную экономичность двигателя в эксплуатации [4].

С 2003 года в Украине действует ДСТУ, идентичный Правилам ЕЭК ООН № 96 (второй этап). Согласно этим стандартам к нормируемым вредным выбросам ОГ дизелей сельскохозяйственных машин относятся оксид углерода, суммарные углеводороды, оксиды азота и твердые частицы. Нормы токсичных компонентов устанавливаются в значениях массового выброса каждого вредного выброса за цикл испытаний, отнесенных к приведенной мощности двигателя. ДСТУ и правилами ЕЭК ООН № 96 предусмотрены испытания по восьми режимному циклу, в котором режимы испытаний и коэффициенты значимости каждого режима устанавливаются в соответствии с международным стандартом ISO-8174-4. Коэффициент значимости в данном случае учитывает вклад в загрязнение окружающей среды за счет наработки двигателя на каждом режиме.

Необходимо подчеркнуть, что правила ЕЭК ООН, нормирующие токсичность ОГ, не учитывают климатические условия и особенности территорий, на которых эксплуатируется двигатель, или будем говорить, учитывают климатические условия и особенности территорий, характерные для западной Европы. В результате введения ДСТУ идентичного Правилам ЕЭК ООН № 96 (второй этап) требования к выбросам вредных веществ с ОГ двигателей сельскохозяйственных машин в Украине оказались выше, чем для двигателей грузовых автомобилей.

Необходимо отметить еще одну тенденцию. Новые сведения о составе ОГ и особенностях воздействия их вредных составляющих на окружающую среду приводят к расширению номенклатуры нормируемых вредных веществ и уточнению ущерба, наносимом ими, как правило, в сторону возрастания.

На кафедре ДВС Национального технического университета «ХПИ» разработан метод комплексной оценки топливной экономичности и экологических показателей ДВС [5], который позволяет:

- учитывать степень загрузки двигателя в эксплуата-

ции и получать информацию о суммарных затратах на топливо и возмещение ущерба от вредного воздействия токсичных выбросов с ОГ на окружающую среду;

– учитывать фактор времени, характеризующий продолжительность работы двигателя на фиксированном режиме;

– обеспечивать возможность использовать результаты стендовых испытаний при минимальном их объеме для оценки эксплуатационных показателей топливной экономичности и токсичности выбросов отработавших газов;

– учитывать климатические условия и территориальные особенности зон, где эксплуатируется двигатель;

В результате практического применения указанного метода появилась возможность соотносить затраты на топливо и возмещение экологического ущерба от вредных выбросов, выявлять режимы, вносящие наибольший вклад в комплексные топливно-экологические затраты, оценивать вклад каждого из токсичных компонентов в затраты на возмещение экологического ущерба, определять топливно-экологическую эффективность двигателя при эксплуатации на различных машинах.

На основании проведенных исследований в зависимости от назначения двигателя разработаны циклы испытаний, которые при ограниченном количестве режимов нагрузок и частот вращения коленчатого вала позволяют дать комплексную оценку топливной экономичности и экологических показателей ДВС.

Сравнение циклов приведенных на рис. 1, позволяет отметить, что цикл правил ЕЭК ООН № 96 не характеризует затраты на расход топлива и возмещение экологического ущерба, а следовательно, условия работы двигателя в эксплуатации (в меньшей степени по частоте вращения коленчатого вала дизеля и в большей степени по нагрузке и коэффициенту весомости режима).

Следующей проблемой экологизации является обеспечение высоких топливно-экологических показателей ДВС без существенного увеличения стоимо-

сти двигателя.

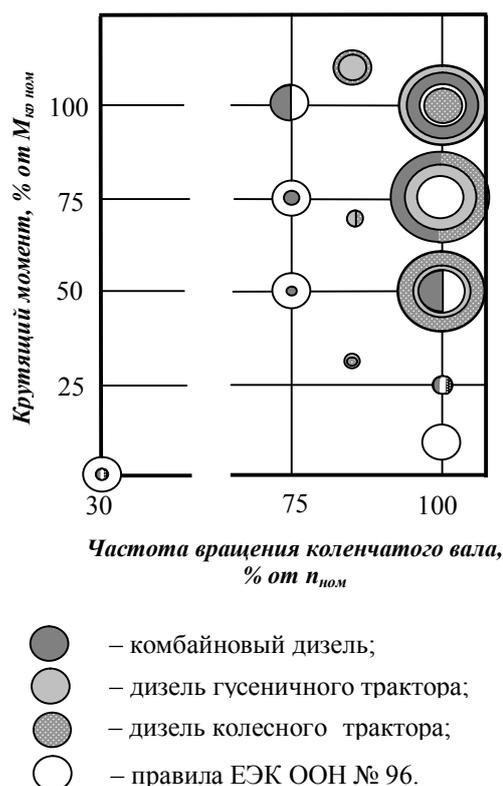


Рис. 1. Циклы испытаний дизелей сельскохозяйственных машин

В данном случае техническая проблема приобрела экономический и политический аспекты. Она имеет огромное значение для таких стран как Украина, перестраивающих свою экономику и при этом стремящихся сохранить политическую независимость.

Переход к каждой новой ступени экологических норм (ЕВРО-II, ЕВРО-III, ЕВРО-IV, ЕВРО-V) требует внедрения новых технологий и усложнения узлов и систем двигателя. В связи с чем стоимость двигателя увеличивается в среднем на 25%. Соответственно, растут затраты на техническое обслуживание и запасные части. Актуальными становятся задачи обеспечение исходных характеристик топливной экономичности и токсичности ОГ двигателей в период всего срока их эксплуатации и выявление соотношения затрат между топливно-экологическим ущербом, наносимым окружающей среде и затратами на приобретение и эксплуатацию двигателей потребителем.

Постоянное ужесточение требований к экологическим показателям ДВС ориентировано на высококоразвитое производство, характерное лишь отдельным ведущим моторостроительным фирмам, которые все в большей степени оказывают монопольное влияние на рынок.

В этих условиях без государственной поддержки моторостроение обречено на умирание. Что мы и видим на примере Украины, некогда имеющей развитое производство двигателей. Скоропалительный переход к рыночным отношениям вплотную подвел Украину к грани утраты энергетической безопасности, так как наряду с ограниченным количеством энергоносителей страна все в большей степени поставлена в непосредственную зависимость от импортных поставок основных источников производства энергии – двигателей внутреннего сгорания.

Однако наши двигатели могут быть конкурентоспособны на внутреннем рынке и в других странах, если будут дешевле зарубежных и если к ним предъявлять разумные требования. Преимущества их состоят в том, что они проще в эксплуатации, адаптированы к существующему уровню обслуживания и ремонта, качеству горюче-смазочных материалов.

Выводы

– В последние годы снизились темпы улучшения показателей топливной экономичности ДВС. Резервы совершенствования топливно-экологических показателей ДВС за счет воздействия на смесеобразование и сгорание на сегодняшний день выглядят исчерпанными.

– Повышение топливной экономичности и снижение токсичности ОГ современных ДВС будет обеспечиваться за счет улучшения характеристик традиционных топлив нефтяного происхождения, применения альтернативных топлив, систем нейтрализации ОГ, теплоиспользования, электрификации.

– Важными научными направлениями экологизации ДВС являются теоретические и экспериментальные исследования влияния неустановившихся режимов на токсические характеристики двигателей

и оптимизация смесеобразования и сгорания при применении альтернативных топлив.

– Правила ЕЭК ООН направлены на защиту окружающей среды, ориентировано на высококоразвитое производство, но не в достаточной степени учитывают условия эксплуатации двигателей. Стремление к выполнению требований Правил может приводить к увеличению расхода топлива, стоимости двигателя и технического обслуживания. При введении в Украине нормативов на выбросы вредных веществ с ОГ ДВС кроме европейских тенденций в улучшении экологических характеристик надо принимать во внимание возможность достижения этих показателей с учетом реформирования производственной базы, а также сферы технического обслуживания. Ужесточение требований к экологическим показателям отечественных ДВС в условиях экономического кризиса способствует полной утрате энергетической безопасности.

Список литературы:

1. Звонов В.А., Козлов А.В., Теренченко А.С., Экология: альтернативные топлива с учетом их полного жизненного цикла // *Автомобильная промышленность*.– 2001.– № 4.– С. 10–12.
2. Марченко А.П., Минак А.Ф и др. Результаты исследований рабочего процесса и токсичности дизеля, работающего на топливах растительного происхождения / *Двигатели внутреннего сгорания* // *Науч.-техн. журнал*. Харьков: НТУ „ХПИ”.– 2003.– №1-2.– С. 33–40.
3. Канило П.М., Бей І.С., Ровенський О.І. Автомобіль та навколишнє середовище / *Х.: Прапор*, 2000.– 304 с.
4. Эфрос В.В., Столбов М.С., Лупачев П.Д. Выбор критериев и методов оценки топливной экономичности тракторных и комбайновых двигателей // *Тракторы и сельхозмашины*.– 1986.– № 4.– С. 13-17.
5. Парсаданов И.В. Повышение качества и конкурентоспособности дизелей на основе комплексного топливно-экологического критерия: *Монография*.– Харьков: Изд. Центр НТУ «ХПИ», 2003.– 244 с.