

соответствующей тарифной политикой направленной на выравнивание суточного графика нагрузки.

Важным направлением деятельности является развитие экспорта электроэнергии. Ряд неэффективных мощностей на электростанциях величиной около 1000 МВт после ввода в эксплуатацию двух энергоблоков БелАЭС подлежат выводу из эксплуатации (два энергоблока класса 300 МВт – на Лукомльской ГРЭС, два энергоблока по 215 МВт – на Березовской ГРЭС).

#### Литература

1. Концепция энергетической безопасности Республики Беларусь : утв. Постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 23.12.2015 г. № 1084. – 13 с.
2. Концепция развития электрогенерирующих мощностей и электрических сетей на период до 2030 года : утв. Постановлением Мин-ва энергетики Респ. Беларусь от 25.02.2020 г. № 7.

### **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И АНАЛИЗ СИСТЕМ СНИЖЕНИЯ ТОКСИЧНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАШИН**

**М. А. Новиков**

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Брянский государственный технический  
университет», Российская Федерация*

Научный руководитель А. А. Обозов

Работа двигателей внутреннего сгорания оценивается комплексом эксплуатационно-технических показателей. В настоящее время наиболее актуальными и важными из них являются показатели токсичности отработавших газов (ОГ). Это обусловлено как ухудшением экологической обстановки, так и ужесточением требований, предъявляемых к двигателям внутреннего сгорания современными нормативными документами на токсичность ОГ. К нормируемым токсичным компонентам ОГ дизелей относятся оксиды азота NO<sub>x</sub>, монооксид углерода СО, некие несгоревшие углеводороды СН, сажа (углерод С) или твердые частицы. К нормируемым токсичным компонентам ОГ относятся оксиды серы, альдегиды, фенолы и их производные кетоны и др. В связи с данной проблемой возникает потребность в поиске новых решений по снижению токсичности ОГ и их дезактивации.

Основными конструктивными и регулировочными параметрами, которые оказывают влияние на эффективные и экологические показатели дизельных двигателей, являются:

- степень сжатия;
- форма камеры сгорания;
- интенсивность движения воздушного заряда;
- количество и ориентация сопловых отверстий и конструктивные особенности распылителя форсунки;
- характеристика топливоподачи (количество стадий, количество топлива в каждой стадии, угловой интервал между порциями и угол начала подачи топлива);
- максимальное давление подачи топлива;
- газодинамические характеристики впускных и выпускных каналов ГБЦ;
- система рециркуляции отработавших газов;

На данный момент существуют программы и методы позволяющие моделировать рабочий процесс двигателя. Их можно разделить на две группы: это термоди-

намические и численные. Наиболее известные комплексы, поддерживающие технологию Computational Fluid Dynamic: FIRE (AVL, Австрия), STAR-CCM+ (Computational Dynamics Ltd., Великобритания), KIVA (Los Alamos, США), VECTIS (Ricardo, Великобритания), ANSYS (ANSYS Inc., США) и IFP 3D (IFP, Франция). Данные программы позволяют моделировать: течения в трубопроводах различной конфигурации, процессы топливоподачи, испарения и сгорания топлива, движение топливных пленок на поверхностях деталей и т. д. Также следует отметить отечественные программные комплексы ДИЗЕЛЬ-РК, ИМПУЛЬС, ВОЛНА и ПОТОК. Программный комплекс DIESEL-RK активно развивается и не уступает по возможностям, точности и времени счета зарубежным аналогам. Широкое применение данных продуктов ограничивается следующими факторами: трудоемкость процесса подготовки и настройки расчетных моделей, для проведения расчетов требуются мощные вычислительные ресурсы, продолжительное время счета, а также достоверность полученных результатов моделирования внутрикамерных процессов не всегда удовлетворительна.

Совершенствование рабочего процесса не может быть проведено в однофакторном эксперименте, так как является достаточно сложным и требует многопараметровой оптимизации с учетом всех возможных факторов. Вопрос повышения экологических показателей решается комплексно, потому что показатели двигателя зависят от множества факторов. По этой причине необходимо провести исследования влияния каждого фактора на показатели двигателя в отдельности. Внесение изменений в конструкцию двигателя несет за собой большие финансовые и временные вложения. Из-за этого основной возможностью совершенствования рабочего процесса существующих конструкций двигателей и вновь разрабатываемых являются системы топливоподающей аппаратуры с электронным управлением и рециркуляции отработавших газов, также к перспективным направлением на сегодняшний момент можно отнести применение смеси нефтяного топлива с добавками биотоплив из возобновляемого растительного сырья.

Один из основных методов повышения экологических характеристик – вмешательство в рабочий процесс двигателя, и к нему относится изменение температуры рабочего процесса.

Образование оксидов азота в цилиндре двигателя происходит лавинообразно при достижении определенной температуры, по этой причине для снижения вредных выбросов в ОГ необходимо снижать температуру цикла. Для изменения температуры воздушного заряда в цилиндре двигателя требуется раньше закрывать впускной клапан до НМТ, тогда в последней фазе такта впуска воздушный заряд будет расширяться и охлаждаться. Этот способ носит название цикла Миллера. Он дает снижение фактической степени сжатия рабочей смеси относительно геометрической при сохранении неизменной степени расширения. Таким образом, смесь в двигателе Миллера сжимается меньше, чем должна была бы сжиматься в двигателе Отто такой же механической геометрии. Это позволяет увеличить геометрическую степень сжатия выше пределов, обуславливаемых детонационными свойствами топлива, приводя фактическое сжатие к допустимым значениям за счет вышеописанного «укорочения цикла сжатия».

Одним из методов, влияющих на рабочий процесс, является применение двухтопливной подачи смеси. Принцип работы данного метода заключается в одновременной подаче в камеру сгорания двух видов топлива. Основное топливо здесь дизельное, а дополнительное – газ метан.

Рассмотрим применение водорода. При питании двигателя бензином с 5%-й добавкой водорода и коэффициенте избытка воздуха  $\alpha = 1,05$  максимальная мощность двигателей сохраняется на уровне мощности базового двигателя. При этом на 30 % снижается расход бензина, значительно уменьшается эмиссия оксидов углерода и углеводородов и существенно повышается топливная экономичность. Концентрация углеводородов в отработавших газах снижается при этом в 2–3 раза, а концентрация окислов углерода несколько возрастает вследствие увеличения максимальной температуры цикла и наличия свободного кислорода в зоне реакции при  $\alpha = 1,05$ .

Система рециркуляции отработавших газов СРОГ – в двигателях внутреннего сгорания, представляющая собой клапан, соединяющий на некоторых режимах работы задрессельное пространство впускного коллектора с пространством выпускного коллектора. В двигателях с рециркуляцией часть отработавших условно инертных газов попадает в цилиндры как балласт. При этом, с одной стороны, происходит снижение максимальной температуры горения, а с другой – сокращается количество избыточного воздуха. Оба этих фактора вызывают существенное уменьшение выбросов оксидов азота, образующихся при высоких температурах и являющихся одними из самых токсичных веществ.

Одним из способов снижения вредных выбросов с ОГ является применение систем повышающих качество параметров впрыска и распыла топливно-воздушной смеси в цилиндре двигателя. К таким системам можно отнести систему аккумуляторного типа «Common Rail» – система подачи топлива, применяемая в дизельных двигателях. В системе типа «Common Rail» насос высокого давления нагнетает дизельное топливо под высоким давлением (до 500 МПа, в зависимости от режима работы двигателя) в общую топливную магистраль существенного объема. Управляемые электроникой электрогидравлические форсунки с электромагнитным или пьезоэлектрическим приводом управляющих клапанов впрыскивают дизельное топливо под высоким давлением в цилиндры. В зависимости от конструкции форсунок и класса двигателя может впрыскиваться до 11 порций топлива за 1 цикл.

Эффективным средством улучшения показателей токсичности ОГ дизелей является применение смеси нефтяного топлива с добавками биотоплив из возобновляемого растительного сырья. Двигатели работающего на смесях нефтяного дизельного топлива с добавками в количестве 10 % по объему растительных масел (рапсового, подсолнечного, соевого и др.) улучшают показатели по выбросам ОГ по различным компонентам в среднем 16 %.

Второй способ решения этой проблемы – это конструктивные доработки системы выпуска двигателя, к ним относятся каталитические нейтрализаторы, сажевые фильтры, использование мочевины.

Методы термической нейтрализации основывается на электрическом или химическом доокислении вредных веществ, содержащихся в отработавших газах двигателя. В устройствах каталитической нейтрализации используются окислительно-восстановительные реакции для химического доокисления (оксид углерода, сажа) или восстановления (оксиды азота) продуктов неполного окисления топлива при протекании их через активную зону (жидкий или твердый каталитический материал) нейтрализатора. Наибольшей эффективностью в отношении снижения содержания в ОГДВС основных токсических компонентов и соответственно наибольшей распространенностью в двигателе- и машиностроении характеризуются нейтрализаторы с каталитическим материалом на основе благородных металлов – платины и палладия, обладающие степенью нейтрализации 70–90 %.

Одним из важнейших элементов системы нейтрализации дизельного двигателя

является противосажевый фильтр – часть выхлопной системы автомобиля с дизельным двигателем. Предназначен для уменьшения количества сажи в отработанных газах. Представляет собой керамический блок из карбида кремния с большим количеством тонких каналов для прохода отработанных газов. Частицы сажи, задерживаясь на поверхности этих каналов, под действием повышенной температуры и других факторов окисляются и, превращаясь в углекислый газ, выбрасываются в атмосферу с выхлопными газами. Конструктивно размещается в отдельном металлическом корпусе и находится непосредственно после турбины или же после катализатора (или после второго катализатора, если их два).

Жидкостная система нейтрализации вредных выбросов в ОГ или SCR-нейтрализатор представляет собой закрытую систему, через которую проходит очищенный от сажи выхлоп дизеля. Жидкость «Эдблю» заливается в автономный бачок и подается в выхлопной патрубок дозированно перед поступлением в нейтрализатор. Смешанный газ поступает в блок нейтрализатора SCR, где происходит химическая реакция распада оксида азота за счет входящего в состав мочевины аммиака. Молекулы аммиака, соединяясь с оксидом азота, расщепляют последний на безвредные для человека и окружающей среды компоненты. После полного цикла очистки в атмосферу попадает минимальное количество вредных веществ, параметр ОГ соответствует протоколу Евро-5 и Евро-6.

Проводимый анализ позволил выявить наиболее актуальные на данный момент возможности повышения экологических характеристик двигателей внутреннего сгорания и определить дальнейшие направления исследования в данной области.

#### Литература

1. Дмитриевский, Е. В. Электронное управление двигателями внутреннего сгорания : учеб. пособие / Е. В. Дмитриевский, А. А. Обозов, М. А. Новиков. – Брянск : БГТУ, 2018. – 195 с.
2. Рогалев, В. В. Курсовое проектирование двигателей внутреннего сгорания: Тепловой расчет : учеб. пособие / В. В. Рогалев, Е. В. Дмитриевский. – Брянск : БГТУ, 2017. – 131 с.
3. Рогалев, В. В. Планирование эксперимента при испытаниях двигателей внутреннего сгорания : учеб. пособие / В.В. Рогалев. – Брянск : БГТУ, 2014. – 111 с.
4. Хайруллин, А. Х. Влияние характеристики топливоподачи и настроек топливоподающей аппаратуры на экономические и экологические показатели автомобильного дизеля : дис. ... канд. техн. наук : 05.04.02 / А. Х. Хайруллин. – К., 2017. – 220 с.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПОЛЕЙ СУТОЧНОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ ГАЗА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЛЯ УКРУПНЕННОЙ БАЛАНСОВОЙ ГРУППЫ «МИНЖИЛКОМХОЗ» РЕГИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ**

**В. М. Спитальников**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Н. В. Грунтович

Цель работы – разработка методического обеспечения и исследование на его основе закономерностей формирования суточных режимов потребления газа для укрупненной балансовой группы «Минжилкомхоз» региональной системы газоснабжения (РСГС) в целях повышения эффективности ее функционирования.

Теоретической и методологической основой работы являются положения системного анализа. Для информационного описания укрупненной балансовой группы