УДК 622.619:622.611

А.А.КУЛЕШОВ, К.А.СТРЕБКОВ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАЛОТОКСИЧНОГО ДИЗЕЛЯ ДЛЯ ПОДЗЕМНОГО ГОРНО-ТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Представлен анализ эксплуатационных факторов, влияющих на токсичность отработавших газов дизельных двигателей. Определены мероприятия по снижению токсичности. Выявлена разница между концентрациями CO на неустановившихся и установившихся режимах, которые сильно зависит от скоростного режима. Представлены обобщенные зависимости концентраций токсичных компонентов отработавших газов при скоростном режиме работы отечественных транспортных дизелей без наддува и с наддувом, а также удельных выбросов токсичных компонентов отработавших газов отечественных дизелей при нагрузочном режиме работы. Сделан вывод о необходимости применения устройств и систем управления, обеспечивающих сокращение продолжительности переходных процессов.

In work the analysis of the operational factors influencing toxicity of fulfilled gases of diesel engines is presented. Actions on reduction in toxicity are certain. The difference between concentration CO on the unsteady and established modes which strongly depends on a high-speed mode is revealed Are presented the generalized dependences of concentration of toxic components on a high-speed operating mode of domestic transport diesel engines without pressurization and with pressurization, and also specific emissions of toxic components of domestic diesel engines from a loading operating mode. It is drawn a conclusion on necessity of application of devices and the control systems providing reduction of duration of transients.

В настоящее время на подземных работах происходит интенсивное расширение масштабов использования подземного горно-транспортного оборудования с дизельным приводом. Для работы в подземных условиях Ростехнадзор выдвигает жесткие требования к содержанию в выбросах отработавших газов (ОГ) токсичных компонентов.

Последние данные по экологическим показателям отечественных транспортных дизелей [3] свидетельствуют о том, что обеспечение жестких требований стандартов на токсичность ОГ возможно только при внедрении в отечественное двигателестроение средств и методов снижения токсичности ОГ. Существует необходимость выбора и поддержания рациональных технических параметров дизельного двигателя. Разработка мероприятий по уменьшению токсичности ОГ может проводиться по следующим основным направлениям:

- Совершенствование конструкции двигателя.
- Совершенствование эксплуатационных режимов дизеля.
- Применение нетрадиционных топлив.

Конструкция двигателя в значительной степени предопределяет токсичность его ОГ. К наиболее значимым конструктивным факторам следует отнести способ смесеобразования и тип камеры сгорания; рабочий объем цилиндра и степень сжатия; уровень форсирования двигателя; параметры воздушного заряда и системы охлаждения; конструкцию систем топливоподачи, воздухоснабжения, газораспределения, рециркуляции ОГ; наличие систем очистки ОГ.

К эксплуатационным факторам относятся режимы работы двигателя, техническое состояние дизеля и характеристика окружающей среды, качество моторного масла и его расход на угар, качество применяемого топлива [4].

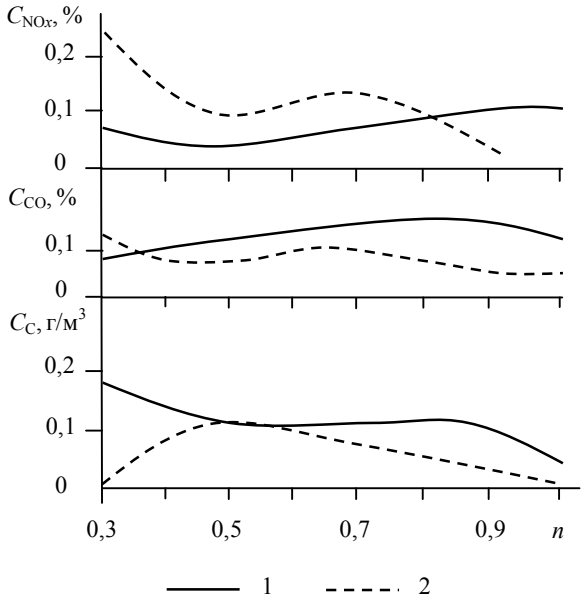


Рис.1. Обобщенные зависимости концентраций токсичных компонентов ОГ от скоростного режима работы отечественных транспортных дизелей без наддува (1) и с наддувом (2)

Существенное влияние на токсичность ОГ оказывает скоростной режим работы дизеля, причем зависимость токсичности ОГ от этого параметра носит достаточно сложный характер. Это обусловлено воздействием различных факторов, усиливающих или ослабляющих образование токсичных компонентов в том или ином диапазоне частот вращения *n*. Так, с увеличением n уменьшается время, отводимое на процесс сгорания. В результате теплоотдача в стенки камеры сгорания (КС) уменьшается, что приводит к повышению максимальных температур цикла и, как следствие, к увеличению эмиссии оксидов азота NO_x.

С другой стороны, при повышении частоты вращения увеличиваются турбулизация воздушного заряда и давление впрыскивания топлива, что приводит к улучшению условий смесеобразования, более равномерному распределению топлива по объему КС и ликвидации локальных зон с низкими коэффициентами избытка воздуха и высокими температурами сгорания, в которых происходит интенсивное образование NO_x. Эти факторы в той или иной степени взаимно компенсируют друг друга. Вместе с тем, некоторые закономерности влияния скоростного режима на токсичность ОГ все же можно отметить. Увеличение частоты вращения коленчатого вала большинства дизелей с турбонаддувом и с непосредственным впрыскиванием топлива приводит к снижению содержания NO_x в ОГ. Причем такая зависимость, представленная на рис.1 пунктирной линией, не является монотонно убывающей и имеет два выраженных максимума [3]. Максимум на режимах с низкими n обусловлен наличием в КС локальных зон с высокими температурами сгорания. Максимум на режимах с частотой вращения, равной около $0{,}7\,n_{ном}$, соответствует режиму максимального крутящего момента, отличающемуся наиболее высокими температурами сгорания. Однако, несмотря на уменьшение концентрации NO_x в ОГ, их выбросы с ростом частоты вращения увеличиваются из-за увеличения расхода ОГ.

В целом можно отметить, что изменение частоты вращения оказывает наибольшее влияние на содержание NO_x в ОГ и в меньшей степени – на концентрации CO и сажи (рис.1). В то же время при повышении частоты вращения наблюдается значительный рост содержания в ОГ дизелей бензапирена, образование которого в значительной мере определяется условиями догорания промежуточных продуктов реакции окисления углеводородных топлив.

Значительное влияние на токсичность ОГ дизелей оказывает нагрузка на дизель P_e. Повышенное содержание монооксида углерода CO и углеводородов CH_x в ОГ дизеля при работе на режимах холостого хода и малых нагрузок вызвано низкими температурами сгорания топлива и, как следствие, его недогоранием (рис.2) [2]. При увеличении нагрузки до значений, соответствующих P_e = 0,3-0,5 МПа, концентрации CO и CH_x в ОГ достигают минимума и затем, по мере роста P_e, начинают возрастать. Такое увеличение концентраций CO и CH_x на ре-

жимах с большой нагрузкой связано с недогоранием топлива, вызванным снижением коэффициента избытка воздуха α.

Минимальная концентрация оксидов азота NO_x и сажи в ОГ дизелей с турбонаддувом отмечается на режимах холостого хода с высоким содержанием кислорода в ОГ (повышенные удельные выбросы этих компонентов на указанных режимах вызваны малой мощностью двигателя, см. рис.2). По мере повышения нагрузки увеличивается количество подаваемого в цилиндры дизеля топлива, что приводит к уменьшению коэффициента избытка воздуха α и повышению максимальных температур сгорания. В результате с увеличением нагрузки возрастают дымность ОГ и эмиссия оксидов азота.

Увеличение концентрации NO_x и сажи в ОГ дизелей продолжается до нагрузок, соответствующих P_e = 0,6-1,0 МПа, а затем, достигнув своего максимума, эти концентрации начинают уменьшаться. Такое уменьшение содержания NO_x в ОГ с увеличением P_e обусловлено в основном снижением концентрации кислорода в ОГ, а уменьшение дымности ОГ – улучшением качества распыливания топлива.

Зависимости токсичности ОГ от скоростного и нагрузочного режимов работы дизеля, рассмотренные выше, соответствуют установившимся режимам. Однако в условиях эксплуатации транспортных средств большую часть времени дизели работают на неустановившихся режимах [1]. В связи с этим необходимо обратить внимание на особенности образования токсичных компонентов на этих режимах.

Наибольшая разница концентраций NO_x на неустановившихся и установившихся режимах наблюдается при разгоне дизеля с режима минимальной частоты вращения холостого хода до номинального режима. Причем в дизелях без наддува эмиссия NO_x ниже на неустановившихся режимах, что обусловлено более низкими температурами стенок КС при разгоне двигателя. Разгон прогретого дизеля с турбонаддувом, напротив, сопровождается повышенной эмиссией NO_x. Это объясняется тем, что давление

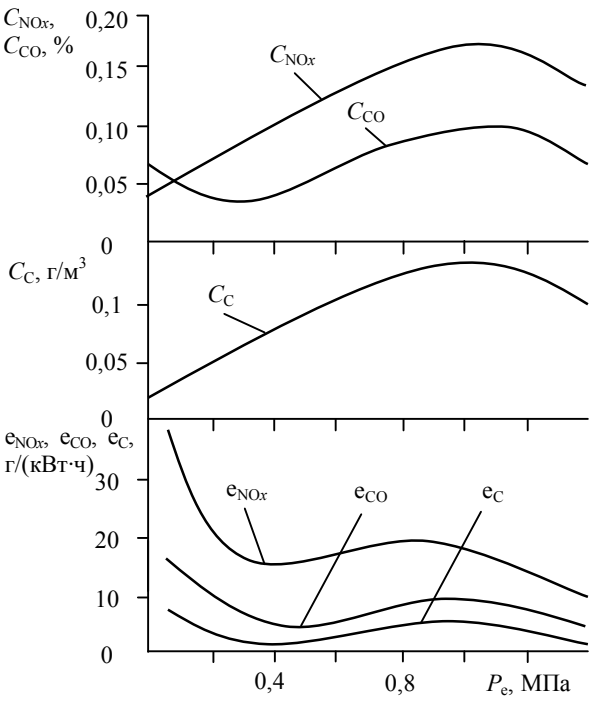


Рис.2. Обобщенные зависимости концентраций и удельных выбросов токсичных компонентов ОГ отечественных дизелей от нагрузочного режима работы

наддува начинает возрастать с некоторым запаздыванием из-за инерционности турбокомпрессора, суммарный коэффициент избытка воздуха в начальной фазе разгона снижается до значений, меньших предела дымления $\alpha_{дым}$ = 1,2-1,3, возрастают максимальные температуры сгорания.

Выбросы CH_x также выше на неустановившихся режимах, что обусловлено наличием в КС холодных пристеночных слоев, в которых происходит интенсивное образование CH_x на неустановившихся режимах. Причем разница концентраций CH_x на неустановившихся и установившихся режимах наибольшая при разгоне дизеля с режима минимальной частоты вращения холостого хода до номинального режима, и эта разница резко уменьшается по мере приближения к номинальному режиму.

Разница между концентрациями CO на неустановившихся и установившихся режимах также сильно зависит от скоростного режима. Обычно эмиссия CO выше на неустановившихся режимах, что обусловлено

меньшими значениями α на этих режимах. Причем наибольшая разница наблюдается на режимах с пониженной частотой вращения. В целом же различие концентраций CO на установившихся и неустановившихся режимах меньше, чем для концентраций NO_x и CH_x.

Так же, как и в случае с концентрациями CO, наибольшая дымность ОГ (содержание в ОГ сажи) наблюдается на неустановившихся режимах с пониженной частотой вращения, что также вызвано недостаточной подачей воздуха в начальной фазе переходных процессов из-за инерционности системы газотурбинного наддува. Значительного снижения α в этом периоде можно избежать либо увеличением подачи воздуха, либо снижением подачи топлива. Согласование подач топлива и воздуха увеличением подачи воздуха можно осуществить при подаче в КС дизеля дополнительного воздуха от постороннего источника. Но при этом необходимо применить специальную систему управления воздухоподачей.

Эмиссия токсичных веществ с ОГ транспортного дизеля в реальных условиях эксплуатации в значительной степени зависит от соотношения установившихся и неустановившихся режимов работы. Наибольшая доля неустановившихся режимов (до 92-95 %) наблюдается при движении горно-транспортных машин по дорогам. Поэтому наибольшей эмиссии токсичных компонентов с ОГ следует ожидать именно в этих условиях.

Вывод

Следует отметить, что на неустановившихся режимах работы дизеля с турбонаддувом наблюдается повышенное в два-три раза содержание в ОГ продуктов неполного сгорания топлива (C, CO, CH_x) при увеличении концентрации NO_x на10-15 % в сопоставлении с установившимися режимами. При совершенствовании транспортных дизелей по их эксплуатационно-техническим показателям необходимо учитывать выбросы вредных веществ на неустановившихся (переходных) режимах. Это увеличит их учтенное количество по сравнению с выбросами на установившихся режимах на 25-30 %. Поэтому необходимым становится применение устройств и систем управления, обеспечивающих сокращение продолжительности переходных процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Архангельский В.М.* Работа автотракторных двигателей на неустановившихся режимах / В.М.Архангельский, Г.Н.Злотин. М.: Машиностроение, 1979. 216 с.

2. *Лиханов В.А.* Снижение токсичности автотракторных дизелей / В.А.Лиханов, А.М.Сайкин. М.: Колос, 1994. 224 с.

3. *Новиков Л.А.* Технические и экономические проблемы создания малотоксичных транспортных дизелей // Жизнь и безопасность. 2000. № 3-4. С.154-177.

4. *Смайлис В.И.* Современное состояние и новые проблемы экологии дизелестроения // Двигателестроение. 1991. № 1 С.3-6.