

УДК 621.436

**УЛУЧШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ
ПРИРОДНОГО ГАЗА И РЕЦИРКУЛЯЦИИ**

Лопатин О.П., доктор технических наук, профессор

E-mail: nirs_vsaa@mail.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Вятский государственный агротехнологический университет»,
г. Киров, Россия

Аннотация. Представлены результаты исследований применения в тракторном дизеле в качестве моторного топлива природного газа и рециркуляции отработавших газов как средства снижения выбросов оксидов азота. На основании проведенных исследований установлена возможность экономии нефтяного дизельного топлива и улучшения экологических показателей тракторного дизеля.

Ключевые слова: тракторный дизель, отработавшие газы, токсичность, оксиды азота, природный газ, рециркуляция отработавших газов.

**IMPROVING THE ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF TRACTOR
DIESEL BY USING NATURAL GAS AND RECYCLING**

Lopatin O.P., doctor of technical sciences, professor

E-mail: nirs_vsaa@mail.ru

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Vyatka State Agrotechnological University», Kirov, Russia

Annotation. The article presents the results of studies on using natural gas as the motor fuel in tractor diesel and exhaust gas recirculation as a means of reducing nitrogen oxide emissions. Based on the conducted research, the possibility of saving diesel fuel and improving the environmental performance of the tractor diesel has been established.

Keywords: tractor diesel, exhaust gases, toxicity, nitrogen oxides, natural gas, exhaust gas recirculation.

Хорошо известно, что основным плюсом использования газомоторного топлива в двигателе внутреннего сгорания является значительное снижение вредных составляющих в отработавших газах (ОГ). Рассматривая применение природного газа с точки зрения использования в тракторной технике,



используемой в агропромышленном комплексе, такое комбинирование питания тракторного дизеля позволяет значительно снизить загазованность воздуха окружающей среды и выполнять работы в крытых производственных помещениях, цехах, складах и теплицах [2, 3, 8, 9].

Говоря об экономии при использовании газомоторного топлива, нужно отметить, что снижение затрат зависит от относительной разницы в стоимости дизельного топлива и заправочного газа. На сегодня наиболее выгодным в плане экономии является природный газ (метан). Поэтому исследования, направленные на улучшение экологических показателей тракторных дизелей, применение которых дает еще и существенный экономический эффект от снижения стоимости моторного топлива, бесспорно являются актуальными [6, 7, 10].

В Вятском государственном агротехнологическом университете на базе кафедры тепловых двигателей, автомобилей и тракторов проведены исследования тракторного дизеля для работы на природном газе с рециркуляцией отработавших газов (РОГ) [1, 2, 4, 5].

Экспериментальная тормозная установка включала электротормозной стенд SAK-N670 с балансирной маятниковой машиной, тракторный дизель 4Ч 11,0/12,5, измерительную аппаратуру, газобаллонное оборудование, систему рециркуляции ОГ. Обработка индикаторных диаграмм рабочего процесса дизеля при работе на различных режимах осуществлялась с помощью ПЭВМ по программе ЦНИДИ-ЦНИИМ. Отбор и анализ проб ОГ производился на автоматической системе газового анализа. Для проведения стендовых испытаний на природном газе была использована передвижная заправочная станция на базе тракторного прицепа 2ПТС-4.

Принципиальная схема дизеля при работе на природном газе с РОГ представлена на рисунке 1.



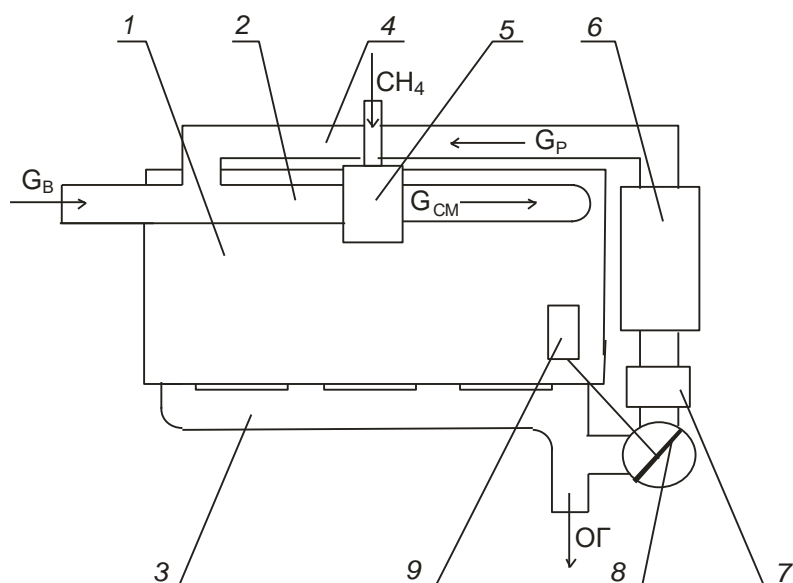


Рисунок 1 – Принципиальная схема дизеля при работе на природном газе с РОГ: 1 – дизель; 2 – впускной коллектор; 3 – выпускной коллектор; 4 – рециркуляционный трубопровод; 5 – газовый смеситель; 6 – охладитель рециркулируемых газов; 7 – искрогаситель; 8 – заслонка; 9 – привод

Индикаторные диаграммы тракторного дизеля представлены на рисунке 2. Из графиков видно, что при работе по газодизельному с РОГ процессу увеличивается угол, соответствующий периоду задержки воспламенения, снижается максимальное давление газов в цилиндре. При работе газодизеля с 10%-й РОГ максимальное давление газов в цилиндре составляет $P_z = 8,2$ МПа, при газодизельном процессе $P_z = 8,5$ МПа, при дизельном процессе $P_z = 8,1$ МПа. Применение 20 %-й РОГ на газодизеле приводит к повышению периода задержки воспламенения, применение же 10%-й РОГ практически оставляет период задержки воспламенения на уровне чисто газодизельного процесса. С увеличением степени рециркуляции уменьшается угол наклона кривой давления, что свидетельствует о снижении жесткости процесса сгорания.



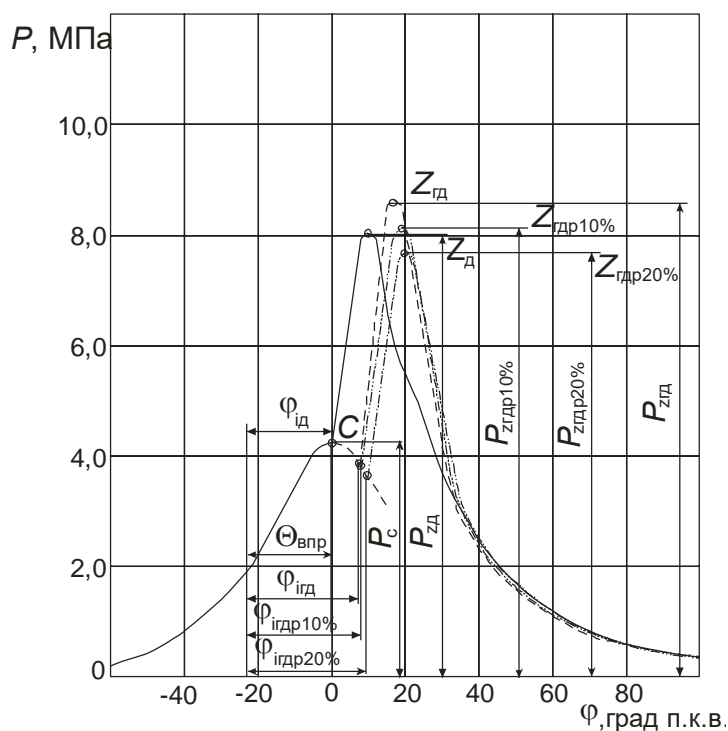


Рисунок 2 – Влияние применения природного газа и РОГ на индикаторные диаграммы тракторного дизеля при $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$, $p_c = 0,64 \text{ МПа}$ и $\Theta_{\text{впр}} = 23$ градуса; ——— — дизельный процесс; - - - - - газодизельный процесс; - · - · - газодизельный с 10% РОГ процесс; - - - - - газодизельный с 20% РОГ процесс

Графики объемного содержания оксидов азота, динамики выделения тепла, осредненной температуры газов, скорости отвода тепла и полезного выделения тепла в цилиндре тракторного дизеля в зависимости от изменения угла поворота коленчатого вала представлены на рисунок 3. Из графиков видно, что максимальное содержание оксидов азота в цилиндре следует сразу за максимальной температурой цикла, значительно превышает содержание оксидов азота в ОГ и увеличивается с повышением максимальной температуры цикла. Так, при работе по газодизельному процессу с 20%-й РОГ максимальное содержание оксидов азота составляет 0,16%, что ниже газодизельного и дизельного процессов на 29,8 и 8,6% соответственно и выше на 53,1%



содержания оксидов азота в ОГ на этом же режиме. Следовательно, это говорит о том, что с уменьшением температуры происходит активное разложение образовавшегося оксида азота.

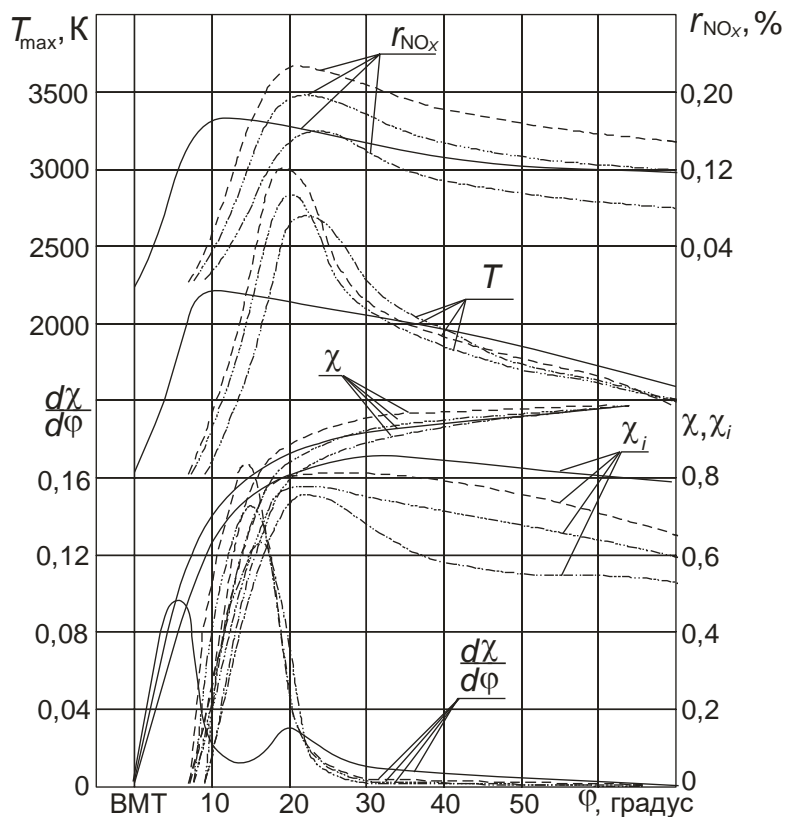


Рисунок 3 – Влияние природного газа и РОГ на характеристики тепловыделения и содержание оксидов азота в цилиндре тракторного дизеля в зависимости от изменения угла поворота коленчатого вала двигателя при $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$,

$$p_c = 0,64 \text{ МПа и } \Theta_{\text{впр}} = 23 \text{ градуса;}$$

- — дизельный процесс; - - - - газодизельный процесс;
- · - · - · - газодизельный с 10% РОГ процесс;
- · - · - · - газодизельный с 20% РОГ процесс

При работе по газодизельному процессу с РОГ уменьшается скорость активного выделения тепла. Для газодизельного процесса с РОГ характерно уменьшение осредненной температуры газов в цилиндре, смещение



максимального значения в сторону от верхней мертвой точки (в.м.т.) Так, при работе газодизеля с 10%-й РОГ на номинальном режиме происходит снижение максимальной осреднённой температуры газов в цилиндре с 3000 К при чисто газодизельном процессе до 2850 К, при работе газодизеля с 20%-й РОГ максимальная осреднённая температура составляет 2700 К, что ниже на 300 К чисто газодизельного процесса.

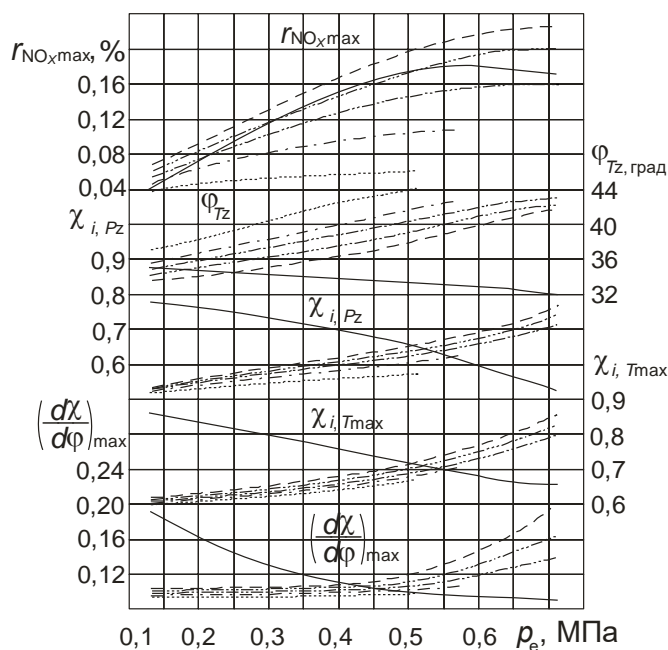


Рисунок 4 – Влияние природного газа и РОГ на характеристики

тепловыделения и концентрацию оксидов азота в цилиндре тракторного дизеля в зависимости от изменения нагрузки при $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ и $\Theta_{\text{впр}} = 23$ градуса:

- — дизельный процесс; - - - - газодизельный процесс;
- · - · - газодизельный с 10% РОГ процесс;
- · - · - газодизельный с 20 % РОГ процесс;
- · - · - газодизельный с 30 % РОГ процесс;
- газодизельный с 40 % РОГ процесс

Характеристики тепловыделения и содержание оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки представлены на рисунке 4. Из графиков видно, что применение РОГ снижает содержание



оксидов азота в цилиндре газодизеля во всём диапазоне нагрузок. При работе по газодизельному процессу с 40%-й РОГ в диапазоне изменения нагрузки от 0,13 до 0,26 МПа происходит уменьшение содержания оксидов азота от 45,0 до 57,6%.

При газодизельном процессе с РОГ характеристики тепловыделения аналогично газодизельным отличные от характеристик дизельного процесса. Значения активного выделения тепла при максимальном давлении, активном выделении тепла при максимальной температуре и максимуме скорости активного тепловыделения при работе по газодизельному процессу с РОГ уменьшаются с увеличением степени рециркуляции во всем диапазоне изменения нагрузок. Значения φ_{tz} на всех нагрузочных режимах с увеличением степени РОГ увеличиваются по отношению к чисто газодизельному процессу.

Содержание токсичных компонентов в ОГ дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки представлено на рисунке 5. Из графиков видно, что применение СПГ на дизеле 4Ч 11,0/12,5 приводит к увеличению содержания оксидов азота в ОГ. Так, на номинальном режиме работы это увеличение составляет 24,1%, а при $p_e = 0,13$ МПа выброс оксидов азота увеличивается на 60,5%. Применение РОГ снижает содержание оксидов азота в ОГ во всём диапазоне нагрузок.

При работе по газодизельному процессу с 40%-й РОГ в диапазоне изменения нагрузки от 0,13 до 0,26 МПа происходит снижение NO_x на 63,4%. При работе газодизеля на номинальном режиме с 10%-й РОГ содержание NO_x в ОГ ниже на 24,1% газодизельного процесса и соответствует дизельному процессу. Применение РОГ вызывает неоднозначное влияние на содержание суммарных углеводородов в ОГ. Так, при работе газодизеля с 40%-й РОГ на малых нагрузках от 0,13 до 0,26 МПа происходит снижение CH_x на 8,7...14,5%, но при $p_e = 0,51$ МПа происходит увеличение на 42,5%. При работе на номинальном режиме с 10%-й РОГ происходит снижение CH_x на 9,9%, а при



увеличении степени РОГ до 20% происходит увеличение выброса CH_x с ОГ на 10,2% относительно чисто газодизельного процесса.

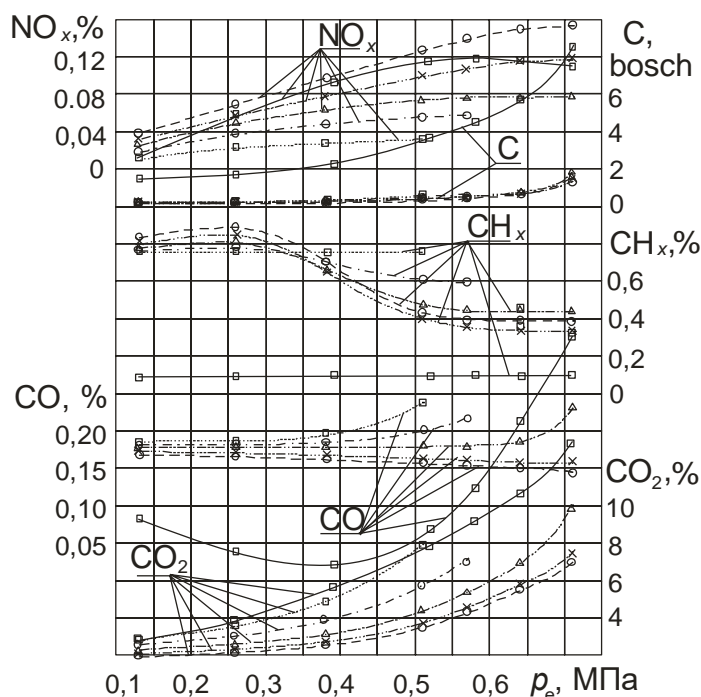


Рисунок 5 – Влияние природного газа и РОГ на показатели токсичности ОГ тракторного дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки при $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ и $\Theta_{\text{впр}} = 23$ градуса:

- — дизельный процесс; ○ - - ○ — газодизельный процесс;
- ×—× — газодизельный с 10 % РОГ процесс;
- △—△ — газодизельный с 20 % РОГ процесс;
- · · · ○ — газодизельный с 30 % РОГ процесс;
- · · · · ■ — газодизельный с 40 % РОГ процесс

Существенно снижается содержание в отработавших газах сажи при работе по газодизельному процессу. Влияние РОГ на содержание сажи в ОГ газодизеля незначительное. Применение РОГ на газодизеле приводит к незначительному росту CO и CO_2 во всём диапазоне изменения нагрузок. Так, при работе с 10%-й РОГ на номинальной нагрузке увеличение составляет 6,3 и



5,1% для CO и CO₂ соответственно. Необходимо отметить, что значительный рост суммарных углеводородов на больших нагрузках обусловлен неполнотой сгорания топлива в условиях недостатка окислителя с увеличением степени РОГ.

Выводы. Подводя краткие итоги по влиянию применения природного газа и охлаждаемой РОГ на тракторном дизеле, можно отметить, что на номинальном режиме работы необходимо снижать степень рециркуляции до 10%, а на малых нагрузках возможно применение 40%-й степени рециркуляции. Использование данной закономерности подачи рециркулируемых газов и природного газа позволяет снизить содержание в ОГ оксидов азота и суммарных углеводородов.

Список источников

1. Study of indicators of the working process of tractor diesel when working on ethanol and rapeseed oil / V. A. Likhanov, O. P. Lopatin, A. S. Yurlov, N. S. Anfilatova // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 839. 2021. 052054.
2. Жосан А. А., Рыжов Ю. Н., Курочкин А. А. Впрыск и горение рапсового масла и дизельного топлива в современных дизелях // Вестник Орловского ГАУ. Орел : Орел ГАУ, 2012. № 1. Том 34. С. 130-132.
3. Лазарев Е. А. Физические концепции и математические модели процесса сгорания топлива в дизеле // Вестник ЮУрГУ. 2010. № 10. С. 32-39.
4. Лиханов В. А., Лопатин О. П. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля с турбонаддувом путем применения природного газа // Тракторы и сельхозмашины. 2010. № 1. С. 11-13.
5. Лиханов В. А., Лопатин О. П., Шишканов Е. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путем их рециркуляции // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 9. С. 8-9.



6. Марченко А. П., Осетров А. А., Линьков О. Ю. Математическая модель процесса сгорания топлива в дизеле // Двигатели внутреннего сгорания. 2013. № 1. С. 3-10.
7. Моделирование внутрицилиндровых процессов в дизелях методом химического турбулентного теплообмена / С. А. Чесноков, Н. Н. Фролов, С. А. Потапов [и др.] // Двигателестроение. 2010. № 1 (239). С. 3-8.
8. Смирнов А. Ю. Улучшение эффективных и экологических показателей автотракторных дизелей с наддувом путем подачи метанола на впуске: автореферат диссертации ... кандидата технических наук. Тверь : ТГСХА, 2009. 19 с.
9. Тереченко А. С. Экологическая безопасность автомобильных дизелей в полном жизненном цикле : автореферат диссертации ... кандидата технических наук. Москва : [б. и.], 2013. 21 с.
10. Тимошенко Д. В. Особенности математической модели процессов сгорания в поршневых ДВС // Электронное научное издание «Ученые заметки ТОГУ». 2014. Том 5. № 1. С. 311-318.

