

**КОГОВУ ДОД «Центр детского (юношеского) технического
творчества, г. Кирова»**

ФГБОУ ВПО Вятская государственная сельскохозяйственная академия

**Всероссийская конференция
«Юные техники и изобретатели»**

**ПУТИ И МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ
ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ АВТОМОБИЛЬНЫМ
ТРАНСПОРТОМ**

**Данилов Александр Витальевич
ФГБОУ ВПО Вятская государственная
сельскохозяйственная академия
Инженерный факультет**

**Научный руководитель – Скрябин Максим Леонидович,
кандидат технических наук,
доцент кафедры тепловых двигателей, автомобилей и тракторов
ФГБОУ ВПО Вятская ГСХА**

Киров - 2015 г.

Оглавление

Аннотация.....	3
Введение.....	4
1. Постановка задачи и актуальность работы.....	5
2. Методы снижения содержания оксидов азота в отработавших газах дизелей.....	10
3. Влияние применения природного газа на токсические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала.....	15
4. Влияние применения природного газа на объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в отработавших газах и показатели процесса сгорания в цилиндре дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения установочного УОВТ.....	18
Выводы и практические рекомендации.....	24
Заключение.....	25
Список литературы.....	26
Приложение.....	28

Аннотация

Основная причина загрязнения воздуха заключается в неполном и неравномерном сгорании углеводородного топлива. В реальных условиях отработавшие газы (ОГ) содержат также продукты неполного сгорания топлива: оксид углерода (CO), альдегиды, твердые частицы углерода, перекисные соединения, водород (H₂) и избыточный кислород (O₂), продукты термических реакций взаимодействия азота с кислородом (NO_x) и др.

Цель научной работы: исследование и оптимизация рабочего процесса автомобильного дизеля с турбонаддувом Д-245.7 и исследование влияния применения природного газа на токсичность отработавших газов.

Исследование проводилось при стендовых испытаниях двигателя в специализированной лаборатории при помощи различных измерительных приборов и оборудования. Рассчитана эффективность использования природного газа в качестве моторного топлива в автомобильном дизеле 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением надувочного воздуха (ПОНВ) при установке его на автобус ПА3-32054. При переходе на газодизельный процесс, ущерб от выбросов токсичных веществ с отработавшими газами в атмосферу снижается на 58 %. Предложены рекомендации по улучшению экологических показателей дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ.

Работа выполнена на 27 страницах основного текста и на 4 страницах приложений. В работе 2 таблицы, 5 графиков, 6 иллюстраций, 13 источников литературы.

Введение

В настоящее время снижение загрязнения атмосферного воздуха токсичными веществами автомобильного транспорта, является одной из важнейших проблем, стоящих перед человечеством. Загрязнение воздуха оказывает вредное воздействие на человека и окружающую среду. Материальный ущерб, вызываемый загрязнением воздуха автомобильным транспортом, трудно оценить. При интенсивной урбанизации и росте мегаполисов автомобильный транспорт стал самым неблагоприятным экологическим фактором в охране здоровья человека и окружающей среды.

По оценкам специалистов ежегодные суммарные выбросы автотранспорта составляют 400 млн. т., среди которых около 27 млн.т. оксидов углерода (CO), 2,5 млн.т. углеводородов (C_nH_m), 9 млн.т. оксидов азота (NO_x), 200-230 млн.т. углекислого газа (CO_2). Среди всех видов транспорта автомобильный наносит наибольший ущерб окружающей среде. В России в местах повышенного загрязнения воздуха проживает около 64 млн. человек, среднегодовые концентрации загрязнителей воздуха превышают предельно допустимые более чем в 600 городах России. Уровень загрязнения воздуха вдоль городских автодорог России оксидами углерода (CO) достигает 3...5 ПДК, а оксидами азота (NO_x) 15...25 ПДК. Такая же напряженная экологическая ситуация и в большинстве стран Европы [1...5].

1. Постановка задачи и актуальность работы

Основная причина загрязнения воздуха заключается в неполном и неравномерном сгорании углеводородного топлива. При полном сгорании стехиометрической смеси углеводородного топлива с воздухом в продуктах сгорания должны присутствовать азот (N_2), углекислый газ (CO_2), вода (H_2O). В реальных условиях ОГ содержат также продукты неполного сгорания топлива: оксид углерода (CO), альдегиды, твердые частицы углерода, перекисные соединения, водород (H_2) и избыточный кислород (O_2), продукты термических реакций взаимодействия азота с кислородом (NO_x), а также неорганические соединения тех или иных веществ, присутствующих в топливе (сернистый ангидрид, соединения свинца и т.д.) [6...8].

В ОГ ДВС содержится около 200 вредных компонентов, из них более 160 – производные углеводородов, образующиеся при неполном сгорании топлива в ДВС.. Токсичность ОГ бензиновых двигателей обуславливается главным образом содержанием оксидов углерода (CO), а дизельных двигателей – оксидов азота (NO_x) и дымности (C). К числу вредных компонентов относятся и твёрдые выбросы, содержащие частицы сажи, на поверхности которой адсорбируются полициклические углеводороды, которые обладают канцерогенными свойствами [2...4].

Образование токсичных веществ – продуктов неполного сгорания и оксидов азота (NO_x) в цилиндре двигателя в процессе сгорания происходит принципиально различными путями. Первая группа токсичных веществ

связана с химическими реакциями окисления топлива, протекающими как в предпламенный период, так и в процессе сгорания – расширения. Вторая группа токсичных веществ образуется при соединении азота и избыточного кислорода в продуктах сгорания. Поэтому рассмотрение механизма образования данных токсичных веществ целесообразно вести отдельно [3].

Содержание токсичных выбросов в отработавших газах двигателей внутреннего сгорания представлено в таблице 1 [4, 6].

В общем случае в составе ОГ двигателей могут содержаться следующие нетоксичные и токсичные компоненты: O, O₂, O₃, C, CO, CO₂, CH₄, C_nH_m, C_nH_mO, NO, NO₂, N, N₂, NH₃, HNO₃, HCN, H, H₂, OH, H₂O. Основными токсичными веществами – продуктами неполного сгорания являются сажа, оксиды углерода, углеводороды, альдегиды и продукты взаимодействия азота воздуха с атомами кислорода – оксиды азота

Таблица 1 - Содержание токсичных выбросов в отработавших газах ДВС

Компоненты	Доля токсичного компонента в ОГ ДВС			
	Бензиновые		Дизельные	
	%	на 1000 л топлива, кг	%	на 1000 л топлива, кг
CO	0,5-12,0	до 200	0,01-0,5	до 25
NO _x	до 0,8	20	до 0,5	36
C _n H _m	0,2 – 3,0	25	0,009-0,5	8
Бенз(α)пирен	–	до 10 мкг/м ³	–	–
Альдегиды	до 0,2 мг/л	–	0,001-0,09 мг/л	–
Сажа	до 0,04 г/м ³	1	0,01-1,1 г/м ³	3

Выброс NO_x с ОГ, в соответствии с классической теорией образования оксидов азота, зависит от температуры в КС ДВС. Чем больше нагрузка двигателя, тем выше температура в КС, и соответственно больше выброс оксидов азота. Кроме того, температура в КС во многом зависит от состава смеси. Слишком обедненная или обогащенная смесь при горении выделяет меньшее количество теплоты, процесс сгорания замедляется и сопровождается большими потерями теплоты в стенки, т.е. в таких условиях выделяется меньшее количество NO_x . Выбросы токсичных компонентов растут, когда состав смеси близок к стехиометрическому. Для дизельных двигателей состав NO_x зависит от установочного УОВТ и периода задержки воспламенения топлива. С увеличением установочного УОВТ удлиняется период задержки воспламенения, улучшается однородность топливовоздушной смеси, большее количество топлива испаряется, и при сгорании резко увеличивается температура, т.е. увеличивается количество NO_x . Кроме того, с уменьшением установочного УОВТ можно существенно снизить выделение оксидов азота, но при этом значительно ухудшаются мощностные и экономические показатели работы дизеля [3].

Состав и свойства токсичных компонентов, поступающих в атмосферу с ОГ, существенно зависят не только от вида топлива, но и от типа, модели, технических параметров автомобиля, в том числе от степени его изношенности – таблица 2 [4].

Таблица 2 - Средние выбросы токсичных компонентов с ОГ
автомобилей

Вид топлива	Выбрасываемое вещество, г/кВт·ч				
	СО	C _n H _m	NO _x	ароматические углеводороды	альдегиды
ДТ Бензин	Новый автомобиль				
	3,5-4,5	2,0-3,0	11,0-14,0	0,00075	0,08
	85,0-95,0	8,0-10,0	15,0-17,0	0,07500	0,65-1,0
ДТ Бензин	Автомобиль, бывший в эксплуатации				
	7,0-12,0	25,-4,0	10,0-14,0	0,00400	0,2-0,4
	120,0-130,0	12,0-14,0	15,0-17,0	0,25000	2,0-3,0

Оксиды азота и их производные являются побочными продуктами нефтехимических производств (при отсутствии химически связанного азота в топливе) и рабочих процессов дизельных двигателей. Образуясь в процессе горения, главным образом, как результат химических реакций атмосферного кислорода и азота, они оказывают влияние на легкие и на органы зрения. Начиная с 150 мкг/м³, при длительных воздействиях происходит нарушение дыхательных функций. Оксиды азота раздражают слизистую оболочку глаз и носа, разрушают легкие. В дыхательных путях оксиды азота реагируют с влагой, поражают слизистые оболочки, бронхи, альвеолярную ткань легких и т.д. Попадая в почву, они вымывают соединения магния, калия и кальция, в результате растения не получают эти вещества в достаточном для фотосинтеза количестве и листья желтеют. Диоксид азота непосредственно действует на листья, вызывая частичное закрывание устьиц, за счет чего замедляется транспирация и как следствие снижается интенсивность фотосинтеза.

Попадая в атмосферу, оксид азота постепенно превращается в диоксид путем взаимодействия с озоном и гидроперекисными радикалами. Таким образом, оксиды азота накапливаются в нижних слоях атмосферы. Их присутствие вызывает кислотные дожди, фотохимический туман – смог, снижает прозрачность атмосферы и сказывается на последующих превращениях главного компонента атмосферы – кислорода [5, 6].

Цель работы: проведя анализ вопроса загрязнения атмосферы ОГ дизелей, можно сделать вывод о необходимости снижения содержания оксидов азота в ОГ. Поэтому применение малоизученных методов по снижению этого токсичного компонента является основной научной задачей, требующей практического решения без серьезного изменения конструкции ДВС [7...8].

2. Методы снижения содержания оксидов азота в отработавших газах дизелей

Количество образующихся в цилиндре дизеля оксидов азота зависит в первую очередь от температуры в КС дизеля и ее конструктивного исполнения, характеристик топлива и длительности рабочих процессов. Источниками оксидов азота в ходе химических реакций являются молекулярный азот воздуха, используемый в качестве окислителя при горении, и азотсодержащие компоненты топлива (если в топливе имеется химически связанный азот). В связи с этим принято делить оксиды азота на воздушные и топливные. Воздушные, в свою очередь, можно разделить на термические, образующиеся при высоких температурах за счет окисления молекулярного азота атомарным кислородом (механизм Я.Б. Зельдовича), и так называемые быстрые оксиды азота, образующиеся в зоне сравнительно низких температур в результате реакции углеводородных радикалов с молекулой азота и последующего взаимодействия атомарного азота с гидроксидом OH [8].

Фронт огня, распространяющийся по КС, достигает температуры около 3000 К. При такой температуре концентрация NO составила бы не менее 5 %. При температуре окружающей среды оксиды азота термодинамически неустойчивы и распадаются на кислород и азот, но скорость этого процесса очень низка. Таким образом, оксид азота достаточно стабилен и выделяется вместе с ОГ.

Решение проблемы снижения содержания оксидов азота связано с совершенствованием рабочих процессов, технического обслуживания, развитием систем нейтрализации отработавших газов [6, 7, 8].

На сегодняшний день наиболее эффективными методами снижения содержания оксидов азота в ОГ являются [4...8]:

- изменение установочного УОВТ (его уменьшение приводит к снижению уровня NO_x , но влечет за собой увеличение удельного расхода топлива);
- изменение степени сжатия (увеличение степени сжатия приводит к снижению содержания NO_x);
- повышение давления впрыскивания (увеличение числа сопловых отверстий распылителя форсунки с одновременным уменьшением их диаметра приводит к более однородному распыливанию топлива и улучшению смесеобразования, в результате чего в цилиндре дизеля получается меньшая неоднородность температурного поля и происходит снижение выходных концентраций NO_x);
- изменение параметров давления и температуры воздуха на впуске и коэффициента избытка воздуха (с увеличением давления наддувочного воздуха, уменьшением его температуры, происходит снижение выбросов NO_x);
- совместное использование турбонаддува и ПОНВ (увеличивается скорость охлаждения продуктов сгорания, так как топливовоздушная смесь, поступающая в цилиндр, имеет более низкую температуру);

- применение альтернативных видов топлива (наиболее распространенное из альтернативных топлив на сегодня – сжатый природный газ);
- применение каталитических нейтрализаторов и других средств очистки ОГ;
- использование рециркуляции ОГ (замещение части воздушного заряда, поступающего в цилиндр дизеля, охлажденными ОГ);
- подача воды на впуске (происходит снижение локальных температур цикла, приводящее к меньшей температурной неоднородности в цилиндре дизеля);
- замена воздуха кислородом (исключение из окислителя азотистых соединений, т.е. отсутствие реакции окисления молекулярного азота атомарным кислородом);
- применение присадок к топливу.

На сегодняшний день методы по снижению содержания оксидов азота можно разделить на четыре группы [7, 8]:

1-я группа – очистка продуктов сгорания от оксидов азота (восстановление оксидов азота с помощью катализаторов);

2-я группа – уменьшение образования оксидов азота за счет конструктивных изменений, регулировок двигателя и топливоподающей аппаратуры;

3-я группа – изменение состава топливовоздушной смеси и вида топлива с изменением процесса сгорания;

4-я группа – снижение температуры цикла в КС, уменьшение температурной и концентрационной неоднородности за счет применения предварительно перемешанных топливовоздушных смесей.

Основная масса токсичных веществ дизелей выбрасывается в окружающий воздух вместе с ОГ. Вредные вещества выделяются также с картерными газами и в результате испарения топлива, смазочных масел, охлаждающих жидкостей. Однако общий объем вредных веществ, выделяемых со всеми этими газами, не превышает 3 % от выбросов ОГ, поэтому именно снижению концентрации вредных веществ в ОГ необходимо уделять особое внимание [3].

Следует отметить, что в настоящее время не существует комплексной оценки эффективности методов улучшения экологических показателей дизелей. Представляется целесообразным в комплексной оценке учитывать стоимость самих устройств и величину предотвращенного ущерба. Имеющиеся методики позволяют сделать только относительные оценки эффективности средств снижения выбросов, поэтому дальнейшей задачей является создание системы комплексной оценки предлагаемых методов и средств снижения токсичности ОГ дизелей при их эксплуатации. Использование малотоксичных рабочих процессов может существенно влиять на выброс в атмосферу оксидов азота.

Немецкой фирмой «Elsbett–Konstruction» («Elko») разработан рабочий процесс «Duotherm» [3], особенностью которого является впрыскивание топлива с помощью односопловой или штифтовой форсунки в центр

ассиметричной КС, имеющей сферическую форму с подрезанной верхней частью. Процесс отличается очень низким содержанием NO_x в ОГ.

Испытаниям по методике ОАО «Дизельпром» для оптимизации параметров высокооборотных дизелей по показателям эмиссии NO_x в ОГ подвергались дизели 1ЧН 16,5/18,5, 6ЧН 15/18, 8ЧН 13/14, 12ЧН 18/20, 4ЧН 15/18, 1ЧН 21/21 [34]. В итоге, круг мероприятий, позволяющих реально воздействовать на уровень эмиссии NO_x практически без ущерба для топливной экономичности дизелей, включает повышение степени сжатия ϵ и коэффициента избытка воздуха α . От увеличения ϵ на 2 единицы на дизеле 4ЧН 15/18, происходит снижение NO_x на 35 г/кг топлива.

Большинство комплексных систем очистки ОГ дизелей состоят из монолитных катализаторов, каталитических и жидкостных нейтрализаторов. Однако массовое применение монолитных катализаторов сдерживается некоторыми проблемами. Во-первых, обычно в этих условиях катализаторами с активной поверхностью являются платиновые (Pt) или палладиевые (Pd) катализаторы. Эти благородные металлы окисляются и испаряются при температурах порядка 1500 К. Следовательно, длительная работа катализаторов из благородных металлов при температурах выше 1300 К приводит к неприемлемо высокой скорости потери катализатора. Если изменение режимов горения и применение монолитных катализаторов недостаточно эффективны либо вообще невозможны, то для снижения выхода NO_x необходимо использовать процессы дожигания. Наиболее

хорошо известный способ снижения выхода – каталитический дожигатель выхлопных газов, которым оснащены системы выхлопа многих автомобилей. Катализатор является комбинацией благородных металлов, которые восстанавливают NO_x до N_2 . Основным элементом, обеспечивающим успешное функционирование каталитического дожигателя выхлопных газов, является λ - датчик, который определяет содержание кислорода в ОГ. Если в ОГ детектируются молекулы кислорода, электронная схема обратной связи двигателя несколько увеличивает скорость подачи топлива, а если кислорода в ОГ вообще не обнаруживается, скорость подачи топлива несколько уменьшается [5, 6].

3. Влияние применения природного газа на токсические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала

Скоростные характеристики изменения содержания токсичных компонентов в ОГ дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ на оптимальных установочных УОВТ в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала представлены на рис. 1 [9...13].

Из графиков видно, что при работе дизеля на ДТ при увеличении частоты вращения коленчатого вала содержание углеводородов CH_x в ОГ уменьшается с 0,016 % при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ до 0,007 % при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$. Уменьшение составляет 62,1 %. При увеличении частоты вращения уменьшается содержание оксидов азота NO_x в ОГ от 750 ppm при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ до 650 ppm при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$. Уменьшение содержания NO_x составляет 13,3 %. При увеличении частоты вращения уменьшается

содержание CO_2 в ОГ. Так, при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ значение CO_2 составляет 5,50 %, а при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ значение CO_2 составляет 3,75 %. Содержание CO_2 в ОГ уменьшается на 31,8 %. Содержание CO в ОГ повышается с 0,006 % при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ до 0,029 % при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$, или 4,8 раза. Дымность ОГ с увеличением частоты вращения увеличивается. Так, при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ дымность ОГ составляет 0,8 единицы по шкале Bosch, а при частоте $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ – 1,95 единицы по шкале Bosch, т.е. дымность повышается в 2,4 раза.

Если рассматривать изменение токсических показателей при работе дизеля на ПГ, можно сделать следующие выводы. При увеличении частоты вращения уменьшается содержание NO_x в ОГ от 583 ppm при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ до 499 ppm при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$. Уменьшение содержания NO_x составляет 14,4 %. При работе дизеля на ПГ при увеличении частоты вращения коленчатого вала содержание CH_x в ОГ повышается с 0,10 % при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ до 0,20 % при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$, т.е. в 2 раза. При увеличении частоты вращения снижается содержание CO_2 в ОГ. Так, при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ содержание CO_2 в ОГ составляет 5,78 %, а при увеличении частоты вращения до максимальной, т.е. при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$, содержание CO_2 в ОГ составляет 4,72 %. Содержание CO_2 снижается на 18,3 %. Содержание CO в ОГ повышается с 0,060 % при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ до 0,100 % при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$, или на 66,7 %. Дымность ОГ (C) с увеличением частоты вращения увеличивается. Так, при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ дымность ОГ составляет 0,1 единицы по шкале Bosch, а при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ – 0,95 единицы по шкале Bosch, т.е. повышается в 9,5 раза.

Анализируя изменение содержания токсичных компонентов в ОГ дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при переходе с ДТ на ПГ при работе дизеля на оптимальных установочных УОВТ в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала, можно отметить следующее. Содержание NO_x в ОГ при работе дизеля на ПГ меньше, чем при работе дизеля на ДТ. Так, при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ содержание NO_x снижается с 750 ppm при работе дизеля на

ДТ до 583 ppm при работе дизеля на ПГ. Снижение составляет 22,3 %. На большей частоте вращения коленчатого вала также происходит снижение содержания NO_x . Так, при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ содержание NO_x при работе дизеля на ДТ составляет 650 ppm, а при работе дизеля на ПГ составляет 499 ppm. Снижение составляет 23,2 %. Содержание CH_x в ОГ при работе дизеля на ПГ на малой частоте вращения ($n = 1400 \text{ мин}^{-1}$) повышается и составляет 0,100 % по сравнению с содержанием CH_x при работе дизеля на ДТ, которое составляет 0,016 %, т.е. увеличивается в 6,3 раза. При увеличении частоты вращения до $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ содержание CH_x в ОГ при работе дизеля на ПГ также возрастает и составляет 0,20 % по сравнению с содержанием CH_x при работе дизеля на ДТ, которое равно 0,007 %, т.е. увеличивается в 28,6 раза.

Содержание CO_2 в ОГ при работе дизеля на ДТ при частоте вращения $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ составляет 5,50 %, а при работе дизеля на ПГ – 5,78 %, т.е. повышается на 5,1 %. При увеличении частоты вращения до $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ содержание CO_2 в ОГ при работе дизеля на ДТ составляет 3,75 %, а при работе дизеля на ПГ – 4,72 %, т.е. увеличение содержания CO_2 составляет 25,9 %. Содержание CO в ОГ при частоте вращения $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ на ДТ составляет 0,006 %, а при работе дизеля на ПГ – 0,060 %. Содержание CO в ОГ увеличивается в 10 раз. При увеличении частоты вращения до $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ содержание CO в ОГ при работе дизеля на ДТ составляет 0,029 %, а при работе дизеля на ПГ 0,100 %, т.е. увеличивается в 3,4 раза. Дымность ОГ (С) при работе дизеля на ПГ, по сравнению с работой на ДТ, изменяется с увеличением частоты вращения. Так, при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ при работе дизеля на ДТ значение дымности составляет 0,80 единицы по шкале Bosch, а при работе дизеля на ПГ – 0,10 единицы по шкале Bosch. При увеличении частоты вращения до $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ значение дымности при работе дизеля на ДТ составляет 1,95 единицы по шкале Bosch, а при работе дизеля на ПГ 0,95 единицы по шкале Bosch, т.е. дымность снижается более чем в 2 раза.

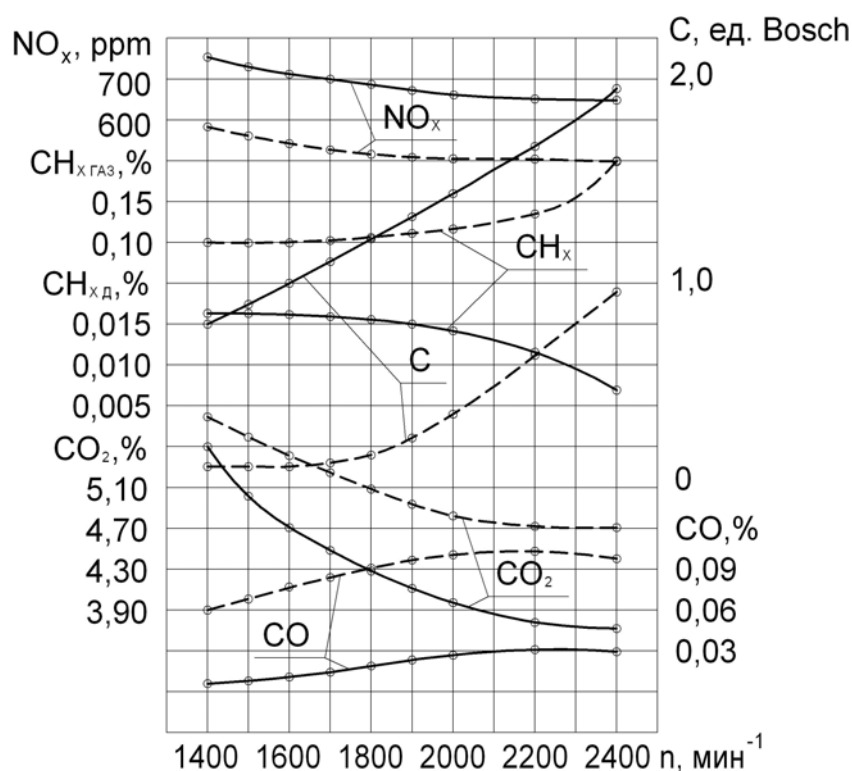


Рисунок 1 – Влияние применения ПГ на токсические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала;
 ——— - дизельный процесс, — — — - газодизельный процесс

Анализируя изменение содержания токсичных компонентов в ОГ дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при переходе с ДТ на ПГ отметим, что при работе дизеля на ПГ на всем скоростном диапазоне увеличивается содержание в ОГ дизеля оксида углерода CO, диоксида углерода CO₂, в несколько раз возрастает содержание суммарных углеводородов CH_x. При этом значительно снижается содержание оксидов азота NO_x, и уменьшается дымность ОГ [9...13].

4. Влияние применения природного газа на объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в отработавших газах и показатели процесса сгорания в цилиндре дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения установочного УОВТ

На рис. 2 представлены графики влияния применения ПГ на объемное

содержание γ_{NOx} и массовую концентрацию C_{NOx} оксидов азота в отработавших газах и показатели процесса сгорания в цилиндре дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 и ПОНВ в зависимости от изменения установочного УОВТ для номинальной частоты вращения $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,947 \text{ МПа}$ и частоты вращения максимального крутящего момента $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 1,036 \text{ МПа}$. Как видно из графиков, с увеличением установочного УОВТ при работе дизеля на ДТ и ПГ возрастают максимальное давление газов и температура в цилиндре двигателя, а также объемное содержание γ_{NOx} и массовая концентрация C_{NOx} оксидов азота[9...13].

Таким образом, по показателям объемного содержания γ_{NOx} и массовой концентрации C_{NOx} оксидов азота и показателям процесса сгорания, с учетом эффективных показателей необходимо принять оптимальный установочный УОВТ $\Theta_{\text{впр гд}} = 7^\circ$ до в.м.т. при работе дизеля на ПГ и $\Theta_{\text{впр д}} = 9^\circ$ до в.м.т. при работе дизеля на ДТ.

Сравнивая оптимальные установочные УОВТ, следует отметить, что при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ происходит снижение опытных значений объемного содержания $\gamma_{\text{NOx опыт}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx опыт}}$ оксидов азота с 650 ppm и $0,936 \text{ г/м}^3$ при работе дизеля на ДТ, до 499 ppm и $0,718 \text{ г/м}^3$ при работе дизеля на ПГ. Расчетные значения объемного содержания $\gamma_{\text{NOx расч}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx расч}}$ составляют, соответственно, 715 ppm ($1,029 \text{ г/м}^3$) и 548 ppm ($0,789 \text{ г/м}^3$). То есть снижение объемного содержания γ_{NOx} и массовой концентрации C_{NOx} оксидов азота составляет, соответственно, 151 ppm и $0,218 \text{ г/м}^3$, или 23,6 %. Коэффициент избытка воздуха α при работе дизеля на ПГ уменьшается на 15,1 %. Увеличение максимального давления сгорания $p_{z \text{ max}}$ при работе дизеля на ПГ составляет 6 %. Увеличение максимальной осредненной температуры при работе дизеля на ПГ T_{max} составляет 16 %. При $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ происходит снижение объемного содержания $\gamma_{\text{NOx опыт}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx опыт}}$ оксидов азота с 700 ppm и $1,008 \text{ г/м}^3$ при работе дизеля на ДТ до 528 ppm и $0,760 \text{ г/м}^3$ при

работе дизеля на ПГ, т.е. на 172 ppm, или на 24,5 %. Снижение объемного содержания γ_{NOx} и массовой концентрации C_{NOx} оксидов азота составляет, соответственно, 172 ppm и 0,247 г/м³, или 24,5 %. Расчетные значения объемного содержания $\gamma_{\text{NOx}}^{\text{расч}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx}}^{\text{расч}}$ составляют, соответственно, 770 ppm (1,109 г/м³) и 580 ppm (0,8352 г/м³). Коэффициент избытка воздуха α при работе дизеля на ПГ уменьшается на 25 %. Увеличение максимального давления сгорания $p_{z \text{ max}}$ при работе дизеля на ПГ составляет 5 %. Увеличение максимальной осредненной температуры при работе дизеля на ПГ T_{max} составляет 22 %.

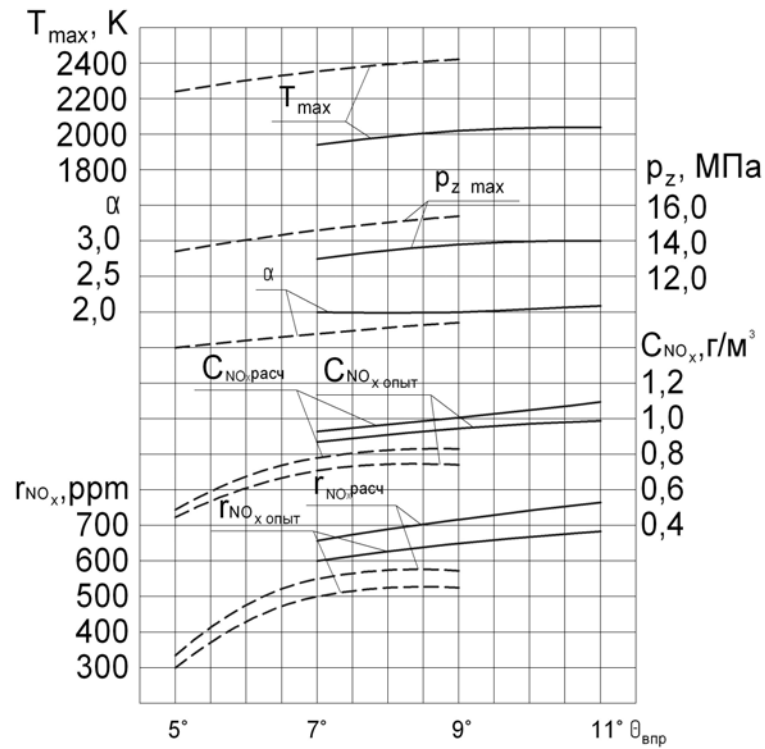
Незначительное увеличение расчетных значений объемного содержания $\gamma_{\text{NOx}}^{\text{расч}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx}}^{\text{расч}}$ оксидов азота можно объяснить тем, что при движении ОГ до автоматической системы газового анализа происходит дальнейшее разложение оксидов азота на элементарные составляющие [9...13].

Снижение значения объемного содержания γ_{NOx} и массовой концентрации C_{NOx} оксидов азота при работе дизеля на ПГ при возрастающей температуре связано с температурной неравномерностью в зоне продуктов сгорания, а также с тем, что время нахождения продуктов сгорания в зоне максимальных температур снижается вследствие более интенсивного процесса сгорания. При совместном использовании турбонаддува и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха происходит снижение коэффициента избытка воздуха α , увеличивается скорость охлаждения продуктов сгорания, так как топливовоздушная смесь, поступающая в цилиндр, имеет более низкую температуру. Увеличение показателей процесса сгорания при работе дизеля на ПГ на всех исследуемых углах объясняется в первую очередь тем, что при работе дизеля на ПГ увеличивается угол, соответствующий периоду задержки воспламенения, то есть процесс сгорания происходит в меньший период времени и более интенсивно, что, в свою очередь, препятствует окислению азота МВС в условиях недостатка кислорода, замедляет процесс образования оксидов

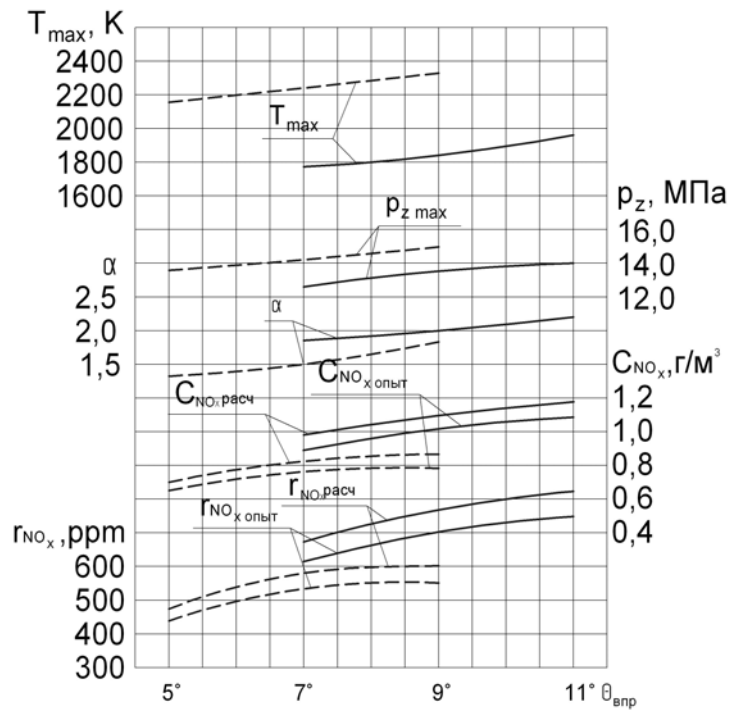
азота в цилиндре и, соответственно, снижает содержание оксидов азота в ОГ дизеля.

Таким образом, по показателям объемного содержания r_{NOx} и массовой концентрации C_{NOx} оксидов азота и показателям процесса сгорания, с учетом эффективных показателей необходимо принять оптимальный установочный УОВТ $\Theta_{\text{впр гд}} = 7^\circ$ до в.м.т. при работе дизеля на ПГ и $\Theta_{\text{впр д}} = 9^\circ$ до в.м.т. при работе дизеля на ДТ.

Сравнивая оптимальные установочные УОВТ, следует отметить, что при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ происходит снижение опытных значений объемного содержания $r_{\text{NOx опыт}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx опыт}}$ оксидов азота с 650 ppm и $0,936 \text{ г/м}^3$ при работе дизеля на ДТ, до 499 ppm и $0,718 \text{ г/м}^3$ при работе дизеля на ПГ. Расчетные значения объемного содержания $r_{\text{NOx расч}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx расч}}$ составляют, соответственно, 715 ppm ($1,029 \text{ г/м}^3$) и 548 ppm ($0,789 \text{ г/м}^3$). То есть снижение объемного содержания r_{NOx} и массовой концентрации C_{NOx} оксидов азота составляет, соответственно, 151 ppm и $0,218 \text{ г/м}^3$, или 23,6 %. Коэффициент избытка воздуха α при работе дизеля на ПГ уменьшается на 15,1 %. Увеличение максимального давления сгорания $p_{z \text{ max}}$ при работе дизеля на ПГ составляет 6 %. Увеличение максимальной осредненной температуры при работе дизеля на ПГ T_{max} составляет 16 %. Снижение объемного содержания r_{NOx} и массовой концентрации C_{NOx} оксидов азота составляет, соответственно, 172 ppm и $0,247 \text{ г/м}^3$, или 24,5 %. Расчетные значения объемного содержания $r_{\text{NOx расч}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx расч}}$ составляют, соответственно, 770 ppm ($1,109 \text{ г/м}^3$) и 580 ppm ($0,8352 \text{ г/м}^3$). Коэффициент избытка воздуха α при работе дизеля на ПГ уменьшается на 25 %. Увеличение максимального давления сгорания $p_{z \text{ max}}$ при работе дизеля на ПГ составляет 5 %. Увеличение максимальной осредненной температуры при работе дизеля на ПГ T_{max} составляет 22 %.



а)



б)

Рисунок 2 – Влияния применения ПГ на объемное содержание r_{NO_x} и массовую концентрацию C_{NO_x} оксидов азота в отработавших газах и показатели процесса сгорания в цилиндре дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 и ПОНВ в зависимости от изменения установочного УОВТ:

а) $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,947 \text{ МПа}$; б) $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 1,036 \text{ МПа}$;

— - дизельный процесс, - - - газодизельный процесс

Незначительное увеличение расчетных значений объемного содержания $\gamma_{\text{NOx расч}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота можно объяснить тем, что при движении ОГ до автоматической системы газового анализа происходит дальнейшее разложение оксидов азота на элементарные составляющие.

Снижение значения объемного содержания γ_{NOx} и массовой концентрации C_{NOx} оксидов азота при работе дизеля на ПГ при возрастающей температуре связано с температурной неравномерностью в зоне продуктов сгорания, а также с тем, что время нахождения продуктов сгорания в зоне максимальных температур снижается вследствие более интенсивного процесса сгорания. При совместном использовании турбонаддува и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха происходит снижение коэффициента избытка воздуха α , увеличивается скорость охлаждения продуктов сгорания, так как топливовоздушная смесь, поступающая в цилиндр, имеет более низкую температуру. Увеличение показателей процесса сгорания при работе дизеля на ПГ на всех исследуемых углах объясняется в первую очередь тем, что при работе дизеля на ПГ увеличивается угол, соответствующий периоду задержки воспламенения, то есть процесс сгорания происходит в меньший период времени и более интенсивно, что, в свою очередь, препятствует окислению азота МВС в условиях недостатка кислорода, замедляет процесс образования оксидов азота в цилиндре и, соответственно, снижает содержание оксидов азота в ОГ дизеля [9...13].

Выводы и практические рекомендации

На основании теоретических, расчетно-теоретических и экспериментальных исследований получены следующие результаты.

1. На основании проведенных лабораторно-стендовых исследований рабочего процесса дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ (Д - 245.7) при работе на ПГ обоснована возможность улучшения экологических показателей дизеля путем применения ПГ, в частности, снижения оксидов азота в ОГ, экономии дизельного топлива, улучшения эффективных показателей.

2. Определены оптимальные установочные УОВТ: при работе дизеля на ПГ оптимальный установочный УОВТ $\Theta_{впр} = 7^\circ$ до в.м.т., при работе на ДТ $\Theta_{впр} = 9^\circ$ до в.м.т.

3. Определены опытные значения объемного содержания $\gamma_{NOx \text{ опыт}}$ и массовой концентрации $C_{NOx \text{ опыт}}$ оксидов азота в цилиндре дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на ДТ и ПГ в зависимости от установочного УОВТ при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,947 \text{ МПа}$ и при $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 1,036 \text{ МПа}$:

7. Определены значения $\gamma_{NOx \text{ опыт}}$ и $C_{NOx \text{ опыт}}$ в цилиндре дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на ДТ и ПГ, в зависимости от изменения нагрузки:

8. Определены значения $\gamma_{NOx \text{ опыт}}$ и $C_{NOx \text{ опыт}}$ в цилиндре дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на ПГ, в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала при оптимальных установочных УОВТ:

При работе дизеля на ПГ объемное содержание $\gamma_{NOx \text{ опыт}}$ и массовая концентрация $C_{NOx \text{ опыт}}$ оксидов азота ниже в среднем на 20 % во всем диапазоне изменения частот вращения коленчатого вала двигателя.

Заключение

1. Установлена возможность работы дизеля с турбонаддувом размерности 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ на природном газе с сохранением запальной порции ДТ без внесения серьезных изменений в конструкцию двигателя

2. Обеспечена двухтопливность двигателя, т.е. двигатель может работать как по дизельному, так и по газодизельному процессу, что повышает запас хода на одной заправке и увеличивает зону работы автомобиля.

3. На основании проведенных стендовых исследований дизеля размерности 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ (Д-245.7) при работе на ПГ установлена возможность сохранения эффективных показателей на уровне серийного дизеля при подаче минимальной порции запального ДТ в количестве 15 % и подачи КПГ в количестве 85 %.

4. В результате анализа ОГ дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на ПГ установлено снижение содержания основных токсичных компонентов на номинальном режиме:

- снижение содержания оксидов азота NO_x в ОГ при работе дизеля с турбонаддувом и ПОНВ на ПГ составляет 24 %;

- снижение содержания сажи С в ОГ при работе дизеля с турбонаддувом на КПГ составляет 96 %;

- снижение содержания оксида углерода СО в ОГ при работе дизеля с турбонаддувом на КПГ составляет 24 %.

Список литературы

1. Говорущенко Н.Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте. – М.: Транспорт, 1990. – 135 с.
2. Горбунов В.В., Патрахальцев Н.Н. Токсичность двигателей внутреннего сгорания. – М.: Изд-во РУДН, 1998. – 214 с.: ил.
3. ГОСТ 27577-2000 Газ природный топливный компримированный для двигателей внутреннего сгорания. Технические условия. - М.: Изд-во стандартов, 2001. – 7 с.
4. Гоц А.Н., Мацаренко И.П., Мокеева В.Н. Тенденции развития автомобильных и тракторных дизелей за рубежом // Двигателестроение. – 1992. - № 8-9. – С. 65-67.
5. Жегалин О.И., Лупачев П.Д. Снижение токсичности автомобильных двигателей. - М.: Транспорт, 1985. - 120 с.
6. Звонов В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания. - 2-е изд. - М.: Машиностроение, 1981. - 160 с.
7. Скрябин М.Л. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизельного двигателя за счет модификации процесса горения. // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства: Мосоловские чтения / Материалы Межд. науч.-практ. конф. – Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т, 2007. - Вып. IX. Кн. 2. – С. 350-353.
8. Лиханов В.А. Природный газ как моторное топливо для тракторных дизелей. – Киров: Вятская ГСХА, 2002. – 280 с.
9. Скрябин М.Л. Сгорание запальной дозы дизельного топлива в метановоздушной смеси // Повышение технико - экономических и экологических показателей двигателей, тракторов, автомобилей в сельскохозяйственном производстве: Материалы 17-ой науч. - практ. конф. вузов Поволжья и Предуралья, посвященной 50-летию кафедры «Тракторы и автомобили» НГСХА. – Н.Новгород: НГСХА, 2007. – С. 147-152.

10. Скрыбин М.Л. Сгорание запальной дозы дизельного топлива в метановоздушной смеси // Повышение технико - экономических и экологических показателей двигателей, тракторов, автомобилей в сельскохозяйственном производстве: Материалы 17-ой науч. - практ. конф. вузов Поволжья и Предуралья, посвященной 50-летию кафедры «Тракторы и автомобили» НГСХА.– Н.Новгород: НГСХА, 2007. – С. 147-152.

11. Улучшение эффективных показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе / В.А. Лиханов, А.В. Гребнев, М.Л. Скрыбин и др. // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2008. – № 6. – С. 19-21.

12. Гребнев А.В., Скрыбин М.Л. Динамическая модель горения капель дизельного топлива в цилиндре газодизеля // Улучшение эксплуатационных показателей мобильной энергетике: Материалы I Всероссийской науч. - практ. конф. «Наука - Технология - Ресурсосбережение» и 54-й науч. - практ. конф. профессор.-преподав. состава и аспирантов инженер. факультета Вятской ГСХА, посвященной 55-летию инженер. факультета. – Вятская ГСХА, 2007. – С. 163-166.

13. Лиханов В.А., Гребнев А.В., Скрыбин М.Л. и др. Улучшение эффективных показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем совершенствования процессов сгорания и тепловыделения // Сб. тр. Межд. науч. конф. «Гидродинамика, механика, энергетические установки». – Чебоксары: ЧПИ МГОУ, 2008. – С. 711-718.

Приложение

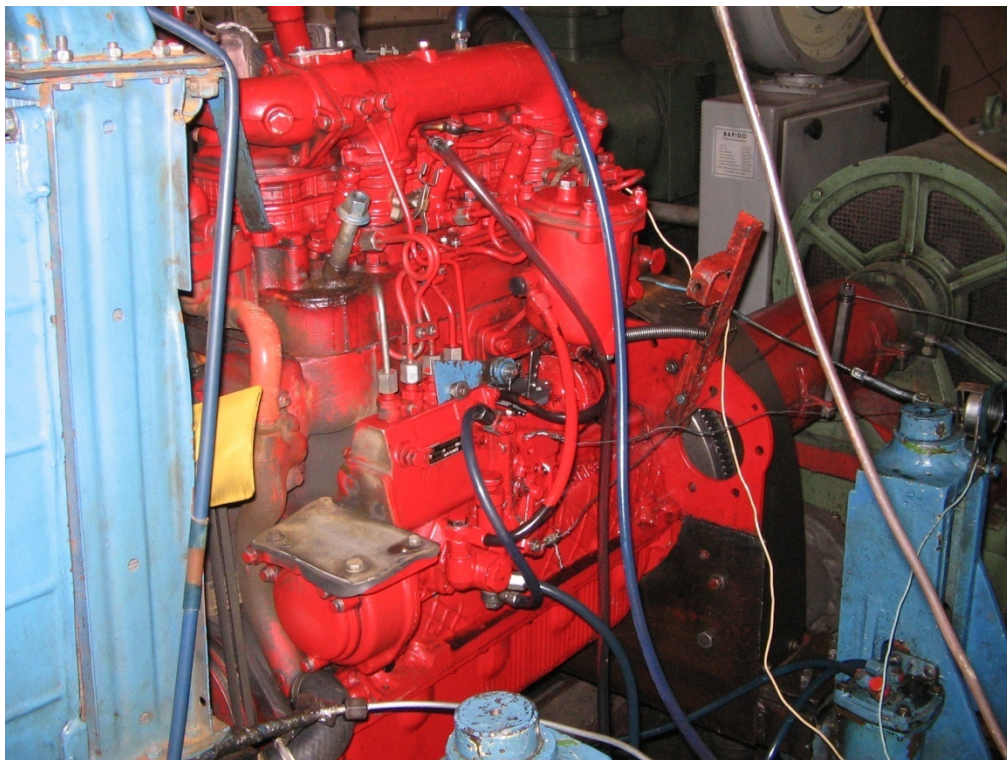


Рис. 1 – Вид на двигатель, установленный на стенде



Рис. 2 – Вид пульта управления испытательным стендом



Рис. 3 – Датчики контроля состояния двигателя



Рис. 4 – Приборы для определения давления газов в цилиндре дизеля



Рис. 5 – Пишущее устройство индикатора МАИ-5А

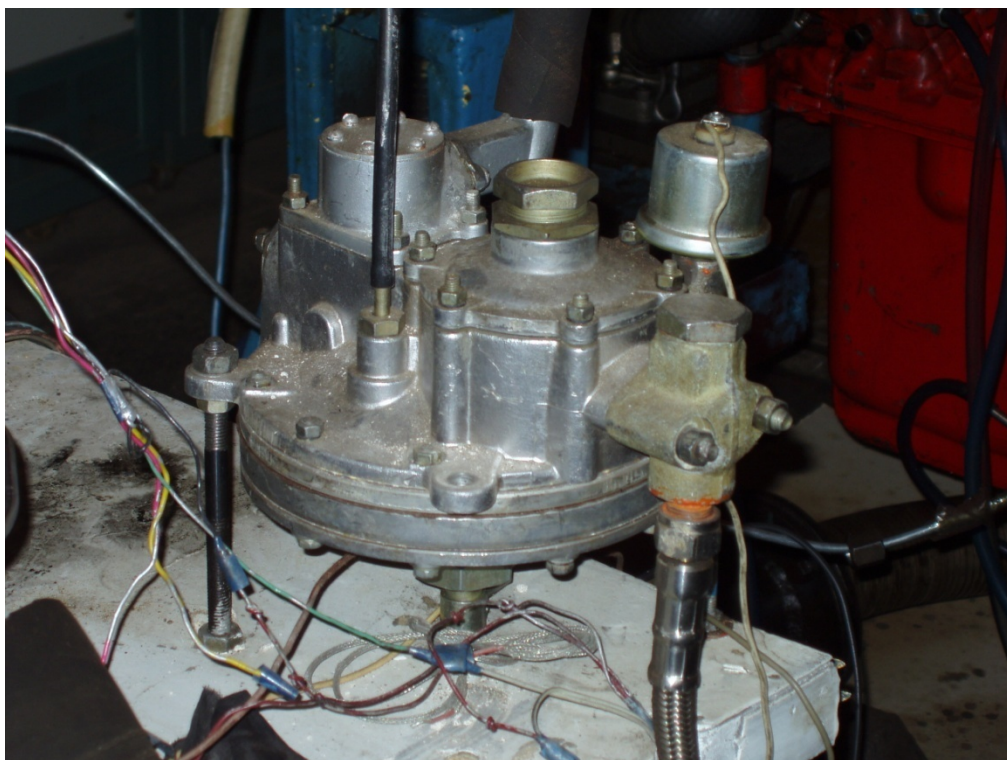


Рис. 6 – Газовый редуктор низкого давления

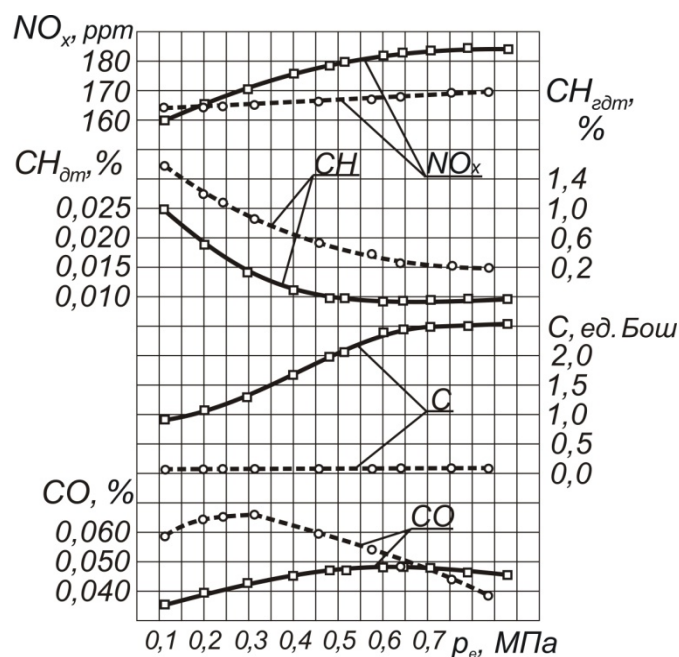


Рис. 7 - Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки при $\Theta_{впр} = 11^\circ$ п.к.в., $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$; — - дизельный процесс; - - - - газодизельный процесс

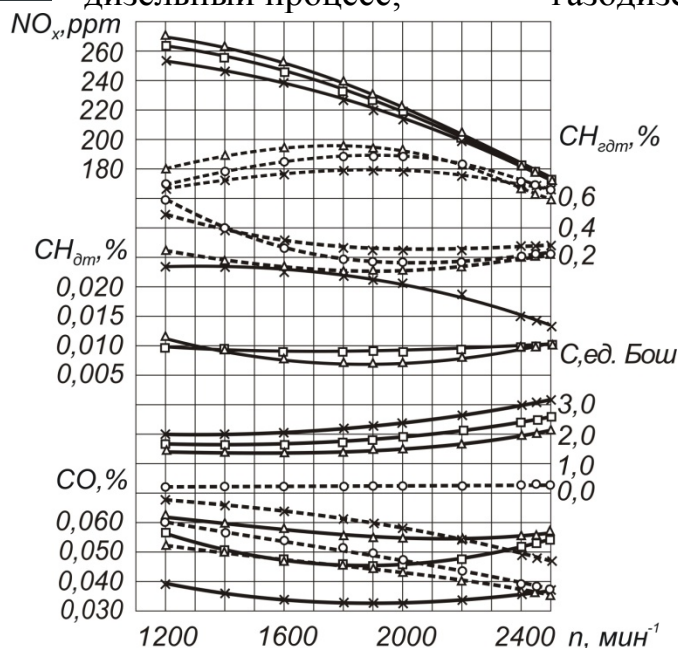


Рис. 8 - Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от частоты вращения:

$\times$ — $\times$ - дизельный процесс, $\Theta_{впр} = 8^\circ$ п.к.в., $\square$ — $\square$ - дизельный процесс, $\Theta_{впр} = 11^\circ$ п.к.в.
 $\triangle$ — $\triangle$ - дизельный процесс, $\Theta_{впр} = 14^\circ$ п.к.в., $\times$ ----- $\times$ - газодизельный процесс, $\Theta_{впр} = 8^\circ$ п.к.в.
 $\circ$ ----- $\circ$ - газодизельный процесс, $\Theta_{впр} = 11^\circ$ п.к.в., $\triangle$ ----- $\triangle$ - газодизельный процесс, $\Theta_{впр} = 14^\circ$ п.к.в.