УДК 621.43-6 ; 631.3:662

ГАЗОМОТОРНЫЙ ТРАНСПОРТ, СОЗДАННЫЙ В ВЯТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

Лиханов В. А., доктор технических наук, профессор
E-mail: lihanov.va@mail.ru
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Вятский государственный агротехнологический университет»,
г. Киров, Россия

Аннотация. В статье изложена часть результатов работ по созданию газомоторного транспорта, в первую очередь сельскохозяйственных тракторов и машин, в Вятском государственном агротехнологическом университете начиная с 1986 года по настоящее время. Рассматривается большой объем стендовых испытаний отечественных и зарубежных двигателей разных размерностей, с различным числом цилиндров, с воздушным и жидкостным охлаждением, с турбонаддувом и без него, а также с каталитическими нейтрализаторами и рециркуляцией отработавших газов. Приведены фотографии созданных образцов сельскохозяйственной и дорожно-коммунальной техники, использующей в качестве топлива компримированный природный газ. Все образцы обладают улучшенными экологическими показателями по сравнению с базовыми модификациями и сохранили способность работать на традиционном дизельном топливе.

Ключевые слова: природный газ, компримированный газ, дизельное топливо, трактор, дизель

GAS-POWERED TRANSPORT CREATED AT VYATKA STATE AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY

Likhanov V. A., doctor of technical sciences, professor
E-mail: lihanov.va@mail.ru
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Vyatka State Agrotechnological University», Kirov, Russia

Annotation. The article presents some work results concerned with creating gas-powered vehicles, primarily agricultural tractors and machines, at Vyatka State Agrotechnological University since 1986 to the present time. The authors consider the large number of bench tests of domestic and foreign engines of different dimensions, with different numbers of cylinders, with air and liquid cooling, with and without turbocharging, as well as with catalytic converters and exhaust gas recirculation. Photographs of created samples of agricultural and road-utility vehicles

using compressed natural gas as fuel are presented. All samples have improved environmental performance compared to the basic modifications and have retained the ability to run on traditional diesel fuel.

Keywords: natural gas, compressed gas, diesel fuel, tractor, diesel

Президент Российской Федерации В. В. Путин о метане как о топливе очень чётко и подробно говорит с 2017 года. В своем Послании Федеральному Собранию 20 февраля 2019 года он подчеркнул: «Необходимо переводить на более чистые экологические решения предприятия ЖКХ, энергетики, транспорта. В том числе призываю бизнес активнее участвовать в проектах по развитию рынка газомоторного топлива, инвестировать в создание сети заправок и топливных систем, использующих, в частности, сжиженный природный газ (СПГ). У нас его достаточно, так, как ни в одной стране мира. Да, это вообще на самом деле непростой и финансово ёмкий проект, но нужно это делать, он принесёт результаты, принесёт результаты и по бизнесу, и людям».

На встрече с представителями деловых кругов России ещё 26 декабря 2018 года Президент Российской Федерации В. В. Путин сказал: «Нашим ведущим компаниям хочу также предложить следующую инициативу – принять

участие в развитии рынка газомоторного топлива, более экологичного топлива, особенно в индустриальных центрах России. Речь идёт о создании современной инфраструктуры, сети заправочных станций, а также о переводе корпоративного, общественного и коммунального транспорта на сжиженный природный газ. Разумеется, конечно, эти проекты необходимо детально просчитать».

В предыдущие годы Президент Российской Федерации и Правительство России также уделяли внимание этой проблеме, о чем свидетельствуют перечень поручений Президента РФ по итогам совещания по вопросу расширения использования газа в качестве моторного топлива от 11 июня 2013 г. № Пр-1298, Распоряжение Правительства РФ от 13 мая 2013 г. № 767-р, согласно которым перевод на газомоторное топливо (ГМТ) является одним из приоритетных направлений модернизации отечественного парка пассажирских, дорожно-коммунальных машин и сельскохозяйственной техники.

О расширении использования газа в качестве моторного топлива говорилось в следующих документах:

1. Государственная программа РФ «Развитие энергетики», утвержденная Постановлением Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014 года № 321, предусматривающая увеличение стационарных объектов заправки природным газом в 2024 году до 1273 и количество транспортных средств, работающих на природном газе, до 274 тысяч. Ежегодный прирост ТС, работающих на природном газе, может составлять 20-30 тыс. шт. ежегодно.

2. Указ Президента Российской Федерации от 21 июля 2020 г. № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года».

3. Указ Президента Российской Федерации от 4 ноября 2020 г. № 666 «О сокращении выбросов парниковых газов».

4. План мероприятий (дорожная карта) по развитию рынка малотоннажного сжиженного природного газа и газомоторного топлива в

Российской Федерации на период до 2025 года, утвержденный распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 февраля 2021 г. № 350-р.

5. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 года № 1523-р, предусматривает:

– рост потребления газомоторного топлива в 4 раза к 2024 году и в 15-19 раз к 2035 году;

– показателем решения задачи является объем потребления метана на транспорте к 2024 году – 2,7 млрд $м^3$, а к 2035 – 10-13 млрд $м^3$.

6. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р, в которой одним из принципов развития транспортных услуг названо «снижение негативного воздействия транспортного комплекса на окружающую среду в соответствии с принципами устойчивого развития: доведение доли электротранспорта и транспортных средств на альтернативных видах топлива в общем объеме грузоперевозок до 30 % к 2035 году в целом по транспортному комплексу, в РФ при реализации инновационного сценария доля легкового транспорта, работающего на природном газе, в 2030 году может составить 6,2 % численности автопарка. Для грузовых транспортных средств – 9,2 %. В части сжиженного природного газа общий объем потребления в 2030 году (кроме водного) составит 0,95-3,75 млн т, при этом 88 % будет потреблять автомобильный транспорт».

7. Стратегия развития автомобильной промышленности Российской Федерации до 2035 года, утверждённая распоряжением Правительство Российской Федерации от 28 декабря 2022 г. № 4261-р предусматривает прогнозную структуру рынка автомобильной отрасли с транспортом, имеющим двигатели внутреннего сгорания, работающим на метане.

Таблица 1 – Прогнозная структура рынка автомобильной отрасли РФ

Тип силовой установки	Категории транспорта	2025	2030	2035
Двигатель внутреннего сгорания на метане	Легковые автомобили	менее 1 %	менее 2 %	менее 5 %
Двигатель внутреннего сгорания на метане	Легкие коммерческие автомобили	1-3 %	5 %	15 %
Двигатель внутреннего сгорания на метане	Грузовые автомобили	5 %	10 %	15 %
Двигатель внутреннего сгорания на метане	Автобусы	40 %	40 %	35 %

Концепция развития рынка газомоторного топлива (ГМТ) до 2035 года, разрабатываемая Министерством энергетики Российской Федерации, предусматривает следующие меры по переводу транспорта на ГМТ:

1. В 2023-2025 гг. предполагается завершить формирование всей необходимой нормативно-правовой базы.
2. На 2025-2030 гг. запланировано строительство основной инфраструктуры вдоль дорожной сети и постепенное увеличение её загрузки.
3. На 2030-2035 гг.– основное наращивание потребления природного газа в качестве моторного топлива и общее увеличение парка газомоторного транспорта.

В концепции заложены некоторые планируемые показатели:

- К 2035 году число газовых заправок для автотранспорта должно увеличиться до 2715 единиц (сейчас их менее 1200).
- Предполагается производство 551,3 тыс. легковых и грузовых автомобилей на компримированном природном газе (КПГ) и переоборудование под использование КПГ 550,8 тыс. автотранспортных средств на бензине.

- Общий парк авто на ГМТ должен вырасти с 316,5 тыс. в 2023 году до более чем 1,3 млн единиц.
- Планируется выпустить на ГМТ сельскохозяйственной техники 18,8 тыс. единиц, коммунальной и дорожно-строительной техники – 3,8 тыс. штук.
- Кроме того, предусмотрено строительство 318 гражданских судов и 149 магистральных и маневровых локомотивов, а также 2,9 тыс. единиц карьерной техники на СПГ.

Председатель Совета директоров ПАО «Газпром», специальный представитель Президента Российской Федерации по взаимодействию с Форумом стран – экспортеров газа Виктор Алексеевич Зубков в своём интервью «Газовой промышленности» 27 мая 2024 г. отметил некоторые моменты использования газомоторного топлива в агропромышленном комплексе (АПК) России:

«Среди возможных системных решений этого вопроса – переход на природный газ. Тем более что с дефицитом дизельного топлива АПК сталкивается ежегодно и при этом в сезон наиболее активных сельхозработ.

Мы уже говорили, что природный газ становится конкурентным преимуществом российского бизнеса. Он также может способствовать повышению рентабельности производства в АПК за счет сокращения издержек на моторное топливо. Такой опыт уже есть.

Сегодня на предприятиях АПК на природном газе работает порядка 15 тыс. машин. Природный газ в качестве топлива использует 1,3 % грузовой техники, 1,5 % легковых автомобилей и 2,3 % автобусов в автопарке аграриев (по данным Минсельхоза России).

По экспертным оценкам, потенциал потребления метана как топлива в сегменте магистральной техники составляет 630 млн $м^3$/год, в сегменте самоходной техники – почти 1 млрд $м^3$. Самые крупные потребители

природного газа как моторного топлива в АПК – агропромышленный холдинг «Мираторг», группа компаний «Русагро» и транспортная компания «ИТЕКО». В автопарке «ИТЕКО» 50 % – это автомобили на метане, что позволяет компании ежегодно экономить на топливе порядка 1 млн руб. с одной единицы техники».

Применение природного газа в качестве топлива позволяет:

- во-первых, заместить (сэкономить) нефтяное дизельное топливо;

- во-вторых, улучшить экологические показатели ДВС;

- в-третьих, использовать компримированный природный газ в качестве топлива для снижения эксплуатационных затрат при использовании техники.

На сегодняшний день, по данным Минсельхоза РФ, в сельском хозяйстве эксплуатируется всего 12,5 тыс. единиц техники, оснащенных ДВС, работающими на компримированном природном газе (КПГ). Структура парка газобаллонной техники представлена на рисунке 1.

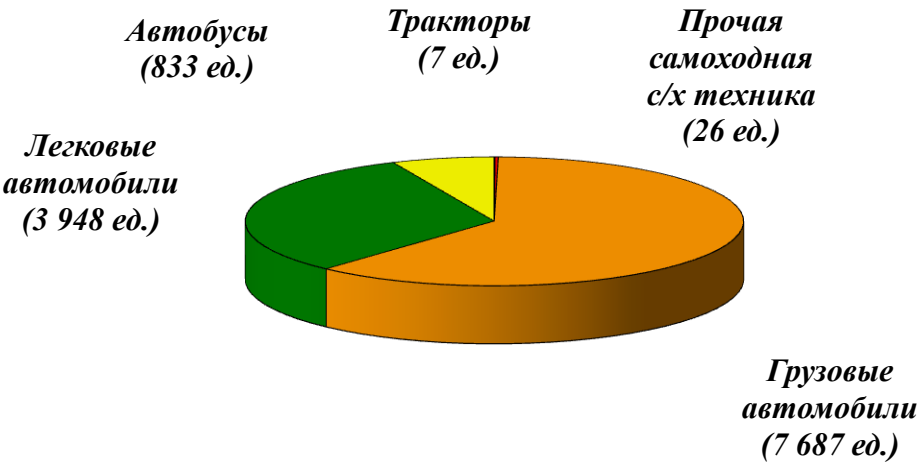

Рисунок 1 – Структура парка ГБА и сельскохозяйственной техники на газомоторном топливе, эксплуатирующихся в сельскохозяйственных организациях РФ (по данным Минсельхоза РФ)

Расширение использования газомоторного топлива на автотракторной технике в сельскохозяйственном производстве – актуальная задача для агропромышленного комплекса страны, поскольку пятую часть расходов аграрных предприятий составляют затраты на топливо. Перевод техники на экономичное топливо позволит оптимизировать расходы сельхозпроизводителей, что положительно скажется на стоимости их продукции.

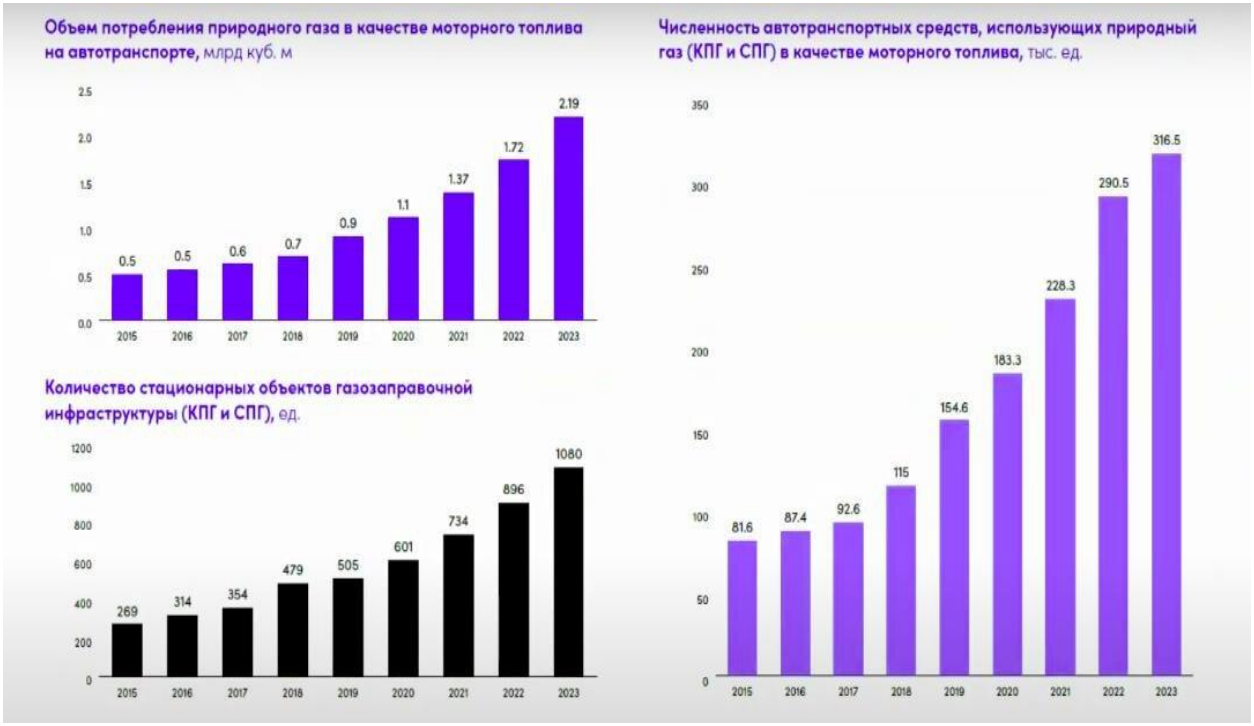

Рисунок 2 – Объёмы потребления газомоторного топлива автотранспортом, численность автотранспортных на природном газе и количество стационарных объектов газозаправочной инфраструктуры за последние годы

(Фото слайда Презентации Минэнерго РФ "О реализации Федерального проекта "Чистая энергетика" в части развития рынка газомоторного топлива в 2023 г.", представленной на заседании Комитета ТПП РФ по энергетической стратегии и развитию ТЭК. Источник: Министерство энергетики РФ 19 февраля 2024 года)

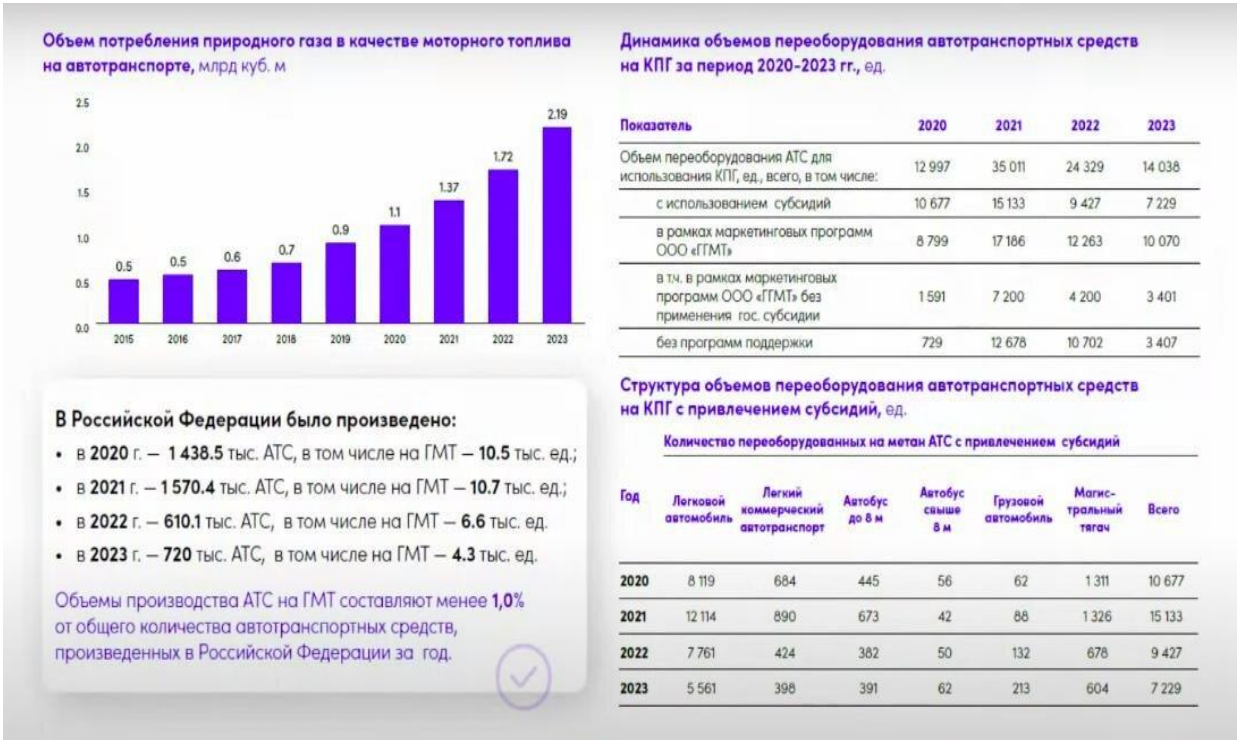

Рисунок 3 – Объёмы потребления газомоторного топлива автотранспортом, динамика объёмов переоборудования и структура объёмов переоборудования за счёт субсидий автотранспортных средств за последние годы (Фото слайда Презентации Минэнерго РФ "О реализации Федерального проекта "Чистая энергетика" в части развития рынка газомоторного топлива в 2023 г.", представленной на заседании Комитета ТПП РФ по энергетической стратегии и развитию ТЭК. Источник: Министерство энергетики РФ 19 февраля 2024 года)

Цель настоящей статьи – изложить часть результатов работ по созданию газомоторного транспорта, в первую очередь сельскохозяйственных тракторов и машин, в Вятском государственном агротехнологическом университете начиная с 1986 года по настоящее время.

В Вятском государственном агротехнологическом университете накоплен большой опыт по использованию в качестве моторного топлива компримированного природного газа. Еще в 1987 году на базе научно-исследовательской лаборатории по испытанию двигателей внутреннего

сгорания кафедры тракторов и автомобилей Кировского СХИ (в настоящее время кафедры тепловых двигателей, автомобилей и тракторов Вятского ГАТУ) по заданию Министерства тракторного и сельскохозяйственного машиностроения СССР под руководством В. А. Лиханова были начаты научно-исследовательские работы по изучению возможности применения КПГ в качестве моторного топлива для дизелей сельскохозяйственных тракторов.

С тех пор выполнен большой объем стендовых испытаний отечественных и зарубежных двигателей разных размерностей, с различным числом цилиндров, с воздушным и жидкостным охлаждением, с турбонаддувом и без него, а также с каталитическими нейтрализаторами и рециркуляцией отработавших газов: 2Ч 10,5/12,0 (Д-21А1), 4Ч 10,5/12,0 (Д-144), 3Ч 9,5/10,0 (Д-115), 4Ч 9,85/12,7 (Д-3900), 4Ч 11,0/12,5 (Д-240), 4ЧН 11,0/12,5 (Д-245.12С, Д-245.7, Д-245.9) [1-12].

Рисунок 4 – Двигатель, работающий на метане (стендовые испытания)

Рисунок 5 – Двигатель, работающий на метане (стендовые испытания)

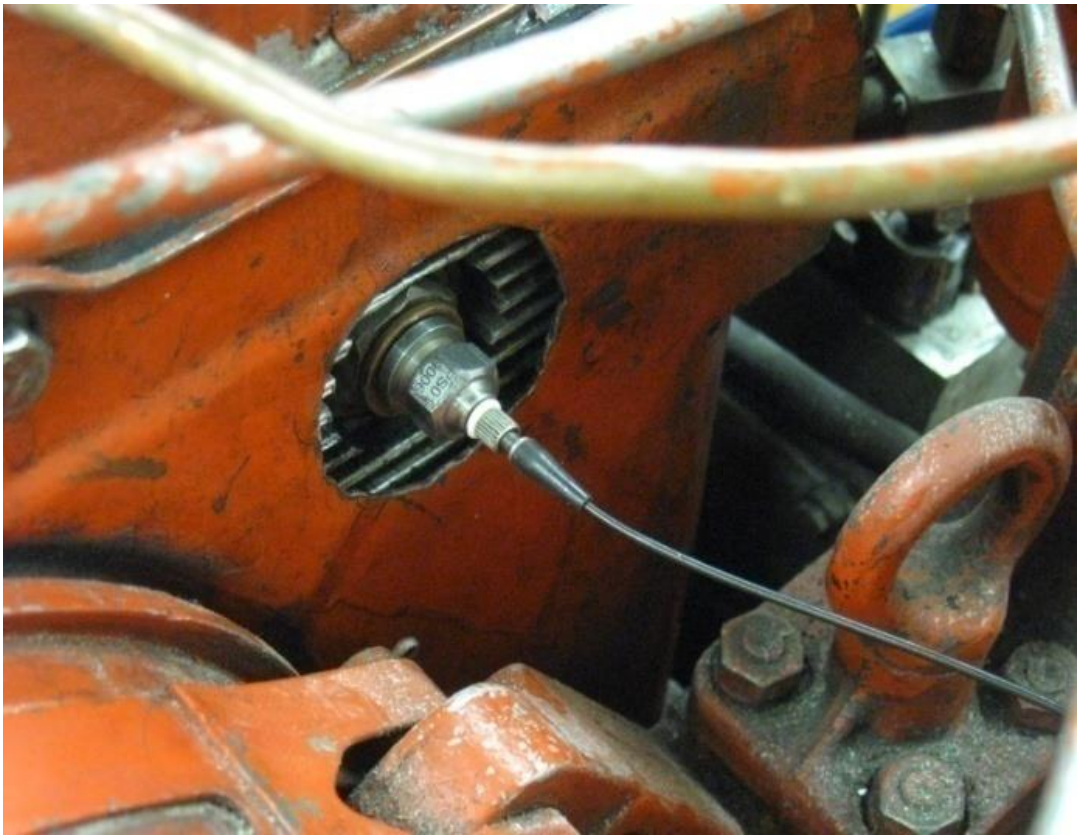

Рисунок 6 – Измерительный датчик, установленный на двигателе

Рисунок 7 – Расходомеры топлива

Создан унифицированный ряд дозаторов-смесителей газа, обеспечивающих работу дизелей, в том числе с турбонаддувом и охлаждением наддувочного воздуха, объемом до 5,0 л на компримированном природном газе, системы регулирования подачи газа, обеспечивающие работу дизелей на природном газе по всережимной характеристике [8-15]. Созданы макетные образцы тракторов, работающих на природном газе. Проведены их тестовые испытания. Исследованы мощностные, экономические и токсические показатели рабочего процесса. В ходе работ достигнуто снижение токсичности и дымности отработавших газов дизелей при работе на природном газе. Проведено индицирование рабочего процесса, на ряде двигателей проведена оптимизация впускных трубопроводов. Рассчитано число и расположение газовых баллонов в зависимости от требуемого запаса хода, эксплуатационных ограничений и требований [1-7].

Ниже приведены фотографии созданных образцов сельскохозяйственной и дорожно-коммунальной техники, использующих в качестве топлива

компримированный природный газ. Все образцы обладают улучшенными экологическими показателями по сравнению с базовыми модификациями и сохранили способность работать на традиционном дизельном топливе.

В таблице 2 приведены технико-экономические характеристики созданных образцов техники.

Результаты работ неоднократно демонстрировались на всесоюзных, а затем всероссийских выставках, многие отмечены дипломами и медалями: Серебряной медалью ВДНХ СССР на выставке «Изобретательство и рационализация – 88» (1988 г.), серебряной медалью ВДНХ СССР на выставке «Научно-технический прогресс и передовой опыт АПК СССР» (1989 г.), серебряной медалью ВДНХ СССР на выставке «Достижения науки и техники России агропромышленному комплексу» (1990 г.), двумя бронзовыми медалями ВВЦ на выставках «Золотая осень 2002 и 2003» и дипломами третьей степени победителя смотра-конкурса «Прогрессивные виды сельскохозяйственной техники и оборудования для АПК».

Рисунок 8 – Первый в СССР трактор Т-25А с дизелем размерности 2Ч 10,5/12,0 с системой питания, модернизированной для работы на компримированном природном газе, отмечен серебряной медалью ВДНХ СССР (1988 г.)

Рисунок 9 – Самоходное шасси Т-16 МГ с дизелем 2Ч 10,5/12,0 с системой питания, модернизированной для работы на компримированном природном газе, отмечен серебряной медалью ВДНХ СССР (1989 г.)

Рисунок 10 – Сварочная установка АДД-4002 У1 с дизелем 4Ч 10,5/12,0 с системой питания, модернизированной для работы на компримированном природном газе. Экспонат демонстрировался на ВДНХ СССР (1990 г.)

Рисунок 11 – Трактор «Универсал-445» (Румыния) с дизелем 3Ч 9,5/10,0 (Д-115) с системой питания, модернизированной для работы на компримированном природном газе, отмечен серебряной медалью ВДНХ СССР (1990 г.)

Рисунок 12 – Самоходный погрузчик 17.92 (Болгария) с дизелем 4Ч 9,85/12,7 (Д-3900) с системой питания, модернизированной для работы на компримированном природном газе

Рисунок 13 – Трактор МТЗ-80/82 с дизелем 4Ч 11,5/12,0 (Д-240) с системой питания, модернизированной для работы на компримированном природном газе, отмечен бронзовой медалью ВВЦ РФ (2002 г.)

Рисунок 14 – Трактор МТЗ-80/82 с комплексной системой снижения токсичности отработавших газов, отмечен бронзовой медалью ВВЦ РФ (2003 г.)

Рисунок 15 – Автобус ПАЗ с двигателем, работающим на компримированном природном газе, улучшенными экологическими показателями и прошедший тестовые испытания

Таблица 2 – Технико-экономические характеристики образцов техники, созданной в Вятском ГАТУ

Показатель	**Модель**			
	Т-25А	**Т-16МГ**	**АДД-4002У1**	**Универсал-445**
1	2	3	4	5
Рабочий объем, л	2,08	2,08	4,14	2,34
Степень сжатия	16	16	16	17
Число цилиндров	2	2	4	3
Тип камеры сгорания	полусферическая	полусферическая	полусферическая	тороидальная
Тип системы охлаждения	воздушная	воздушная	воздушная	жидкостная
Номинальная мощность, кВт	18,4	18,4	36,8	33,1
Номинальная частота вращения, мин$^{-1}$	1800	1800	1800	2400

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5
Расход топлива на номинальном режиме, кг/ч: - природного газа; - дизельного топлива	3,3 0,9	3,3 0,9	5,9 1,8	5,3 1,6
Показатель	**Модель**			
	Погрузчик 17.92	**МТЗ-80/82**	**ПАЗ-32054**	**ЗИЛ-5301**
Рабочий объем, л	3,90	4,75	4,75	4,75
Степень сжатия	18,5	16	16	16
Число цилиндров	4	4	4	4
Тип камеры сгорания	цилиндрическая	ЦНИДИ	ЦНИДИ	ЦНИДИ
Тип системы охлаждения	жидкостная	жидкостная	жидкостная	жидкостная
Номинальная мощность, кВт	44,2	55,4	80,0	100,0
Номинальная частота вращения, мин $^{-1}$	2400	2200	2400	2400
Расход топлива на номинальном режиме, кг/ч: - природного газа; - дизельного топлива	11,0 4,2	9,3 2,5	14,0 3,0	15,2 3,6

Как было отмечено выше, помимо экономии дизельного топлива применение КПГ позволяет снизить выбросы с отработавшими газами таких токсичных компонентов, как оксиды азота и сажа (таблица 3).

Ниже представлены сравнительные диаграммы содержания в отработавших газах исследованных дизелей сажи и оксидов азота. Черным цветом указано содержание токсичного компонента в отработавших газах штатного дизеля, а тёмно-синие столбцы соответствуют содержанию этого же компонента в отработавших газах при работе на газомоторном топливе (рисунок 16 и 17).

Таблица 3 – Снижение выбросов вредных веществ при переводе дизелей на газомоторное топливо

Марка исследуемого дизеля	Снижение содержания основных токсичных компонентов по сравнению с базовой модификацией, %		Замещение (экономия) дизельного топлива, %
	сажа	оксиды азота	
Д-21А1	85,0	11,0	80,0
Д-3900	42,0	26,0	80,0
Д-144	89,0	25,0	80,0
Д-115	90,0	42,0	80,0
Д-240	87,0	18,0	80,0
Д-245.7	56,0	23,0	83,0
Д-245 .12С	96,0	18,0	85,0

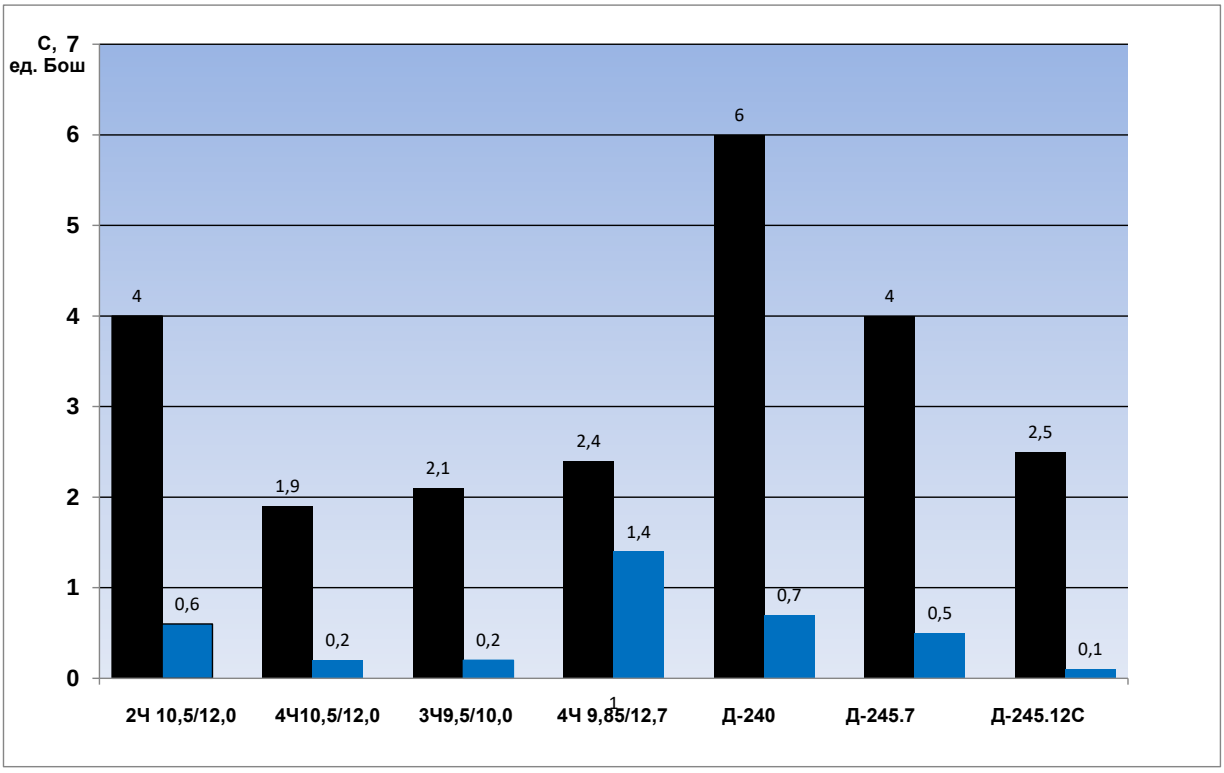

Рисунок 16 – Сравнительная диаграмма выбросов сажи с отработавшими газами исследованных дизелей при применении КПГ

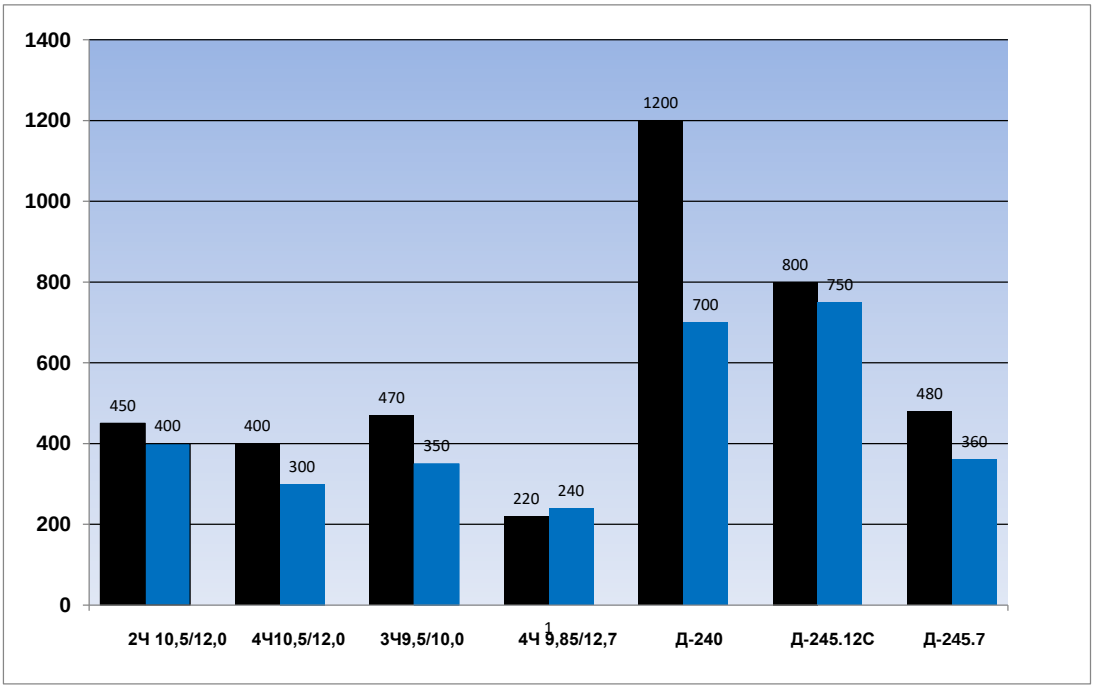

Рисунок 17 – Сравнительная диаграмма выбросов оксидов азота с отработавшими газами исследованных дизелей при применении ГМТ

Вместе с тем имеется и ряд серьезных препятствий на пути расширения использования КПГ в качестве топлива.

С одной стороны – это неразвитость газовой инфраструктуры в большинстве регионов (недостаток АГНКС, мобильных заправщиков и т.п.). Кроме того, большая часть эксплуатируемой сегодня сельскохозяйственной техники уже выработала свой ресурс либо близка к этому значению (до 70 % по оценкам специалистов). И в данном случае перед владельцами подобной техники встает вопрос о целесообразности перевода ее на ГМТ.

С другой стороны, новая техника, закупаемая предприятиями, приобретается либо в лизинг (и в этом случае до ее полного выкупа она не принадлежит сельскохозяйственному предприятию), либо, при полной оплате, находится на гарантийном обслуживании. И в том и в другом случае внесение конструктивных изменений для перевода ее на КПГ очень затруднительно и влечет соответствующие последствия.

Еще один принципиальный вопрос заключается в согласии завода-изготовителя этой техники на внесение соответствующих изменений в конструкцию тракторов или другой техники и допуск ее к эксплуатации. Для этого требуются серьезные расчеты, испытания и доработки.

Кроме того, нельзя забывать, что, решая вопросы эксплуатации транспорта на ГМТ, в первую очередь должен быть решен вопрос с производителями двигателей, поскольку перевод двигателей на ГМТ вносит существенные изменения в протекание рабочего процесса, влияет на износ и долговечность ДВС. И последнее слово в этом вопросе должно оставаться за производителями. К сожалению, этот вопрос на сегодняшний день просто опускается, что недопустимо при переводе дизелей на ГМТ.

Известно, что каждый двигатель обладает своими конструктивными особенностями (принятый способ смесеобразования, форма камеры сгорания, наличие наддува, форма впускного трубопровода, число и расположение цилиндров и т.д.) и универсального решения тут быть не может. Особенно важен вопрос равномерного распределения газа по цилиндрам, так как от этого зависят и динамические нагрузки, и тепловые, и эффективные показатели, и показатели надежности ДВС.

Тем не менее, несмотря на все нюансы такой модернизации системы питания, применение КПГ в качестве моторного топлива чрезвычайно выгодно – срок окупаемости капиталовложений при переводе транспортного средства на КПГ не превышает одного года. Расширение использования газовых топлив неизбежно, поэтому крайне важным видится системный подход к решению этой проблемы, заключающийся в решении не только технических аспектов, но и административных, инфраструктурных и юридических.

Ниже приводится список литературы, в котором более полно освещены вопросы, связанные с исследованием рабочих процессов дизелей при переводе их на ГМТ, представлены результаты индицирования и стендовых испытаний,

рассмотрены механизмы образования токсичных веществ, приведены расчеты содержания в отработавших газах оксидов азота и сажи, сформулированы практические рекомендации по переводу дизелей на ГМТ.

Список источников

1.Лиханов В. А., Сайкин А. М. Снижение токсичности автотракторных дизелей. Москва : Колос, 1994. 224 с. EDN WLNSKZ.

2.Лиханов В. А. Природный газ как моторное топливо для тракторных дизелей. Киров : Вятская ГСХА, 2002. 280 с. EDN WLOBXX.

3.Лиханов В. А., Лопарев А. А., Рудаков Л. В. Исследование процессов сгорания и тепловыделения в цилиндре дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 при работе на природном газе. Киров : Вятская ГСХА, 2006. 129 с. EDN XGNVID.

4.Лиханов В. А., Лопатин О. П., Скрябин М. Л. Исследование процессов образования и разложения оксидов азота в цилиндре дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением надувочного воздуха при работе на природном газе. Киров : Вятская ГСХА, 2008. 146 с. EDN WLNSEL.

5.Лиханов В. А., Гребнев А. В. Улучшение эффективных показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувного воздуха 4ЧН 11,0/12,5 при работе на природном газе путем совершенствования процессов сгорания и тепловыделения / под общ. ред. В. А. Лиханова ; Министерство сельского хозяйства РФ, ФГОУ ВПО "Вятская государственная сельскохозяйственная академия". Киров : Вятская ГСХА, 2008. 154 с. EDN QNVSDX.

6.Лиханов В. А., Гребнев А. В., Скрябин М. Л. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе. Киров : Вятская ГСХА, 2010. 248 с. EDN XVYUPV.

7.Лиханов В. А., Деветьяров Р. Р. Исследование рабочего процесса дизеля Д-240 конвертированного для работы на природном газе. Киров : Вятская ГСХА, 2012. 180 с. EDN XRWQUV.

8.Лиханов В. А., Лопатин О. П. Исследование процессов образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом / под общ. ред. В. А. Лиханова. Киров : Вятская ГСХА, 2015. 127 с. ISBN 978-5-9906634-0-4. EDN WMQTMN.

9.Авторское свидетельство № 1709125 A1 СССР, МПК F02D 19/06. Система регулирования газодизеля : № 4776491 : заявл. 02.01.1990 ; опубл. 30.01.1992 / В. А. Лиханов, В. М. Попов, С. А. Плотников, М. Н. Хлыбов ; заявитель Кировский сельскохозяйственный институт. EDN DZXSYO.

10.Патент № 2119078 C1 Российская Федерация, МПК F02D 19/06, F02B 3/06, F02B 43/00. Система регулирования газодизеля : № 97109403/06 : заявл. 03.06.1997 : опубл. 20.09.1998 / С. А. Плотников, В. А. Лиханов, В. В. Наврозов, А. В. Сычев ; заявитель Вятская государственная сельскохозяйственная академия. EDN ZRGMVF.

11.Патент № 2241134 C1 Российская Федерация, МПК F02D 1/04. Система регулирования газодизеля : № 2003106589/06 : заявл. 11.03.2003 : опубл. 27.11.2004 / В. А. Лиханов, Е. А. Шишканов ; заявитель Вятская государственная сельскохозяйственная академия. EDN FFDLFS.

12.Патент № 2257482 C2 Российская Федерация, МПК F02D 19/08. Система регулирования газодизеля : № 2003109307/06 : заявл. 01.04.2003 : опубл. 27.07.2005 / В. А. Лиханов, Е. А. Шишканов, Р. Р. Деветьяров [и др.] ; заявитель Вятская государственная сельскохозяйственная академия. EDN HCALJR.

13.Патент № 2260706 C1 Российская Федерация, МПК F02M 25/06, F02D 21/08, F02D 23/02. Устройство для регулирования перепуска отработавших газов во впускной трубопровод двигателя внутреннего сгорания : № 2004110279/06 : заявл. 05.04.2004 : опубл. 20.09.2005 / В. А. Лиханов, О. П. Лопатин ; заявитель

ФГОУ ВПО Вятская государственная сельскохозяйственная академия. EDN ZOMIPR.

14.Лиханов В. А., Сайкин А. М. Снижение токсичности автотракторных дизелей. Москва : Агропромиздат, 1991. 208 с. ISBN 5-10-000789-3. EDN XAQVSV.

15.Гетманец Г. В., Лиханов В. А. Социально-экологические проблемы автомобильного транспорта. Москва : Наука, 1993. 330 с. EDN WLOBYH.