



ISSN 2072-0297

# Молодой учёный

Научный журнал

Выходит два раза в месяц

№ 17 (97) / 2015

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

**Главный редактор:** Ахметова Галия Дуфаровна, доктор филологических наук

**Члены редакционной коллегии:**

Ахметова Мария Николаевна, доктор педагогических наук

Иванова Юлия Валентиновна, доктор философских наук

Каленский Александр Васильевич, доктор физико-математических наук

Куташов Вячеслав Анатольевич, доктор медицинских наук

Лактионов Константин Станиславович, доктор биологических наук

Сараева Надежда Михайловна, доктор психологических наук

Авдеюк Оксана Алексеевна, кандидат технических наук

Айдаров Оразхан Турсункожаевич, кандидат географических наук

Алиева Тарана Ибрагим кызы, кандидат химических наук

Ахметова Валерия Валерьевна, кандидат медицинских наук

Брезгин Вячеслав Сергеевич, кандидат экономических наук

Данилов Олег Евгеньевич, кандидат педагогических наук

Дёмин Александр Викторович, кандидат биологических наук

Дядюн Кристина Владимировна, кандидат юридических наук

Желнова Кристина Владимировна, кандидат экономических наук

Жуйкова Тамара Павловна, кандидат педагогических наук

Жураев Хусниддин Олтинбоевич, кандидат педагогических наук

Игнатова Мария Александровна, кандидат искусствоведения

Коварда Владимир Васильевич, кандидат физико-математических наук

Комогорцев Максим Геннадьевич, кандидат технических наук

Котляров Алексей Васильевич, кандидат геолого-минералогических наук

Кузьмина Виолетта Михайловна, кандидат исторических наук, кандидат психологических наук

Кучерявенко Светлана Алексеевна, кандидат экономических наук

Лескова Екатерина Викторовна, кандидат физико-математических наук

Макеева Ирина Александровна, кандидат педагогических наук

Матроскина Татьяна Викторовна, кандидат экономических наук

Матусевич Марина Степановна, кандидат педагогических наук

Мусаева Ума Алиевна, кандидат технических наук

Насимов Мурат Орленбаевич, кандидат политических наук

Прончев Геннадий Борисович, кандидат физико-математических наук

Семахин Андрей Михайлович, кандидат технических наук

Сенцов Аркадий Эдуардович, кандидат политических наук

Сенюшкин Николай Сергеевич, кандидат технических наук

Титова Елена Ивановна, кандидат педагогических наук

Ткаченко Ирина Георгиевна, кандидат филологических наук

Фозилов Садриддин Файзуллаевич, кандидат химических наук

Яхина Асия Сергеевна, кандидат технических наук

Ячинова Светлана Николаевна, кандидат педагогических наук

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

420126, г. Казань, ул. Амирхана, 10а, а/я 231. E-mail: [info@moluch.ru](mailto:info@moluch.ru); <http://www.moluch.ru/>.

**Учредитель и издатель:** ООО «Издательство Молодой ученый»

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», 420029, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, 25

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

**Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-38059 от 11 ноября 2009 г.**

Журнал входит в систему РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) на платформе elibrary.ru.

Журнал включен в международный каталог периодических изданий «Ulrich's Periodicals Directory».

**Ответственные редакторы:**

Кайнова Галина Анатольевна

Осянина Екатерина Игоревна

**Международный редакционный совет:**

Айрян Заруи Геворковна, *кандидат филологических наук, доцент (Армения)*

Арошидзе Паата Леонидович, *доктор экономических наук, ассоциированный профессор (Грузия)*

Атаев Загир Вагитович, *кандидат географических наук, профессор (Россия)*

Бидова Бэла Бертовна, *доктор юридических наук, доцент (Россия)*

Борисов Вячеслав Викторович, *доктор педагогических наук, профессор (Украина)*

Велковска Гена Цветкова, *доктор экономических наук, доцент (Болгария)*

Гайич Тамара, *доктор экономических наук (Сербия)*

Данатаров Агахан, *кандидат технических наук (Туркменистан)*

Данилов Александр Максимович, *доктор технических наук, профессор (Россия)*

Демидов Алексей Александрович, *доктор медицинских наук, профессор (Россия)*

Досманбетова Зейнегуль Рамазановна, *доктор философии (PhD) по филологическим наукам (Казахстан)*

Ешиев Абдыракман Молдоалиевич, *доктор медицинских наук, доцент, зав. отделением (Кыргызстан)*

Жолдошев Сапарбай Тезекбаевич, *доктор медицинских наук, профессор (Кыргызстан)*

Игисинов Нурбек Сагинбекович, *доктор медицинских наук, профессор (Казахстан)*

Кадыров Кутлуг-Бек Бекмурадович, *кандидат педагогических наук, заместитель директора (Узбекистан)*

Кайгородов Иван Борисович, *кандидат физико-математических наук (Бразилия)*

Каленский Александр Васильевич, *доктор физико-математических наук, профессор (Россия)*

Козырева Ольга Анатольевна, *кандидат педагогических наук, доцент (Россия)*

Колпак Евгений Петрович, *доктор физико-математических наук, профессор (Россия)*

Куташов Вячеслав Анатольевич, *доктор медицинских наук, профессор (Россия)*

Лю Цзюань, *доктор филологических наук, профессор (Китай)*

Малес Людмила Владимировна, *доктор социологических наук, доцент (Украина)*

Нагервадзе Марина Алиевна, *доктор биологических наук, профессор (Грузия)*

Нурмамедли Фазиль Алигусейн оглы, *кандидат геолого-минералогических наук (Азербайджан)*

Прокопьев Николай Яковлевич, *доктор медицинских наук, профессор (Россия)*

Прокофьева Марина Анатольевна, *кандидат педагогических наук, доцент (Казахстан)*

Рахматуллин Рафаэль Юсупович, *доктор философских наук, профессор (Россия)*

Ребезов Максим Борисович, *доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Россия)*

Сорока Юлия Георгиевна, *доктор социологических наук, доцент (Украина)*

Узаков Гулом Норбоевич, *кандидат технических наук, доцент (Узбекистан)*

Хоналиев Назарали Хоналиевич, *доктор экономических наук, старший научный сотрудник (Таджикистан)*

Хоссейни Амир, *доктор филологических наук (Иран)*

Шарипов Аскар Калиевич, *доктор экономических наук, доцент (Казахстан)*

**Художник:** Шишков Евгений Анатольевич

**Верстка:** Голубцов Максим Владимирович

*На обложке изображен Алексей Александрович Шахматов (1864—1920) — русский филолог, лингвист и историк, основоположник исторического изучения русского языка, древнерусского летописания и литературы.*

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

#### **Балакин Ю. А., Андреев А. Н.**

Перспективы использования информационно-управляющих газоаналитических систем на угледобывающих предприятиях ..... 109

#### **Балакин Ю. А., Киселёв В. Ю.**

К вопросу о проведении технического диагностирования колёсного трактора типа ТК-25.02 с целью повышения эффективности использования нормативного ресурса ..... 112

#### **Балакин Ю. А., Пальцев С. А.**

Особенности проведения технического диагностирования шахтного дизель-гидравлического маневрового устройства DMZ50F с целью повышения эффективности использования нормативного ресурса ..... 116

#### **Богачёва С. В.**

Анализ методов статического расчета безбалочных бескапитальных железобетонных перекрытий связевых каркасов ..... 118

#### **Джабборов Н. И., Федькин Д. С.**

Математические модели процесса взаимодействия контактного слоя почвы с нестабильной поверхностью и твердости деталей почвообрабатывающих рабочих органов ..... 122

#### **Долаева З. Н., Джанибекова З. Н.**

Технические решения по модернизации жилищного фонда КЧР ..... 129

#### **Дроздов А. С.**

К проблеме технического диагностирования внутридомового газового оборудования в Республике Коми ..... 131

#### **Иноземцев А. С.**

Поиск эффективных методов повышения конструкционных свойств высокопрочных легких бетонов ..... 133

#### **Лиханов В. А., Анфилатов А. А.**

Мощностные характеристики дизеля при работе на метаноле ..... 137

#### **Лиханов В. А., Анфилатов А. А.**

Расчет оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением ..... 139

#### **Лиханов В. А., Анфилатов А. А.**

Изменение оксидов азота при различных углах УОВТ ..... 142

#### **Лиханов В. А., Лопатин О. П.**

Исследование содержания оксидов азота по нагрузочной характеристике газодизеля с турбонаддувом на номинальном режиме работы ..... 145

#### **Лиханов В. А., Лопатин О. П.**

Исследование режимных факторов на содержание оксидов азота в ОГ дизелей ..... 148

#### **Лиханов В. А., Россохин А. В.**

Влияние применения метанола на токсические показатели дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки ..... 151

#### **Лиханов В. А., Россохин А. В.**

Влияние применения метанола на токсические показатели дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения ..... 154

#### **Лиханов В. А., Россохин А. В.**

Изменение показателей процесса сгорания и сажеобразования в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от угла поворота коленчатого вала ..... 156

#### **Лиханов В. А., Россохин А. В.**

Показатели процессов сгорания и сажеобразования в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле ..... 159

#### **Лиханов В. А., Чувашев А. Н.**

Влияние применения присадок на стабильность ЭТЭ ..... 162

#### **Лиханов В. А., Чувашев А. Н.**

Обоснование выбора оптимальной эмульсии ... 165

<b>Лиханов В. А., Чупраков А. И.</b> Совмещенные индикаторные диаграммы дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на ЭТЭ ..... 168	<b>Лопатин О. П.</b> Скоростные характеристики динамики тепловыделения и содержания оксидов азота в цилиндре газодизеля ..... 191
<b>Лиханов В. А., Чупраков А. И.</b> Совмещенные индикаторные диаграммы дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на ЭТЭ на режиме максимального крутящего момента..... 171	<b>Лопатин О. П.</b> Нагрузочные характеристики тепловыделения и содержания оксидов азота в цилиндре газодизеля на номинальном режиме работы ... 194
<b>Лопатин О. П.</b> Исследование содержания оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом в зависимости от изменения нагрузки при УОВТ 8 градусов ..... 173	<b>Малышев И. С., Маляров А. И.</b> Проблемы обеспечения информационной безопасности в открытых компьютерных системах ..... 197
<b>Лопатин О. П.</b> Регулировочные характеристики процесса сгорания газодизеля на режиме максимального крутящего момента..... 176	<b>Мокроусов В. И.</b> К вопросу о пошаговой формовке изогнутого стального листа ..... 199
<b>Лопатин О. П.</b> Исследование содержания оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом по скоростной характеристике ..... 179	<b>Полуэктов М. В., Долуда А. О., Климов М. А.</b> Анализ предпосылок создания электромобилей на базе серийных автомобилей с ДВС ..... 204
<b>Лопатин О. П.</b> Влияние режимов эксплуатации дизелей на токсичность отработавших газов..... 182	<b>Россохин А. В.</b> Теория процесса сажевыделения в дизеле 2Ч 10,5/12,0 с полусферической КС в поршне при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи ..... 207
<b>Лопатин О. П.</b> Многопараметровые характеристики дизелей как оценка содержания оксидов азота в ОГ ..... 185	<b>Россохин А. В.</b> Влияние применения метанола на удельный эффективный расход топлива дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ в зависимости от УУОВТ ..... 209
<b>Лопатин О. П.</b> Динамика тепловыделения и содержание оксидов азота в цилиндре газодизеля на режиме максимального крутящего момента..... 188	<b>Россохин А. В.</b> Влияние применения метанола на максимальное давление газов в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ в зависимости от УУОВТ ..... 212



## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

### Перспективы использования информационно-управляющих газоаналитических систем на угледобывающих предприятиях

Балакин Юрий Алексеевич, эксперт, специалист неразрушающего контроля;  
 Андреев Александр Николаевич, эксперт  
 АНО «РегионЦентр» (г. Кемерово)

*В статье дан анализ принципов построения систем аэрогазовой защиты, обеспечивающих безопасность ведения подземных горных работ на шахтах Кузбасса, опасных по выбросам газа и пыли.*

В Кемеровской области ведется активная разработка месторождений каменного угля подземным способом. Угольные шахты являются объектами, опасными по выбросам метана и угольной пыли. Стремление повысить производительность очистного забоя за счёт увеличения размеров выемочных полей, применения мощных комбайнов неизбежно создаёт объективные предпосылки для возникновения аварийных ситуаций аэрологического характера. Повышение содержания метана в воздухе является причиной взрывов, обрушений пород и пожаров. Для обеспечения безопасности горных работ предназначена система аэрогазовой защиты. Принцип её действия основывается на непрерывном контроле концентрации метана в подземных горных выработках, фиксации концентрации газа, автоматической подаче команд на обесточивание оборудования, находящегося в опасной зоне, включение аварийной сигнализации и введение дополнительных средств проветривания и разгазирования аварийного участка. Такая система обязательно имеет в своём составе стационарные датчики, которые устанавливаются в местах контроля метана; сигнализацию для оповещения работников об аварии; подземно-вычислительные устройства для контроля, в случае аварии — отключения электрооборудования, находящегося в зоне выброса газа.

На сегодняшний день существует достаточное количество газоаналитических рудничных систем, предназначенных для непрерывного измерения параметров состояния промышленных и горно-технологических объектов. Формы реализации таких информационно-управляющих систем могут быть различными (АСУТП, АСДУ и др.). На шахтах Кузбасса применяется разработанная фирмой «ИнГорТех» информационно-управляющая газоаналитическая система «Микон-1Р». В основу построения си-

стемы «Микон 1Р» положены следующие системотехнические принципы:

- соответствие государственным стандартам и требованиям по безопасности;
- высокая надежность технических и программных средств;
- использование методов цифровой передачи, обработки и хранения информации;
- многоуровневость и распределенность;
- «совместимость вниз» с существующими техническими средствами;
- «совместимость вверх» с существующими и перспективными информационными системами;
- использование стандартных аппаратных и программных средств, интерфейсов и протоколов связи;
- простота и непрерывность аппаратного, алгоритмического и программного расширения и модернизации;
- возможность оперативного и интерактивного создания и изменения службой эксплуатации конфигурации информационно — управляющих систем, построенных на основе системы.

Система состоит из наземной и подземной части:

- *наземная часть* представляет собой совокупность устройств, предназначенных для сбора, передачи, обработки и отображения информации;
- *подземная часть* предназначена для решения задач контроля параметров шахтной атмосферы и управления основными и вспомогательными технологическими процессами в подземных горных выработках.

В состав «Микон-1Р» входят наземное устройство приема и передачи информации FED/P (НУППИ) с барьером искробезопасности ВХ1Р (БИБ) и подземные вычислительные устройства VAL101P (ПВУ). НУППИ предназначено для преобразования частотно-модулиро-

ванного сигнала, используемого для передачи данных и команд между подземными вычислительными устройствами (ПВУ) и наземным компьютерным комплексом, в цифровой код и цифровой код в модулированный сигнал, а также выполняет роль наземного модемного устройства и промежуточного буфера при передаче данных между ПВУ и наземным компьютерным комплексом. ПВУ является самостоятельным перепрограммируемым микропроцессорным устройством. Благодаря этому на базе «Микон-1Р» могут быть реализованы практически любые алгоритмы сбора информации и преобразования информации. ПВУ характеризуется высокой производительностью, низкой энергоемкостью, модульной конструкцией.

Комплекующие элементы (датчики) и программно-аппаратурные средства комплекса постоянно совершенствуются разработчиками. Исходя из «совместимости вверх» системы «Микон 1Р» с существующими и перспективными информационными системами, на некоторых шахтах Кузбасса осуществляется в рамках технического перевооружения системы АГК плановый переход на систему «Микон III».

Системы «Микон 1Р» и «Микон III» совместимы и построены на единой базе сертифицированных в Российской Федерации устройств промышленной автоматизации, поэтому технические характеристики систем определяются характеристиками ее отдельных элементов. «Микон-III» предназначена для осуществления ручного, автоматизированного и автоматического управления электрооборудованием, обмена информацией с диспетчерским пунктом, отображения и хранения информации по непрерывному контролю микроклимата рудничной ат-

мосферы. Структурообразующим элементом «Микон III» является особовзрывобезопасная система передачи информации (СПИН), которая предназначена для создания магистралей передачи разнородной информации в измерительных системах, автоматизированных системах оперативно-диспетчерского управления (АСОДУ), системах связи и системах автоматического управления и контроля (САУК) угольных шахт и рудников в нормальных и аварийных условиях [2].

– СПИН обеспечивает работу на двух уровнях связи (высокоскоростная, низкоскоростная) и состоит из следующих элементов:

- линии связи (среда передачи: медные проводники, оптоволокно, радиоэфир);
- подземных узлов связи;
- наземных узлов связи;
- программного обеспечения (ПО);
- искробезопасных источников питания;
- вспомогательных средства, применяемых при обслуживании технических устройств и линий связи.

На рис. 1 показана типовая структура автоматизированной системы оперативно-диспетчерского управления (АСОДУ) с указанием контролируемых и управляемых процессов.

Основными контролируемыми параметрами в режиме аэрогазового контроля являются концентрации газов в рабочей зоне, скорость движения воздушного потока, с этой целью состав системы входят следующие технические средства:

– Датчик метана (ДМС 03) — предназначен для непрерывного автоматического контроля концентрации горючих газов (метано-водородной смеси) в рабочей зоне.

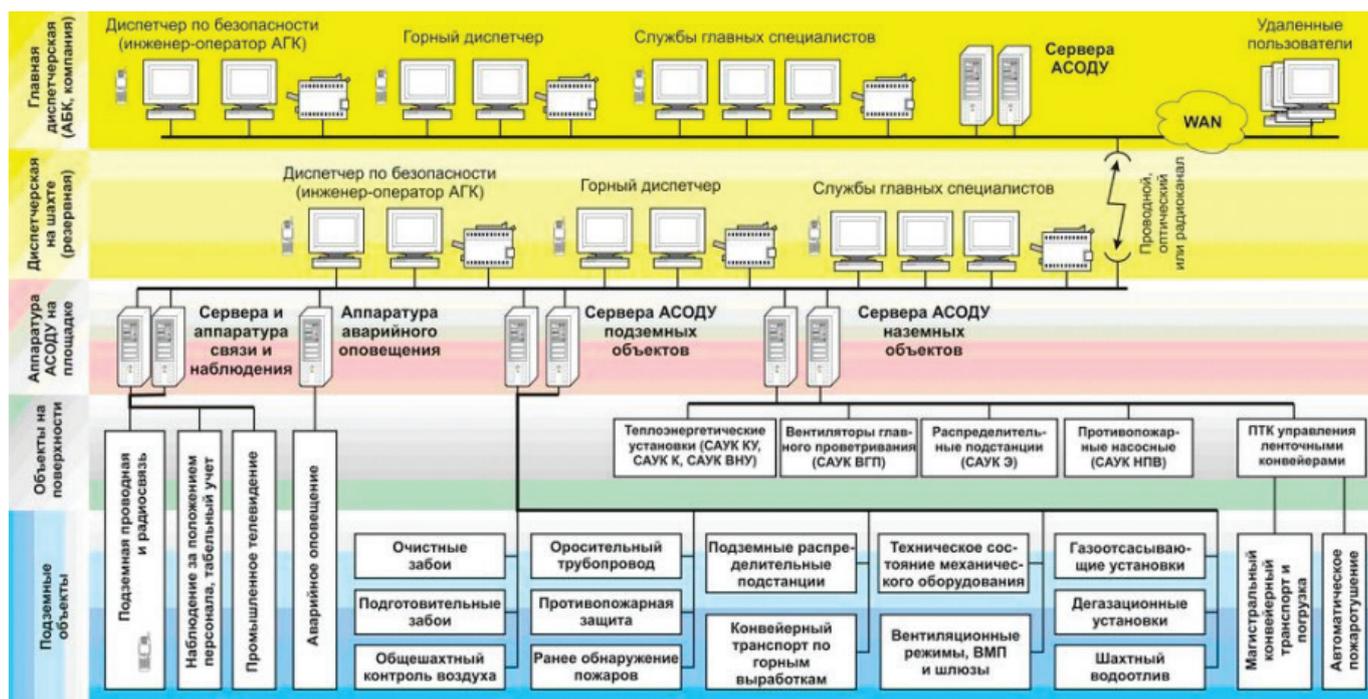


Рис. 1. Типовая структура автоматизированной системы оперативно-диспетчерского управления

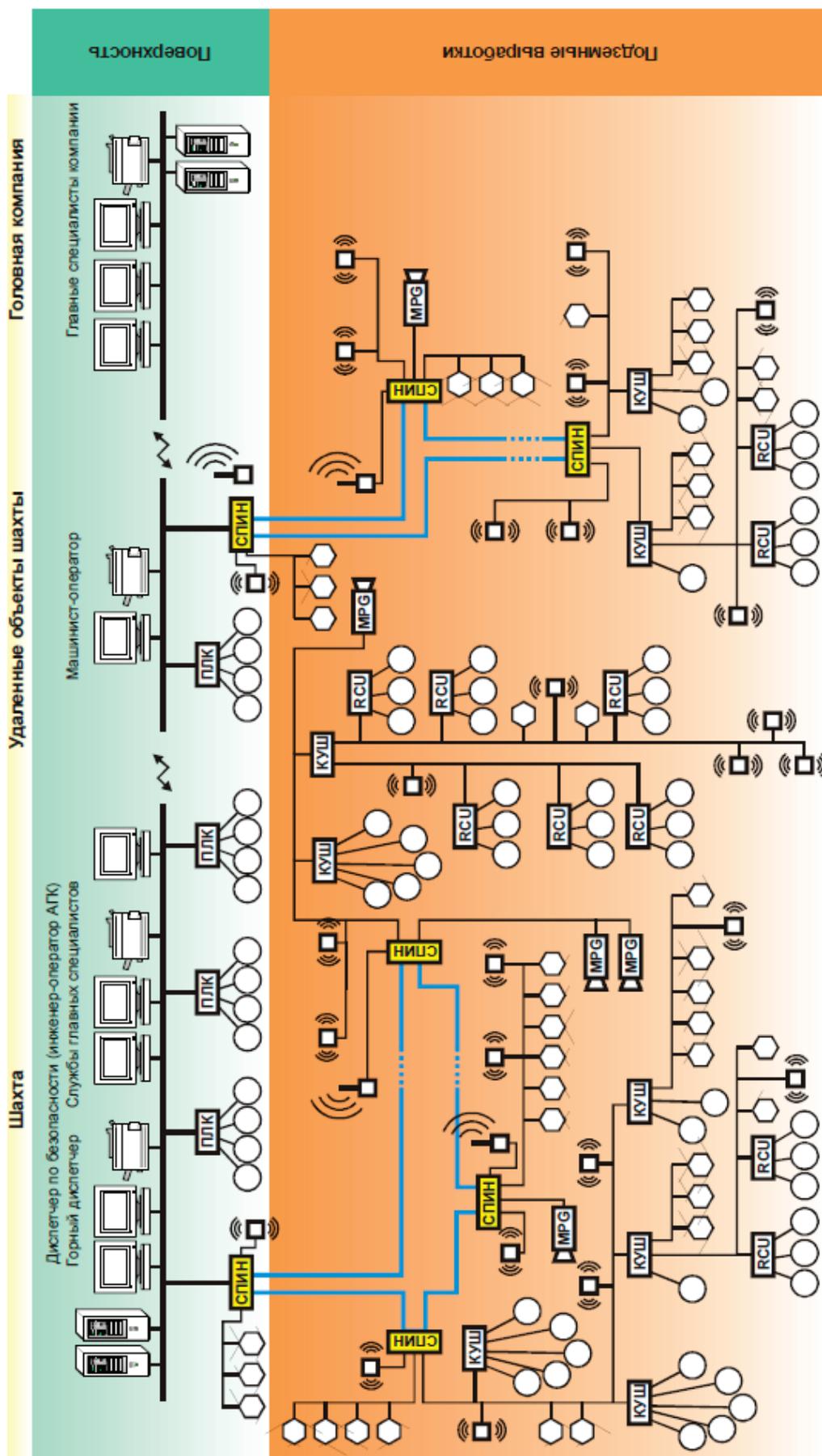


Рис. 2. Структурная схема технических средств системы диспетчерского управления и шахтной автоматики системы «Микон III»

– *Датчик токсичных газов (СДТГ-01)* — предназначен для непрерывного измерения объемной доли токсичных газов: оксида углерода, водорода, оксида азота, диоксида. Область применения — контроль воздуха рабочей зоны угольных шахт и других предприятий, опасных по газу и пыли. Датчик может применяться для раннего обнаружения эндогенных и экзогенных самовозгораний угля и возгорания технологического оборудования, в том числе конвейерных лент.

– *Датчик скорости воздушного потока (СДСВ-01)* — предназначен для непрерывного измерения скорости движения воздушных потоков в подземных выработках шахт и рудников и их наземных строениях, в том числе опасных по газу, пыли и внезапным выбросам. СДСВ обеспечивает измерение скорости воздушного потока от 0,1...30 м/с.

– *Измеритель запыленности стационарный (ИЗСТ-01)* — предназначен для технологического контроля воздушной среды в угольной промышленности, в том числе угольной и угольно-породной пыли в воздухе рабочей зоны.

– *Датчик давления стационарный (СДД 01)* — предназначен для непрерывного измерения расхода газа методом переменного перепада давления в дегазационных, воздушных трубопроводах круглого сечения и абсолютного давления в дегазационных, воздушных трубопроводах угольных предприятий, в том числе шахтах опасных по газу и пыли.

Одним из главных преимуществ системы «Микон III» является её совместимость с другими шахтовыми систе-

мами контроля и управления, что позволяет интегрировать в АСОДУ специализированное оборудование. На рис. 2 показана структура технических средств системы диспетчерского управления и шахтной автоматики III-го поколения — системы «Микон III». Система «Микон III» позволяет на основе использования единых технических и программных средств реализовывать различные системы централизованного диспетчерского и местного, ручного, автоматического и автоматизированного контроля, мониторинга и управления. При этом объектами управления и контроля могут быть шахтная атмосфера и микроклимат, основное и вспомогательное технологическое оборудование, транспортные и вентиляционные системы, системы электро-, пневмо- и водоснабжения, системы пожаротушения и т.д. Функции, реализуемые системой, определяются технологическими программами работы КУШ-ПЛК и наземных вычислительных устройств, набором и местом расположения КУШ-ПЛК, КУШ-УМН, датчиков, исполнительных устройств и устройств сигнализации.

Затраты на внедрение современной газоаналитической системы, безусловно, достаточно велики, но все вложения, направленные на обеспечение промышленной безопасности и охраны труда, позволяют сохранить жизнь и здоровье горняков, что несоизмеримо важнее. Только внедрение самых современных средств контроля за состоянием воздушной среды в принципе исключает возможность аварийных ситуаций аэрологического характера в горных выработках, обеспечивает безопасное и эффективное функционирование угольных шахт, опасных по газу и пыли.

#### Литература:

1. «Положение об аэрогазовом контроле в угольных шахтах».
2. Семёнов, А. С., Шипулин В. С. «Использование газоаналитических систем нового поколения для защиты рудника».
3. «Правила безопасности в угольных шахтах», утверждённые приказом Ростехнадзора от 19.11.2013 г. № 550.

## К вопросу о проведении технического диагностирования колёсного трактора типа ТК-25.02 с целью повышения эффективности использования нормативного ресурса

Балакин Юрий Алексеевич, эксперт, специалист неразрушающего контроля  
Киселёв Василий Юрьевич, эксперт  
АНО «РегионЦентр» (г. Кемерово)

*Разработаны рекомендации по проведению экспертного обследования колёсного трактора типа ТК-25.02 с целью определения соответствия технического устройства требованиям промышленной безопасности и возможности дальнейшей эксплуатации.*

Экономическая эффективность угольных разрезов Кузбасса в сложных горногеологических и климатических условиях, характерных для данного региона, за-

висит прежде всего от грамотной эксплуатации карьерной техники, минимизации времени и средств на устранение неисправностей. Надёжность машин в реальных условиях

эксплуатации напрямую влияет на безопасность труда обслуживающего персонала.

В соответствии с требованиями федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности», вступивших в силу с 01 января 2014 г., определение остаточного ресурса с указанием условий дальнейшей безопасной эксплуатации является обязательным при проведении экспертизы технических устройств. Проблема состоит в том, что не на все виды применяемой на сегодняшний день техники имеются действующие методики по определению её соответствия требованиям промышленной безопасности. Одним из таких видов технических устройств является колёсный трактор ТК-25.02 с бульдозерным оборудованием.

Ресурс тесно связан со сроком службы, измеряется как в единицах времени, так и в единицах наработки. Как уже было рассмотрено в [3], довольно часто на практике остаточный ресурс определяется разностью между расчетным сроком службы и временем эксплуатации. Такой подход является некорректным, не обеспечивает достаточной точности оценки ресурса объекта повышенной опасности. Срок службы, как и ресурс горнотранспортного оборудования, следует считать случайной величиной, подверженной воздействию многих факторов. На практике же сложилась недостаточно совершенная и требующая значительных трудовых и финансовых затрат система — капитальный ремонт производится без достаточных оснований и в большем объёме, чем это требуется, лишь на основании срока службы; либо наблюдается абсолютно противоположная тенденция — техническое устройство попадает в ремонт только после потери работоспособности, т.е. отказа. Обеспечение высокой надежности, снижение затрат на поддержание работоспособности горнотранспортной техники, может быть достигнуто только при внедрении эффективных методов диагностирования, в том числе и в рамках проведения экспертного обследования.

Экспертиза колёсного трактора ТК-25.02 проводится по истечении срока службы, установленного заводом-изготовителем; в соответствии с решением комиссии по результатам расследования аварии (инцидента); при наличии предписаний органов Ростехнадзора о проведении такого обследования.

Экспертное обследование проводится в порядке, определенном Федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности» (приказ Ростехнадзора № 538 от 14.11.2013 г.). До начала проведения обследования должна быть проанализирована представляемая заказчиком в соответствии с [2] техническая документация.

При обследовании колёсного трактора ТК-25.02 подлежат проверке:

- рама;
- ходовая система;

- трансмиссия;
- гидросистема управления трансмиссией;
- пневмосистема;
- гидросистема управления бульдозерным оборудованием;
- гидравлическая система управления поворотом трактора;
- погрузочное оборудование;
- электрооборудование;
- состояние двигателя;
- системы обеспечения дизеля;
- состояние тормозов;
- система смазки;
- кабина оператора.

При проведении технического диагностирования колёсного трактора ТК-25.02 первой задачей является контроль технического состояния, т.е. проверка соответствия значений параметров механического узла требованиям технической документации. Вторая задача — диагностирование с целью определения мест и, при необходимости, причин и видов дефекта механического узла. Такое диагностирование называют поиском дефектов. Третья задача технического диагностирования — прогнозирование технического состояния механического узла с заданной вероятностью на предстоящий интервал времени. Для решения этих задач используется система технического диагностирования (т.е. совокупность средств и методов), необходимая для проведения диагностирования по правилам, установленным в технической документации [2].

*Визуальный и измерительный контроль (ВИК)* применяется для оценки общего состояния: внешний осмотр трактора, проверка крепления элементов опор дизеля, внешних резьбовых соединений, состояния зубьев шестерен, подшипников, валов, вилок включения передач и корпусов механизмов. Данный метод служит только для определения поверхностных дефектов.

*Магнитопорошковый метод (МК)* неразрушающего контроля, основанный на возникновении неоднородности магнитного поля над местом дефекта, наиболее подходит для обнаружения внутренних и поверхностных дефектов рамы колёсного трактора ТК-25.02.

*Ультразвуковой контроль (УК)* необходим для проверки качества сварных соединений.

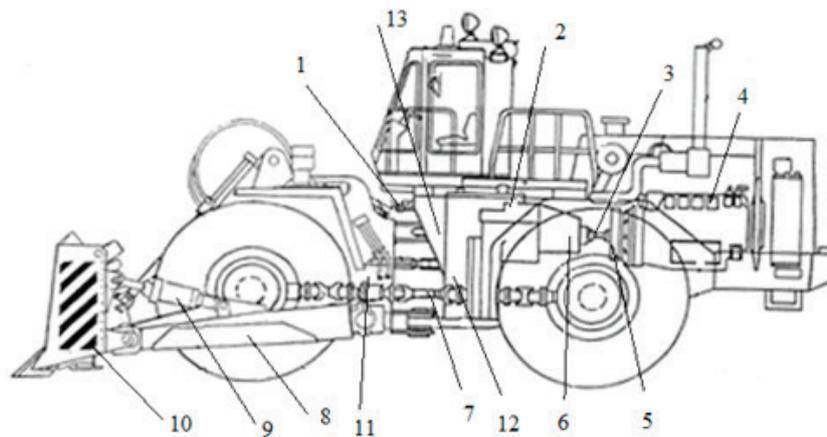
Обследование состояния механической части трактора включает проведение *вибро-диагностического контроля (ВД)* при работающем двигателе. Измерение вибрации агрегата производится в установившемся режиме (на холостом ходу, при номинальной частоте вращения коленвала, при номинальной величине крутящего момента). Для определения уровня интенсивности вибрации применяются диаграммы Блейка. Оценка опасности повышенной вибрации дается в соответствии с нормативно-технической документацией.

*Тепловые методы (ТК)* для контроля технического состояния механических узлов применяются редко, так как температура узлов и их дефекты имеют слабую кор-

реляционную связь, но по расположению и конфигурации аномальных участков с повышенной температурой можно оценить возможные дефекты гидросистемы и двигателя трактора. Тепловой контроль можно применить для проверки работы температурных датчиков, сравнивая термограммы с показаниями приборов.

В большей степени подвержены дефектообразованию и разрушению наиболее нагруженные и ответственные участки конструкции ТК-25.02. Колёсные тракторы эксплуатируются в основном по дорогам, имеющим большое количество выбоин и неровностей, что существенно влияет

на их тягово-динамические показатели, надежность и ресурс механизмов трансмиссии. Работоспособность агрегатов трансмиссии зависит от состояния зубьев шестерен, подшипников, валов, вилок включения передач и корпусов механизмов. Ускоренное изнашивание деталей происходит под воздействием абразивных частиц, попадающих внутрь корпусов сквозь неисправные уплотнительные устройства. Проведённый на основании данных технического диагностирования анализ локализации неисправностей колёсного трактора ТК-25.02 позволил выявить зоны наиболее вероятного расположения возможных дефектов (рис. 1).



1 – гидроцилиндр поворота; 2 – блок трансмиссии; 3 – карданная передача; 4 – дизель; 5 – редуктор привода насосов; 6 – гидротрансформатор; 7 – карданный вал; 8 – толкающий брус; 9 – гидрораскос; 10 – отвал; 11 – полурама передняя; 12 – полурама задняя; 13 – элементы шарнирного соединения

Рис. 1. Трактор ТК-25.02. Узлы и детали, наиболее подверженные образованию дефектов

#### Рекомендуемая карта технического диагностирования колёсного трактора ТК-25.02

Условный номер составной части трактора	Наименование составной части колёсного трактора ТК-25.02	Оценка состояния	Дефект и место его нахождения
01	<b>Рама</b>		
01-01	Полурама передняя		
01-02	Полурама задняя		
02	<b>ДВС</b>		
02-01	Протекания из систем смазки, топливной, охлаждения		
02-02	Система охлаждения ДВС		
02-03	Рукава, шланги		
02-04	Вентилятор, привод вентилятора		
02-05	Радиатор		
02-06	Надежность уплотнения системы выпуска отработанных газов		
02-07	Крепление навесного оборудования		
02-08	Приборы контроля за работой ДВС		
02-09	Фильтры		
02-10	Ремни и шкивы вентилятора, генератора		
02-11	Вибрационные параметры ДВС		
03	<b>Рулевое управление</b>		

03-01	Рулевой механизм		
03-02	Усилитель потока		
03-03	Гидроцилиндры		
03-04	Клапаны		
04	<b>Тормоза</b>		
05	<b>Трансмиссия</b>		
05-01	Блок управления коробкой передач		
05-02	Тормозной распределитель		
05-03	Масляный фильтр		
05-04	Гидротрансформатор		
05-05	Согласующий редуктор		
05-06	Редуктор привода насосов		
05-07	Насосы гидросистемы		
05-08	Коробка перемены передач		
05-09	Карданы		
05-10	Ведущие мосты		
05-11	Колёсные редукторы		
06	<b>Бульдозерное оборудование</b>		
06-02	Рабочая часть отвала		
06-03	Толкающие брусья		
06-04	Опоры брусьев		
06-05	Пальцы		
06-06	Цапфы		
06-07	Стабилизатор отвала		
06-08	Гидрораспределители		
06-09	Гидроцилиндры		
07	<b>Электрооборудование</b>		
07-01	Генератор переменного тока		
07-02	Электропроводка		
07-03	Освещение внешнее		
07-04	Аккумуляторная батарея		
07-05	Кабели		
07-06	Стартер		
07-07	Звуковой сигнал		
07-08	Звуковой сигнал заднего хода		
07-09	Проблесковый маяк		
07-10	Внутреннее освещение		
08	<b>Кабина оператора</b>		
08-01	Амортизация сидения		
08-02	Шумоизоляция		
08-03	Вентиляция и отопление		
08-04	Средства связи		

Таким образом, система технического диагностирования, включающая комплекс мероприятий по своевременному обследованию проблемных зон колёсного

трактора ТК-25.02, позволит эффективно использовать нормативный ресурс технического устройства.

Литература:

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности», утвержденными приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору № 538 от 14.11.2013 г.
2. ПБ 05-619-03 «Правила безопасности при разработке угольных месторождений открытым способом», 2003 г.
3. Балакин, Ю. А., Вылцан С. С., Должко Д. М. Влияние технического диагностирования на повышение точности прогнозирования остаточного срока службы горнотранспортного оборудования.
4. Ершов, Д. Ю. Техническое диагностирование и методы контроля механических узлов в машиностроении.

## Особенности проведения технического диагностирования шахтного дизель-гидравлического маневрового устройства DMZ50F с целью повышения эффективности использования нормативного ресурса

Балакин Юрий Алексеевич, эксперт, специалист неразрушающего контроля;

Пальцев Сергей Анатольевич, эксперт

АНО «РегионЦентр» (г. Кемерово)

*Разработаны рекомендации по проведению экспертного обследования дизель-гидравлического маневрового устройства DMZ50F с целью определения соответствия требованиям промышленной безопасности и возможности дальнейшей эксплуатации.*

В последнее десятилетие многие угледобывающие предприятия Кузбасса в рамках технического перевооружения приобрели новые дизель-гидравлические маневровые устройства DMZ50F производства Чехии. Нормативный срок службы данного вида техники приближается к предельному. Календарная же продолжительность эксплуатации может варьироваться, поскольку зависит от ряда факторов, прежде всего от системы организации технического обслуживания. Для находящихся в эксплуатации технических устройств важным показателем является индивидуальный остаточный ресурс.

Согласно требованиям Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертиз промышленной безопасности», вступивших в силу с 01 января 2014 г., определение остаточного ресурса с указанием условий дальнейшей безопасной эксплуатации является обязательным при проведении экспертизы технических устройств. Для определения соответствия требованиям промышленной безопасности дизель-гидравлического маневрового устройства DMZ50F производства ООО «Феррит» (рис. 1), как и на большинство видов импортной техники, на сегодняшний день нет действующей методики.



Рис. 1. Шахтное маневровое устройство DMZ50F

Шахтное маневровое устройство типа DMZ50F является независимым гидравлическим агрегатом, применяемым также в виде тягового средства для транспортировки состава на монорельсовой подвесной дороге с двутавром 155 в горизонтальной плоскости и при угле наклона макс.  $\pm 25^\circ$ . Маневровое устройство подходит для эксплуатации в любом месте горной выработки монорельсовой подвесной дороги при соблюдении действующих правил безопасности и инструкции по эксплуатации манипулятора и подвесной монорельсовой дороги.

Экономическая эффективность работы предприятия, безопасность труда персонала зависят прежде всего от надёжности работы оборудования. Надёжность как показатель является свойством объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и усло-

виях применения, технического обслуживания, а проявляется этот показатель при реальной эксплуатации машин у определённого потребителя и в определённых условиях. Фактом надёжности машин в реальных условиях эксплуатации является сохранение работоспособности в течение определённого промежутка времени [1]. Обеспечение высокой надёжности, снижение затрат на поддержание работоспособности техники может быть достигнуто только при внедрении эффективных методов диагностирования, в том числе и в рамках проведения экспертного обследования.

Экспертиза дизель-гидравлического маневрового устройства DMZ50F проводится по истечении срока службы, установленного заводом-изготовителем; в соответствии с решением комиссии по результатам расследования аварии (инцидента); при наличии предписаний органов Ростехнадзора о проведении такого обследования.

Экспертное обследование проводится в порядке, определенном Федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности» (приказ Ростехнадзора № 538 от 14.11.2013 г.). До начала проведения обследования должна быть проанализирована представляемая заказчиком в соответствии с [2] техническая документация.

Обследованию подлежат следующие основные узлы и элементы маневрового устройства DMZ50F:

- моторная часть;
- топливный контур;
- предохранительные устройства;
- электрооборудование;
- датчик контроля метана;
- гидростатический контур и контур прижима роликов;
- привод маневрового устройства;
- тормозное устройство;
- соединительные тяги.

Кроме этого подлежит проверке:

- соответствие технических характеристик маневрового устройства фактическим условиям эксплуатации;
- укомплектованность персоналом и организация технического обслуживания в части выполнения плановых объемов работ по регламентному обслуживанию.

При проведении технического диагностирования дизель-гидравлического маневрового устройства DMZ50F основными задачами являются:

контроль технического состояния, т.е. проверка соответствия значений параметров механического узла требованиям технической документации;

диагностирование с целью определения мест и, при необходимости, причин и видов дефекта механического узла (т.е. поиск дефектов);

прогнозирование технического состояния механического узла с заданной вероятностью на предстоящий интервал времени.

Для решения этих задач используется система технического диагностирования (т.е. совокупность средств и методов), необходимая для проведения диагностирования по правилам, установленным в технической документации [2].

Для оценки общего состояния маневрового устройства DMZ50F применяется визуальный и измерительный контроль, включающий внешний осмотр, проверку крепления элементов опор дизеля, внешних резьбовых соединений,

состояния зубьев шестерен, подшипников, валов, вилок включения передач и корпусов механизмов. Данный метод служит только для определения поверхностных дефектов.

Магнитопорошковый метод неразрушающего контроля основан на возникновении неоднородности магнитного поля над местом дефекта, позволяет обнаружить как поверхностные, так и внутренние нарушения целостности металлоконструкции агрегата.

Ультразвуковой контроль необходим для проверки качества сварных соединений.

Обследование состояния механической части дизель-гидравлического маневрового устройства DMZ50F включает проведение вибродиагностики при работающем двигателе. Измерение вибрации агрегата производится в установившемся режиме (на холостом ходу, при номинальной частоте вращения коленвала, при номинальной величине крутящего момента). Для определения уровня интенсивности вибрации применяются диаграммы Блейка. Оценка опасности повышенной вибрации дается в соответствии с нормативно-технической документацией.

Тепловизионное обследование, как и другие методы технической диагностики, решает задачи поиска неисправностей и оценки технического состояния исследуемого объекта. Температура механических узлов и их дефекты имеют слабую корреляционную связь, но по расположению и конфигурации аномальных участков с повышенной температурой можно оценить возможные дефекты гидросистемы и двигателя маневрового устройства. Тепловой метод можно применить для экспресс-контроля работы датчиков температуры гидравлического масла, охлаждающей воды двигателя внутреннего сгорания, выхлопных газов, сравнивая термограммы с показаниями приборов. По тепловым параметрам двигателя (наличие или отсутствие перегрева) можно судить о состоянии радиатора.

Анализ данных технического диагностирования о локализации неисправностей маневрового устройства DMZ50F позволил выявить наиболее вероятные дефекты:

- износ тормозных колодок;
- износ приводных колёс;
- неисправности двигателя;
- утечки масла через сальник коленвала, по резьбовым соединениям гидроконтра;
- повреждения масляных рукавов;
- повреждение проушин соединительных тяг (возможны трещины в результате деформации).

**Рекомендуемая карта технического диагностирования шахтного дизель-гидравлического маневрового устройства DMZ50F**

Условный № узла	Наименование документа, оборудования, узла, элемента.	Оценка состояния	Дефект, место его нахождения
01	Документация на устройство		
01-01	Паспорт		

01-02	Инструкция по эксплуатации		
01-03	Схемы соединений		
01-04	Схемы управления		
02	Маневровое устройство DMZ50F		
02-01	Идентификация устройства		
02-02	Двигатель		
02-03	Топливная система		
02-04	Ограждения, решётки		
02-05	Металлоконструкции устройства		
02-06	Тележки несущие		
02-07	Сцепки		
02-08	Тяги соединительные		
02-09	Рама моторной части		
02-10	Привод		
02-11	Тяговый блок		
02-12	Ведущие ролики		
02-13	Устройства прижатия колёс к монорельсу		
02-14	Гидравлический контур		
02-15	Тормозная система		
02-16	Устройства защиты, автоматики		
02-17	Электрооборудование		
02-18	Фильтры		
02-19	Датчики		
02-20	Противопожарная защита		

Таким образом, своевременное обследование проблемных зон объекта позволит устранять дефекты на начальной стадии развития и снизить до минимума вероятность возникновения отказов в процессе эксплуатации, что не только значительно повысит надёж-

ность дизель-гидравлического маневрового устройства DMZ50F, но и позволит эффективно использовать нормативный ресурс, будет способствовать повышению точности прогноза остаточного срока службы (остаточного ресурса).

#### Литература:

1. ГОСТ 27.002–89. Надёжность в технике. Основные понятия. Термины и определения.
2. «Правила безопасности в угольных шахтах», утверждённые приказом Ростехнадзора от 19.11.2013 г. № 550.
3. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности», утвержденными приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору № 538 от 14.11.2013 г.
4. Балакин, Ю. А., Вылцан С. С., Должко Д. М. Влияние технического диагностирования на повышение точности прогнозирования остаточного срока службы горнотранспортного оборудования.

## Анализ методов статического расчета безбалочных бескапитальных железобетонных перекрытий связевых каркасов

Богачёва Светлана Валерьевна, аспирант  
Белгородский государственный технологический университет имени В. Г. Шухова

*На примере трехпролетной схемы связевого каркаса выполнен статический расчет безбалочной бескапитальной плиты перекрытия различными методами: упругой сетки, заменяющих рам, конечных элементов. Произведен анализ результатов расчета.*

**Ключевые слова:** безбалочная бескапитальная плита перекрытия, метод упругой сетки, метод заменяющих рам, метод конечных элементов.

В настоящее время значительная часть строительного рынка приходится на каркасные системы с плоскими плитами перекрытия. С позиций строительной механики несущие конструктивные системы многоэтажных зданий являются многократно статически неопределимыми и характеризуются совместной работой всех элементов с перераспределением усилий между ними. Для расчета несущих конструктивных систем согласно [1] рекомендуется использовать расчетные модели, основанные на математической и геометрической дискретизации пространственных конструкций, рассчитываемых методом конечных элементов. При этом расчет производят в пространственной постановке с учетом совместной работы подземных и надземных конструкций и основания. Средствами проверки результатов статических расчетов, а именно усилий в безбалочных бескапитальных плитах перекрытий и покрытия, определенных с использованием специальных программных комплексов, могут выступать как метод упругих сеток, так и метод заменяющих рам. Последний, например, используется в методических рекомендациях по расчету безригельного каркаса системы «КУБ» [2].

При расчете методом упругой сетки плита представляется как система из двух взаимно перпендикулярных рядов нитей, которая в каждой точке пересечения должна находиться в равновесии. Под действием нагрузки точки пересечения нитей сетки перемещаются, а величины перемещений определяются ординатами узловых точек относительно координатной плоскости XY. Величины моментов выражаются через ординаты упругой поверхности пластинки, которые, в свою очередь, определяются величинами ординат упругой сетки под действием приложенных в узлах давления с натяжением. Используя методику по приложению метода упругой сетки к расчету безбалочных бескапитальных перекрытий, изложенную в [3], были определены значения изгибающих моментов на примере трехпролетной схемы связевого каркаса административного здания с регулярной сеткой колонн сечением 0,4x0,4 м и толщиной перекрытия 0,2 м (рис. 1).

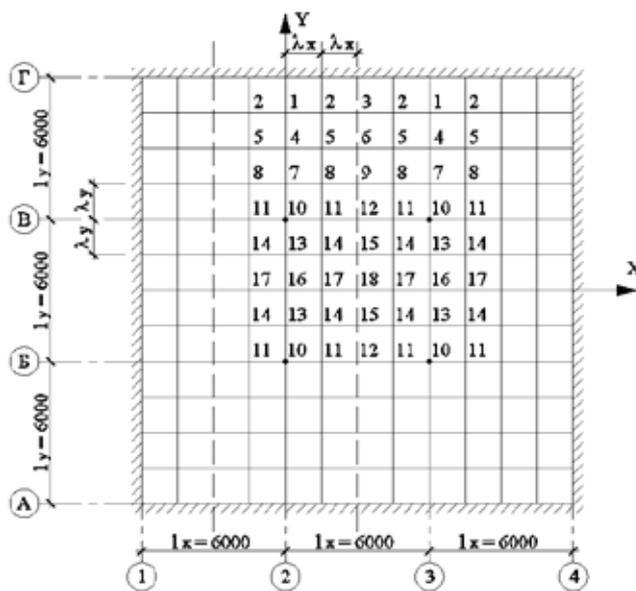


Рис. 1. Схема перекрытия к расчету по методу упругой сетки

При расчете безбалочных бескапитальных плит перекрытий по методу заменяющих рам перекрытие рассматривается как две системы пересекающихся многопролетных двухъярусных рам с защемленными сверху и снизу стойками (рис. 2). Влияние верхних и нижних этажей не учитывается вследствие того, что в основу уравнений положено предположение об отсутствии горизонтальных смещений узлов. Заменяющие рамы образуются в двух взаимно перпендикулярных направлениях путем рассечения каркаса вертикальными плоскостями, проходящими параллельно осям колонн через середины смежных поперечных пролетов (внутренних и крайних). В результате заменяющие рамы получаются в виде ряда колонн, соединенных условными ригелями, состоящими из полосы шириной равной расстоянию между серединами двух поперечных пролетов, примыкающих к соответствующему ряду колонн [4].

Каркас рассчитывался на основное сочетание нагрузок:

$$C_m = P_d + \psi_{I1} P_{I1} \tag{1}$$

где  $C_m$  — нагрузка для основного сочетания;

$P_d = 8,5 \text{ кН/м}^2$  и  $P_{I1} = 2,4 \text{ кН/м}^2$  — расчетные значения постоянной и кратковременной нагрузок соответственно;

$\psi_{I1} = 1,0$  — коэффициент сочетания основной по степени влияния кратковременной нагрузки.

При решении методом заменяющих рам основное уравнение упругости имеет вид:

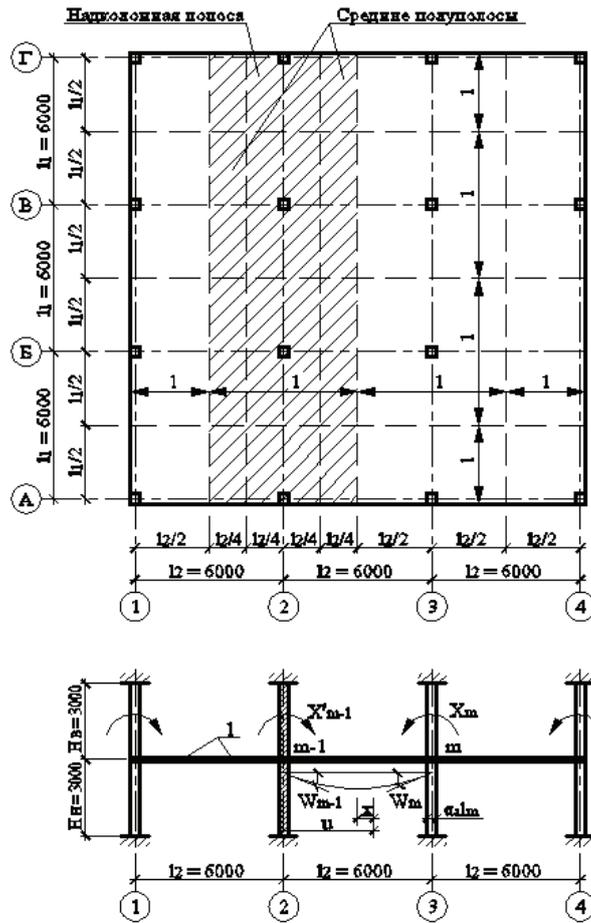


Рис. 2. Схема перекрытия к расчету по методу заменяющих рам: 1 — заменяющая рама

$$EI(W_{m-1}K'_m + W_m\beta_m + W_{m+1}K'_{m+1}) = \frac{v}{12}(q_m l_m^2 + q_{m+1} l_{m+1}^2) \tag{2}$$

где  $EI$  — жесткость ригеля рамы;  
 $W_{m-1}$ ;  $W_m$ ;  $W_{m+1}$  — углы поворота соответствующих углов рамы;

$$K'_m = \frac{12}{l_m} \cdot \frac{\theta_1}{\theta^2 - \theta_1^2} \text{ и } K_m = \frac{12}{l_m} \cdot \frac{\theta}{\theta^2 - \theta_1^2}, \tag{3}$$

причем  $\theta = 4 - 4\alpha + 2\alpha^2 - \frac{2}{3}\alpha^3$ , (4)

$$\theta_1 = 2 - 2\alpha^2 + \frac{2}{3}\alpha^2, \tag{5}$$

где  $\alpha = \frac{c}{l}$  — соотношение ширины колонны к пролету заменяющей рамы;

$$\beta_m = K_m + K_{m+1} + 6 \frac{I_B}{I} \cdot \frac{f_B}{H_B} \cdot \frac{1}{3f_B - H_B} + 6 \frac{I_H}{I} \cdot \frac{f_H}{H_H} \cdot \frac{1}{3f_H - H_H}, \tag{6}$$

где  $I_B$  и  $I_H$  — моменты инерции верхней и нижней колонн соответственно;  
 $H_B$  и  $H_H$  — высоты верхней и нижней колонн соответственно;  
 $f_B$  — расстояние от нулевой точки моментов до низа верхней колонны;  
 $f_H$  — то же, до верха нижней колонны;

$$v = \frac{3\mu}{3 - 2\alpha} + 2\alpha, \tag{7}$$

где  $\mu = 1 - 2\alpha + \frac{7}{12}\alpha^2 + \frac{\alpha^3}{3}$  (8)

Используя уравнение упругости (2) и метод перемещений, предполагая  $\alpha = 0$ , были определены значения изгибающих моментов заменяющей рамы.

Распределение изгибающих моментов, полученных из расчета заменяющей рамы, по ширине ригеля на две надколонные и две средние полуполосы выполнено путем умножения общих моментов на коэффициенты распределения, приведенные в [4].

Расчет перекрытия связевого каркаса методом конечных элементов произведен с использованием ПК ЛИРА по пространственной схеме без учета влияния верхних и нижних этажей. Колонны каркаса моделировались стержневыми элементами, а плита перекрытия пластинчатыми элементами (элементами плоской оболочки). Для смягчения влияния сингулярностей на результаты расчета область примыкания тела колонны к телу плиты перекрытия смоделирована при помощи абсолютно жесткого тела (рис. 3).

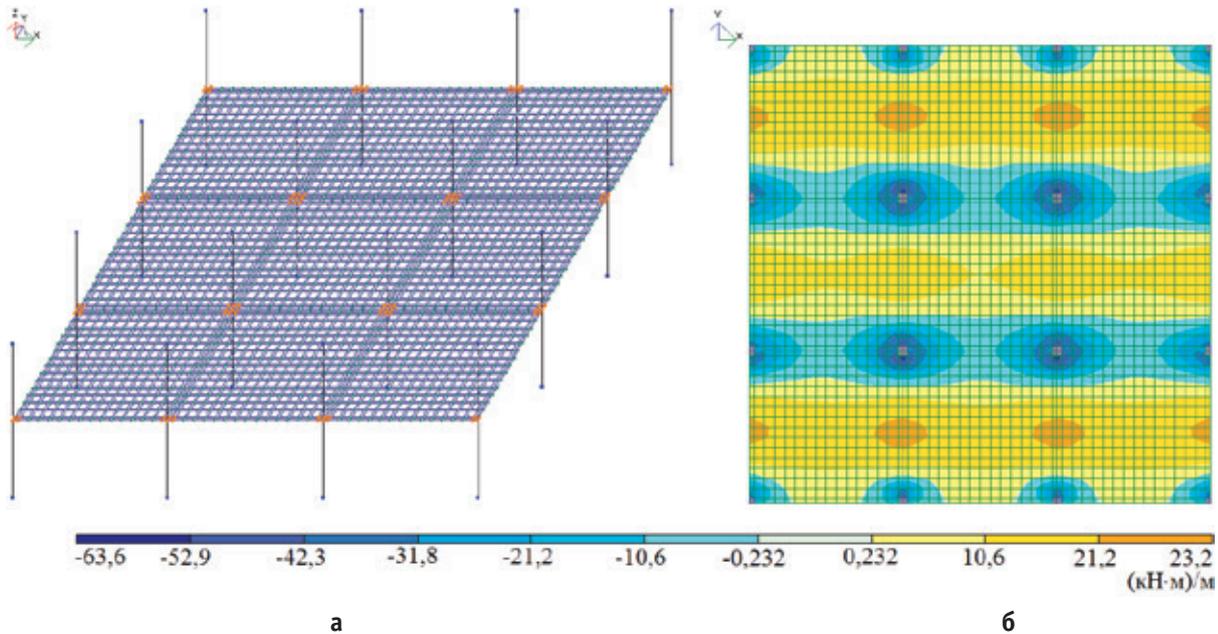


Рис. 3. Схема перекрытия к расчету по методу конечных элементов в ПК ЛИРА: а — расчетная модель; б — изополю напряжений по  $M_y$

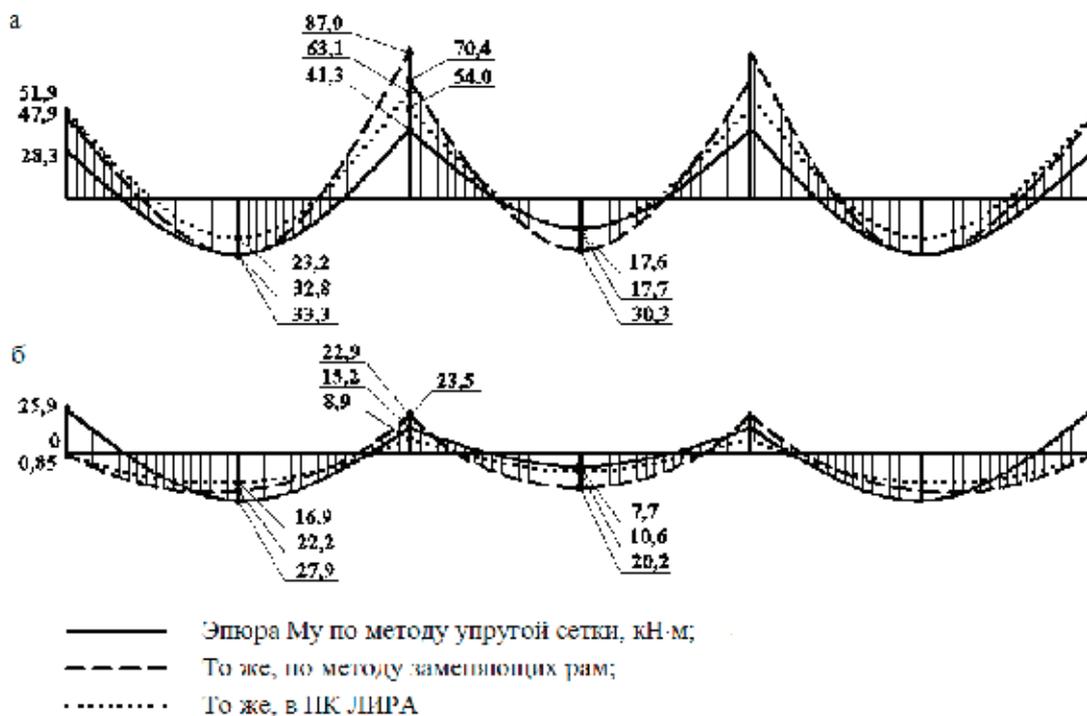


Рис. 4. Эпюры  $M_y$  перекрытия связевого каркаса: а — надколонная полоса; б — средняя полоса

На рис. 4 представлены результаты статического расчета по рассмотренным выше методам. Наиболее полное и наглядное представление о распределении расчетного изгибающего моментов в пролетных и опорных зонах перекрытия дает метод конечных элементов, реализованный в ПК ЛИРА (рис. 3, б). Анализ полученных результатов показывает их значительное расхождение друг от друга. Разница в величинах моментов в отдельных точках плит безбалочного перекрытия не превышает в основном 45%. Если принять моменты, полученные при расчете в ПК ЛИРА за 100%, то при решении по методу упругой сетки на опорах они соответственно равны: 54,5%; 65,4%, а по методу заменяющих рам — 92,3%; 137,8%, т.е. в первом случае разница составляет 34,6–45,5%, а во втором 7,7–37,8%. То же, в пролете для надколонной полосы: 143,5%; 100,6% и 141,4%; 172,1%, с разницей 0,6–43,5% и 41,4–72,1% соответственно. Причина такой разности полученных результатов кроется в неполном соответствии методов упругой сетки и заменяющих рам работе безбалочных плит и различном подходе к расчету. Наибольшее расхождение результатов наблюдается на крайней опоре надколонной и средней полос и составляет более 100%. Однако, если исходить из величин суммарных моментов, которые будут равны 102,7% по методу упругой сетки и 90,8% по методу заменяющих рам, то их разница незначительна и не превышает 9,2%. Поэтому рассмотренные ручные методы могут быть использованы при статическом расчете, учитывая, что во многих случаях распределение моментов носит более конструктивный, чем теоретический характер, и поэтому характер работы конструкции будет определяться тем, как она законструирована: там, где будет уложено большее количество арматуры, где будет больший момент инерции сечения, там и будет воспринят больший изгибающий момент [5].

#### Литература:

1. СП 52–103–2007 Железобетонные монолитные конструкции зданий. — М.: ФГУП «НИЦ «Строительство», 2007. — 18 с.
2. Унифицированная система сборно-монолитного безригельного каркаса КУБ2.5. Выпуск 1–1. Основные положения по расчету, монтажу и компоновке зданий. — М.: Госкомархитектура, НПСО «Монолит», ЦНИИПИ «Монолит», 1990. — 49 с.
3. Глуховский, А.Д. Железобетонные безбалочные бескапитальные перекрытия для многоэтажных зданий: научное сообщение/ А.Д. Глуховский; Акад. архитектуры СССР. НИИ строит. техники. — М.: Госстройиздат, 1956. — 60 с.
4. Рекомендации по проектированию железобетонных монолитных каркасов с плоскими перекрытиями/ А.С. Залесов, Е.А. Чистяков. — М.: НИИЖБ Госстроя России, 1993. — 45 с.
5. Штаерман, М.Я. Безбалочные перекрытия/ М.Я. Штаерман, А.М. Ивянский. — М.: Стройиздат, 1953. — 335 с.

## Математические модели процесса взаимодействия контактного слоя почвы с нестабильной поверхностью и твердости деталей почвообрабатывающих рабочих органов

Джаббаров Нозим Исмоилович, доктор технических наук, профессор;  
Федькин Денис Сергеевич, кандидат технических наук

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (г. Санкт-Петербург)

*В статье приведены разработанные авторами математические модели, описывающие процесс контактного взаимодействия контактного слоя почвы с нестабильной рабочей поверхностью и твердости деталей почвообрабатывающих рабочих органов при их наплавке твердыми сплавами. Результаты экспериментальных исследований показывают, что создание нестабильной поверхности и твердости деталей путем нанесения на них наплавки из твердых сплавов определенных размеров и конфигураций обеспечивает повышение их ресурса за счет снижения износа при работе в абразивной почвенной среде.*

**Ключевые слова:** почвообрабатывающие машины, рабочий орган, износ, удельное давление, твердость почвы, динамическое давление, тяговое усилие, коэффициент террадинамического сопротивления, наплавка, твердый сплав.

В общем тяговом сопротивлении плуга, доля сопротивления колес составляет 8–10%, полевых досок корпусов — 10–15%, отвала и лемеха — 75–80%, причем на лемех приходится 50–60%. Энергия, непосредственно затраченная на выполнения процесса вспашки, распределяется так: на деформацию почвы 16%, на поднятие и ускорение почвенного пласта 12%, на преодоление сил трения 60%, на резание почвы 12% [1].

В работе [1] отмечается, что другим направлением снижения тягового сопротивления плуга является поиски поддержания постоянной остроты лезвия лемеха. В дальнейшем, возможно, лемех будет иметь волнистую линию лезвия. Зубцы — выступы этих лемехов — тоньше самого лемеха и не требуют заточки. Они служат до полного износа зубьев.

При нанесении твердого сплава на рабочей поверхности деталей образуется нестабильная поверхность и твердость.

При этом на общей поверхности деталей почвообрабатывающих рабочих органов образуется 4 характерные участки с разными свойствами (рисунок 1).

Первый участок — это область, образованная перед наплавленным валиком, где образуется зона замедления движения и увеличения удельного давления почвы.

Второй участок — это область, образованная на вершине валиков, которая подвергается интенсивному трению и износу.

Третий участок — это область, образованная за наплавленным валиком, то есть застойная зона почвы, где резко снижается износ основного металла из-за существенного уменьшения удельного давления на рабочую поверхность и коэффициентов трения почвы о почву и почвы о стали.

Четвертый участок — это площадь ненаправленной части детали, где происходит трение почвы о стали.

Общая схема характерных зон изнашивания и эпюра скоростного давления на рабочую поверхность почвообрабатывающего рабочего органа показаны на рисунке 1.

Величина скорости напора (или динамического давления) на рабочий орган зависит от твердости почвы, коэффициента трения и скорости движения почвообрабатывающей машины.

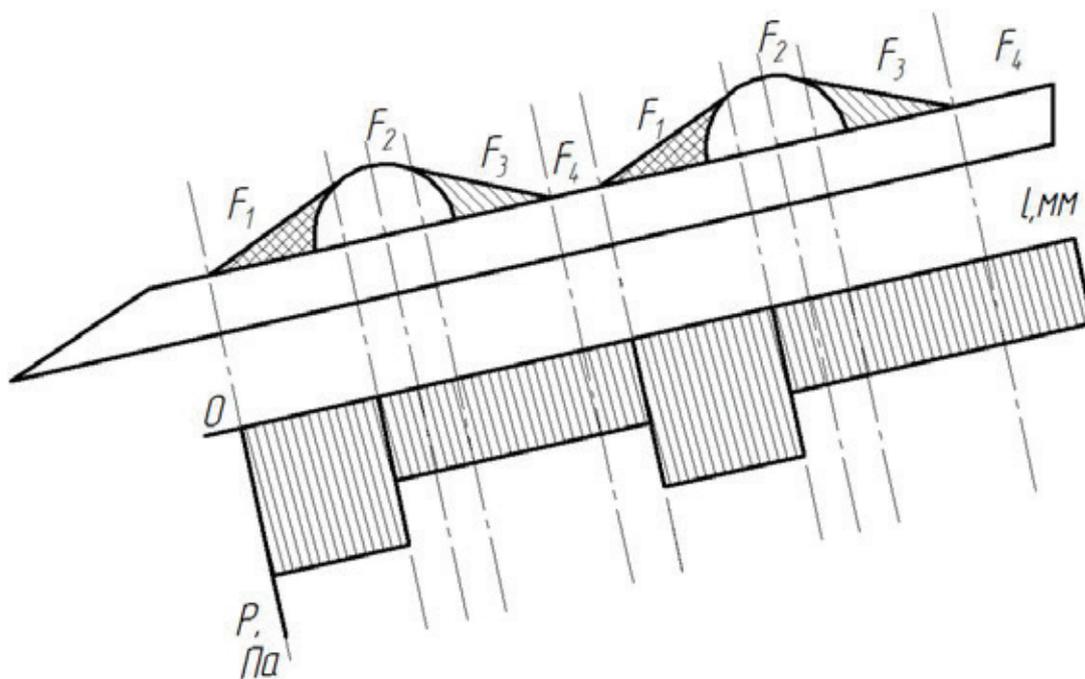


Рис. 1. Общая схема характерных зон изнашивания и эпюра скорости напора на рабочую поверхность почвообрабатывающего рабочего органа

Тяговое усилие затрачивается на подрезание (и оборот) 1 см<sup>2</sup> поперечного сечения пласта почвы при обработке. Например, тяговое усилие при вспашке затрачивается на преодоление трения почвы о металл, на деформацию почвы, то есть на растяжение, сжатие, сдвиг, кручение и отбрасывание пласта в сторону.

Математическую модель для определения величины тягового усилия  $P_o^c$  можно представить в виде:

$$P_o^c = P_{o1}^c + P_{o2}^c + P_{o3}^c + P_{o4}^c = \frac{1}{2}(K_{1o} \cdot T_{II} \cdot V_p^2 \cdot F_1 \cdot f_{III}) + \frac{1}{2}(K_{2o} \cdot T_{II} \cdot V_p^2 \cdot F_2 \cdot f_{II}) + \frac{1}{2}(K_{3o} \cdot T_{II} \cdot V_p^2 \cdot F_3 \cdot f_{III}) + \frac{1}{2}(K_{4o} \cdot T_{II} \cdot V_p^2 \cdot F_4 \cdot f_{II}) \quad (1)$$

где  $T_{II}$  — твердость почвы, кг/см<sup>2</sup>;  $F_1$  — область (площадь) перед наплавленным валиком, где образуется зона замедления движения и увеличения удельного давления почвы;  $F_2$  — область (площадь) на вершине валиков, которая подвергается интенсивному трению и износу;  $F_3$  — область (площадь) за наплавленным валиком, то есть застойная зона

почвы, где резко снижается износ основного металла из-за существенного уменьшения удельного давления на рабочую поверхность и коэффициентов трения почвы о почву и почвы о стали;  $F_4$  - площадь ненаправленной части детали, где происходит трение почвы о стали;  $f_{ПС}$  - коэффициент трения почвы о сталь;  $f_{ПП}$  - коэффициент внутреннего трения почвы, характеризующий сопротивление перемещения почвы по почве;  $K_{1\partial}$ ,  $K_{2\partial}$ ,  $K_{3\partial}$ ,  $K_{4\partial}$  - коэффициент террадинамического сопротивления, соответственно на областях трения  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  и  $F_4$ ;  $V_p$  - скорость движения почвы о поверхности рабочего органа, пропорциональная скорости движения почвообрабатывающей машины.

Коэффициенты террадинамического сопротивления  $K_{1\partial}$ ,  $K_{2\partial}$ ,  $K_{3\partial}$  и  $K_{4\partial}$  определяются по методике, изложенной в работе [2].

Твердость почвы — это ее свойство оказывать сопротивление сдавливающему и расклинивающему воздействию, определяется отношением силы внедрения рабочего органа в почву, к его поперечному сечению и характеризует трудность обработки почвы. При моделировании процесса обработки почвы необходимо определить сопротивление, которое она оказывает расклиниванию или разрезанию. Чем выше твердость почвы, тем большее сопротивление она оказывает расклиниванию.

Твердость почвы обусловлена теми же характеристиками, что и связность, — минералогическим и гранулометрическим составами, содержанием гумуса, влажностью и т. д. Особенно на твердость почвы оказывает большое влияние ее влажность.

Математическая модель для определения тягового усилия  $P_{\partial 1}^c$  в области (площади) перед наплавленным валиком, где образуется зона замедления движения, и увеличения удельного давления почвы выглядит так:

$$P_{\partial 1}^c = \frac{1}{2} (K_{1\partial} \cdot T_{II} \cdot V_p^2 \cdot F_1 \cdot f_{ПП}). \quad (2)$$

Математическую модель для определения величины тягового усилия  $P_{\partial 2}^c$  в области (площади) на вершине валиков, которая подвергается интенсивному трению и износу можно представить так:

$$P_{\partial 2}^c = \frac{1}{2} (K_{2\partial} \cdot T_{II} \cdot V_p^2 \cdot F_2 \cdot f_{ПС}). \quad (3)$$

Математическую модель для определения величины тягового усилия  $P_{\partial 3}^c$  в области (площади) за наплавленным валиком, то есть застойная зона почвы, где резко снижается износ основного металла из-за существенного уменьшения удельного давления на рабочую поверхность и коэффициентов трения почвы о почву и почвы о стали, можно представить в виде:

$$P_{\partial 3}^c = \frac{1}{2} (K_{3\partial} \cdot T_{II} \cdot V_p^2 \cdot F_3 \cdot f_{ПП}). \quad (4)$$

Математическую модель для определения величины тягового усилия  $P_{\partial 4}^c$  в области (площади) ненаправленной части детали, где происходит трение почвы о стали (основного металла) можно представить в виде:

$$P_{\partial 4}^c = \frac{1}{2} (K_{4\partial} \cdot T_{II} \cdot V_p^2 \cdot F_4 \cdot f_{ПС}). \quad (5)$$

Согласно зависимости (1) — (5), величина тягового усилия прямо пропорциональна коэффициенту внутреннего трения  $f_{ПП}$  почвы и коэффициенту трения почвы о стали  $f_{ПС}$ . Величина коэффициентов  $f_{ПП}$  и  $f_{ПС}$  зависит от физико-механических свойств почвы.

Для характерных зон  $F_1$  и  $F_3$  наибольшее влияние на тяговое сопротивление оказывают скорость напора, коэффициент террадинамического сопротивления, площадь зоны трения и коэффициент внутреннего трения  $f_{ПП}$ .

Угол внутреннего трения  $\varphi$  — это угол, тангенс которого равен коэффициенту внутреннего трения почвы. Угол внутреннего трения  $\varphi$  для различных видов нескальных грунтов колеблется в следующих пределах: песчаных 25–43; пылевато-глинистых 7–30° [5].

Коэффициент  $f_{ПП}$  зависит от величины угла трения  $\varphi$  почвы:

$$f_{ПП} = \operatorname{tg} \varphi, \quad (6)$$

где угол внутреннего трения  $\varphi$  почвы (рисунок 2).

В области (площади)  $F_1$  перед наплавленным валиком, где образуется зона замедления движения и увеличения удельного давления почвы, угол  $\varphi$  больше, чем в зоне  $F_2$  — в площади на вершине валиков, а также в  $F_3$  — в площади за наплавленным валиком. Поэтому тяговое сопротивление  $P_{\partial 1}^c$  в зоне  $F_1$  резко возрастает.

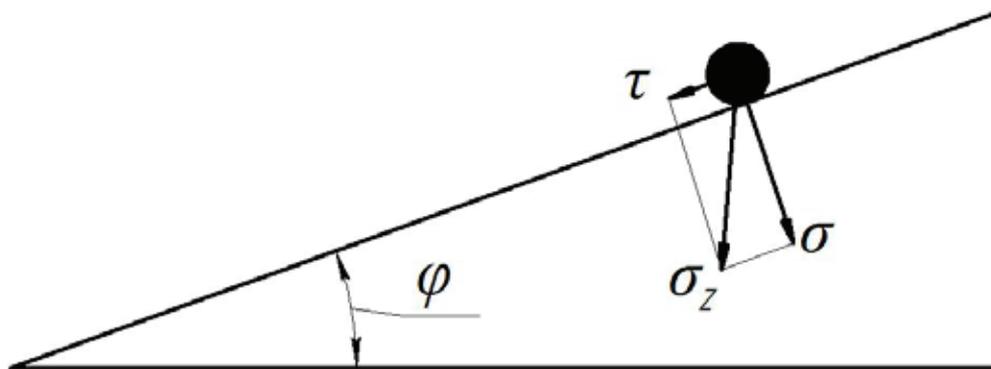


Рис. 2. Схема к определению угла внутреннего трения почвы:  $\tau$  — напряжение сдвига;  $\sigma$  — нормальное напряжение

Как известно, коэффициент внешнего трения  $f_{ПС}$ , или трения скольжения характеризует сопротивление движению почвы по поверхностям рабочего органа машины. Он в значительной степени зависит от механического состава почвы, и, например, значение коэффициента трения почвы о сталь колеблется от 0,25 до 0,9. Большие значения коэффициента трения имеют глинистые почвы. Коэффициент внутреннего трения — одна из важных характеристик свойств почвы, определяющих сопротивление перемещению почвы по почве. Значение коэффициента  $f_{ПС}$  различно для почв разных типов и находится в пределах 0,7–1,1.

В целом, анализ моделей (1) — (6) показывает, что перед наплавленным валиком, где образуется застойная зона, где происходит замедления движения почвы, из-за и увеличения угла внутреннего трения  $\varphi$ , по сравнению с углом  $\varphi$  в других зонах трения, происходит возрастание удельного давления почвы, и соответственно этому, увеличение тягового сопротивления.

В зонах трения  $F_2$  и  $F_4$  на тяговое сопротивление влияет коэффициент  $f_{ПС}$  внешнего трения (или трения почвы о стали), а в зоне  $F_1$  и  $F_3$  коэффициент внутреннего трения  $f_{ПП}$ . Наибольшее значение угла внутреннего трения  $\varphi$  соответствует зоне  $F_1$ . Наименьший угол внутреннего трения  $\varphi$  приходится зоне  $F_3$ .

Значение тягового сопротивления в зонах  $F_2$  и  $F_4$  будут одинаковы. Можно предположить, что в зоне  $F_3$  тяговое сопротивление будет, как и в зонах  $F_2$  и  $F_4$ . Так как в зоне  $F_3$  угол внутреннего трения  $\varphi$  меньше чем в других зонах трения, что обеспечить снижению сопротивления, хотя здесь происходит трения почвы о почве.

В целом, при нанесении наплавки твердыми сплавами, нельзя утверждать о снижении тягового сопротивления почвообрабатывающих рабочих органов.

Коэффициенты террадинамического сопротивления  $K_{1\partial}$ ,  $K_{2\partial}$ ,  $K_{3\partial}$  и  $K_{4\partial}$  зависят от твердости почвы, площади характерных зон соответственно на областях трения  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  и  $F_4$ , скорости движения почвы  $V_{П}$  и величины тягового сопротивления  $P_{\partial 1}^c$ ,  $P_{\partial 2}^c$ ,  $P_{\partial 3}^c$  и  $P_{\partial 4}^c$ .

Коэффициент террадинамического сопротивления  $K_{1\partial}$ , в области (площади) перед наплавленным валиком, где образуется зона замедления движения, и увеличения удельного давления почвы, можно определить по формуле:

$$K_{1\partial} = \frac{2P_{\partial 1}^c}{T_{П} \cdot V_{п}^2 \cdot F_1} \tag{7}$$

Коэффициент террадинамического сопротивления  $K_{2\partial}$ , в области (площади) на вершине валиков, которая подвергается интенсивному трению и износу, можно подсчитать по формуле:

$$K_{2\partial} = \frac{2P_{\partial 2}^c}{T_{П} \cdot V_{п}^2 \cdot F_2} \tag{8}$$

Коэффициент террадинамического сопротивления  $K_{3\partial}$ , в области (площади) за наплавленным валиком, то есть застойная зона почвы, где резко снижается износ основного металла из-за существенного уменьшения удельного давления на рабочую поверхность и коэффициентов трения почвы о почвы и почвы о стали, может быть рассчитан по формуле:

$$K_{3\partial} = \frac{2P_{\partial 3}^c}{T_{П} \cdot V_{п}^2 \cdot F_3} \tag{9}$$

Коэффициент террадинамического сопротивления  $K_{4\partial}$  в области (площади) ненаправленной части детали, где происходит трение почвы о стали (основного металла) можно представить в виде:

$$K_{4\partial} = \frac{2P_{\partial 4}^c}{T_{\Pi} \cdot V_p^2 \cdot F_4}. \quad (10)$$

Коэффициенты террадинамического сопротивления  $K_{1\partial}$ ,  $K_{2\partial}$ ,  $K_{3\partial}$  и  $K_{4\partial}$  можно определить экспериментально или расчетным путем для однотипных почвообрабатывающих рабочих органов при фиксированных значениях тягового усилия  $P_{\partial 1}^c$ ,  $P_{\partial 2}^c$ ,  $P_{\partial 3}^c$ ,  $P_{\partial 4}^c$  и скорости движения  $V_p$ .

Величина износа  $I_{po}$  и скорость изнашивания  $V_{изн}$  рабочего органа зависят от твердости материала наплавленного валика, коэффициента трения и физико-механических характеристик почвы и скорости движения почвообрабатывающей машины и т. д.

Износ рабочего органа почвообрабатывающих машин определяется по обобщенному уравнению [3]:

$$\Delta G = f(p, S, L, m, H, g), \quad (11)$$

где  $p$  – давление почвы;  $L$  – путь трения;  $S$  – площадь трения;  $H$  – твердость металла;  $g$  – объемный вес металла.

Общую функциональную зависимость величины износа рабочего  $I_{po}$  органа наплавленного твердыми сплавами от различных факторов можно представить в виде:

$$I_{po} = f(p, L, H_n, H_{он}, f_{\text{ГР}}^{\text{ПП}}, f_{\text{ГР}}^{\text{ПС}}, F_1, F_2, F_3, F_4, g_{\text{нм}}, g_{\text{ом}}), \quad (12)$$

где  $p$  – давление почвы;  $H_n$  – твердость наплавленного материала, HRC (или HB);  $L$  – путь трения;  $H_{он}$  – твердость основного металла;  $f_{\text{ГР}}^{\text{ПП}}$  – коэффициент трения почвы о почве;  $f_{\text{ГР}}^{\text{ПС}}$  – коэффициент трения почвы о стали;  $F_1$  – область (площадь) перед наплавленным валиком, где образуется зона замедления движения и увеличения удельного давления почвы;  $F_2$  – область (площадь) на вершине валиков, которая подвергается интенсивному трению и износу;  $F_3$  – область (площадь) за наплавленным валиком, то есть застойная зона почвы, где резко снижается износ основного металла из-за существенного уменьшения удельного давления на рабочую поверхность и коэффициентов трения почвы о почвы и почвы о стали;  $F_4$  – площадь ненаправленной части детали, где происходит трение почвы о стали;  $g_{\text{нм}}$  – объемный вес наплавленного материала;  $g_{\text{ом}}$  – объемный вес основного материала.

Математическая модель для определения величины износа  $I_{po}$  рабочей поверхности деталей почвообрабатывающей машины можно представить в виде:

$$I_{po} = C_n \cdot t_p \cdot V_p \cdot T_{\Pi} \cdot \rho_m \left( \frac{K_{1\partial} \cdot f_{\text{ПП}} \cdot F_1}{H_{ом}} + \frac{K_{2\partial} \cdot f_{\text{ПС}} \cdot F_2}{H_n} + \frac{K_{3\partial} \cdot f_{\text{ПП}} \cdot F_3}{H_{ом}} + \frac{K_{4\partial} \cdot f_{\text{ПС}} \cdot F_4}{H_{ом}} \right), \quad (13)$$

где  $t_p$  – время работы рабочего органа, ч;  $V_p$  – скорость движения рабочего органа в составе почвообрабатывающей машины, км/ч;  $T_{\Pi}$  – твердость почвы, кг/см<sup>2</sup>;  $\rho_m$  – плотность (удельная масса) основного материала рабочего органа, г/см<sup>3</sup>;  $f_{\text{ПС}}$  – коэффициент трения почвы о сталь;  $f_{\text{ПП}}$  – коэффициент внутреннего трения почвы, характеризующий сопротивление перемещения почвы по почве;  $H_n$  и  $H_{ом}$  – твердость, соответственно наплавленного твердого материала и основного металла, кг/см<sup>2</sup>.

Следует отметить, что выражение (13) описывает закономерность величины износа рабочих органов почвообрабатывающих машин, наплавленных твердыми сплавами, в начальных стадиях их работы. С учетом того, что с увеличением наработки внесенная на деталь наплавка в виде валика и других форм, стирается вследствие износа. Это приводит к тому, что характерные площади  $F_1$ ,  $F_2$  и  $F_3$  исчезают, а зона  $F_4$  наоборот увеличивается и будет равняться площади поверхности рабочего органа с характеристиками основного металла. При этом происходит износ всей детали, характерной площади  $F_4$ .

В этой связи в выражении (13) необходимо учитывать закономерность изменения степени износа наплавки и изменения величины характерных площадей  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  и  $F_4$  от времени работы  $t$ .

При известной общей площади поверхности рабочего органа  $F_{\text{общ}}$ , площадь ненаправленной части детали  $F_4$ , где происходит трение почвы о стали равна:

$$F_4 = F_{\text{общ}} - (F_1 + F_2 + F_3). \quad (14)$$

Постепенный износ наплавки за время работы  $t$ , как было отмечено выше, приводит к уменьшению площадей  $F_1$ ,  $F_2$  и  $F_3$ . Степень уменьшения характерных площадей  $F_1$ ,  $F_2$  и  $F_3$  от времени работы  $t$  можно определить по выражениям:

$$\left. \begin{aligned} F_1(t) &= F_1(1 - K_{F1}); \\ F_2(t) &= F_2(1 - K_{F2}); \\ F_3(t) &= F_3(1 - K_{F3}), \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

где  $K_{F1}$  – коэффициент, учитывающий степень уменьшения площади  $F_1$ , то есть перед наплавленным валиком, где образуется зона замедления движения и увеличения удельного давления почвы;  $K_{F2}$  – коэффициент, учитывающий изменения площади на вершине валиков, которая подвергается интенсивному трению и износу;  $K_{F3}$  – коэффициент, учитывающий степень уменьшения площади за наплавленным валиком, то есть застойной зоны почвы, где резко снижается износ основного металла из-за существенного уменьшения удельного давления на рабочую поверхность и коэффициентов трения почвы о почву и почвы о стали.

Коэффициенты  $K_{F1}$ ,  $K_{F2}$  и  $K_{F3}$ , которые изменяются в пределах от 0 до 1, определяются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} K_{F1} &= \frac{\Delta F_1}{F_1^0}; \\ K_{F2} &= \frac{\Delta F_2}{F_2^0}; \\ K_{F3} &= \frac{\Delta F_3}{F_3^0}, \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

где  $\Delta F_1, \Delta F_2, \Delta F_3$  – фактические значения характерных площадей  $F_1$ ,  $F_2$  и  $F_3$  после определенной наработки  $t$ ;  $F_1^0$ ,  $F_2^0$  и  $F_3^0$  – первоначальное значение характерных площадей  $F_1$ ,  $F_2$  и  $F_3$  при  $t = 0$ ч.

Значения  $\Delta F_1, \Delta F_2, \Delta F_3$  могут быть рассчитаны по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \Delta F_1 &= \lambda_u^n \cdot F_1; \\ \Delta F_2 &= \lambda_u^n \cdot F_2; \\ \Delta F_3 &= \lambda_u^n \cdot F_3, \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

где  $\lambda_u^n$  – степень износа наплавленного материала из твердого сплава.

Степень износа  $\lambda_u^n$  наплавки от времени работы  $t$  рабочего органа зависит от плотности и твердости наплавленного материала.

На основе экспериментальных исследований трехкорпусного плуга ПЛН-3–35 в агрегате с трактором МТЗ-82, на опытных полях ИАЭП в июле месяце 2014 года, получены опытные данные, по результатам анализа которых установлены закономерности изменения величины износа наплавленных и не наплавленных лемехов от их наработки.

Как показали результаты экспериментов, степень износа  $\lambda_u^n$  наплавки от времени работы  $t$  рабочего органа прямо пропорциональна степени износа рабочего органа и описывается эмпирической зависимостью:

$$\lambda_u^n = 0,00005137t^2 + 0,00240200t + 1,0006047. \quad (18)$$

Для разных материалов наплавки в эмпирической зависимости (17) будут меняться значения угловых коэффициентов и постоянной величины.

Следует отметить, что величины характерных площадей  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  и  $F_4$  зависят от формы и размеров наносимых на детали наплавки и могут меняться в широких пределах.

С учетом выражений (13) — (17) математическую модель для определения величины износа  $I_{po}$  рабочей поверхности деталей почвообрабатывающей машины от времени работы  $t$  можно представить в виде:

$$I_{po} = C_n \cdot t_p \cdot V_p \cdot T_{II} \cdot \rho_m \left\{ \frac{K_{1d} \cdot f_{III} \cdot F_1 \cdot (1 - K_{F1})}{H_{ом}} + \frac{K_{2d} \cdot f_{ПС} \cdot F_2 \cdot (1 - K_{F2})}{H_H} + \frac{K_{3d} \cdot f_{III} \cdot F_3 \cdot (1 - K_{F3})}{H_{ом}} + \frac{K_{4d} \cdot f_{ПС} \cdot [F_4 + (F_1 - \Delta F_1) + (F_2 - \Delta F_2) + (F_3 - \Delta F_3)]}{H_{ом}} \right\}. \quad (19)$$

С учетом выражений (12) и (19) математическая модель для определения скорости изнашивания  $V_{изн}$  рабочего органа можно представить так:

$$V_{изн} = \frac{I_{po}}{T_p}, \quad (20)$$

где  $I_{po}$  — величина износа наплавленной детали рабочего органа, г;  $T_p$  — наработка наплавленной детали рабочего органа, ч.

На рисунке 3 представлена схема к определению степени изменения угла крошения почвообрабатывающего рабочего органа при наплавке твердыми сплавами и формирования нестабильной поверхности и твердости.

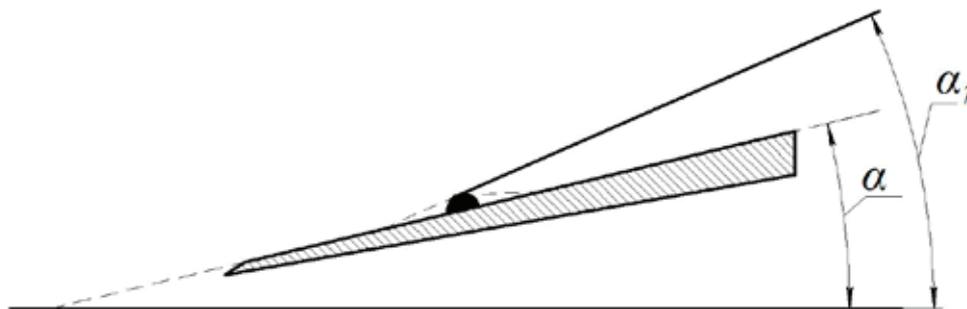


Рис. 3. Схема к определению степени изменения угла крошения и формирования нестабильной поверхности и твердости почвообрабатывающего рабочего органа при его наплавке твердыми сплавами

Из выражения (19) — (20) следует, что с увеличением времени работы  $t$  упрочненных деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин, характерные зоны изнашивания  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  уменьшаются. При этом происходит увеличение площади  $F_4$  ненаправленной части детали.

После полного истирания наплавленного материала, износ рабочего органа происходит по общей закономерности, которая характерна серийным деталям в состоянии поставки. При этом основную роль в степени износа играют время работы, скорости движения, твердость почвы, плотность и твердость материала детали рабочего органа для обработки почвы.

Угол крошения при нанесении твердого сплава на рабочую поверхность рабочего органа не должен превышать  $30^\circ$ .

При превышении угла крошения  $30^\circ$ , возрастает тяговое усилие из-за резкого увеличения коэффициента трения почвы о почву.

Создание нестабильной поверхности и твердости почвообрабатывающих рабочих органов путем их наплавки твердыми сплавами способствует повышению их износостойкости и ресурса. Степень повышения износостойкости деталей почвообрабатывающих рабочих органов зависит от твердости и плотности наносимого сплава, формы и геометрических размеров наплавки.

Нестабильная поверхность и твердость деталей не может быть причиной снижения тягового сопротивления рабочего органа.

Литература:

1. Электронный ресурс: <http://agrolib.ru/books/item/f00/s00/z0000011/st043.shtml>
2. Джабборов, Н.И., Федыкин Д.С. Террадинамика почвообрабатывающих машин. // Молодой учёный, № 11, 2015. — с. 311–315.

3. Ожегов, Н. М., Джабборов Н. И., Добринов А. В., Капошко Д. А. Повышение эффективности упрочнения деталей почвообрабатывающих машин методами дуговой и плазменной наплавки // В сборнике: Экология и сельскохозяйственные технологии: агроинженерные решения. Материалы 7-й Международной научно-практической конференции. с. 47–51.
4. Анутов, Р. М., Котельников В. Я., Козявин А. А., Котельников А. В., Тищенко Д. Е., Серебровский В. В. Влияние износа рабочих органов на технологические параметры культиватора // Современные наукоемкие технологии. — 2012. — № 11. — с. 12–14.
5. Электронный ресурс: <http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-165-vozvedenie-podzemnoy-chasti/8.htm>

## Технические решения по модернизации жилищного фонда КЧР

Долаева Зурьят Ньюжуровна, старший преподаватель;  
Джанибекова Зухра Наурузовна, студент

Северо-Кавказская государственная гуманитарно-технологическая академия (г. Черкесск)

**Ж**илищно-коммунальное хозяйство Карачаево-Черкесской Республики сегодня — это довольно трудный производственно-технологический комплекс жизнеобеспечения населения. В нем сконцентрирована четверть главных фондов Республики, это выше 2,1 млн. кв. м. жилья, 2517 многоквартирных жилых зданий, 76 котельных, 16 центральных термических пунктов, 380 км термических сетей.

Жилищно-коммунальное хозяйство в наши дни испытывает большие трудности, которые требуют немедленного решения. Для оздоровления жилищно-коммунальной сферы нужны значительные денежные вливания, а также оздоровление законодательной базы.

### Жилищный фонд

На территории республики наблюдается ежегодный рост объемов жилищного строительства, получаемый в основном из-за ввода объектов индивидуального жилищного строительства. Однако в 2009 и 2010 году наблюдалось снижение показателя по вводу жилья в связи с общей экономической ситуацией по стране.

Жилищный фонд Карачаево-Черкесской Республики по состоянию на 1 января 2010 года составлял 8756,6 тыс. кв.метров, а на 1 января 2011 года — 8986,3 тыс. кв.метров, таким образом, по сравнению с 2010 годом жилищный фонд увеличился на 1,026%.

Общая площадь жилых помещений, приходившихся в среднем на одного жителя, в 2011 году составляла 19,15 кв.метра на человека при среднероссийском показателе 22,4 кв.метра на человека.

Одним из решений модернизации жилищного фонда являются технические решения.

У оценки технического состояния здания, целью является получение более точной информации о физическом износе конструкций, а также физическом износе несущих элементов здания, главных эксплуатационных характеристиках ограждений — нормальном значении показателей тепло- и звукоизоляции

В технические решения входят:

1. Энергосберегающая санация
2. Различные санации фасадов

Новые стандарты электроснабжения, принятые в странах Западной Европы, а сейчас и в России, рассматривают использование строительных материалов, с помощью которых можно значительно уменьшить затраты на отопление зданий и способствует наилучшей сохранности несущих строительных конструкций.

Лучшим примером энергосберегающей санации старых зданий, является система комплексной теплоизоляции Isokorb WDW. Теплозащитная способность плит, изготовленных из твердого пенополистирола, на 12,5% превышает аналогичный показатель обычных пенополистирольных теплоизоляционных плит. Плиты

Таблица 2. Структура жилищного фонда

Форма собственности жилищного фонда	Структура жилищного фонда по годам, %				
	1995 год	2000 год	2005 год	2009 год	2011 год
Частный	62,8	90,3	92,6	94	94,2
Муниципальный	16,0	6,9	5,7	4,3	4,0
Государственный	20,9	2,5	1,7	1,7	1,7
Других форм	0,3	0,3	-	-	0,1

могут использоваться в двух базовых конструктивных системах:

1) Пенополистирольные плиты соединяются в шпунт и гребень и крепятся к стене при помощи клеящего состава и дюбелей. Кроме своей основной функции, клеящий состав выполняет роль выравнивающего слоя для скрадывания дефектов поверхности стен.

2) Плиты крепятся к стене только при помощи дюбелей. Этот вариант, используется в случаях, когда плиты крепятся к стене со старым штукатурным покрытием или другой подосновой, не допускающей контакта с клеящими составами. Плиты не препятствуют диффузии водяных паров, а следовательно, способствует созданию благоприятного микроклимата жилища. Что касается теплопроводности, то например, пенополистирольная плита WGL 035 толщиной 8см (толщина плиты изготавливается от 5 до 10см) сдерживает столько же тепла, сколько сдерживает стена из кирпича толщиной 32см. при необходимости толщина плиты может наращиваться послойно, увеличивая при этом теплозащитную способность конструкции.

Допустимость использования с толщиной теплоизоляционного слоя достигается за счет самой конструкции плит. Независимо от итоговой толщины в каждой из плит задается строго изначально данное расстояние до «ребра», равное 1,75 см. Благодаря такому приему достигается целый ряд преимуществ.

Во-первых, при любых комбинациях толщины теплоизоляционного слоя возможно получение гладкой и ровной поверхности утепленного фасада.

Во-вторых, плиты легко комбинируются с окантовочными профилями, также имеющими гребневые выступы.

В-третьих, снижаются затраты времени на устройство теплоизоляции фасада, так как плиты легко и быстро соединяются друг с другом. И в конце концов, прием крепления плит в шпунт и гребень разрешает предотвратить влияние мостиков холода, и тогда — превысить энергоэффективность выполненной теплозащиты.

Существует и другая система санации фасадов, предназначенная для санации панельных зданий индустриальных серий домостроения. Одним из главных преимуществ этой системы является то, что она включает в себе наиболее приемлемые теплотехнические характеристики и красивое внешнее оформление. После проведения saniрующих мероприятий ограждающих стен панельных зданий по этой системе объекты «приобретают» новые бесшовные фасады со сплошным штукатурным покрытием. Таким образом, можно санировать здания высотой до 100 м.

Одним из наиболее часто применяемых способов утепления фасадов является применение навесных вентилируемых фасадных систем. Применение этой системы является целесообразным с технической точки зрения решением, позволяющим сохранять основные ограждающие конструкции здания в нормальном состоянии. Благодаря многослойным навесным фасадным системам достигаются наиболее приемлемые строительно-физические и конструктивно-технические показатели работы основных стеновых конструкций, а также, они сохраняются в течение долгих лет. А также, за счет единой бесшовной поверхности фасада можно осуществлять разнообразные декоративно-художественные решения в оформлении зданий.

Имеется несколько вариантов использования навесных вентилируемых фасадов. Первая из них базируется на эксплуатации несгораемых теплоизоляционных элементов из минеральной ваты. Из-за этого эта система может использоваться для утепления зданий высотой до 100 м. Вторая система, включает в себя теплотехнические преимущества первой системы с преобразованным художественным оформлением.

Таким образом, новейшие технические решения, позволили обновить жилищный фонд, улучшить качество жилищных зданий и способствовали также его развитию. При дальнейшем изучении технических решений для модернизации жилищного фонда, можно удвоить нынешние результаты.

#### Литература:

1. Реконструкции и модернизации жилищного фонда. Методическое пособие СТО РААСН 01–2007. — Москва, 2007.
2. Иванов, Г. С. СНИП 23–02–2003 «Тепловая защита зданий» — старые ошибки в новой словесной оболочке. С.О. К. N 5. 2006 г.
3. Лобов, О.И., Ананьев А.И., Вязовченко В.А. и др. В защиту отечественного, строительства и промышленности строительных материалов. «Строительный эксперт», № 10–11/2001.
4. Самарин, О.Д. и др. Оценка энергоэффективности зданий и сравнительная эффективность энергосберегающих мероприятий. // Сб. докл. 9-й конф. РНТОС 25 мая 2004 г.
5. Табунщиков, Ю.А. и др. Пути повышения энергоэффективности эксплуатируемых зданий. — АВОК № 5/2009.
6. <http://www.dslib.net/promstroj-technology/organizacija-remontno-stroitelnyh-rabot-pri-provedenii-sanacii-kvartalov-zhiloj.html>

## К проблеме технического диагностирования внутридомового газового оборудования в Республике Коми

Дроздов Алексей Сергеевич, эксперт, специалист неразрушающего контроля  
ООО «Эталон» (г. Сыктывкар, Республика Коми)

*Проанализированы основные проблемы технического состояния внутридомового газового оборудования в Республике Коми. Показано, что проведение технического диагностирования наряду с его заменой обеспечивает надежную эксплуатацию внутридомового газового оборудования.*

**Ключевые слова:** техническое диагностирование, внутридомовое газовое оборудование.

Правительством Российской Федерации и Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору уделяется большое внимание состоянию внутридомового газового оборудования.

Во исполнение Поручения Правительства Российской Федерации от 31.12.2010 № ДК-П9—9195 Печорским управлением Ростехнадзора с февраля 2011 года проводится мониторинг состояния внутридомового газового оборудования в Республике Коми и Ненецком автономном округе.

По результатам анализа состояния внутридомового газового оборудования складывается удручающая картина в отношении замены газового оборудования, отработавшего нормативный срок. В течение четырех лет замена оборудования составляла меньше 1% от общего количества. Вопрос о техническом диагностировании с определением возможности дальнейшей эксплуатации даже не ставился.

08 января 2015 г. вступили в силу Правила проведения технического диагностирования внутридомового и внутриквартирного газового оборудования.

Данные правила распространяются на все организации независимо от их организационно-правовых форм, осуществляющие техническое обслуживание и ремонт внутридомового газового оборудования либо приобретающие газ в качестве коммунального ресурса для предоставления гражданам коммунальной услуги по газоснабжению, а также физических лиц (граждан), в том числе собственников (нанимателей) жилого дома либо помещения, приобретающих газ для удовлетворения личных, семейных, домашних и иных нужд, не связанных с осуществлением предпринимательской деятельности.

Задачами технического диагностирования ВДГО являются:

- а) определение фактического технического состояния ВДГО;
- б) поиск и определение неисправностей указанного оборудования;
- в) определение возможности его дальнейшего использования.

Объектами технического диагностирования внутридомового газового оборудования являются:

- а) наружные газопроводы (подземные и надземные) — вводные газопроводы и газопроводы-вводы;

- б) внутренние газопроводы;
- в) резервуарные установки сжиженного газа;
- г) групповые и индивидуальные баллонные установки сжиженного газа;
- д) технические устройства — запорная, регулирующая и предохранительная арматура, системы контроля загазованности, приборы учета газа;
- е) газоиспользующее оборудование [1].

Основной задачей диагностики является определение потребности (вида и объемов работ) в ремонте систем внутреннего газоснабжения, а также определение остаточного ресурса системы после проведения ремонта.

В качестве остаточного ресурса принимается наработка остающихся без замены участков системы от момента диагностики ее технического состояния до перехода в неработоспособное состояние. [2].

Остаточный ресурс (в годах) устанавливается как дополнительный нормативный срок службы, после истечения которого должна проводиться очередная повторная диагностика системы.

Оценка технического состояния внутреннего газопровода в соответствии с принципом «безопасной эксплуатации по техническому состоянию» осуществляется по определяющим параметрам технического состояния, изменение которых может привести газопровод в неработоспособное состояние.

Первичная диагностика внутреннего газопровода проводится по истечении нормативного срока службы — 30 лет со дня ввода газопровода в эксплуатацию [3].

В случае отсутствия сведений о сроках эксплуатации внутридомового газового оборудования решение о проведении работ по техническому диагностированию данного оборудования принимается специализированной организацией, осуществляющей техническое обслуживание и ремонт внутридомового газового оборудования, по результатам оценки его технического состояния.

И здесь большая работа предстоит газораспределительным организациям, как исполнителям услуг в рамках договоров по техническому обслуживанию и ремонту ВДГО, по оценке технического состояния внутридомового газового оборудования, так как на момент строительства этих газопроводов действовали другие нормативно — технические документы.

Проведение работ по техническому диагностированию внутридомового и газового оборудования осуществляется специализированной организацией с привлечением, при необходимости, других организаций, имеющих в своем составе квалифицированный персонал и лабораторию неразрушающего контроля, аттестованных в установленном порядке, в соответствии с программой работ согласно договорам на выполнение указанных работ. Таким требованиям отвечают многие экспертные организации, осуществляющие деятельность по проведению экспертизы промышленной безопасности.

В Республике Коми по состоянию на 01.04.2015 г. эксплуатируются 1721 км внутридомовых и фасадных газопроводов. Из них эксплуатируются более 30 лет — 957 км газопроводов или 55,6%. Наибольшее количество внутридомовых и фасадных газопроводов старше 30 лет находится в г. Ухта и Ухтинском районе. Так, из общего количества количество внутридомовых и фасадных газопроводов — 951 км, требуют проведения технического диагностирования 702 км, что составляет 74%. По г. Сыктывкар количество газопроводов, требующих проведения технического диагностирования составляет 163 км от общей протяженности — 516 км или 31,6%.

Не проведение, либо несвоевременное проведение работ по установлению возможности для продолжения дальнейшей эксплуатации внутренних газопроводов и, как следствие, невозможность определения остаточного ресурса или замены газопровода, а также несвоевременная замена газопроводов, не обеспечивает соблюдение характеристик надежности и безопасности многоквартирных домов, безопасность для жизни и здоровья граждан, сохранность имущества физических и юридических лиц, государственного, муниципального и иного имущества, а также постоянную готовность инженерных коммуникаций для предоставления коммунальных услуг гражданам.

Кроме того, газораспределительная организация ОАО «Газпром газораспределение Сыктывкар», в случае истечения нормативного срока службы и отсутствия положительного заключения по результатам технического диагностирования указанного оборудования, как исполнитель услуг в рамках договоров по техническому обслуживанию

и ремонту ВДГО, вправе приостановить подачу газа с предварительным письменным уведомлением заказчика [4].

Заказчиком по договору о техническом диагностировании внутридомового газового оборудования является:

а) в отношении внутридомового газового оборудования многоквартирного дома (далее МКД) — управляющая организация, товарищество или кооператив, индивидуальный предприниматель, приобретающие газ в качестве коммунального ресурса для предоставления гражданам коммунальной услуги по газоснабжению, а при непосредственном управлении многоквартирным домом собственниками помещений в многоквартирном доме — собственники таких помещений;

б) в отношении внутридомового газового оборудования в домовладении — собственник домовладения;

Основной проблемой на данном этапе является то, что для проведения технического диагностирования внутридомового газового оборудования, а при необходимости и его замены, необходимо заключать договоры со специализированными организациями, а затраты на проведение этих работ согласовываются на общих собраниях собственников жилых помещений и ложатся полностью в конечном итоге на жильцов, которые не считают нужным это делать.

Для решения этой проблемы в первую очередь необходимо разъяснить людям всю опасность дальнейшей эксплуатации ВДГО без проведения технического диагностирования через средства массовой информации, передачей информации через управляющие компании, посредством оповещения жильцов вывешиванием информации на стендах в подъездах МКД.

Администрации муниципальных образований могут оказать помощь в решении этой проблемы путем включения затрат на проведение технического диагностирования ВДГО в перечень затрат на капитальные ремонты, проводимые по федеральной программе.

Стоит отметить, что для обеспечения дальнейшей безопасной эксплуатации внутридомового газового оборудования, эксплуатирующегося после окончания срока службы, требуется принятие решения о проведении технического диагностирования или его замены, иначе может произойти авария с человеческими жертвами и разрушением самого жилого дома [5].

#### Литература:

1. Правила проведения технического диагностирования внутридомового и внутриквартирного газового оборудования, утвержденные приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17 декабря 2013 г. № 613.
2. ГОСТ 27.002–89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.
3. МДС 42–1.2000 — Положение о диагностировании технического состояния внутренних газопроводов жилых и общественных зданий. Общие требования. Методы диагностирования.
4. Постановление Правительства РФ от 14 мая 2013 г. № 410 «О мерах по обеспечению безопасности при использовании и содержании внутридомового и внутриквартирного газового оборудования».
5. Дроздов, А.С., Садомский, Я.А., Шарапов, С.В. Техническое диагностирование внутридомового газового оборудования / А.С. Дроздов, Я.А. Садомский, С.В. Шарапов // Журнал «Молодой ученый». — 2015. — № 13 (93). — с. 108–109.

## Поиск эффективных методов повышения конструкционных свойств высокопрочных легких бетонов<sup>1</sup>

Иноземцев Александр Сергеевич, кандидат технических наук, младший научный сотрудник  
НОЦ «Наноматериалы и нанотехнологии» (г. Москва)

Модифицирование строительных материалов осуществляется для повышения их эксплуатационных свойств с помощью специальных функциональных добавок. В бетонах применяются модифицирующие добавки, принцип действия которых заключается в изменении структуры по средством химического, физического или физико-химического взаимодействия. Среди большого разнообразия таких модификаторов наиболее распространенными являются армирующие (металлическая фибра, базальтовые или полимерные микроволокна) [1–4], демпфирующие (добавки на эпоксидной основе, добавки из резины и каучуков) [5–7] и структурообразующие (минеральные и химические добавки) [8, 9] добавки, которые за счет снижения деформаций, развивающихся при воздействии эксплуатационных нагрузок, способствуют повышению прочностных свойств композиционных материалов, как в легких, так и тяжелых бетонах.

Учитывая особенности структуры высокопрочных легких бетонов [10], наполненных полых алюмосиликатными микросферами, в качестве модификаторов были выбраны микрофибра, углеродные нанотрубки, комплексный наномодификатор «BisNanoActivus» и резиновая крошка. Так как максимальный размер частиц в составе высокопрочного легкого бетона составляет 0,63 мм у частиц кварцевого песка, то для формирования пространственного армирующего каркаса в таких составах целесообразно использовать базальтовую и полипропиленовую фибру, длина которых не превышает 2 см. Альтернативным методом модифицирования поверхности полого наполнителя комплексным наномодификатором [11] на основе золя гидроксида железа и кремниевой кислоты использованы углеродные нанотрубки. Например, в [12, 13] углеродистые модификаторы, выступая центрами кристаллизации для продуктов гидратации вяжущего, при минимальном расходе (тысячные доли процента) обеспечивают повышение прочности композита. То есть можно предположить, что использование углеродистых модификаторов на границе раздела фаз должно способствовать положительному эффекту по повышению сцепления цементного камня с частицами микросфер. Введение упругих компонентов (с высоким модулем упругости) в состав бетонной смеси, наполненной хрупкими микросферами, при приложении нагрузки должно компенсировать начальные деформации в структуре, вызванные разрушением наиболее слабых частиц полого наполнителя. Исходя из этого, в качестве модификатора, снижающего

деформации высокопрочного легкого бетона, может быть предложена демпфирующая добавка, в качестве которой выбрана резиновая крошка.

**Материалы и Методы Исследования.** Высокопрочные легкие бетоны представляют собой составы многокомпонентного мелкозернистого композиционного материалы на цементном вяжущем. Состав и расход компонентов подобраны таким образом, чтобы обеспечить высокую прочность дисперсной фазы и дисперсной среды [11]. Основным компонентом для снижения плотности бетона используются полые керамические микросферы. Каркасообразующая составляющая включает четыре компонента различной дисперсности, что позволяет добиться высокой плотности упаковки, заполнить поры и получить прочную структуру.

Модифицирование составов высокопрочного легкого бетона осуществлялось при следующем соотношении компонентов (Таблица 1).

Исследование высокопрочных легких бетонов осуществлялось на оптимизированных составах [10] с расчетной средней плотностью 1400 кг/м<sup>3</sup>. Испытание образцов-балочек 40×40×160 мм на изгиб и сжатие осуществлялось с помощью сервогидравлической системы Advantest 9 в соответствии с ГОСТ 10180–2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам»<sup>2</sup>.

**Результаты и обсуждения.** Для исследования выбраны 2 методики модифицирования: физическое модифицирование структуры за счет распределения добавки по объему с отличными от исходных компонентов деформационными свойствами и физико-химическое модифицирование поверхности дисперсной фазы, заключающееся в управлении процессами структурообразования на границе раздела фаз для повышения адгезионной прочности. В первом случае модифицирование реализовывалось за счет введения в состав фибры или резиновой крошки, которые при распределении в объеме материала должны создать условия (армирующий или демпфирующий эффект) для сопротивления возникновению и развитию трещин при воздействии внешней нагрузки. Второй метод направлен на локальное формирование условий (создание центров кристаллизации и интенсификация гидратационных процессов) для преобразования структуры бетона на границе раздела фаз.

Влияние выбранных методик на свойства высокопрочного легкого бетона оценивали по пределу прочности при изгибе и сжатии. Результаты исследования представлены на рисунке 1.

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке Гранта Президента РФ молодым российским ученым — кандидатам наук МК-5950.2015.8.

<sup>2</sup> Дополнительная информация о технических характеристиках используемого оборудования представлена на сайте [www.nocnt.ru](http://www.nocnt.ru)

Таблица 1. Вид и расход модифицирующих добавок для высокопрочного легкого бетона

№ п/п	Модификатор	Характеристики	Распределение	Расход, % от массы цемента
1	Фибра полипропиленовая	$l = 12 \text{ мм}$ $d < 30 \text{ мкм}$	В объеме	0,7–1,3
2	Фибра базальтовая	$l = 12 \text{ мм}$ $d < 30 \text{ мкм}$	В объеме	0,7–1,3
3	Резиновая крошка	$r < 0,75 \text{ мм}$	В объеме	0,7–1,3
4	Углеродные нанотрубки	$l < 5 \text{ мкм}$ $d = 15 \text{ нм}$	По поверхности наполнителя	0,004–0,011
5	Комплексный наноразмерный модификатор «BisNanoActivus»	$r < 25 \text{ нм}$	По поверхности наполнителя	0,9–1,7

Примечание. Концентрация комплексного наноразмерного модификатора указана в пересчете на сухое вещество.

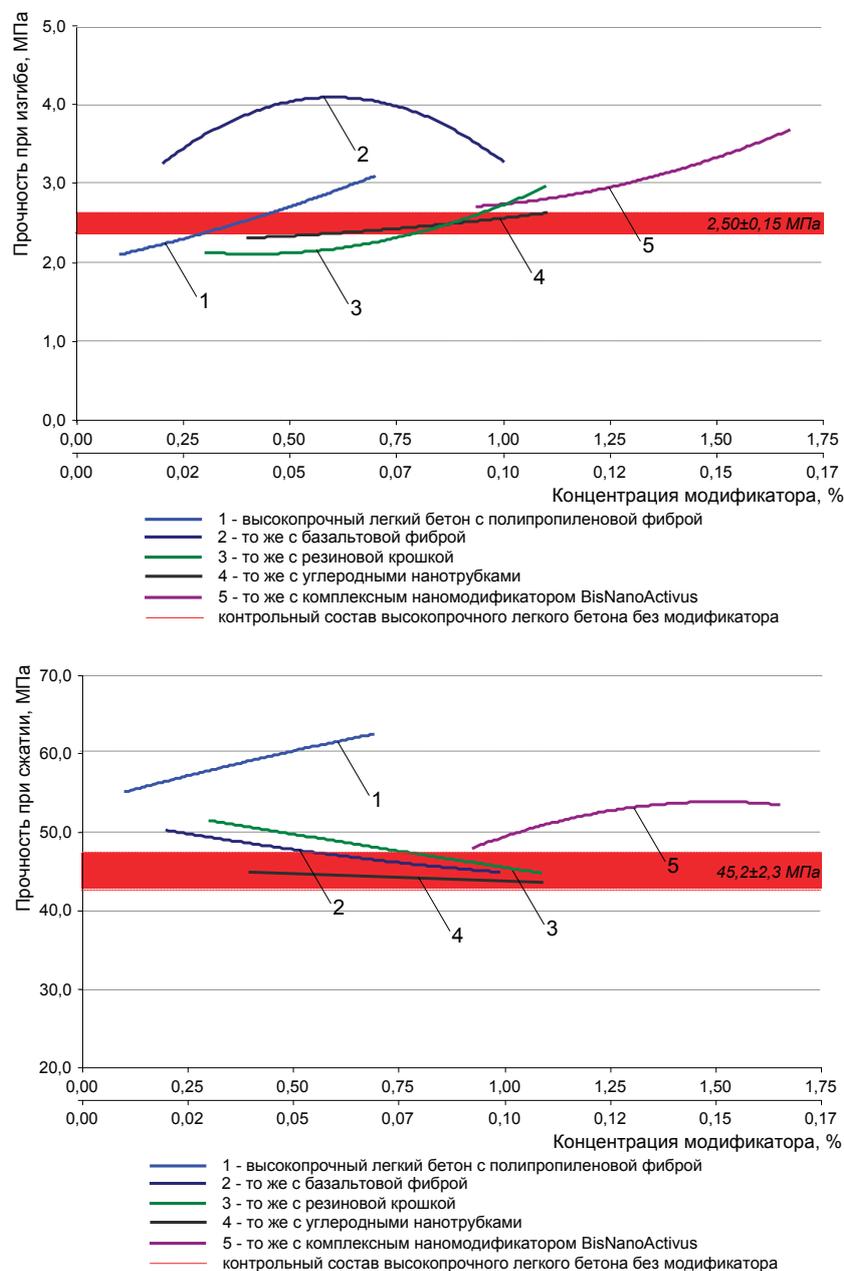


Рис. 1. Изменение предела прочности при изгибе (а) и при сжатии (б) высокопрочного легкого бетона от вида и концентрации модифицирующей добавки

Установлено, что наиболее эффективными методами модифицирования высокопрочных легких бетонов на полых микросферах (в исследуемых диапазонах концентраций) являются армирование и физико-химическая активизация процессов гидратации вяжущего на границе раздела фаз. Создание пространственного каркаса из микрофибры, как базальтовой, так и полипропиленовой, способствует повышению прочности при изгибе до 24 и 63% соответственно по сравнению с контрольным составом бетона той же плотности. При этом введение полипропиленовой фибры — наиболее эффективно (до 38,5%) — повышает сопротивляемость исследуемых бетонов сжимающим нагрузкам по сравнению с базальтовой микроармирующей добавкой (до 11,2%), что, очевидно, связано с большими упругими характеристиками самого волокна. Отметим, что увеличение концентрации базальтовой фибры более 0,75% от массы цемента способствует снижению прочностных характеристик из-за ухудшения подвижности и удобоукладываемости бетонной смеси, перенасыщенной микроволокном. Подобная зависимость не характерна для полипропиленового волокна. В диапазоне выбранных концентраций полипропиленовая фибра не значительно изменяет водопотребность бетонной смеси, что в меньшей степени негативно сказывается на технологичности получаемых составов высокопрочного легкого бетона.

Введение резиновой крошки оказывает несущественное влияние на прочностные показатели высокопрочного легкого бетона в исследуемых диапазонах концентраций. Лишь при малом содержании этого модификатора наблюдается положительный эффект (увеличение прочности при сжатии до 14%), который нивелируется негативным его влиянием (уменьшение прочности при изгибе до 15%).

Из группы модификаторов, применяемых на поверхности дисперсной фазы, наиболее эффективным является комплексный модификатор на основе золя гидроксида железа и кремниевой кислоты «BisNanoActivus». Распределение на поверхности микросфер наноразмерного модификатора в количестве активного вещества не более 1,7% от массы цемента обеспечивает повышение как предела прочности при изгибе, так и при сжатии до 47,2 и 18,4% соответственно. Структуре такого бетона свойственна высокая однородность и низкая пористость, что предопределяет положительное влияние указанной методики модифицирования.

Причины такого изменения прочностных характеристик связаны с наличием в составе комплексного наноразмерного модификатора активного нанокремнезема и гидроксида железа [10, 14]. Эти компоненты взаимодействуют с цементом и продуктами его гидратации, связывая непрочные и подверженные вымыванию компоненты (преимущественно портландит), образуют на границе раздела фаз дополнительное количество гидросиликатов кальция, упрочняющих зону контакта цементно-минеральной матрицы и полых микросфер. Таким об-

разом, на границе раздела фаз формируется большее количество структурных связей и как следствие снижается ее дефектность при воздействии внешней нагрузки.

Механизм влияния углеродных нанотрубок, описанный авторами [12, 13] выше, при выбранных в настоящем исследовании концентрациях и методике применения не проявляется. Гипотеза о том, что такой модификатор выступает в цементных системах центрами кристаллизации не подтвердилась. Не смотря на то, что проблема диспергирования и гомогенизации наночастиц в полидисперсной матрице бетонной смеси является предсказуемой проблемой, выбранный метод — распределение наноразмерных объектов по поверхности микрообъектов — не позволил получить требуемый результат.

Привитые на поверхности полых микросфер углеродные нанотрубки в количестве 0,004–0,011% от массы цемента не оказывают значительного влияния на прочностные свойства высокопрочного легкого бетона. Значения исследуемых параметров при модифицировании нанотрубками находится в пределах ошибки эксперимента. Возможным объяснением может быть недостаточное количество углеродных наночастиц на поверхности полого наполнителя, располагающихся рассредоточено и неравномерно, для проявления указанных размерных эффектов. Положительный эффект может быть достигнут при увеличении расхода наномодификатора до значений, соответствующих сплошному или близкому к сплошному покрытию всей поверхности микросфер. В этом случае углеродные нанотрубки, формируя плоскую сетку на поверхности и пространственный каркас для упрочнения зоны контакта с дисперсной средой, могут выполнять функцию армирующей оболочки, способной снизить хрупкость разрушения керамического наполнителя и как следствие, улучшить деформативные свойства бетонов на их основе. Для реализации такого механизма необходимы дополнительные исследования по поиску эффективных концентраций наномодификатора с большой выборкой экспериментальных данных и не менее чем двумя управляющими факторами.

Тем не менее, методика модифицирования материалов нанодобавками, заключающаяся в обработке поверхности дисперсной фазы, показывает свою эффективность. Подобный подход позволяет не только равномерно распределить наночастицы модификатора в объеме смеси, состоящей из макро и микрометрических компонентов, но использовать локально, управляя процессами структурообразования в наиболее подверженных дефектах областях.

В работе показано, что эффективные высокопрочные легкие бетоны, обладающие высокой прочностью при изгибе и сжатии до более 3,0 и 50,0 МПа соответственно, могут быть получены за счет модифицирования структуры мелкозернистого бетона, наполненного полыми керамическими микросферами, как микроразмерными добавками, так и частицами нанометрического масштаба. При этом выбор вида модификатора должен обосновываться и методикой его применения.

**Заключение.** Таким образом, по результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

— модифицирование высокопрочных легких бетонов в объеме материала наиболее эффективно при введении пространственно-армирующих добавок. Использование полипропиленовой микрофибры в исследуемых диапазонах концентраций (0,7–1,3% от массы цемента) обеспечивает повышение прочности при изгибе и сжатии до значений более 3,0 и 50,0 МПа соответственно. Использование демпфирующих добавок в количестве менее 1,3% от массы вяжущего не оказывает существенного влияния на прочностные свойства легких бетонов на полых микросферах средней плотностью 1400 кг/м<sup>3</sup>. Требуется поиск оптимальных концентраций, при которых наблюдается эффект компенсации деформаций при воздействии внешних нагрузок;

— обработка поверхности полого наполнителя наноразмерным модификаторами с целью управления процессами структурообразования на границе раздела фаз обосновано только для комплексного модификатора на основе коллоидных растворов, химически активных к продуктам гидратации цемента. Прирост марочной прочности при изгибе и сжатии составляет до 47,2 и 18,4% соответственно при расходе модификатора «BisNanoActivus» в пересчете на сухое вещество 0,9–1,7% от массы вяжущего. Положительное влияние от использования углеродных модификаторов в исследуемом диапазоне концентраций (0,004–0,011%) не наблюдается. Требуются дополнительные исследования влияния углеродных нанотрубок на структурообразование на границе раздела фаз «цементный камень — полые микросферы» при больших концентрациях добавки для подтверждения эффективности их применения.

#### Литература:

1. Калашников, В. И., Хвастунов А. В., Хвастунов В. Л. Физико-механические и гигрометрические свойства порошково-активированных высокопрочных щебеночных бетонов и фибробетонов с низким удельным расходом цемента на единицу прочности // Научно-технический вестник Поволжья. 2011. № 5. с. 161–164.
2. Пухаренко, Ю. В. Прочность и долговечность ячеистого фибробетона // Строительные материалы. 2004. № 12. с. 40–41.
3. Лесовик, В. С., Ракитченко К. С., Сопин Д. М. Высокопрочный мелкозернистый фибробетон с нанодисперсным модификатором // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2010. № 2. с. 59–61.
4. Смирнов, В. А., Королев Е. В. Наномодифицированные эпоксидные композиты // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2012. № 4. с. 61–68.
5. Старовойтова, И. А., Хозин В. Г., Корженко А. А., Халикова А. А., Зыкова Е. С. Структурообразование в органо-неорганических связующих, модифицированных концентратами многослойных углеродных нанотрубок // Строительные материалы. 2014. № 1–2. с. 12–20.
6. Пат. 2319677 РФ, Композиция для капсулирования радиоактивных и высокотоксичных отходов / Королев Е. В., Евстифеева И. Ю., Самошин А. П. Оpubл. 20.03.2008.
7. Калашников, В. И., Ерофеев В. Т., Мороз М. Н., Троянов И. Ю., Володин В. М., Суздальцев О. В. Наногидросиликатные технологии в производстве бетонов // Строительные материалы. 2014. № 5. с. 88–91.
8. Гришина, А. Н., Королев Е. В., Сатюков А. Б. Синтез и исследование устойчивости золь гидросиликатов бария // Строительные материалы. 2013. № 9. с. 91–93.
9. Иноземцев, А. С. Средняя плотность и пористость высокопрочных легких бетонов // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 7 (51). с. 31–37.
10. Иноземцев, А. С. Структура и свойства наномодифицированных высокопрочных легких бетонов / Дисс. канд. техн. наук, М.: МГСУ, 2013, 186 с.
11. Пат. 2515450 РФ, Высокопрочный легкий бетон / Королев Е. В., Иноземцев А. С. Оpubл. 11.10.2012).
12. Яковлев, Г. И., Первушин Г. Н., Корженко А., Бурьянов А. Ф., Пудов И. А., Лушникова А. А. Модификация цементных бетонов многослойными углеродными нанотрубками // Строительные материалы. 2011. № 2. с. 47–51.
13. Токарев, Ю. В., Головин Д. В., Бурьянов А. Ф., Хуйганг Т., Тао Д. О механизме влияния активных добавок на основе магнезита и углеродных нанотрубок на структуру и свойства ангидритового вяжущего // Строительные материалы. 2015. № 2. с. 56–62.
14. Иноземцев, А. С., Королёв Е. В. Высокопрочные легкие бетоны — конструкционный бетон нового поколения // Технологии бетонов. 2014. № 9 (98). с. 40–44.

## Мощностные характеристики дизеля при работе на метаноле

Лиханов Виталий Анатольевич, доктор технических наук, профессор;  
 Анфилатов Антон Анатольевич, кандидат технических наук, доцент  
 Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

Влияние применения метанола на мощностные и экономические показатели дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала и оптимальных значениях установочных УОВТ представлены на рисунке 1 [1–12].

Анализируя изменения значений мощностных и экономических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на различных топливах в зависимости от изменения частоты вращения и оптимальных установочных УОВТ, можно отметить следующее. Расход топлива при работе дизеля на метаноле с ДСТ значительно выше, чем при работе дизеля на ДТ. Так, при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  расход топлива при работе дизеля на ДТ составляет 3,6 кг/ч, а при работе на метаноле — 6,4 кг/ч. Увеличение составляет 77,7%. При  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$  расход метанола также выше, чем при работе дизеля на ДТ [13–21].

Если при работе дизеля на ДТ расход топлива равен 6,3 кг/ч, то при этой же частоте вращения и работе дизеля на метаноле с ДСТ расход равен 10,6 кг/ч. Увеличение составляет 68,3%. Удельный расход топлива при работе дизеля на метаноле с ДСТ соответственно также выше, чем при работе дизеля на ДТ. Значение эффективного к.п.д. при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  и работе дизеля на ДТ составляет 0,305, а при работе на метаноле с ДСТ — 0,34. Увеличение составляет 11,5%. При увеличении частоты

вращения до  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$  значение  $\eta_v$  для дизеля, работающего на ДТ составляет 0,29, а при работе дизеля на метаноле с ДСТ — 0,305. Увеличение составляет 5,2%. Температура ОГ при работе дизеля на метаноле с ДСТ во всём диапазоне изменения частоты вращения меньше, чем при работе дизеля на ДТ. Так, при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  значение  $t_r = 485^\circ\text{C}$  при работе дизеля на ДТ, а при работе дизеля на метаноле с ДСТ —  $t_r = 365^\circ\text{C}$ . Снижение составляет 24,7%. При увеличении частоты вращения до  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$  значение  $t_r = 615^\circ\text{C}$  при работе дизеля на ДТ и  $t_r = 520^\circ\text{C}$  при работе дизеля на метаноле с ДСТ. Снижение составляет 95°C, или 15,4%. Расход воздуха при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  при работе дизеля на ДТ составляет 58 кг/ч, а при работе дизеля на метаноле с ДСТ — 66 кг/ч, увеличение составляет 13,8%. При увеличении частоты вращения до  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$  расход воздуха для дизеля, работающего на ДТ, составляет 125 кг/ч, а при работе дизеля на метаноле с ДСТ — 126,5 кг/ч. Коэффициент наполнения при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  и работе дизеля на ДТ составляет 0,81, а при работе дизеля на метаноле с ДСТ  $\eta_v = 0,84$ . Увеличение составляет 3,7%. При  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$  значение  $\eta_v$  для дизеля, работающего на ДТ, составляет 0,875, а при работе дизеля на метаноле с ДСТ  $\eta_v = 0,86$ . При  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$  значение коэффициента наполнения совпадает и составляет 0,825 [22–34].

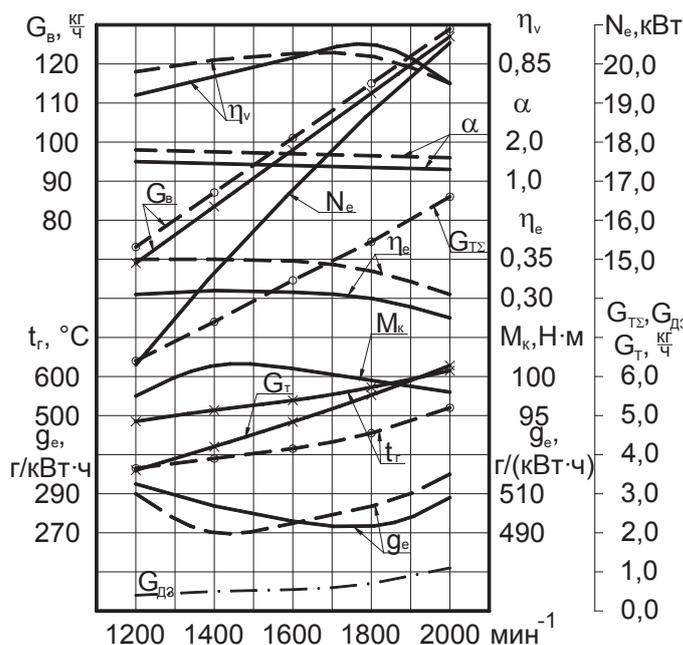


Рис. 1. Влияние применения метанола с ДСТ на мощностные и экономические показатели дизеля 2Ч 10,5/12,0  $\Theta_{\text{ДТ}} = 34^\circ$  и  $\Theta_{\text{М}} = 34^\circ$  в зависимости от изменения частоты вращения; — — дизельный процесс, - - - - метанол с запальным ДТ

## Литература:

1. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эффективных показателей тракторного дизеля путем применения компримированного природного газа и рециркуляции отработавших газов, метано- и этано-топливных эмульсий // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 7. с. 12–15.
2. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Влияние применения природного газа и рециркуляции отработавших газов, метано- и этано-топливных эмульсий на содержание токсичных компонентов в ОГ // Транспорт на альтернативном топливе. 2015. № 4 (46). с. 42–47.
3. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследования эффективных и экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на природном газе с рециркуляцией отработавших газов, метано- и этано-топливных эмульсиях // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 5–1. с. 22–25.
4. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этано-топливной эмульсии // Известия Международной академии аграрного образования. 2013. Т. 4. № 16. с. 170–173.
5. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование эффективных показателей дизеля при работе на природном газе, метано- и этано-топливных эмульсиях // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 4–1 (35). с. 79–81.
6. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование экологических показателей дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метано- и этано-топливных эмульсиях // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 3 (16). с. 26–28.
7. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование показателей процесса сгорания газодизеля при работе с рециркуляцией отработавших газов // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 33–36.
8. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Результаты исследований содержания оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 5–1. с. 66–68.
9. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование нагрузочного режима дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метано- и этано-топливных эмульсиях // Потенциал современной науки. 2015. № 3 (11). с. 40–44.
10. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Олейник М. А., Дубинецкий В. Н. Особенности химизма и феноменологии образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2006. № 11. С. 13–16.
11. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей тракторного дизеля путем применения природного газа и рециркуляции отработавших газов, метано- и этано-топливных эмульсий // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 3. с. 3–6.
12. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 2. с. 6–7.
13. 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.
14. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этано-топливной эмульсии // Транспорт на альтернативном топливе. 2012. № 4 (28). с. 70–73.
15. 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.
16. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля Д-240 путем применения этано-топливной эмульсии // Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник: 2013. № 1 (1). с. 29–32.
17. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на содержание токсичных компонентов в отработавших газах дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на номинальной частоте вращения в зависимости от установочного угла опережения впрыскивания топлива // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 101–104.
18. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов в отработавших газах. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук/Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Санкт-Петербург, 2009. — 18 с.
19. Лопатин, С. О., Скрябин М. Л. Влияние применения метано-топливной эмульсии на объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки //

- Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 96–98.
20. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение эффективных показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 6. с. 19–21.
  21. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение токсических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 7. с. 6–7.
  22. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2009. — 202 с.
  23. Скрябин, М. Л. Разработка программы стендовых исследований газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 53–55.
  24. Скрябин, М. Л. Особенности горения капли дизельного топлива в турбулентном потоке метано-воздушной смеси в цилиндре газодизеля // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 56–59.
  25. Скрябин, М. Л. Исследование мощностных и экономических показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 59–62.
  26. Скрябин, М. Л. Влияние угла опережения впрыскивания топлива на экологические показатели газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 62–65.
  27. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.
  28. Скрябин, М. Л. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла поворота коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 433–436.
  29. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на общую токсичность дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 323–326.
  30. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на частоте вращения максимального крутящего момента // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 312–314.
  31. Скрябин, М. Л. Влияние отработавших газов автомобильного транспорта на окружающую среду // Молодой ученый. 2015. № 13. с. 185–187.
  32. Скрябин, М. Л. Способы снижения содержания оксидов азота в отработавших газах дизелей // Молодой ученый. 2015. № 13. с. 187–189.
  33. В. А. Лиханов, С. А. Романов Исследование рабочего процесса дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на метано-топливной эмульсии: Монография. — Киров, 2010. — 165 с.
  34. В. А. Лиханов Исследование рабочих процессов в цилиндре газодизеля 4Ч 11,0/12,5: Монография. — Киров, 2004. — 330 с.

## Расчет оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением

Лиханов Виталий Анатольевич, доктор технических наук, профессор;  
 Анфилатов Антон Анатольевич, кандидат технических наук, доцент  
 Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

Результаты теоретических расчетов по изменению объемного содержания  $\gamma_{\text{NOx расч}}$  оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от угла п.к.в. при работе на ДТ и на метаноле с ДСТ для частоты вращения 1400 мин<sup>-1</sup> при  $\Theta_{\text{дт}} = 34^\circ$ ;  $\Theta_{\text{м}} = 30^\circ$  представлены на рисунке 1.

Из представленных графиков видно, что максимальное значение теоретического расчетного объемного содержания  $\gamma_{\text{NOx max расч}}$  оксидов азота в цилиндре дизеля при ра-

боте на ДТ составляет 665 ppm при  $\varphi = 19,0^\circ$  п.к.в. после в.м.т. Значение теоретического расчетного объемного содержания  $\gamma_{\text{NOx}}$  оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на ДТ при  $\varphi = 140,0^\circ$  п.к.в. после в.м.т. (выходное расчетное значение  $\gamma_{\text{NOx вых расч}}$  в момент открытия выпускного клапана) составляет 513 ppm. Из графиков видно, что максимальное значение теоретического расчетного объемного содержания  $\gamma_{\text{NOx max расч}}$  оксидов азота в цилиндре

дизеля при работе на метаноле с ДСТ составляет 425 ppm при  $\varphi = 22,0^\circ$  п.к.в. после в.м.т. Снижение составляет 36,0%. Значение теоретического расчетного объемного содержания  $\gamma_{\text{NOx расч}}$  оксидов азота в цилиндре дизеля при

работе на метаноле с ДСТ при  $\varphi = 140,0^\circ$  п.к.в. после в.м.т. (выходное расчетное значение  $\gamma_{\text{NOx вых расч}}$  в момент открытия выпускного клапана) составляет 327 ppm. Снижение составляет 36,2% [1–8].

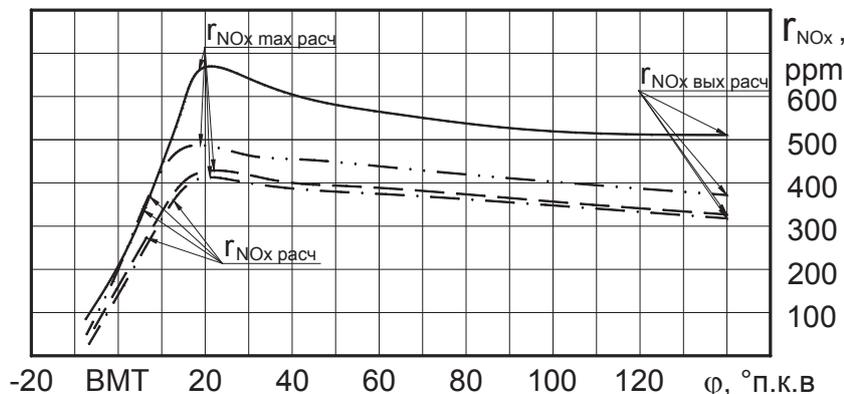


Рис. 1. Результаты теоретических расчетов по изменению объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от угла п.к.в. при  $n = 1400$  мин<sup>-1</sup>:  $\frac{3}{4}$  — дизельный процесс; — — —  $\Theta_{\text{дт}} = 34^\circ, \Theta_{\text{м}} = 30^\circ$ ; — · — · —  $\Theta_{\text{дт}} = 34^\circ, \Theta_{\text{м}} = 34^\circ$ ; — · · — · —  $\Theta_{\text{дт}} = 34^\circ, \Theta_{\text{м}} = 38^\circ$

Результаты теоретических расчетов по изменению объемного содержания  $\gamma_{\text{NOx расч}}$  оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от угла п.к.в. при работе на метаноле с ДСТ для частоты вращения 1400 мин<sup>-1</sup> на оптимальном угле  $\Theta_{\text{дт}} = 34^\circ$ ;  $\Theta_{\text{м}} = 34^\circ$  также представлены на рисунке 1 [9–13].

Из представленных графиков видно, что максимальное значение теоретического расчетного объемного содержания  $\gamma_{\text{NOx max расч}}$  оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле с ДСТ составляет 413 ppm при  $\varphi = 21,0^\circ$  п.к.в. после в.м.т. Снижение составляет 37,9%. Зна-

чение теоретического расчетного объемного содержания  $\gamma_{\text{NOx расч}}$  оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле с ДСТ при  $\varphi = 140,0^\circ$  п.к.в. после в.м.т. (выходное расчетное значение  $\gamma_{\text{NOx вых расч}}$  в момент открытия выпускного клапана) составляет 318 ppm. Снижение составляет 38,0% [14–25].

Результаты теоретических расчетов по изменению объемного содержания  $\gamma_{\text{NOx расч}}$  оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от угла п.к.в. при работе на метаноле с ДСТ для частоты вращения 1400 мин<sup>-1</sup> при  $\Theta_{\text{дт}} = 34^\circ$ ;  $\Theta_{\text{м}} = 38^\circ$  также представлены на рисунке 1 [26–35].

#### Литература:

1. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эффективных показателей тракторного дизеля путем применения компримированного природного газа и рециркуляции отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсий // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 7. с. 12–15.
2. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Влияние применения природного газа и рециркуляции отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсий на содержание токсичных компонентов в ОГ // Транспорт на альтернативном топливе. 2015. № 4 (46). с. 42–47.
3. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследования эффективных и экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на природном газе с рециркуляцией отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсиях // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 5–1. с. 22–25.
4. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этанола-топливной эмульсии // Известия Международной академии аграрного образования. 2013. Т. 4. № 16. с. 170–173.
5. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование эффективных показателей дизеля при работе на природном газе, метанола- и этанола-топливных эмульсиях // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 4–1 (35). с. 79–81.
6. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование экологических показателей дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метанола- и этанола топливных эмульсиях // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 3 (16). с. 26–28.

7. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование показателей процесса сгорания газодизеля при работе с рециркулирующей отработавших газов // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 33–36.
8. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Результаты исследований содержания оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 5–1. с. 66–68.
9. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование нагрузочного режима дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метанолю- и этанолю топливных эмульсиях // По-тенциал современной науки. 2015. № 3 (11). с. 40–44.
10. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Олейник М. А., Дубинецкий В. Н. Особенности химизма и феноменологии образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2006. № 11. С 13–16.
11. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей тракторного дизеля путем применения природного газа и рециркуляции отработавших газов, метанолю- и этанолю-топливных эмульсий // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 3. с. 3–6.
12. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 2. с. 6–7.
13. 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.
14. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этанолю-топливной эмульсии // Транспорт на альтернативном топливе. 2012. № 4 (28). с. 70–73.
15. 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.
16. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля Д-240 путем применения этанолю-топливной эмульсии // Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник: 2013. № 1 (1). с. 29–32.
17. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на содержание токсичных компонентов в отработавших газах дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на номинальной частоте вращения в зависимости от установочного угла опережения впрыскивания топлива // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 101–104.
18. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов в отработавших газах. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук/Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Санкт-Петербург, 2009. — 18 с.
19. Лопатин, С. О., Скрябин М. Л. Влияние применения метанолю-топливной эмульсии на объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 96–98.
20. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение эффективных показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 6. с. 19–21.
21. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение токсических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 7. с. 6–7.
22. Скрябин, М. Л. Разработка программы стендовых исследований газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 53–55.
23. Скрябин, М. Л. Особенности горения капли дизельного топлива в турбулентном потоке метано-воздушной смеси в цилиндре газодизеля // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 56–59.
24. Скрябин, М. Л. Исследование мощностных и экономических показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 59–62.
25. Скрябин, М. Л. Влияние угла опережения впрыскивания топлива на экологические показатели газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 62–65.

26. Скрябин, М.Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.
27. Скрябин, М.Л. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла поворота коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 433–436.
28. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на общую токсичность дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 323–326.
29. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на частоте вращения максимального крутящего момента // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 312–314.
30. В. А. Лиханов, С. А. Романов Исследование рабочего процесса дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на метано-ло-топливной эмульсии: Монография. — Киров, 2010. — 165 с.
31. В. А. Лиханов Исследование рабочих процессов в цилиндре газодизеля 4Ч 11,0/12,5: Монография. — Киров, 2004. — 330 с.
32. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2007. — 129 с.
33. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Анфилатов А. А., Глухов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография / Под общ. ред. В. А. Лиханова. — Киров: Вятская ГСХА, 2009. — 334 с.
34. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Полевщиков А. С., Долгих М. А., Верстаков С. А. Эффективные и экологические показатели дизеля с двойной системой топливоподачи. Тракторы и сельхозмашины, 2011. — № 10, с. 8–10.
35. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле / В. А. Лиханов, А. Н. Чувашев, А. А. Глухов, А. А. Анфилатов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 2007. — № 3. — с. 8–11.
36. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле / В. А. Лиханов, А. Н. Чувашев, А. А. Глухов, А. А. Анфилатов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 2007. — № 4. — с. 10–13.

## Изменение оксидов азота при различных углах УОВТ

Лиханов Виталий Анатольевич, доктор технических наук, профессор;  
 Анфилатов Антон Анатольевич, кандидат технических наук, доцент  
 Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

Кривые изменения значений содержания оксидов азота в ОГ дизеля, полученные при установочном УОВТ  $\Theta_{\text{дт}} = 26^\circ$  и различных углах впрыскивания метанола  $\Theta_{\text{м}}$ , показывают, что при установочных УОВТ  $\Theta_{\text{м}}$ , равных  $34^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $26^\circ$  и  $22^\circ$ , содержание оксидов азота в ОГ равно, соответственно, 365 ppm, 350 ppm, 300 ppm и 225 ppm [1–10].

Влияния применения метанола в дизеле 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ при различных установочных УОВТ на содержание оксидов азота в ОГ при номинальной частоте вращения двигателя ( $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ ) представлены на рисунке 1, снятые при  $\Theta_{\text{дт}} (26..42^\circ)$  и  $\Theta_{\text{м}} (22..38^\circ)$ . Если при оптимальных значениях установочных УОВТ ( $\Theta_{\text{дт}} = 34^\circ$  и  $\Theta_{\text{м}} = 34^\circ$ ) содержание оксидов азота в ОГ дизеля составляет 340 ppm, то при большем значении  $\Theta_{\text{м}} = 38^\circ$  содержание оксидов азота в ОГ возрастает и составляет 390 ppm. При других значениях  $\Theta_{\text{м}} = 30^\circ$ ,  $26^\circ$  и  $22^\circ$  содержание оксидов азота в ОГ составляет, соответственно, 347 ppm, 348 ppm и 220 ppm [11–17].

Значения содержания оксидов азота в ОГ дизеля, полученные при установочном УОВТ  $\Theta_{\text{дт}} = 30^\circ$  и различных углах впрыскивания метанола  $\Theta_{\text{м}}$ , показывают, что при установочных УОВТ  $\Theta_{\text{м}}$ , равных  $34^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $26^\circ$  и  $22^\circ$ , со-

держание оксидов азота в ОГ равно, соответственно, 355 ppm, 340 ppm, 290 ppm и 230 ppm. Из графика видно, что при увеличении угла УОВТ  $\Theta_{\text{м}}$  содержание оксидов азота в ОГ дизеля изменяется по сложной зависимости [18–26].

Изменения значений содержания оксидов азота в ОГ дизеля, полученные при установочном УОВТ  $\Theta_{\text{дт}} = 38^\circ$  и различных углах впрыскивания метанола  $\Theta_{\text{м}}$  показывают, что при установочных УОВТ  $\Theta_{\text{м}}$ , равных  $38^\circ$ ,  $34^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $26^\circ$  и  $22^\circ$ , содержание оксидов азота в ОГ равно, соответственно, 355 ppm, 322 ppm, 343 ppm, 354 ppm и 222 ppm. Из графика видно, что тенденция изменения значений содержания оксидов азота в ОГ дизеля происходит по сложной зависимости при увеличении угла УОВТ  $\Theta_{\text{м}}$  [27–34].

Кривые изменения значений содержания оксидов азота в ОГ дизеля, полученные при установочном УОВТ  $\Theta_{\text{дт}} = 42^\circ$  и различных углах впрыскивания метанола  $\Theta_{\text{м}}$ , показывают, что при установочных УОВТ  $\Theta_{\text{м}}$ , равных  $38^\circ$ ,  $34^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $26^\circ$  и  $22^\circ$ , содержание оксидов азота в ОГ равно, соответственно, 273 ppm, 310 ppm, 349 ppm, 330 ppm и 215 ppm.

Из графика видно, что тенденция изменения значений содержания в ОГ оксидов азота по сложной зависимости при увеличении угла УОВТ  $\Theta_{\text{м}}$  также сохраняется.

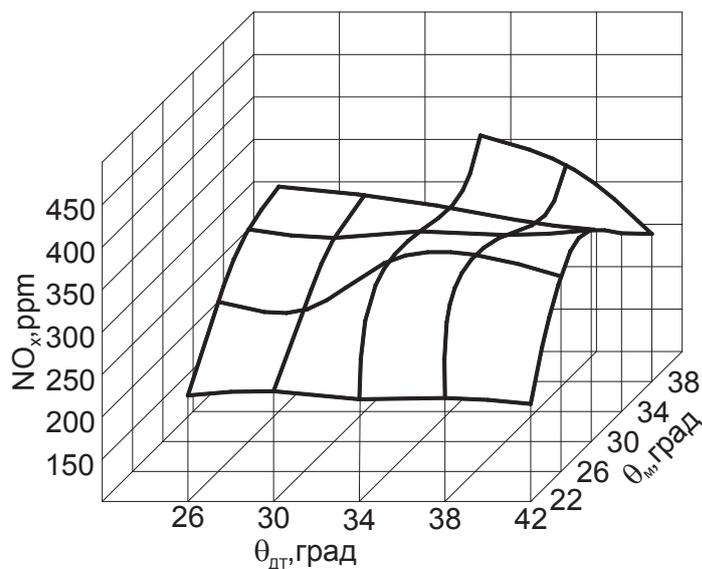


Рис. 1. Влияние применения метанола в дизеле 24 10,5/12,0 при работе с ДСТ в зависимости от различных установочных УОВТ на содержание оксидов азота в ОГ при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$  и  $p_e = 0,585 \text{ МПа}$ ,  $q_{\text{дт}} = 6,6 \text{ мг/цикл}$

Литература:

1. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эффективных показателей тракторного дизеля путем применения компримированного природного газа и рециркуляции отработавших газов, метанолю- и этанолю-топливных эмульсий // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 7. с. 12–15.
2. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Влияние применения природного газа и рециркуляции отработавших газов, метанолю- и этанолю-топливных эмульсий на содержание токсичных компонентов в ОГ // Транспорт на альтернативном топливе. 2015. № 4 (46). с. 42–47.
3. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследования эффективных и экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на природном газе с рециркуляцией отработавших газов, метанолю- и этанолю-топливных эмульсиях // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 5–1. с. 22–25.
4. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этанолю-топливной эмульсии // Известия Международной академии аграрного образования. 2013. Т. 4. № 16. с. 170–173.
5. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование эффективных показателей дизеля при работе на природном газе, метанолю- и этанолю-топливных эмульсиях // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 4–1 (35). с. 79–81.
6. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование экологических показателей дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метанолю- и этанолю топливных эмульсиях // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 3 (16). с. 26–28.
7. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование показателей процесса сгорания газодизеля при работе с рециркуляцией отработавших газов // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 33–36.
8. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Результаты исследований содержания оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 5–1. с. 66–68.
9. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование нагрузочного режима дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метанолю- и этанолю топливных эмульсиях // Потенциал современной науки. 2015. № 3 (11). с. 40–44.
10. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Олейник М. А., Дубинецкий В. Н. Особенности химизма и феноменологии образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2006. № 11. С 13–16.
11. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей тракторного дизеля путем применения природного газа и рециркуляции отработавших газов, метанолю- и этанолю-топливных эмульсий // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 3. с. 3–6.

12. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 2. с. 6–7.
13. 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.
14. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этанола-топливной эмульсии // Транспорт на альтернативном топливе. 2012. № 4 (28). с. 70–73.
15. 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.
16. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля Д-240 путем применения этанола-топливной эмульсии // Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник: 2013. № 1 (1). с. 29–32.
17. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на содержание токсичных компонентов в отработавших газах дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на номинальной частоте вращения в зависимости от установочного угла опережения впрыскивания топлива // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 101–104.
18. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов в отработавших газах. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук/Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Санкт-Петербург, 2009. — 18 с.
19. Лопатин, С. О., Скрябин М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 96–98.
20. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение эффективных показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 6. с. 19–21.
21. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение токсических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 7. с. 6–7.
22. Скрябин, М. Л. Разработка программы стендовых исследований газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 53–55.
23. Скрябин, М. Л. Особенности горения капли дизельного топлива в турбулентном потоке метано-воздушной смеси в цилиндре газодизеля // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 56–59.
24. Скрябин, М. Л. Исследование мощностных и экономических показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 59–62.
25. Скрябин, М. Л. Влияние угла опережения впрыскивания топлива на экологические показатели газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 62–65.
26. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.
27. Скрябин, М. Л. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла поворота коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 433–436.
28. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на общую токсичность дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 323–326.
29. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на частоте вращения максимального крутящего момента // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 312–314.
30. В. А. Лиханов, С. А. Романов Исследование рабочего процесса дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на метанола-топливной эмульсии: Монография. — Киров, 2010. — 165 с.
31. В. А. Лиханов Исследование рабочих процессов в цилиндре газодизеля 4Ч 11,0/12,5: Монография. — Киров, 2004. — 330 с.
32. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2007. — 129 с.

33. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Анфилатов А. А., Глухов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография / Под общ. ред. В. А. Лиханова. — Киров: Вятская ГСХА, 2009. — 334 с.
34. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Полевщиков А. С., Долгих М. А., Верстаков С. А. Эффективные и экологические показатели дизеля с двойной системой топливоподачи. Тракторы и сельхозмашины, 2011. — № 10, с. 8–10.
35. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле / В. А. Лиханов, А. Н. Чувашев, А. А. Глухов, А. А. Анфилатов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 2007. — № 3. — с. 8–11.

## Исследование содержания оксидов азота по нагрузочной характеристике газодизеля с турбонаддувом на номинальном режиме работы

Лиханов Виталий Анатольевич, доктор технических наук, профессор;  
 Лопатин Олег Петрович, кандидат технических наук, доцент  
 Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

Нагрузочные характеристики изменения содержания токсичных компонентов в ОГ дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 при работе по дизельному и газодизельному процессам на оптимальном для газодизельного процесса установочном угле опережения впрыскивания топлива (УОВТ)  $11^\circ$  при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$  на номинальной частоте вращения представлены на рис. 1 [1–6].

Из графиков, представленных на рис 1, видно, что с увеличением нагрузки содержание  $\text{NO}_x$  в ОГ при работе

двигателя по дизельному процессу возрастает от 160 ppm при  $p_e = 0,12 \text{ МПа}$  до 185 ppm при  $p_e = 0,88 \text{ МПа}$ . Рост составляет 15,6%. Содержание  $\text{CH}_x$  с увеличением нагрузки в целом снижается с 0,025 до 0,010%, т.е. в 2,5 раза [7–13]. Содержание сажи по дизельному процессу с увеличением нагрузки возрастает с 0,9 до 2,6 ед. по шкале Bosch и, соответственно, увеличивается в 2,9 раза. Содержание CO изменяется с 0,035 до 0,047%, или увеличивается на 34,3% [14–18].

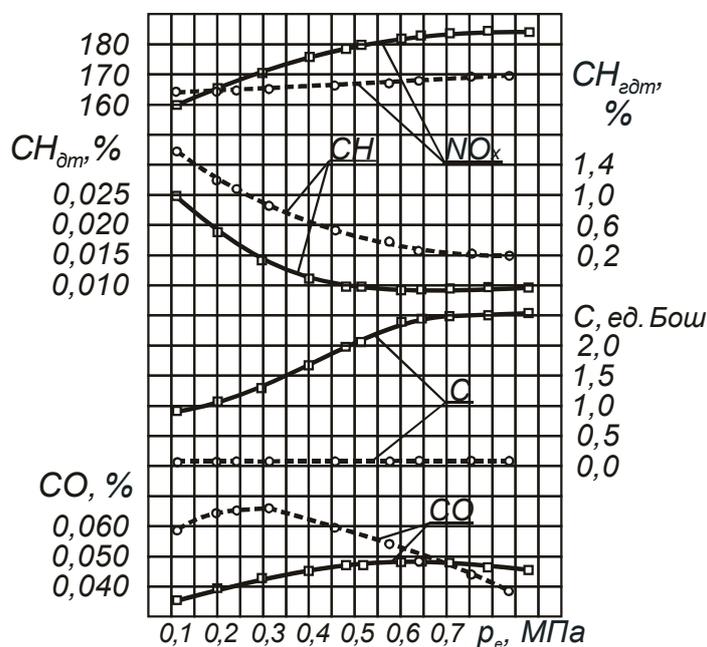


Рис. 1. Влияние применения природного газа на показатели токсичности ОГ дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$  и  $\Theta_{\text{впр}} = 11^\circ$   $\square$  — дизельный процесс;  $\circ$  — газодизельный процесс

Из кривых, представленных на рис. 1, видно, что при работе на природном газе содержание  $\text{NO}_x$  в ОГ при работе двигателя по газодизельному процессу возрастает

незначительно: от 165 ppm при  $p_e = 0,12 \text{ МПа}$  до 170 ppm при  $p_e = 0,85 \text{ МПа}$ , рост составляет 3%. Содержание  $\text{CH}_x$  с увеличением нагрузки снижается с 1,6 до 0,2%, или в 8

раз [19–22]. Содержание сажи по газодизельному процессу с увеличением нагрузки практически не изменяется и составляет 0,1 ед. по шкале Bosch на всем диапазоне нагрузок. Содержание СО уменьшается с 0,059 до 0,039%, снижение составляет 51,2% [23–27].

Анализируя изменения значений содержания токсичных компонентов в ОГ дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки при установочном УОВТ 11<sup>0</sup> на номинальной частоте вращения  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ , можно отметить следующее. Содержание оксидов азота в отработавших газах при работе по газодизельному процессу ниже, чем по дизельному, во всем диапазоне изменения нагрузок. Так при  $p_e = 0,84 \text{ МПа}$  содержание  $\text{NO}_x$  снижается на 6,4% (со 183 до 172 ppm). Снижение достигается уменьшением длительности процесса сгорания при работе на природном газе. Существенно снижается содержание в отработавших газах

сажи при работе по газодизельному процессу на всем диапазоне нагрузок. На дизельном процессе максимальное содержание сажевых частиц составляет 2,5 ед. по шкале Bosch, а на газодизеле на 96% меньше [28–32]. Это объясняется тем, что метан из всех топлив наименее склонен к образованию сажи. Вместе с тем необходимо отметить, что при работе по газодизельному процессу возрастает содержание в отработавших газах СО на малых и средних нагрузках. Однако с увеличением нагрузки содержание СО в отработавших газах при работе по газодизельному процессу снижается и при среднем эффективном давлении 0,7 МПа равняется содержанию СО в отработавших газах дизельного процесса, а при дальнейшем увеличении нагрузки лежит ниже значений дизельного процесса и при  $p_e = 0,84 \text{ МПа}$  содержание СО при работе на КПГ равно 0,039%, против 0,045%, разница в 15,4% [33–37].

#### Литература:

1. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Изменение образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 4. с. 3–5.
2. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Анфилатов А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путём применения метанола с использованием двойной системы топливоподачи // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 5. с. 5–8.
3. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 3. с. 4–5.
4. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 4. с. 10–13.
5. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Анфилатов А. А., Глухов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография / Под общ. ред. В. А. Лиханова. — Киров: Вятская ГСХА, 2009. — 334 с.
6. Анфилатов, А. А., Лиханов В. А., Лопатин О. П. Исследование процессов образования и разложения оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 путем применения метанола с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров, 2008. — 156 с.
7. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Полевщиков А. С., Долгих М. А., Верстаков С. А. Эффективные и экологические показатели дизеля с двойной системой топливоподачи. Тракторы и сельхозмашины, 2011. — № 10, с. 8–10.
8. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Исследование применения метанола в дизеле на оптимальных установочных углах // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 42–44.
9. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2007. — 129 с.
10. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Показатели процесса сгорания дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения Молодой ученый. 2015. № 15 (95) с. 109–111.
11. Анфилатов, А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 184с.
12. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на оксиды азота при сгорании в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 151–154.
13. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле для номинальной частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 142–145.
14. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11. с. 235–238.
15. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
16. Анфилатов, А. А. Удельный эффективный расход топлива дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 87–90.

17. Анфилатов, А. А. Изменения объемного содержания и массовой концентрации оксидов азота в отработавших газах дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 15. С. 75–78.
18. Анфилатов, А. А. Эффективные характеристики дизеля при работе на метаноле и  $N = 1800$  мин<sup>-1</sup> // Потенциал современной науки. 2015. № 5 (13). с. 25–28.
19. Анфилатов, А. А. Содержание токсичных компонентов дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 14. с. 120–123.
20. Анфилатов, А. А. Эффективные показатели дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле в зависимости от частоты вращения // Потенциал современной науки. 2015. № 5 (13). с. 29–32.
21. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на содержание токсичных компонентов в отработавших газах дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на номинальной частоте вращения в зависимости от установочного угла опережения впрыскивания топлива // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 101–104.
22. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов в отработавших газах. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук/Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Санкт-Петербург, 2009. — 18 с.
23. Лопатин, С. О., Скрябин М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 96–98.
24. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение эффективных показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 6. с. 19–21.
25. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение токсических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 7. с. 6–7.
26. Скрябин, М. Л. Исследование мощностных и экономических показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 59–62.
27. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.
28. Скрябин, М. Л. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла поворота коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 433–436.
29. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на частоте вращения максимального крутящего момента // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 312–314.
30. Скрябин, М. Л. Влияние отработавших газов автомобильного транспорта на окружающую среду // Молодой ученый. 2015. № 13. с. 185–187.
31. Скрябин, М. Л. Образование топливных оксидов азота в процессе горения углеводородного топлива // Молодой ученый. 2015. № 14. с. 186–188.
32. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на показатели процесса сгорания дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки при работе на номинальной частоте вращения // Молодой ученый. 2015. № 15. с. 179–182.
33. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля Д-245.7 в зависимости от изменения нагрузки // Молодой ученый. 2015. № 16. с. 228–230.
34. Чувашев, А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2007. — 167с.
35. Чувашев, А. Н. Исследование показателей рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от значений установочных углов опережения впрыскивания топлив. Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 340–343.
36. Чувашев, А. Н. Характеристики тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на режиме максимального крутящего момента Молодой ученый. 2015. № 14 (94) с. 203–205.
37. Чувашев, А. Н. Совмещённые индикаторные диаграммы дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ при установочном угле впрыскивания дизтоплива 34°. Молодой ученый. 2015. № 16 (96) с. 244–246.

### Исследование режимных факторов на содержание оксидов азота в ОГ дизелей

Лиханов Виталий Анатольевич, доктор технических наук, профессор;  
 Лопатин Олег Петрович, кандидат технических наук, доцент  
 Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

На образование оксидов азота  $NO_x$  сильное влияние оказывает угол опережения впрыскивания топлива (УОВТ) [1–7]. На рис. 1 представлена обобщенная зави-

симость относительных удельных выбросов оксидов азота от относительных удельных расходов топлива при изменении  $\Theta_{впр}$  [8–14].

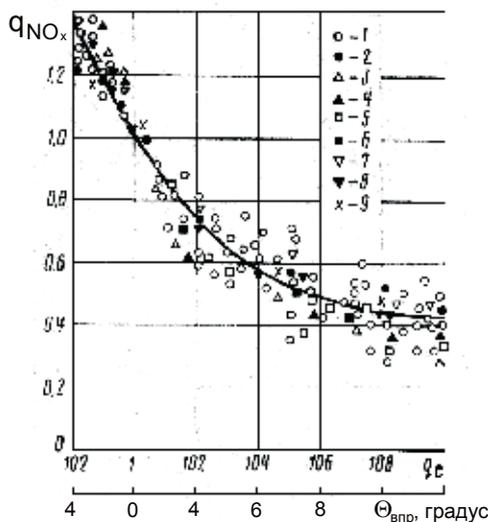


Рис. 1. Обобщенная зависимость относительных удельных выбросов оксидов азота от относительных удельных расходов топлива при изменении  $\Theta_{впр}$ : 1 — ЯМЗ-236; 2 — ЯМЗ-238; 3–14 13/14л; 4–14 13/14ц; 5 — Д-130; 6 — М/4; 7 — Д-108; 8 — СМД-14; 9 — Д-21

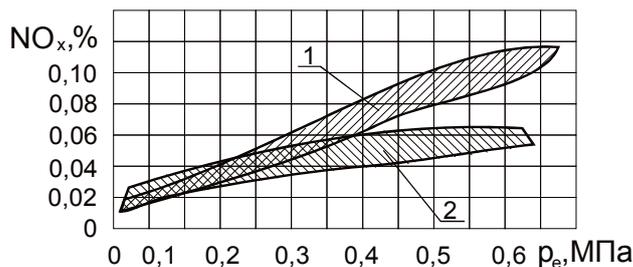


Рис. 2. Сравнительная концентрация оксидов азота дизелей фирмы «Deutz» с непосредственным впрыскиванием топлива и с разделенной камерой сгорания: 1–дизель F12L413 с непосредственным впрыскиванием топлива ( $n = 1000...2500 \text{ мин}^{-1}$ ); 2 — дизель F8L413 с разделенной КС ( $n = 1000...2650 \text{ мин}^{-1}$ )

По мере роста нагрузки дизеля увеличивается максимальная температура цикла и уменьшается коэффициент избытка воздуха. В результате, при увеличении нагрузки эти два фактора, противоположно влияющие на образование оксидов азота приводят к характерной закономерности образования оксидов азота [15–23]. На рис. 2 представлена концентрация  $NO_x$  в ОГ современных зарубежных дизелей «Deutz» с различными способами смешения в зависимости от нагрузки [24–30].

Концентрация  $NO_x$  по мере роста нагрузки сначала увеличивается (до  $P_e = 0,5...0,6 \text{ МПа}$ ), затем, достигнув максимума, начинает уменьшаться. При нагрузке 70...85% (до  $P_e = 0,5...0,6 \text{ МПа}$ ) увеличение оксидов азота связано с ростом максимальных температур. При дальнейшем увеличении нагрузки на темп образования оксидов азота в основном влияет концентрация кислорода в заряде [31, 32].

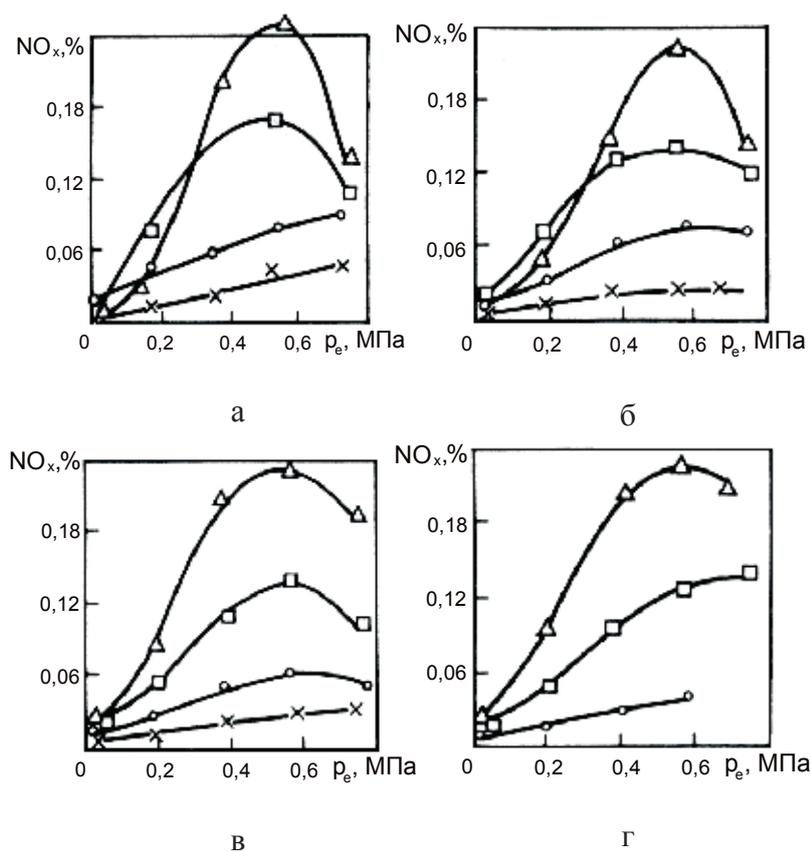


Рис. 3. Влияние  $\Theta_{впр}$  на содержание  $NO_x$  в ОГ дизеля Д-240: а —  $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$ ; б —  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ ; в —  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ ; г —  $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ ;  $\Delta$  —  $\Theta_{впр} = 30 \text{ градусов}$ ;  $\square$  —  $\Theta_{впр} = 26 \text{ градусов}$ ;  $\circ$  —  $\Theta_{впр} = 18 \text{ градусов}$ ;  $\times$  —  $\Theta_{впр} = 9 \text{ градусов}$

Влияние  $\Theta_{впр}$  на содержание  $NO_x$  в ОГ дизеля Д-240 представлено на рис. 3 [1]. Как следует из приведенных данных, содержание  $NO_x$  в ОГ дизелей возрастает с увеличением  $\Theta_{впр}$  во всем диапазоне режимов [33–36].

Литература:

1. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Изменение образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 4. с. 3–5.
2. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Анфилатов А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путём применения метанола с использованием двойной системы топливоподачи // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 5. с. 5–8.
3. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 3. с. 4–5.
4. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 4. с. 10–13.
5. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Анфилатов А. А., Глухов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография / Под общ. ред. В. А. Лиханова. — Киров: Вятская ГСХА, 2009. — 334 с.
6. Анфилатов, А. А., Лиханов В. А., Лопатин О. П. Исследование процессов образования и разложения оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 путем применения метанола с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров, 2008. — 156 с.
7. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Полевщиков А. С., Долгих М. А., Верстаков С. А. Эффективные и экологические показатели дизеля с двойной системой топливоподачи. Тракторы и сельхозмашины, 2011. — № 10, с. 8–10.
8. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Исследование применения метанола в дизеле на оптимальных установочных углах // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 42–44.
9. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2007. — 129 с.

10. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Показатели процесса сгорания дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения Молодой ученый. 2015. № 15 (95) с. 109–111.
11. Анфилатов, А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 184с.
12. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на оксиды азота при сгорании в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 151–154.
13. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле для номинальной частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 142–145.
14. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11. с. 235–238.
15. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
16. Анфилатов, А. А. Удельный эффективный расход топлива дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 87–90.
17. Анфилатов, А. А. Изменения объемного содержания и массовой концентрации оксидов азота в отработавших газах дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 15. С. 75–78.
18. Анфилатов, А. А. Эффективные характеристики дизеля при работе на метаноле и  $N = 1800$  мин<sup>-1</sup> // Потенциал современной науки. 2015. № 5 (13). с. 25–28.
19. Анфилатов, А. А. Содержание токсичных компонентов дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 14. с. 120–123.
20. Анфилатов, А. А. Эффективные показатели дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле в зависимости от частоты вращения // Потенциал современной науки. 2015. № 5 (13). с. 29–32.
21. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на содержание токсичных компонентов в отработавших газах дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на номинальной частоте вращения в зависимости от установочного угла опережения впрыскивания топлива // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 101–104.
22. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2009. — 202 с.
23. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение эффективных показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 6. с. 19–21.
24. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение токсических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 7. с. 6–7.
25. Скрябин, М. Л. Исследование мощностных и экономических показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 59–62.
26. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.
27. Скрябин, М. Л. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла поворота коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 433–436.
28. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на частоте вращения максимального крутящего момента // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 312–314.
29. Скрябин, М. Л. Влияние отработавших газов автомобильного транспорта на окружающую среду // Молодой ученый. 2015. № 13. с. 185–187.
30. Скрябин, М. Л. Образование топливных оксидов азота в процессе горения углеводородного топлива // Молодой ученый. 2015. № 14. с. 186–188.
31. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на показатели процесса сгорания дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки при работе на номинальной частоте вращения // Молодой ученый. 2015. № 15. с. 179–182.
32. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля Д-245.7 в зависимости от изменения нагрузки // Молодой ученый. 2015. № 16. с. 228–230.
33. Чувашев, А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2007. — 167с.

34. Чувашев, А. Н. Исследование показателей рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от значений установочных углов опережения впрыскивания топлив. Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 340–343.
35. Чувашев, А. Н. Характеристики тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на режиме максимального крутящего момента Молодой ученый. 2015. № 14 (94) с. 203–205.
36. Чувашев, А. Н. Совмещённые индикаторные диаграммы дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ при установочном угле впрыскивания дизтоплива 34°. Молодой ученый. 2015. № 16 (96) с. 244–246.

## Влияние применения метанола на токсические показатели дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки

Лиханов Виталий Анатольевич, доктор технических наук, профессор;  
 Россохин Алексей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент  
 Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

В соответствии с методикой стендовых испытаний были проведены испытания дизеля 2Ч 10,5/12,0 по исследованию влияния метанола с ДСТ на его токсические показатели в зависимости от изменения нагрузки.

Изменение содержания токсичных компонентов в ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от изменения нагрузки при работе на ДТ и на метаноле с ДСТ на номинальном режиме при частоте вращения  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$  представлены на рис 1, а.

Из представленных графиков видно, что при работе дизеля 2Ч 10,5/12,0 на ДТ при увеличении нагрузки содержание оксида углерода в ОГ изменяется с 0,08% при  $p_e = 0,127 \text{ МПа}$  до 0,48% при  $p_e = 0,650 \text{ МПа}$ . Увеличение составляет 83,3%. Дымность ОГ при работе на ДТ возрастает с 2,1 ед. по шкале Bosch при  $p_e = 0,127 \text{ МПа}$  до 6,5 ед. по шкале Bosch при  $p_e = 0,650 \text{ МПа}$ , т.е. на 4,4 ед., или в 3,1 раза. Содержание  $\text{CO}_2$  в ОГ растёт с 0,80% при  $p_e = 0,127 \text{ МПа}$  до 4,0% при  $p_e = 0,650 \text{ МПа}$ , т.е. в 5 раз. Содержание  $\text{CH}_x$  в ОГ при изменении нагрузки увеличивается от 0,03% при  $p_e = 0,127 \text{ МПа}$  до 0,19% при  $p_e = 0,650 \text{ МПа}$ . Увеличение равно 6,3 раза. Содержание оксидов азота изменяется от 225 ppm при  $p_e = 0,127 \text{ МПа}$  до 380 ppm при  $p_e = 0,650 \text{ МПа}$ . При нагрузке  $p_e = 0,55 \text{ МПа}$  содержание  $\text{NO}_x$  в ОГ имеет максимальное значение — 420 ppm.

При работе дизеля на метаноле с ДСТ при увеличении нагрузки с  $p_e = 0,127 \text{ МПа}$  до  $p_e = 0,55 \text{ МПа}$  содержание  $\text{NO}_x$  в ОГ возрастает от 215 ppm до 285 ppm. При дальнейшем увеличении нагрузки до  $p_e = 0,650 \text{ МПа}$  содержание  $\text{NO}_x$  снижается до 250 ppm. Содержание  $\text{CH}_x$  в ОГ снижается с 0,28% при  $p_e = 0,127 \text{ МПа}$  до 0,12% при  $p_e = 0,47 \text{ МПа}$ . На максимальной нагрузке  $p_e = 0,650 \text{ МПа}$  содержание углеводородов возрастает до 0,23%. Содержание  $\text{CO}_2$  в ОГ при увеличении нагрузки изменяется с 1,8% при  $p_e = 0,127 \text{ МПа}$  до 4,5% при  $p_e = 0,650 \text{ МПа}$ . Увеличение составляет 60%. Дымность ОГ составляет 0,1 ед. по шкале Bosch при  $p_e = 0,127 \text{ МПа}$  и 1,3 ед. по шкале

Bosch при  $p_e = 0,650 \text{ МПа}$ . Рост составляет 92,3%. Относительное содержание CO в ОГ меняется по сложной зависимости: с увеличением нагрузки с 0,127 МПа до 0,5 МПа содержание CO снижается с 0,28% до 0,20%, затем наблюдается рост до 0,35% при  $p_e = 0,650 \text{ МПа}$ .

При переходе работы с ДТ на метанол с ДСТ на частоте вращения  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$  наблюдается снижение содержания оксидов азота и дымности ОГ. Так, при работе на ДТ  $p_e = 0,127 \text{ МПа}$  содержание  $\text{NO}_x$  снижается с 225 ppm до 215 ppm при работе на метаноле с ДСТ, т.е. на 4,4%. На нагрузке  $p_e = 0,55 \text{ МПа}$  содержание  $\text{NO}_x$  снижается с 420 ppm при работе на ДТ до 285 ppm при работе на метаноле с ДСТ. При нагрузке  $p_e = 0,65 \text{ МПа}$  изменение составляет с 380 ppm до 250 ppm, или 34,2%.

Дымность ОГ снижается с 2,1 ед. по шкале Bosch при работе на ДТ до 0,1 ед. по шкале Bosch при работе на метаноле с ДСТ при  $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ . Снижение составляет 95%. При  $p_e = 0,650 \text{ МПа}$  дымность ОГ снижается с 6,5 ед. до 1,3 ед. по шкале Bosch, т.е. на 80%. Такое значительное снижение дымности ОГ дизеля при работе на метаноле с ДСТ можно объяснить тем, что метанол в своей молекуле имеет 50% кислорода, который обеспечивает практически полное выгорание сажевых частиц в КС.

Содержание  $\text{CO}_2$  во всем диапазоне нагрузок выше при работе на метаноле с ДСТ, чем при работе на ДТ. На малых нагрузках ( $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ ) рост составляет с 0,8% до 1,8%, т.е. увеличивается в 2,25 раза. На максимальной нагрузке ( $p_e = 0,650 \text{ МПа}$ ) рост составляет с 4,0% до 4,6%, т.е. на 15%.

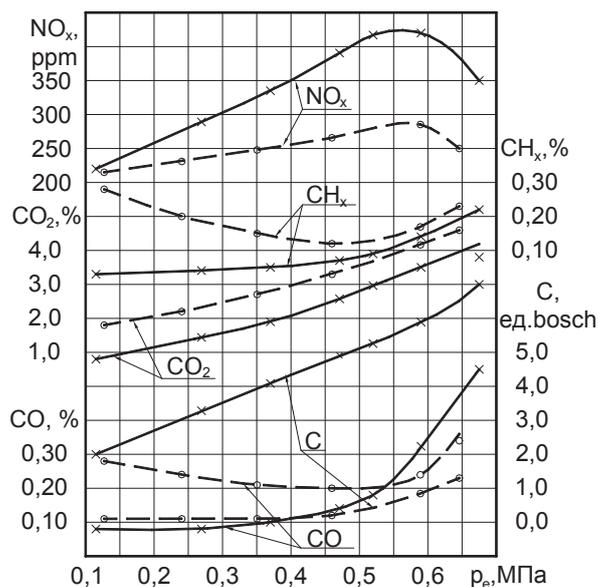
Изменение токсических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от изменения нагрузки при работе на ДТ и на метаноле с ДСТ на режиме максимального крутящего момента при частоте вращения  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  представлено на рис 1, б.

Из графиков видно, что при работе дизеля 2Ч 10,5/12,0 на ДТ на режиме максимального крутящего момента при увеличении нагрузки содержание оксида углерода в ОГ

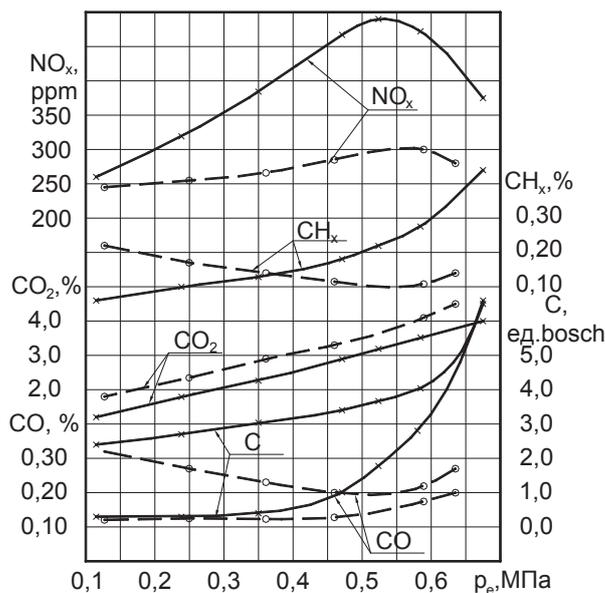
изменяется с 0,13% при  $p_e = 0,127$  МПа до 0,45% при  $p_e = 0,635$  МПа. Увеличение составляет 3,46 раза. Дымность ОГ при работе на ДТ возрастает с 2,45 ед. по шкале Bosch при  $p_e = 0,127$  МПа до 4,9 ед. при  $p_e = 0,635$  МПа, т.е. на 2,5 ед., или в 2 раза. Содержание  $CO_2$  в ОГ растет с 1,25% при  $p_e = 0,127$  МПа до 3,8% при  $p_e = 0,635$  МПа, т.е. в 3 раза. Содержание  $CH_x$  в ОГ при изменении нагрузки увеличивается от 0,06% при  $p_e = 0,127$  МПа до 0,36% при  $p_e = 0,635$  МПа. Увеличение происходит в 6 раз. Содержание оксидов азота изменяется от 265 ppm при  $p_e = 0,127$  МПа до 420 ppm при  $p_e = 0,635$  МПа. При

нагрузке  $p_e = 0,53$  МПа содержание  $NO_x$  в ОГ имеет максимальное значение — 480 ppm.

При переходе работы с ДТ на метанол с ДСТ на частоте вращения  $n = 1400$  мин<sup>-1</sup> наблюдается снижение содержания оксидов азота и дымности ОГ. Так, при работе на ДТ при  $p_e = 0,127$  МПа содержание  $NO_x$  снижается с 265 ppm до 245 ppm при работе на метаноле с ДСТ, т.е. на 7,5%. На нагрузке  $p_e = 0,53$  МПа содержание  $NO_x$  снижается с 480 ppm при работе на ДТ до 300 ppm при работе на метаноле с ДСТ. При нагрузке  $p_e = 0,635$  МПа изменения составляет от 420 ppm до 280 ppm, или 33,3%.



а)



б)

Рис. 1. Влияние применения метанола на содержание токсичных компонентов в ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ при  $\Theta_{ДТ} = 34^\circ$  и  $\Theta_{М} = 34^\circ$  в зависимости от изменения нагрузки: а) при  $n = 1800$  мин<sup>-1</sup>; б) при  $n = 1400$  мин<sup>-1</sup>; — — — дизельный процесс, — — — метанол с запальным ДТ

Содержание  $\text{CH}_x$  в ОГ при работе на метаноле с ДСТ выше, чем при работе на ДТ на малых и средних нагрузках. На малых нагрузках (при  $p_e = 0,127$  МПа) значения  $\text{CH}_x$  составляют 0,22% и 0,06% соответственно. При  $p_e = 0,53$  МПа содержание  $\text{CH}_x$  при работе на метаноле с ДСТ снижается до 0,10%, а при работе на ДТ растет до 0,22%. На максимальной нагрузке ( $p_e = 0,635$  МПа) значение содержания непредельных углеводородов составляет 0,14% при работе на метаноле с ДСТ и 0,36% при работе на ДТ.

Содержание  $\text{CO}_2$  во всем диапазоне нагрузок выше при работе на метаноле с ДСТ, чем при работе на ДТ. На малых нагрузках (при  $p_e = 0,127$  МПа) рост составляет с 1,2% до 1,8%, т.е. на 50%. На максимальной нагрузке (при  $p_e = 0,635$  МПа) рост составляет с 3,8% до 4,5%, т.е. на 18%.

Дымность ОГ снижается с 2,45 ед. при работе на ДТ до 0,2 ед. по шкале Bosch при работе на мета-

ноле с ДСТ при  $p_e = 0,127$  МПа. Снижение составляет 91,8%. При  $p_e = 0,635$  МПа дымность ОГ снижается с 4,9 ед. до 1,0 ед. по шкале Bosch, т.е. на 79,5%. Такое значительное снижение дымности ОГ дизеля при работе на метаноле с ДСТ можно объяснить тем, что метанол в своей молекуле имеет 50% кислорода, который обеспечивает практически полное выгорание сажевых частиц в зонах КС.

Содержание  $\text{CO}$  в ОГ на малых (при  $p_e = 0,127$  МПа) и средних (при  $p_e = 0,45$  МПа) нагрузках выше при работе на метаноле с ДСТ, чем при работе на ДТ. При  $p_e = 0,127$  МПа значения  $\text{CO}$  составляют 0,32% и 0,13% соответственно, т.е. растут в 2,46 раза. При увеличении нагрузки до  $p_e = 0,635$  МПа содержание  $\text{CO}$  в ОГ при работе на метаноле с ДСТ лежит ниже значений  $\text{CO}$  при работе на ДТ: 0,27% и 0,45% соответственно.

#### Литература:

1. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2007. — 129 с.
2. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Полевщиков А. С., Долгих М. А., Верстаков С. А. Эффективные и экологические показатели дизеля с двойной системой топливоподачи. Тракторы и сельхозмашины, 2011. — № 10, с. 8–10.
3. Чувашев, А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Санкт-Петербург, 2007. — 18 с.
4. Чувашев, А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2007. — 167с.
5. Чувашев, А. Н. Исследование показателей рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от значений установочных углов опережения впрыскивания топлив. Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 340–343.
6. Чувашев, А. Н. Характеристики тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на режиме максимального крутящего момента Молодой ученый. 2015. № 14 (94) с. 203–205.
7. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Показатели процесса сгорания дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения Молодой ученый. 2015. № 15 (95) с. 109–111.
8. Чувашев, А. Н. Характеристики тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения коленчатого вала. Технические науки: проблемы и перспективы: материалы III Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, июль 2015 г.). — СПб.: Свое издательство, 2015. — с. 77–78.
9. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226–229.
10. Анфилатов, А. А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229–232.
11. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 232–235.
12. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 235–238.
13. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 238–241.
14. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальное давление сгорания в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 117–120.
15. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальную осредненную температуру цикла в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 120–123.
16. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.

## Влияние применения метанола на токсические показатели дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения

Лиханов Виталий Анатольевич, доктор технических наук, профессор;  
Россохин Алексей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент  
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

В соответствии с методикой стендовых испытаний нами были проведены испытания дизеля 2Ч 10,5/12,0 по исследованию влияния метанола с ДСТ на его токсические показатели в зависимости от изменения частоты вращения.

На рис. 1 представлена зависимость изменения токсических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения.

Как видно из графиков, увеличение частоты вращения приводит к увеличению содержания токсичных компонентов в ОГ дизеля, кроме содержания оксидов азота. Содержание оксидов азота с увеличением частоты вращения уменьшается с 480 ppм при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  до 375 ppм при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$  при работе на ДТ. Снижение составляет 22%. При работе на метаноле с ДСТ содержание  $\text{NO}_x$  снижается с 310 ppм при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  до 260 ppм при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ , т.е. на 16%. При переходе работы с ДТ на метанол с ДСТ при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  содержание оксидов азота снижается с 480 ppм до 310 ppм, т.е. на 35,4%. Содержание  $\text{NO}_x$  на частоте вращения  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$  снижается с 375 ppм при работе на ДТ до 260 ppм при работе на метаноле с ДСТ, т.е. на 30,6%.

Содержание  $\text{CH}_x$  в ОГ при работе на ДТ уменьшается с 0,35% при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  до 0,10% при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ . Снижение составляет 71,4%. При работе на метаноле с ДСТ содержание непредельных углеводородов увеличивается с 0,10% при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  до 0,23% при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ , т.е. в 2,3 раза. При  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  содержание  $\text{CH}_x$  уменьшается с 0,35% при работе на ДТ до 0,10% при работе на метаноле с ДСТ, т.е. на 71,4%. При  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$  содержание углеводородов увеличивается с 0,10% при работе на ДТ до 0,23% при работе на метаноле с ДСТ. Увеличение составляет 2,3 раза.

При работе на ДТ содержание  $\text{CO}_2$  увеличивается с 3,5% при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  до 3,8% при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ . Увеличение равно 8,5%. При работе на метаноле с ДСТ содержание  $\text{CO}_2$  увеличивается с 3,9% при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  до 4,6% при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ , т.е. на 18%. Содержание  $\text{CO}_2$  при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  увеличивается с 3,5% при работе на ДТ до 3,9% при работе на метаноле с ДСТ. Увеличение составляет 11,4%. Содержание  $\text{CO}_2$  при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$  увеличивается с 3,9% при работе на ДТ до 4,6% при работе на метаноле с ДСТ, т.е. на 18%.

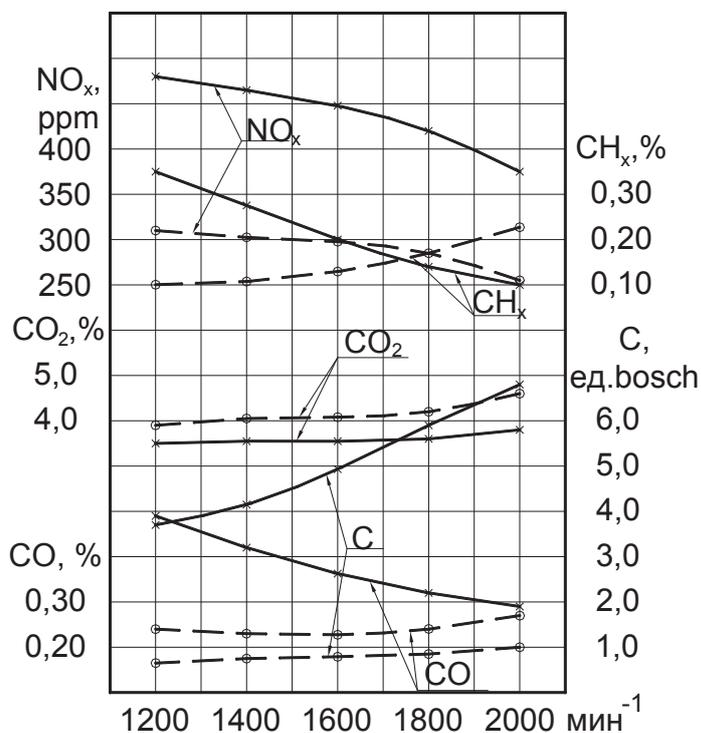


Рис. 1. Влияние применения метанола на содержание токсичных компонентов в ОГ в зависимости от изменения частоты вращения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ при  $\Theta_{\text{ДТ}} = 34^\circ$  и  $\Theta_{\text{М}} = 34^\circ:3/4:3/4$  дизельный процесс; — — — метанол с запальным ДТ

Дымность ОГ при работе на метаноле с ДСТ на всех скоростных режимах лежит ниже значений дымности при работе на ДТ. Дымность ОГ при работе на ДТ увеличивается с 3,7 ед. по шкале Bosch при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  до 6,8 ед. по шкале Bosch при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ . Увеличение составляет 83,8%. При работе на метаноле с ДСТ дымность ОГ увеличивается с 0,65 ед. по шкале Bosch при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  до 1,0 ед. по шкале Bosch при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ , т.е. на 53,8%.

При  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  дымность ОГ уменьшается с 3,7 ед. по шкале Bosch при работе на ДТ до 0,65 ед. по шкале Bosch при работе на метаноле с ДСТ, т.е. на 82,4%. При  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$  дымность ОГ уменьшается с 6,8 ед. по шкале Bosch при работе на ДТ до 1,0 ед. по шкале Bosch при работе на метаноле с ДСТ, т.е. на 85,3%.

При работе на ДТ содержание СО уменьшается с 0,49% при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  до 0,29% при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ . Уменьшение равно 40,5%. При работе на метаноле с ДСТ содержание СО увеличивается с 0,24% при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  до 0,27% при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ , т.е. на 12,5%. Содержание СО при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  уменьша-

ется с 0,49% при работе на ДТ до 0,24% при работе на метаноле с ДСТ. Снижение составляет 51%. Содержание СО при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$  снижается с 0,29% при работе на ДТ до 0,27% при работе на метаноле с ДСТ, т.е. на 6,9%.

Таким образом, при подаче 87% метанола и 7% запального ДТ получены следующие результаты:

- содержание  $\text{NO}_x$  в ОГ при работе дизеля на метаноле с ДСТ снижается от 32...35,4% в зависимости от изменения частоты вращения;
- снижение содержания сажи в ОГ при работе дизеля на метаноле с ДСТ составляет 82,4% и 85,3% при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  и  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$  соответственно;
- снижение содержания СО в ОГ при работе дизеля на метаноле с ДСТ составляет 51% при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  и до 6,9% при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ ;
- увеличение содержания  $\text{CO}_2$  в ОГ при работе дизеля на метаноле с ДСТ составляет от 11,4...18% в зависимости от изменения частоты вращения;
- при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  содержание  $\text{CH}_x$  в ОГ при работе дизеля на метаноле с ДСТ снижается на 71,4%, а при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$  увеличивается в 2,3 раза.

#### Литература:

1. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2007. — 129 с.
2. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Полевщиков А. С., Долгих М. А., Верстаков С. А. Эффективные и экологические показатели дизеля с двойной системой топливоподачи. Тракторы и сельхозмашины, 2011. — № 10, с. 8–10.
3. Чувашев, А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Санкт-Петербург, 2007. — 18 с.
4. Чувашев, А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2007. — 167с.
5. Чувашев, А. Н. Исследование показателей рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от значений установочных углов опережения впрыскивания топлив. Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 340–343.
6. Чувашев, А. Н. Характеристики тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на режиме максимального крутящего момента Молодой ученый. 2015. № 14 (94) с. 203–205.
7. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Показатели процесса сгорания дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения Молодой ученый. 2015. № 15 (95) с. 109–111.
8. Чувашев, А. Н. Характеристики тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения коленчатого вала. Технические науки: проблемы и перспективы: материалы III Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, июль 2015 г.). — СПб.: Свое издательство, 2015. — с. 77–78.
9. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226–229.
10. Анфилатов, А. А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229–232.
11. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 232–235.
12. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 235–238.
13. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 238–241.

14. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальное давление сгорания в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 117–120.
15. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальную осредненную температуру цикла в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 120–123.
16. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
17. Россохин, А. В. Влияние применения этанола-топливной эмульсии на показатели процесса сгорания и сажесодержания в цилиндре и отработавших газах дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 в зависимости от установочного УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 159–162.
18. Россохин, А. В. Влияние применения этанола-топливной эмульсии на эффективные показатели дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 в зависимости от частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 163–165.
19. Россохин, А. В. Влияние применения этанола-топливной эмульсии на экологические показатели дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 в зависимости от нагрузки // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 165–167.
20. Россохин, А. В. Показатели процесса сгорания и сажесодержания в цилиндре дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 при работе на дизельном топливе и этанола-топливной эмульсии в зависимости от угла поворота коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 168–171.
21. Россохин, А. В. Результаты исследований влияния применения этанола-топливной эмульсии на показатели процесса сгорания и сажесодержания в цилиндре и отработавших газах дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 в зависимости от нагрузки // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 171–174.
22. Лиханов, В. А., Россохин, А. В. Уточненный химизм процессов образования частиц сажи в цилиндре дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 при работе на этанола-топливной эмульсии // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 103–105.
23. Лиханов, В. А., Россохин, А. В. Уточненная математическая модель образования и выгорания частиц сажи в цилиндре дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 при работе на этанола-топливной эмульсии // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 106–109.

## Изменение показателей процесса сгорания и сажесодержания в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от угла поворота коленчатого вала

Лиханов Виталий Анатольевич, доктор технических наук, профессор;  
Россохин Алексей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент  
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

На рис. 1, а представлено влияние применения метанола с ДСТ на показатели сажесодержания и осредненную температуру газов в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от угла поворота коленчатого вала на номинальном режиме работы ( $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_c = 0,585 \text{ МПа}$ ) при  $\Theta_{\text{ДТ}} = 30^\circ$ .

При работе дизеля на ДТ массовая и относительная концентрации сажи достигают своего максимального значения через  $\varphi_{\text{Стах м расч.}} = 12^\circ$  п.к.в. после ВМТ.  $C_{\text{тах м расч.}}$  имеет значение  $4,2 \text{ г/м}^3$ , а  $g_{\text{дт расч. тах}} = 2,95 \text{ г/кг}$ . Далее процесс выгорания сажевых частиц начинает преобладать над процессом образования сажи, и концентрация сажи снижается до  $C_{\text{вых м расч.}} = 0,471 \text{ г/м}^3$  и  $g_{\text{вых м расч.}} = 0,287 \text{ г/кг}$  ( $\varphi_{\text{Свых}} = 140,0^\circ$  п.к.в. после ВМТ). Концентрации снижаются на 88,8%. Максимальная осредненная температура цикла достигает своего максимального значения при  $\varphi_{\text{Тзтах}} = 18^\circ$  п.к.в. после ВМТ и равна  $1920 \text{ К}$ .

При работе дизеля на метаноле с ДСТ при установочных УОВТ ДТ  $\Theta_{\text{ДТ}} = 30^\circ$  и метанола  $\Theta_{\text{М}} = 30^\circ$  массовая

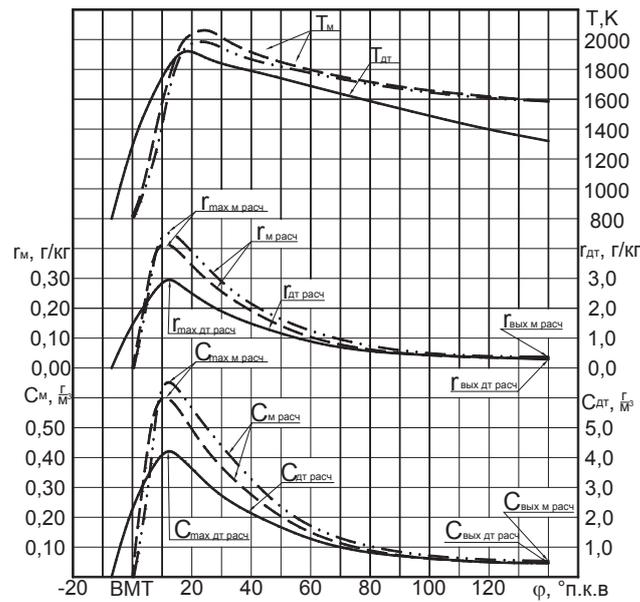
и относительная концентрации сажи достигают своего максимального значения через  $\varphi_{\text{Стах м расч.}} = 12^\circ$  п.к.в. после ВМТ.  $C_{\text{тах м расч.}}$  имеет значение  $0,65 \text{ г/м}^3$ , а  $g_{\text{тах м расч.}} = 0,45 \text{ г/кг}$ . Далее процесс выгорания сажевых частиц начинает преобладать над процессом образования сажи, и концентрация сажи снижается до  $C_{\text{вых м расч.}} = 0,053 \text{ г/м}^3$  и  $g_{\text{вых м расч.}} = 0,037 \text{ г/кг}$  ( $\varphi_{\text{Свых}} = 140,0^\circ$  п.к.в. после ВМТ). Концентрации снижаются на 91,8%. Максимальная осредненная температура цикла достигает своего максимального значения при  $\varphi_{\text{Тзтах}} = 23,5^\circ$  п.к.в. после ВМТ и равна  $2030 \text{ К}$ .

При работе дизеля на метаноле с ДСТ при установочных УОВТ ДТ  $\Theta_{\text{ДТ}} = 30^\circ$  и метанола  $\Theta_{\text{М}} = 34^\circ$  массовая и относительная концентрации достигают своего максимального значения через  $\varphi_{\text{Стах м расч.}} = 11^\circ$  п.к.в. после ВМТ.  $C_{\text{тах м расч.}}$  имеет значение  $0,6 \text{ г/м}^3$ , а  $g_{\text{тах м расч.}} = 0,415 \text{ г/кг}$ . Далее процесс выгорания сажевых частиц начинает преобладать над процессом образования сажи, и концентрация сажи снижается до  $C_{\text{вых м расч.}} = 0,045 \text{ г/м}^3$  и  $g_{\text{вых м расч.}} = 0,032 \text{ г/кг}$  ( $\varphi_{\text{Свых}} = 140,0^\circ$  п.к.в. после ВМТ). Концен-

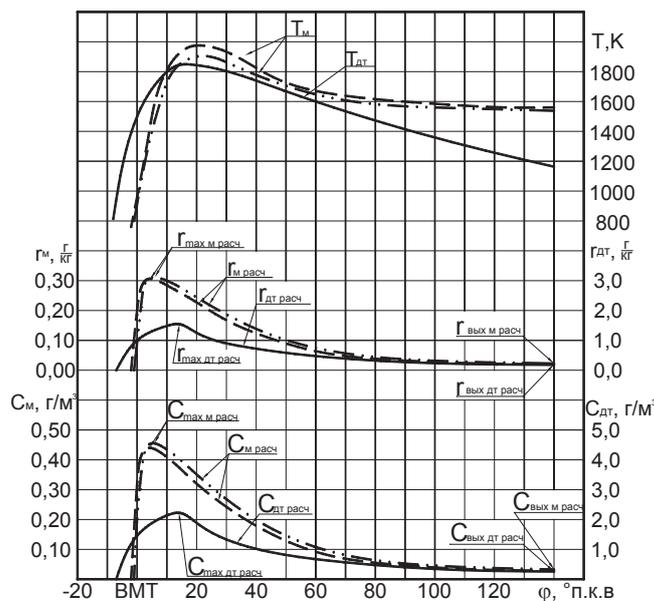
трации снижаются на 92,5%. Максимальная осредненная температура цикла достигает своего максимального значения при  $\varphi_{T_{\max}} = 24,5^\circ$  п.к.в. после ВМТ и равна 2110К.

Как видно из графиков, установочный УОВТ оказывает существенное влияние на показатели сажесодержания. При увеличении установочного УОВТ максимальная массовая концентрация сажи уменьшается с  $C_{\max \text{ м расч.}} = 0,65 \text{ г/м}^3$  при установочном УОВТ метанола  $\Theta_M = 30^\circ$  до  $C_{\max \text{ м расч.}} = 0,6 \text{ г/м}^3$  при установочном УОВТ метанола  $\Theta_M = 34^\circ$ . Снижение составляет 7,7%. Относительная концен-

трация снижается с  $\gamma_{\max \text{ м расч.}} = 0,45 \text{ г/кг}$  при  $\Theta_M = 30^\circ$  до  $\gamma_{\max \text{ м расч.}} = 0,415 \text{ г/кг}$  при  $\Theta_M = 34^\circ$ . Концентрация сажи в момент открытия выпускного клапана при увеличении установочного УОВТ тоже снижается. Массовая концентрация снижается с  $C_{\text{вых м расч.}} = 0,053 \text{ г/м}^3$  при  $\Theta_M = 30^\circ$  до  $C_{\text{вых м расч.}} = 0,045 \text{ г/м}^3$  при  $\Theta_M = 34^\circ$ . Снижение равно 15,1%. Относительная концентрация снижается с  $\gamma_{\text{вых м расч.}} = 0,037 \text{ г/кг}$  при угле впрыскивания метанола  $\Theta_M = 30^\circ$  до  $\gamma_{\text{вых м расч.}} = 0,032 \text{ г/кг}$  при установочном УОВТ метанола  $\Theta_M = 34^\circ$ .



а)



б)

Рис. 1. Влияние применения метанола на показатели сажесодержания и осредненную температуру газов в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ в зависимости от угла поворота коленчатого вала при  $\Theta_{\text{ДТ}} = 30^\circ$ : а) при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ ; б) при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ ;  $3/4$  дизельный процесс; — · — · — метанол с запальным ДТ,  $\Theta_M = 30^\circ$ ; — — — метанол с запальным ДТ,  $\Theta_M = 34^\circ$

На рис. 1, б представлено влияние применения метанола на показатели сажесодержания и осредненную температуру газов в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ в зависимости от угла поворота коленчатого вала на режиме максимального крутящего момента ( $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 0,594 \text{ МПа}$ ) при  $\Theta_{\text{ДТ}} = 30^\circ$ .

При работе дизеля на ДТ массовая и относительная концентрации сажи достигают своего максимального значения через  $\varphi_{\text{Стах дт расч.}} = 13,6^\circ$  п.к.в. после ВМТ.  $C_{\text{тах дт расч.}}$  имеет значение  $2,2 \text{ г/м}^3$ , а  $\gamma_{\text{тах дт расч.}} = 1,50 \text{ г/кг}$ . Далее процесс выгорания сажевых частиц начинает преобладать над процессом образования сажи, и концентрация сажи снижается до  $C_{\text{вых дт расч.}} = 0,260 \text{ г/м}^3$  и  $\gamma_{\text{вых дт расч.}} = 0,180 \text{ г/кг}$  ( $\varphi_{\text{Свых}} = 140,0^\circ$  п.к.в. после ВМТ). Концентрации снижаются на  $88,2\%$ . Максимальная осредненная температура цикла достигает своего максимального значения при  $\varphi_{\text{Тзтах}} = 16^\circ$  п.к.в. после ВМТ и равна  $1850 \text{ К}$ .

При работе дизеля на метаноле с ДСТ при установочных УОВТ ДТ  $\Theta_{\text{ДТ}} = 30^\circ$  и метанола  $\Theta_{\text{М}} = 30^\circ$  массовая и относительная концентрации сажи достигают своего максимального значения через  $\varphi_{\text{Стах м расч.}} = 5^\circ$  п.к.в. после ВМТ.  $C_{\text{тах м расч.}}$  имеет значение  $0,455 \text{ г/м}^3$ , а  $\gamma_{\text{тах м расч.}} = 0,312 \text{ г/кг}$ . Далее процесс выгорания сажевых частиц начинает преобладать над процессом образования сажи, и концентрация сажи снижается до  $C_{\text{вых м расч.}} = 0,033 \text{ г/м}^3$  и  $\gamma_{\text{вых м расч.}} = 0,023 \text{ г/кг}$  ( $\varphi_{\text{Свых}} = 140,0^\circ$  п.к.в. после ВМТ). Концентрации снижаются на  $92,7\%$ . Максимальная осредненная температура цикла достигает своего максимального значения при  $\varphi_{\text{Тзтах}} = 21,0^\circ$  п.к.в. после ВМТ и равна  $1900 \text{ К}$ .

#### Литература:

1. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2007. — 129 с.
2. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Полевщиков А. С., Долгих М. А., Верстаков С. А. Эффективные и экологические показатели дизеля с двойной системой топливоподачи. Тракторы и сельхозмашины, 2011. — № 10, с. 8–10.
3. Чувашев, А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Санкт-Петербург, 2007. — 18 с.
4. Чувашев, А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2007. — 167с.
5. Чувашев, А. Н. Исследование показателей рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от значений установочных углов опережения впрыскивания топлив. Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 340–343.
6. Чувашев, А. Н. Характеристики тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на режиме максимального крутящего момента Молодой ученый. 2015. № 14 (94) с. 203–205.
7. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Показатели процесса сгорания дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения Молодой ученый. 2015. № 15 (95) с. 109–111.
8. Чувашев, А. Н. Характеристики тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения коленчатого вала. Технические науки: проблемы и перспективы: материалы III Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, июль 2015 г.). — СПб.: Свое издательство, 2015. — с. 77–78.
9. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226–229.
10. Анфилатов, А. А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229–232.

При работе дизеля на метаноле с ДСТ при установочных УОВТ ДТ  $\Theta_{\text{ДТ}} = 30^\circ$  и метанола  $\Theta_{\text{М}} = 34^\circ$  массовая и относительная концентрации достигают своего максимального значения через  $\varphi_{\text{Стах м расч.}} = 4^\circ$  п.к.в. после ВМТ.  $C_{\text{тах м расч.}}$  имеет значение  $0,44 \text{ г/м}^3$ , а  $\gamma_{\text{тах м расч.}} = 0,306 \text{ г/кг}$ . Далее процесс выгорания сажевых частиц начинает преобладать над процессом образования сажи, и концентрация сажи снижается до  $C_{\text{вых м расч.}} = 0,028 \text{ г/м}^3$  и  $\gamma_{\text{вых м расч.}} = 0,019 \text{ г/кг}$  ( $\varphi_{\text{Свых}} = 140,0^\circ$  п.к.в. после ВМТ). Концентрации снижаются на  $92,5\%$ . Максимальная осредненная температура цикла достигает своего максимального значения при  $\varphi_{\text{Тзтах}} = 20,0^\circ$  п.к.в. после ВМТ и равна  $2020 \text{ К}$ .

Как видно из графиков, установочный УОВТ оказывает существенное влияние на показатели сажесодержания. При увеличении установочного УОВТ максимальная массовая концентрация сажи уменьшается с  $C_{\text{тах м расч.}} = 0,455 \text{ г/м}^3$  при установочном УОВТ метанола  $\Theta_{\text{М}} = 30^\circ$  до  $C_{\text{тах м расч.}} = 0,44 \text{ г/м}^3$  при установочном УОВТ метанола  $\Theta_{\text{М}} = 34^\circ$ . Снижение составляет  $3,3\%$ . А относительная концентрация снижается с  $\gamma_{\text{тах м расч.}} = 0,312 \text{ г/кг}$  при  $\Theta_{\text{М}} = 30^\circ$  до  $\gamma_{\text{тах м расч.}} = 0,306 \text{ г/кг}$  при  $\Theta_{\text{М}} = 34^\circ$ . Концентрация сажи в момент открытия выпускного клапана при увеличении установочного УОВТ тоже снижается. Массовая концентрация снижается с  $C_{\text{м расч. вых}} = 0,033 \text{ г/м}^3$  при  $\Theta_{\text{М}} = 30^\circ$  до  $C_{\text{м расч. вых}} = 0,028 \text{ г/м}^3$  при  $\Theta_{\text{М}} = 34^\circ$ . Снижение равно  $15,1\%$ . Относительная концентрация снижается с  $\gamma_{\text{м расч. вых}} = 0,023 \text{ г/кг}$  при угле впрыскивания метанола  $\Theta_{\text{М}} = 30^\circ$  до  $\gamma_{\text{м расч. вых}} = 0,019 \text{ г/кг}$  при установочном УОВТ метанола  $\Theta_{\text{М}} = 34^\circ$ .

11. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 232–235.
12. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 235–238.
13. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 238–241.
14. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальное давление сгорания в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 117–120.
15. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальную осредненную температуру цикла в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 120–123.
16. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
17. Россохин, А. В. Влияние применения этанола-топливной эмульсии на экологические показатели дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 в зависимости от нагрузки // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 165–167.
18. Россохин, А. В. Показатели процесса сгорания и сажесодержания в цилиндре дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 при работе на дизельном топливе и этанола-топливной эмульсии в зависимости от угла поворота коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 168–171.

## Показатели процессов сгорания и сажеобразования в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле

Лиханов Виталий Анатольевич, доктор технических наук, профессор;  
 Россохин Алексей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент  
 Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

На рис. 1, а представлено влияние применения метанола на показатели сажесодержания и осредненную температуру газов в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ в зависимости от угла поворота коленчатого вала на номинальном режиме работы ( $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_c = 0,585 \text{ МПа}$ ) при  $\Theta_{\text{ДТ}} = 34^\circ$ .

При работе дизеля на ДТ массовая и относительная концентрации сажи достигают своего максимального значения через  $\varphi_{\text{С}_{\text{тmax дт расч}}} = 12^\circ$  п.к.в. после ВМТ.  $\text{С}_{\text{тmax дт расч}}$  имеет значение  $4,2 \text{ г/м}^3$ , а  $\text{г}_{\text{тmax дт расч}} = 2,95 \text{ г/кг}$ . Далее процесс выгорания сажевых частиц начинает преобладать над процессом образования сажи, и концентрация сажи снижается до  $\text{С}_{\text{вых дт расч}} = 0,471 \text{ г/м}^3$  и  $\text{г}_{\text{вых дт расч}} = 0,287 \text{ г/кг}$  ( $\varphi_{\text{С}_{\text{вых}}} = 140,0^\circ$  п.к.в. после ВМТ). Концентрации снижаются на 88,8%. Максимальная осредненная температура цикла достигает своего максимального значения при  $\varphi_{\text{Т}_{\text{тmax}}} = 18^\circ$  п.к.в. после ВМТ и равна 1920 К.

При работе дизеля на метаноле с ДСТ при установочных УОВТ ДТ  $\Theta_{\text{ДТ}} = 34^\circ$  и метанола  $\Theta_{\text{М}} = 30^\circ$  массовая и относительная концентрации сажи достигают своего максимального значения через  $\varphi_{\text{С}_{\text{тmax м расч}}} = 11^\circ$  п.к.в. после ВМТ.  $\text{С}_{\text{тmax м расч}}$  имеет значение  $0,473 \text{ г/м}^3$ , а  $\text{г}_{\text{тmax м расч}} = 0,311 \text{ г/кг}$ . Далее процесс выгорания сажевых частиц начинает преобладать над процессом образования сажи, и концентрация сажи снижается до  $\text{С}_{\text{вых м расч}} = 0,045 \text{ г/м}^3$  и  $\text{г}_{\text{вых м расч}} = 0,031 \text{ г/кг}$  ( $\varphi_{\text{С}_{\text{вых}}} = 140,0^\circ$  п.к.в. после ВМТ). Концентрации снижаются на 90,5%.

При работе дизеля на метаноле с ДСТ при установочных УОВТ ДТ  $\Theta_{\text{ДТ}} = 34^\circ$  и метанола  $\Theta_{\text{М}} = 34^\circ$  массовая и относительная концентрации достигают своего максимального значения через  $\varphi_{\text{С}_{\text{тmax м расч}}} = 10^\circ$  п.к.в. после ВМТ.  $\text{С}_{\text{тmax м расч}}$  имеет значение  $0,356 \text{ г/м}^3$ , а  $\text{г}_{\text{тmax м расч}} = 0,235 \text{ г/кг}$ . Далее процесс выгорания сажевых частиц начинает преобладать над процессом образования сажи, и концентрация сажи снижается до  $\text{С}_{\text{вых м расч}} = 0,028 \text{ г/м}^3$  и  $\text{г}_{\text{вых м расч}} = 0,019 \text{ г/кг}$  ( $\varphi_{\text{С}_{\text{вых}}} = 140,0^\circ$  п.к.в. после ВМТ). Концентрации снижаются на 93,0%. Максимальная осредненная температура цикла достигает своего максимального значения при  $\varphi_{\text{Т}_{\text{тmax}}} = 21,0^\circ$  п.к.в. после ВМТ и равна 1960 К.

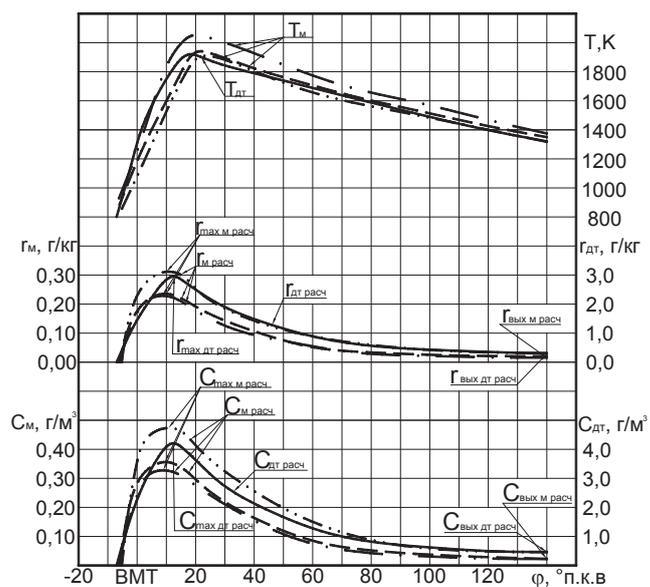
При работе дизеля на метаноле с ДСТ при установочных УОВТ ДТ  $\Theta_{\text{ДТ}} = 34^\circ$  и метанола  $\Theta_{\text{М}} = 38^\circ$  массовая и относительная концентрации достигают своего максимального значения через  $\varphi_{\text{С}_{\text{тmax м расч}}} = 9^\circ$  п.к.в. после ВМТ.  $\text{С}_{\text{тmax м расч}}$  имеет значение  $0,327 \text{ г/м}^3$ , а  $\text{г}_{\text{тmax м расч}} = 0,283 \text{ г/кг}$ . Далее процесс выгорания сажевых частиц начинает преобладать над процессом образования сажи, и концентрация сажи снижается до  $\text{С}_{\text{вых м расч}} = 0,028 \text{ г/м}^3$  и  $\text{г}_{\text{вых м расч}} = 0,019 \text{ г/кг}$  ( $\varphi_{\text{С}_{\text{вых}}} = 140,0^\circ$  п.к.в. после ВМТ). Концентрации снижаются на 92,5%. Максимальная осредненная температура цикла достигает своего максимального значения при  $\varphi_{\text{Т}_{\text{тmax}}} = 20,0^\circ$  п.к.в. после ВМТ и равна 2050 К.

Как видно из графиков, установочный УОВТ оказывает существенное влияние на показатели сажесодержания. При увеличении установочного УОВТ максимальная мас-

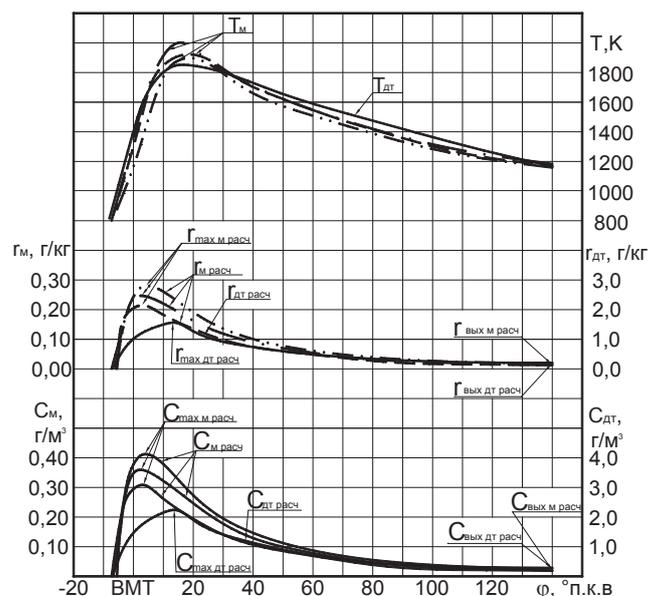
совая концентрация сажи уменьшается с  $C_{\text{тах м расч.}} = 0,473$  г/м<sup>3</sup> при установочном УОВТ метанола  $\Theta_M = 30^\circ$  до  $C_{\text{тах м расч.}} = 0,327$  г/м<sup>3</sup> при установочном УОВТ метанола  $\Theta_M = 38^\circ$ . Снижение составляет 30,9%. Относительная концентрация снижается с  $\gamma_{\text{тах м расч.}} = 0,311$  г/кг при  $\Theta_M = 30^\circ$  до  $\gamma_{\text{тах м расч.}} = 0,283$  г/кг при  $\Theta_M = 38^\circ$ . Концентрация сажи в момент открытия выпускного клапана при увеличении установочного УОВТ тоже снижается. Массовая концентрация снижается с  $C_{\text{вых м расч.}} = 0,045$  г/м<sup>3</sup> при  $\Theta_M = 30^\circ$  до  $C_{\text{вых м расч.}} = 0,028$  г/м<sup>3</sup> при  $\Theta_M = 38^\circ$ . Снижение равно

37,8%. Относительная концентрация снижается с  $\gamma_{\text{вых м расч.}} = 0,031$  г/кг при установочном УОВТ метанола  $\Theta_M = 30^\circ$  до  $\gamma_{\text{вых м расч.}} = 0,019$  г/кг при установочном УОВТ метанола  $\Theta_M = 34^\circ$ .

На рис. 1, б представлено влияние применения метанола на показатели сажесодержания и средненную температуру газов в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ в зависимости от угла поворота коленчатого вала на режиме максимального крутящего момента ( $n = 1400$  мин<sup>-1</sup>,  $p_e = 0,594$  МПа) при  $\Theta_{\text{ДТ}} = 34^\circ$ .



а)



б)

Рис. 1. Влияние применения метанола на показатели сажесодержания и температуру в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ в зависимости от угла поворота коленчатого вала при  $\Theta_{\text{ДТ}} = 34^\circ$ : а) при  $n = 1800$  мин<sup>-1</sup>; б) при  $n = 1400$  мин<sup>-1</sup>;  $\frac{3}{4}$  дизельный процесс; — · — · — метанол с запальным ДТ,  $\Theta_M = 38^\circ$ ; — — — метанол с запальным ДТ,  $\Theta_M = 34^\circ$ ; — · — · — метанол с запальным ДТ,  $\Theta_M = 30^\circ$

При работе дизеля на ДТ массовая и относительная концентрации сажи достигают своего максимального значения через  $\varphi_{\text{Сmax дт расч}} = 13,6^\circ$  п.к.в. после ВМТ.  $C_{\text{max дт расч}}$  имеет значение  $2,2 \text{ г/м}^3$ , а  $\gamma_{\text{max дт расч}} = 1,50 \text{ г/кг}$ . Далее процесс выгорания сажевых частиц начинает преобладать над процессом образования сажи, и концентрация сажи снижается до  $C_{\text{вых м расч}} = 0,260 \text{ г/м}^3$  и  $\gamma_{\text{вых дт расч}} = 0,180 \text{ г/кг}$  ( $\varphi_{\text{Свых}} = 140,0^\circ$  п.к.в. после ВМТ). Концентрации снижаются на 88,2%. Максимальная осредненная температура цикла достигает своего максимального значения при  $\varphi_{\text{Тzmax}} = 16^\circ$  п.к.в. после ВМТ и равна 1850 К.

При работе дизеля на метаноле с ДСТ при установочных УОВТ ДТ  $\Theta_{\text{ДТ}} = 34^\circ$  и метанола  $\Theta_{\text{М}} = 30^\circ$  массовая и относительная концентрации сажи достигают своего максимального значения через  $\varphi_{\text{Сmax м расч}} = 4^\circ$  п.к.в. после ВМТ.  $C_{\text{max м расч}}$  имеет значение  $0,412 \text{ г/м}^3$ , а  $\gamma_{\text{max м расч}} = 0,28 \text{ г/кг}$ . Далее процесс выгорания сажевых частиц начинает преобладать над процессом образования сажи, и концентрация сажи снижается до  $C_{\text{вых м расч}} = 0,028 \text{ г/м}^3$  и  $\gamma_{\text{вых м расч}} = 0,019 \text{ г/кг}$  ( $\varphi_{\text{Свых}} = 140,0^\circ$  п.к.в. после ВМТ). Концентрации снижаются на 93,0%. Максимальная осредненная температура цикла достигает своего максимального значения при  $\varphi_{\text{Тzmax}} = 19,0^\circ$  п.к.в. после ВМТ и равна 1900 К.

При работе дизеля на метаноле с ДСТ при установочных УОВТ ДТ  $\Theta_{\text{ДТ}} = 34^\circ$  и метанола  $\Theta_{\text{М}} = 34^\circ$  массовая и относительная концентрации достигают своего макси-

мального значения через  $\varphi_{\text{Сmax м расч}} = 3,0^\circ$  после ВМТ.  $C_{\text{max м расч}}$  имеет значение  $0,307 \text{ г/м}^3$ , а  $\gamma_{\text{max м расч}} = 0,213 \text{ г/кг}$ . Далее процесс выгорания сажевых частиц начинает преобладать над процессом образования сажи, и концентрация сажи снижается до  $C_{\text{вых м расч}} = 0,018 \text{ г/м}^3$  и  $\gamma_{\text{вых м расч}} = 0,012 \text{ г/кг}$  ( $\varphi_{\text{Свых}} = 140,0^\circ$  п.к.в. после ВМТ). Концентрации снижаются на 93,0%. Максимальная осредненная температура цикла достигает своего максимального значения при  $\varphi_{\text{Тzmax}} = 18,0^\circ$  п.к.в. после ВМТ и равна 1900 К.

Как видно из графиков, установочный УОВТ оказывает существенное влияние на показатели сажесодержания. При увеличении установочного УОВТ максимальная массовая концентрация сажи уменьшается с  $C_{\text{max м расч}} = 0,412 \text{ г/м}^3$  при установочном УОВТ метанола  $\Theta_{\text{М}} = 30^\circ$  до  $C_{\text{max м расч}} = 0,307 \text{ г/м}^3$  при установочном УОВТ метанола  $\Theta_{\text{М}} = 34^\circ$ . Снижение составляет 25,5%. А относительная концентрация снижается с  $\gamma_{\text{max м расч}} = 0,28 \text{ г/кг}$  при  $\Theta_{\text{М}} = 30^\circ$  до  $\gamma_{\text{max м расч}} = 0,213 \text{ г/кг}$  при  $\Theta_{\text{М}} = 34^\circ$ . Концентрация сажи в момент открытия выпускного клапана при увеличении установочного УОВТ тоже снижается. Массовая концентрация снижается с  $C_{\text{вых м расч}} = 0,028 \text{ г/м}^3$  при  $\Theta_{\text{М}} = 30^\circ$  до  $C_{\text{вых м расч}} = 0,018 \text{ г/м}^3$  при  $\Theta_{\text{М}} = 38^\circ$ . Снижение равно 15,1%. Относительная концентрация снижается с  $\gamma_{\text{вых м расч}} = 0,019 \text{ г/кг}$  при установочном УОВТ метанола  $\Theta_{\text{М}} = 30^\circ$  до  $\gamma_{\text{вых м расч}} = 0,012 \text{ г/кг}$  при установочном УОВТ метанола  $\Theta_{\text{М}} = 34^\circ$ .

#### Литература:

1. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливopодачи: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2007. — 129 с.
2. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Полевщиков А. С., Долгих М. А., Верстаков С. А. Эффективные и экологические показатели дизеля с двойной системой топливopодачи. Тракторы и сельхозмашины, 2011. — № 10, с. 8—10.
3. Чувашев, А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливopодачи. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Санкт-Петербург, 2007. — 18 с.
4. Чувашев, А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливopодачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2007. — 167с.
5. Чувашев, А. Н. Исследование показателей рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от значений установочных углов опережения впрыскивания топлив. Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 340—343.
6. Чувашев, А. Н. Характеристики тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на режиме максимального крутящего момента Молодой ученый. 2015. № 14 (94) с. 203—205.
7. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Показатели процесса сгорания дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения Молодой ученый. 2015. № 15 (95) с. 109—111.
8. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226—229.
9. Анфилатов, А. А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229—232.
10. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 232—235.
11. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 235—238.
12. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 238—241.

13. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
14. Россохин, А. В. Результаты исследований влияния применения этанола-топливной эмульсии на показатели процесса сгорания и сажесодержания в цилиндре и отработавших газах дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 в зависимости от нагрузки // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 171–174.
15. Россохин, А. В. Влияние применения этанола-топливной эмульсии на экологические показатели дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 в зависимости от нагрузки // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 165–167.
16. Россохин, А. В. Показатели процесса сгорания и сажесодержания в цилиндре дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 при работе на дизельном топливе и этанола-топливной эмульсии в зависимости от угла поворота коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 168–171.

## Влияние применения присадок на стабильность ЭТЭ

Лиханов Виталий Анатольевич, доктор технических наук, профессор;  
 Чувашев Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент  
 Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

*В Вятской ГСХА на базе кафедры тепловых двигателей, автомобилей и тракторов осуществлена разработка дизеля для работы на этанола-топливной эмульсии. В работе приводится анализ полученных результатов.*

**Ключевые слова:** дизель, эмульсия.

На рисунке 1 представлены графики стабильности ЭТЭ с применением присадки сукцинимидной С-5А. Из графика видно, что максимальную стабильность имеет ЭТЭ с содержанием этанола 50%, это связано с прямым типом эмульсии — масло в воде. Можно отметить, что увеличение концентрации присадки до 1,5% снижает стабильность эмульсии от 84 минут при 0,5% присадки до 63 минут при 1,5%, при увеличении концентрации присадки до 2,0% стабильность вырастает до 76 минут. Все остальные ЭТЭ с увеличением концентрации спирта

имеют тенденцию к снижению стабильности от 37 мин при концентрации этанола 10% до 2,6 мин при — 40%.

С увеличением концентрации присадки в ЭТЭ с содержанием этанола от 10%, 30%, 40% наблюдается рост седиментативной устойчивости до  $K_n = 1,5\%$ , после чего происходит некоторое снижение. В ЭТЭ содержащей 25% этанола с концентрацией от 0,5 до 1,5% происходит рост седиментативной устойчивости с 4,1 мин до 5,2 мин, дальнейшее увеличение содержания присадки не приводит к росту седиментативной устойчивости [1–15].

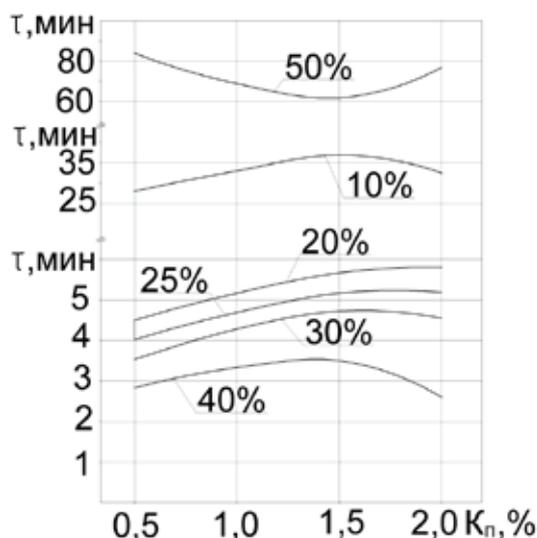


Рис. 1. Влияние присадки сукцинимид (С-5А) на стабильность ЭТЭ без содержания воды;  $K_n$  — концентрация присадки; 10, 20, 30, 40, 50% — содержание этанола в ЭТЭ

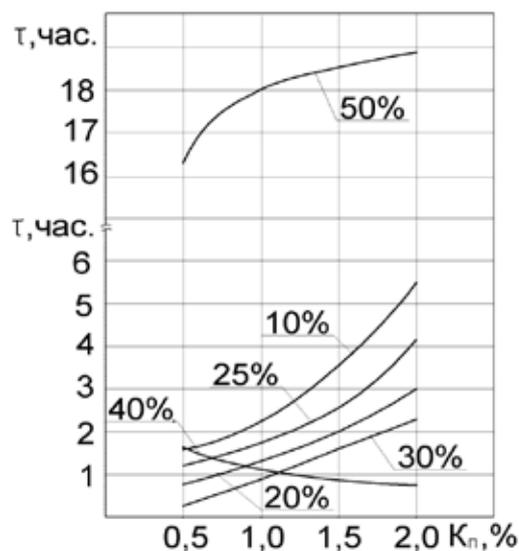


Рис. 2. Влияние присадки сукцинимид (С-5А) на стабильность ЭТЭ с содержанием воды 7% (по массе);  $K_p$  — концентрация присадки; 10, 20, 30, 40, 50% — содержание этанола в ЭТЭ

На рисунке 2 показаны графики стабильности ЭТЭ с присадкой С — 5 А, водой, содержание которой составляет 7,0%. Из графиков видно, что с введением воды в эмульсию седиментативная устойчивость вырастает на несколько порядков. Например, стабильность ЭТЭ с содержанием этанола 50% возрастает с 16,3 часов, при концентрации присадки 0,5% до 18,9 часов, при увеличении содержания присадки до 2,0%. Таким образом, сохраняется тенденция роста седиментационной устойчивости при увеличении концентрации присадки. Вследствие сближения плотностей несмешивающихся жидкостей, т.е. спирта с водой и дизельного топлива с присадкой происходит смещение графиков ЭТЭ с содержанием этанола 20, 30, 40% в сторону увеличения деэмульсирующих свойств. Также

сохраняется общая тенденция эмульсий к увеличению стабильности с увеличением концентрации присадки. Исключение составляет стабильность ЭТЭ с 40% этанола — это связано с тем, что происходит переход типов эмульсий от обратной к прямой, также седиментация носит обратный характер, т.е. происходит всплывание дисперсной среды. У ЭТЭ с 25% этанола процесс седиментации проявляется в виде появления пузырьков в нижней части пробы, которые постепенно увеличиваются в объеме, образуя разделённую фазу. Это объясняется приближенными плотностями дисперсной среды и разделяющейся фазы [16–29]. Стабильность ЭТЭ с 25% этанола составляет 1,2 часа, при 0,5% содержания присадки и достигает 4,1 часа при 2,0% содержания присадки.

Литература:

1. Лиханов, В.А., Россохин, А.В. Исследование процессов сажеобразования и сажесодержания в цилиндре быстроходного дизеля с турбонаддувом Д-245.12С при работе на компримированном природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 223–226.
2. Софронов, М.В., Россохин А.В. Влияние применения этанола-топливной эмульсии на экологические показатели дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от нагрузки // Сборник: молодежная наука 2014: технологии, инновации материалы всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 104–107.
3. Россохин, А.В. Показатели процесса сгорания и сажесодержания в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на ДТ и ЭТЭ в зависимости от угла поворота коленчатого вала // Сборник: молодежная наука 2014: технологии, инновации материалы всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 98–101.
4. Лиханов, В.А., Россохин А.В. Особенности теплообмена излучением в цилиндре дизелей при работе на газомоторном топливе // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 10–1. с. 14–17.
5. Кузьмин, В.А., Заграй И.А., Россохин А.В., Рукавишников Р.В. Определение размеров частиц сажи на различных участках системы выпуска дизеля // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2013. № 11–12. с. 3–10.
6. Лиханов, В.А., Россохин А.В., Чупраков А.И. Снижение выбросов сажи с отработавшими газами дизелей путем применения альтернативных топлив // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 9. с. 13–16.

7. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Полевщиков А. С. Влияние этанола на показатели дизеля Д21А1 // Автомобильная промышленность. 2011. № 12. с. 26–27.
8. Россохин, А. В. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на природном газе путем снижения дымности отработавших газов // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Киров, 2006.
9. Лиханов, В. А., Лопарев А. А., Рудаков Л. В., Россохин А. В. Улучшение эффективных показателей дизеля с турбонаддувом путем применения природного газа // Тракторы и сельхозмашины. 2006. № 12. с. 15–19.
10. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Олейник М. А., Рудаков Л. В. Улучшение экологических показателей дизеля с турбонаддувом путем применения природного газа // Тракторы и сельхозмашины. 2006. № 9. с. 8–10.
11. Россохин, А. В. Влияние применения альтернативных топлив на процессы образования и окисления сажевых частиц в цилиндре дизеля с камерой сгорания типа ЦНИДИ // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 152–154.
12. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эффективных показателей тракторного дизеля путем применения компримированного природного газа и рециркуляции отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсий // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 7. с. 12–15.
13. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Влияние применения природного газа и рециркуляции отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсий на содержание токсичных компонентов в ОГ // Транспорт на альтернативном топливе. 2015. № 4 (46). с. 42–47.
14. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследования эффективных и экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на природном газе с рециркуляцией отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсиях // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 5–1. с. 22–25.
15. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этанола-топливной эмульсии // Известия Международной академии аграрного образования. 2013. Т. 4. № 16. с. 170–173.
16. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование эффективных показателей дизеля при работе на природном газе, метанола- и этанола-топливных эмульсиях // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 4–1 (35). с. 79–81.
17. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование экологических показателей дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метанола- и этанола топливных эмульсиях // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 3 (16). с. 26–28.
18. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование показателей процесса сгорания газодизеля при работе с рециркуляцией отработавших газов // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 33–36.
19. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Результаты исследований содержания оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 5–1. с. 66–68.
20. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование нагрузочного режима дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метанола- и этанола топливных эмульсиях // Потенциал современной науки. 2015. № 3 (11). с. 40–44.
21. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Изменение образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 4. с. 3–5.
22. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Анфилатов А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путём применения метанола с использованием двойной системы топливоподачи // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 5. с. 5–8.
23. Анфилатов, А. А. Исследование токсичности на скоростном режиме дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 47–50.
24. Чупраков, А. И. Возможность использования оксигенатных топлив в дизельных двигателях. // Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики «АНТЭ-2009»: Материалы V Всероссийской научно-технической конференции. — Казань: КГУ им. А. Н. Туполева, 2009. — С.58–62.
25. Зонов, А. В., Чупраков А. И., Шаромов И. М. Влияние применения этанола-топливной эмульсии в дизеле 4Ч 11,0/12,5 на мощностные и экономические показатели в зависимости от изменения нагрузки // Сборник научных трудов международной конференции Двигатель-2010, посвященной 180-летию МГТУ им. Н. Э. Баумана — М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. — с. 390–392.
26. Шаромов, И. М., Зонов А. В., Чупраков А. И. Анализ свойств этанола-топливных эмульсий // Сборник научных трудов международной конференции Двигатель-2010, посвященной 180-летию МГТУ им. Н. Э. Баумана — М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. — с. 416–420.
27. Лиханов, В. А., Чупраков А. И., Зонов А. В., Шаромов И. М. Влияние применения этанола-топливных эмульсий на индикаторные, экологические показатели и характеристики тепловыделения дизеля. // Тракторы и сельхоз-

машины: Ежемесячный научно-практический журнал. — М: Редакция журнала «ТСМ», 2011. — Вып. № 9. — С.13–16.

28. Лиханов, В. А., Чупраков А. И., Зонов А. В., Шаромов И. М. Влияние применения этанола-топливных эмульсий на эффективные показатели дизеля 4Ч 11,0/12,5. // Транспорт на альтернативном топливе: журнал. — М, август 2011. — Вып. № 4. — С.50–53.
29. Лиханов, В. А., Чупраков А. И., Зонов А. В., Шаромов И. М. Этаноло-топливная эмульсия и ее влияние на характеристики дизеля Д-240 // Автомобильная промышленность, 2012, № 3. — С.28–29.

### Обоснование выбора оптимальной эмульсии

Лиханов Виталий Анатольевич, доктор технических наук, профессор;  
 Чувашев Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент  
 Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

*В Вятской ГСХА на базе кафедры тепловых двигателей, автомобилей и тракторов осуществлена разработка дизеля для работы на этанола-топливной эмульсии. В работе приводится анализ полученных результатов.*

**Ключевые слова:** дизель, эмульсия.

На рисунке 1 изображен график динамики распада ЭТЭ с содержанием этанола 25% в зависимости от концентрации присадки сукцинимидной (С-5А). Как видно из представленных графиков увеличение концентрации присадки способствует значительному снижению скорости распада, что при движении транспортного средства позволяет дополнительно сохранять однородность эмульсии продолжительное время. На данной трехмерной модели по оси ординат

представлено отношение величины отстоя или «сливок» к общей высоте пробы, выраженной в процентном отношении [1–15]. Время распада 10% ЭТЭ при концентрации присадки 0,5 составляет 0,7 часа, при  $K_n=2,0$  время распада составляет 3,8 часа. Расслоение 30% эмульсии происходит за 2,2 часа, при  $K_n=0,5$  и за 12,8 часа при  $K_n=2,0$ . Таким образом, при увеличении содержания присадки происходит значительное увеличение времени распада ЭТЭ.

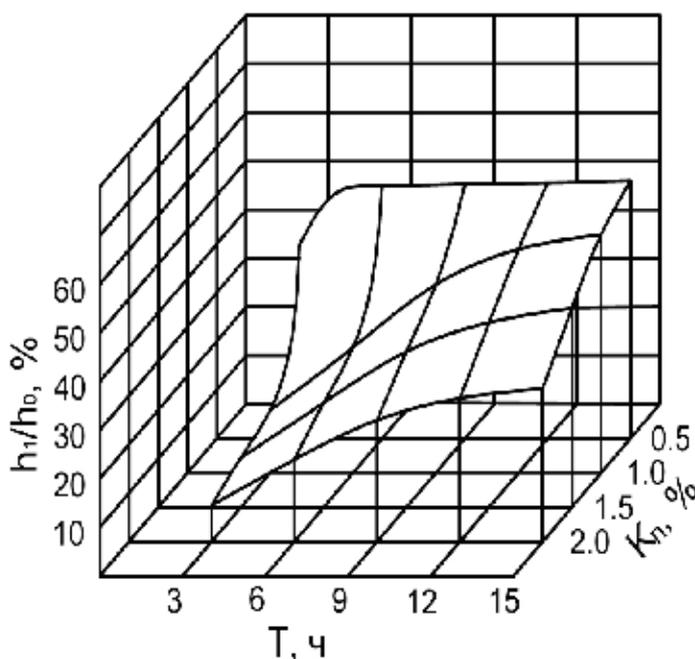


Рис. 1. Скорость протекания процесса седиментации ЭТЭ с содержанием этанола 25% и воды 7% в зависимости от концентрации присадки Сукцинимид С-5А:  $K_n$  — концентрация присадки,  $h_1/h_0$  — отношение величины отстоя или «сливок» к общей высоте пробы

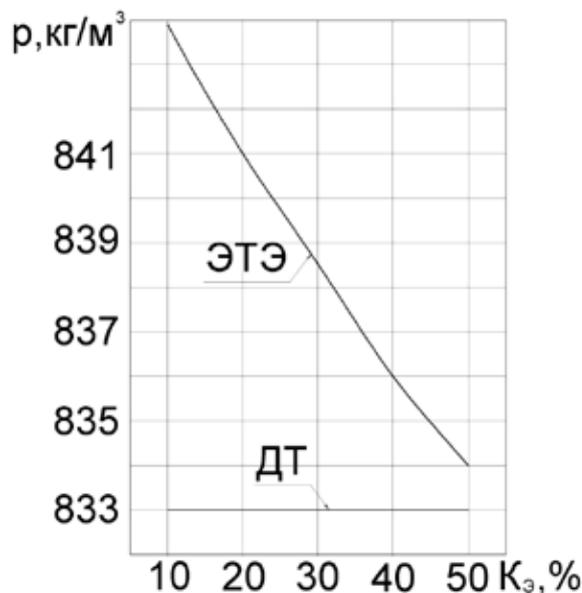


Рис. 2. Влияние содержания этанола на плотность ЭТЭ:  $\rho$  — плотность эмульсий, кг/м<sup>3</sup>;  $K_э$  — содержание этанола, %

На рисунке 2 показана плотность ЭТЭ с присадкой в зависимости от содержания этанола. Данный график имеет нисходящую линейную зависимость. С увеличением содержания этанола в эмульсии происходит снижение плотности — это связано с изменением концентрации вводимых в эмульсию компонентов, а точнее спирта, который имеет низкую плотность. По сравнению с исходным дизельным топливом плотность эмульсий выше. Однозначной зависимости между плотностью ЭТЭ и стабильностью не наблюдается. Плотность применяемого топлива составляет 833 кг/м<sup>3</sup>, а этанола — 806 кг/м<sup>3</sup>. При содержании этанола в ЭТЭ 25%  $\rho = 839,7$  кг/м<sup>3</sup> [16–29].

На основании проведенных экспериментальных исследований введение в состав топливных эмульсий воды зна-

чительно увеличивает их стабильность. Максимальная стабильность достигается при 50% этанола в ЭТЭ, это связано с переходом на прямой тип эмульсии («масло в воде»). Применение эмульсий с содержанием этанола выше 25% в дизеле недопустимо ввиду повышенной «жесткости» работы двигателя и пропусками воспламенения горючей смеси.

Для проведения дальнейших испытаний на двигателе в качестве оптимальной для дизеля 4Ч 11,0/12,5 была выбрана эмульсия со следующим составом: 25% — этанола, 0,5% — присадки сукцинимидной С-5А, 7% — воды и 67,5% — ДТ. Количественное содержание присадки выбиралось из условий экономической целесообразности. Последующие испытания проводились на данном составе эмульсий.

#### Литература:

1. Лиханов, В.А., Россохин, А.В. Исследование процессов сажеобразования и сажесодержания в цилиндре быстроходного дизеля с турбонаддувом Д-245.12С при работе на компримированном природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 223–226.
2. Софронов, М.В., Россохин А.В. Влияние применения этанола-топливной эмульсии на экологические показатели дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от нагрузки // Сборник: молодежная наука 2014: технологии, инновации материалы всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 104–107.
3. Россохин, А.В. Показатели процесса сгорания и сажесодержания в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на ДТ и ЭТЭ в зависимости от угла поворота коленчатого вала // Сборник: молодежная наука 2014: технологии, инновации материалы всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 98–101.
4. Лиханов, В.А., Россохин А.В. Особенности теплообмена излучением в цилиндре дизелей при работе на газомоторном топливе // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 10–1. с. 14–17.
5. Кузьмин, В.А., Заграй И.А., Россохин А.В., Рукавишников Р.В. Определение размеров частиц сажи на различных участках системы выпуска дизеля // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2013. № 11–12. с. 3–10.

6. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Чупраков А. И. Снижение выбросов сажи с отработавшими газами дизелей путем применения альтернативных топлив // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 9. с. 13–16.
7. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Полевщиков А. С. Влияние этанола на показатели дизеля Д21А1 // Автомобильная промышленность. 2011. № 12. с. 26–27.
8. Россохин, А. В. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на природном газе путем снижения дымности отработавших газов // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Киров, 2006.
9. Лиханов, В. А., Лопарев А. А., Рудаков Л. В., Россохин А. В. Улучшение эффективных показателей дизеля с турбонаддувом путем применения природного газа // Тракторы и сельхозмашины. 2006. № 12. с. 15–19.
10. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Олейник М. А., Рудаков Л. В. Улучшение экологических показателей дизеля с турбонаддувом путем применения природного газа // Тракторы и сельхозмашины. 2006. № 9. с. 8–10.
11. Россохин, А. В. Влияние применения альтернативных топлив на процессы образования и окисления сажевых частиц в цилиндре дизеля с камерой сгорания типа ЦНИДИ // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 152–154.
12. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эффективных показателей тракторного дизеля путем применения компримированного природного газа и рециркуляции отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсий // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 7. с. 12–15.
13. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Влияние применения природного газа и рециркуляции отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсий на содержание токсичных компонентов в ОГ // Транспорт на альтернативном топливе. 2015. № 4 (46). с. 42–47.
14. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследования эффективных и экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на природном газе с рециркуляцией отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсиях // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 5–1. с. 22–25.
15. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этанола-топливной эмульсии // Известия Международной академии аграрного образования. 2013. Т. 4. № 16. с. 170–173.
16. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование эффективных показателей дизеля при работе на природном газе, метанола- и этанола-топливных эмульсиях // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 4–1 (35). с. 79–81.
17. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование экологических показателей дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метанола- и этанола топливных эмульсиях // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 3 (16). с. 26–28.
18. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование показателей процесса сгорания газодизеля при работе с рециркуляцией отработавших газов // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 33–36.
19. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Результаты исследований содержания оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 5–1. с. 66–68.
20. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование нагрузочного режима дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метанола- и этанола топливных эмульсиях // Потенциал современной науки. 2015. № 3 (11). с. 40–44.
21. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Изменение образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 4. с. 3–5.
22. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Анфилатов А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путём применения метанола с использованием двойной системы топливоподачи // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 5. с. 5–8.
23. Анфилатов, А. А. Исследование токсичности на скоростном режиме дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 47–50.
24. Чупраков, А. И. Возможность использования оксигенатных топлив в дизельных двигателях. // Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики «АНТЭ-2009»: Материалы V Всероссийской научно-технической конференции. — Казань: КГУ им. А. Н. Туполева, 2009. — С. 58–62.
25. Зонов, А. В., Чупраков А. И., Шаромов И. М. Влияние применения этанола-топливной эмульсии в дизеле 4Ч 11,0/12,5 на мощностные и экономические показатели в зависимости от изменения нагрузки // Сборник научных трудов международной конференции Двигатель-2010, посвященной 180-летию МГТУ им. Н. Э. Баумана — М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. — с. 390–392.
26. Шаромов, И. М., Зонов А. В., Чупраков А. И. Анализ свойств этанола-топливных эмульсий // Сборник научных трудов международной конференции Двигатель-2010, посвященной 180-летию МГТУ им. Н. Э. Баумана — М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. — с. 416–420.

27. Лиханов, В. А., Чупраков А. И., Зонов А. В., Шаромов И. М. Влияние применения этанола-топливных эмульсий на индикаторные, экологические показатели и характеристики тепловыделения дизеля. // Тракторы и сельхозмашины: Ежемесячный научно-практический журнал. — М: Редакция журнала «ТСМ», 2011. — Вып. № 9. — С.13–16.
28. Лиханов, В. А., Чупраков А. И., Зонов А. В., Шаромов И. М. Влияние применения этанола-топливных эмульсий на эффективные показатели дизеля 4Ч 11,0/12,5. // Транспорт на альтернативном топливе: журнал. — М, август 2011. — Вып. № 4. — С.50–53.
29. Лиханов, В. А., Чупраков А. И., Зонов А. В., Шаромов И. М. Этаноло-топливная эмульсия и ее влияние на характеристики дизеля Д-240 // Автомобильная промышленность, 2012, № 3. — С.28–29.

## Совмещенные индикаторные диаграммы дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на ЭТЭ

Лиханов Виталий Анатольевич, доктор технических наук, профессор;  
 Чупраков Андрей Иванович, кандидат технических наук, доцент  
 Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

В Вятской ГСХА на базе кафедры тепловых двигателей, автомобилей и тракторов осуществлена разработка дизеля для работы на этанола-топливной эмульсии. В работе приводится анализ полученных результатов.

**Ключевые слова:** дизель, эмульсия.

На рисунке 1 представлены совмещенные индикаторные диаграммы рабочего процесса дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на ЭТЭ, снятые при установочных углах опережения впрыскивания ЭТЭ  $\Theta_{\text{впр. ЭТЭ}} = 20^\circ; 23^\circ; 26^\circ$  и  $29^\circ$ , при номинальной частоте вращения коленчатого вала двигателя. Как и при работе дизеля на ДТ, при более позднем впрыскивании снижается максимальное давление цикла  $p_{z \text{ max}}$ . Если при оптимальном значении

установочного УОВТ ( $\Theta_{\text{впр. ЭТЭ}} = 23^\circ$ ) максимальное значение давления газов равно  $p_{z \text{ max}} = 8,9$  МПа и достигается при угле  $\varphi_z = 10^\circ$  п.к.в. после ВМТ, то при большем значении  $\Theta_{\text{впр. ЭТЭ}} = 26^\circ$  давление газов в цилиндре возрастает до  $p_{z \text{ max}} = 9,6$  МПа и достигается при угле  $\varphi_z = 7,0^\circ$  п.к.в. после ВМТ. При меньшем значении  $\Theta_{\text{впр. ЭТЭ}} = 20^\circ$  давление газов в цилиндре понижается до  $p_{z \text{ max}} = 8,3$  МПа и достигается при угле  $\varphi_z = 13,0^\circ$  п.к.в. после ВМТ.

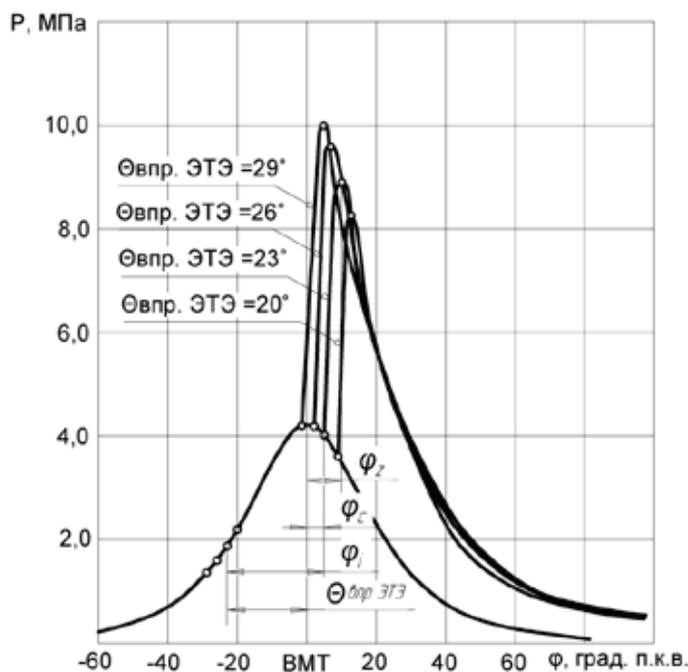


Рис. 1. Совмещенные индикаторные диаграммы дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 при работе на ЭТЭ при различных установочных УОВТ при  $n = 2200$  мин<sup>-1</sup>,  $p_e = 0,63$  МПа

Как и при работе дизеля на ДТ, линии сжатия и расширения индикаторных диаграмм, снятых при ранних значениях установочных УОВТ располагаются выше, чем при поздних значениях установочных УОВТ.  $\varphi_c = 9,0^\circ; 5,0^\circ; 2^\circ$  и  $-1,5^\circ$ . Период задержки воспламенения на данном режиме составляет  $\varphi_i = 29,0^\circ; 28,0^\circ; 28,0^\circ$  и  $27,5^\circ$ . Таким образом, характер изменения давления газов на индикаторных диаграммах дизеля 4Ч 11,0/12,5 при переходе с ДТ на ЭТЭ сохраняется. Во всех случаях увеличения установочного УОВТ способствует повышению значений максимального давления сгорания  $p_{z \max}$  и оно смещается по индикаторной диаграмме влево, ближе к ВМТ. При работе дизеля на ДТ при чрезмерно раннем установочном УОВТ из-за сравнительно низкой температуры и давления в момент начала впрыскивания топливо не может самовоспламениться [1–15].

При меньшей температуре в цилиндре необходимо больше времени на прогрев, испарение капель, формирование активных радикалов. Следовательно, ПЗВ возрастает. Возрастает время нахождения топлива в КС до достижения критической температуры, при которой происходит самовоспламенение. Так как впрыскивание продолжается, в КС накапливается большое количество топлива, которое длительное время не может воспламениться. Образуется большое количество активных радикалов, инициирующих образование очагов самовоспламенения, вследствие чего с наступлением воспламенения топлива давление газов и скорость нарастания давления в цилиндре  $dp/d\varphi$  возрастут. Сгорание будет происходить до ВМТ при уменьшающемся объеме. Процесс сгорания смещается относительно ВМТ таким образом, что наибольшее давление  $p_{z \max}$  достигается близко к ВМТ. Это сопровождается резким увеличением работы сжатия, уменьшением работы расширения и, соответственно,

снижением индикаторных показателей. Кроме того, возросшее давление сгорания негативно сказывается на надежности деталей кривошипно-шатунного механизма и ЦПГ. Установка позднего установочного УОВТ, при работе на ДТ, приводит к тому, что топливо впрыскивается в заряд, имеющий более высокое давление и температуру. Скорость предпламенных реакций увеличивается, поэтому ПЗВ уменьшается. Однако точка индикаторной диаграммы, соответствующая началу горения, все-таки смещается вправо. Скорость повышения давления  $dp/d\varphi$  и максимальное давление сгорания  $p_{z \max}$  уменьшается. Весь процесс сгорания смещается также вправо. Большая часть топлива сгорает при нисходящем движении поршня. Большая доля теплоты, выделившейся при горении топлива, в этом случае идет на нагрев стенок цилиндра и также теряется с ОГ. Таким образом, позднее впрыскивание также ухудшает индикаторные показатели. При работе на ЭТЭ воспламенение топлива происходит несколько по другому механизму. Находящиеся в цилиндре дизеля капли ЭТЭ подвергается воздействию растущей температуры и давлению, тем самым начиная процесс испарения капли ЭТЭ. Вследствие значительной разности температур кипения этанола и ДТ первоначально происходит испарение частиц спирта заключенного в каплях ДТ, что способствует разрыву капель ДТ. Эти микровзрывы способствуют интенсификации процесса испарения капель ДТ. Интенсивность данных процессов зависит от давления и температуры в цилиндре дизеля при образовании воздушно-топливной смеси. При более ранних установочных УОВТ сгорание топлива происходит более активно, с большими скоростями и заканчивается быстрее, что приводит к увеличению максимального давления сгорания и увеличению скорости нарастания давления [16–27].

#### Литература:

1. Лиханов, В.А., Россохин, А.В. Исследование процессов сажеобразования и сажесодержания в цилиндре быстрогоходного дизеля с турбонаддувом Д-245.12С при работе на компримированном природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 223–226.
2. Софронов, М.В., Россохин А.В. Влияние применения этанола-топливной эмульсии на экологические показатели дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от нагрузки // Сборник: молодежная наука 2014: технологии, инновации материалы всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 104–107.
3. Россохин, А.В. Показатели процесса сгорания и сажесодержания в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на ДТ и ЭТЭ в зависимости от угла поворота коленчатого вала // Сборник: молодежная наука 2014: технологии, инновации материалы всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 98–101.
4. Лиханов, В.А., Россохин А.В. Особенности теплообмена излучением в цилиндре дизелей при работе на газомоторном топливе // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 10–1. с. 14–17.
5. Кузьмин, В.А., Заграй И.А., Россохин А.В., Рукавишникова Р.В. Определение размеров частиц сажи на различных участках системы выпуска дизеля // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2013. № 11–12. с. 3–10.
6. Лиханов, В.А., Россохин А.В., Чупраков А.И. Снижение выбросов сажи с отработавшими газами дизелей путем применения альтернативных топлив // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 9. с. 13–16.

7. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Полевщиков А. С. Влияние этанола на показатели дизеля Д21А1 // Автомобильная промышленность. 2011. № 12. с. 26–27.
8. Россохин, А. В. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на природном газе путем снижения дымности отработавших газов // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Киров, 2006.
9. Лиханов, В. А., Лопарев А. А., Рудаков Л. В., Россохин А. В. Улучшение эффективных показателей дизеля с турбонаддувом путем применения природного газа // Тракторы и сельхозмашины. 2006. № 12. с. 15–19.
10. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Олейник М. А., Рудаков Л. В. Улучшение экологических показателей дизеля с турбонаддувом путем применения природного газа // Тракторы и сельхозмашины. 2006. № 9. с. 8–10.
11. Россохин, А. В. Влияние применения альтернативных топлив на процессы образования и окисления сажевых частиц в цилиндре дизеля с камерой сгорания типа ЦНИДИ // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 152–154.
12. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эффективных показателей тракторного дизеля путем применения компримированного природного газа и рециркуляции отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсий // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 7. с. 12–15.
13. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Влияние применения природного газа и рециркуляции отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсий на содержание токсичных компонентов в ОГ // Транспорт на альтернативном топливе. 2015. № 4 (46). с. 42–47.
14. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследования эффективных и экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на природном газе с рециркуляцией отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсиях // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 5–1. с. 22–25.
15. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этанола-топливной эмульсии // Известия Международной академии аграрного образования. 2013. Т. 4. № 16. с. 170–173.
16. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование эффективных показателей дизеля при работе на природном газе, метанола- и этанола-топливных эмульсиях // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 4–1 (35). с. 79–81.
17. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2007. — 129 с.
18. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Полевщиков А. С., Долгих М. А., Верстаков С. А. Эффективные и экологические показатели дизеля с двойной системой топливоподачи. Тракторы и сельхозмашины, 2011. — № 10, с. 8–10.
19. Чувашев, А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2007. — 167с.
20. Чувашев, А. Н. Исследование показателей рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от значений установочных углов опережения впрыскивания топлив. Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 340–343.
21. Чувашев, А. Н. Характеристики тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на режиме максимального крутящего момента Молодой ученый. 2015. № 14 (94) с. 203–205.
22. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Показатели процесса сгорания дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения Молодой ученый. 2015. № 15 (95) с. 109–111.
23. Чувашев, А. Н. Характеристики тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения коленчатого вала. Технические науки: проблемы и перспективы: материалы III Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, июль 2015 г.). — СПб.: Свое издательство, 2015. — с. 77–78.
24. Чувашев, А. Н. Совмещённые индикаторные диаграммы дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ при установочном угле впрыскивания дизтоплива 34°. Молодой ученый. 2015. № 16 (96) с. 244–246.
25. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Анфилатов А. А., Глухов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография / Под общ. ред. В. А. Лиханова. — Киров: Вятская ГСХА, 2009. — 334 с.
26. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле / В. А. Лиханов, А. Н. Чувашев, А. А. Глухов, А. А. Анфилатов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 2007. — № 3. — с. 8–11.
27. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле / В. А. Лиханов, А. Н. Чувашев, А. А. Глухов, А. А. Анфилатов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 2007. — № 4. — с. 10–13.

## Совмещенные индикаторные диаграммы дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на ЭТЭ на режиме максимального крутящего момента

Лиханов Виталий Анатольевич, доктор технических наук, профессор;  
 Чупраков Андрей Иванович, кандидат технических наук, доцент  
 Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

В Вятской ГСХА на базе кафедры тепловых двигателей, автомобилей и тракторов осуществлена разработка дизеля для работы на этаноле-топливной эмульсии. В работе приводится анализ полученных результатов.

**Ключевые слова:** дизель, эмульсия.

На рисунке 1 представлены совмещенные индикаторные диаграммы рабочего процесса дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на ЭТЭ, снятые при частоте вращения  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$  и среднем эффективном давлении газов в цилиндре  $p_e = 0,69 \text{ МПа}$  и установочных УОВТ  $\Theta_{\text{впр.ЭТЭ}} = 20^\circ; 23^\circ; 26^\circ$  и  $29^\circ$ . Этим значениям углов соответствует следующее максимальное давление газов  $p_{z \text{ max}}$  составляет 9,0; 9,2; 9,8 и 10,2 МПа соответственно. Линии сжатия и расширения индикаторных диаграмм при ранних установочных УОВТ, как и при работе на ДТ, располагаются выше, чем при поздних значениях установочных УОВТ. Точки начала видимого сгорания соответственно расположены  $\varphi_c = 3,5^\circ; 2,4^\circ; 0,5^\circ$  и  $-2,0^\circ$  [1–15]. Таким образом, характер изменения давления газов на индикаторных диаграммах дизеля 4Ч 11,0/12,5 при переходе с ДТ на ЭТЭ сохраняется. Во всех случаях увеличения установочного УОВТ способствует повышению значений максимального давления сго-

рания  $p_{z \text{ max}}$  и оно смещается по индикаторной диаграмме влево, ближе к ВМТ. При работе дизеля на ДТ при чрезмерно раннем установочном УОВТ из-за сравнительно низкой температуры и давления в момент начала впрыскивания топливо не может самовоспламениться.

При меньшей температуре в цилиндре необходимо больше времени на прогрев, испарение капель, формирование активных радикалов. Следовательно, ПЗВ возрастает. Возрастает время нахождения топлива в КС до достижения критической температуры, при которой происходит самовоспламенение. Так как впрыскивание продолжается, в КС накапливается большое количество топлива, которое длительное время не может воспламениться. Образуется большое количество активных радикалов, инициирующих образование очагов самовоспламенения, вследствие чего с наступлением воспламенения топлива давление газов и скорость нарастания давления в цилиндре  $dp/d\varphi$  возрастут.

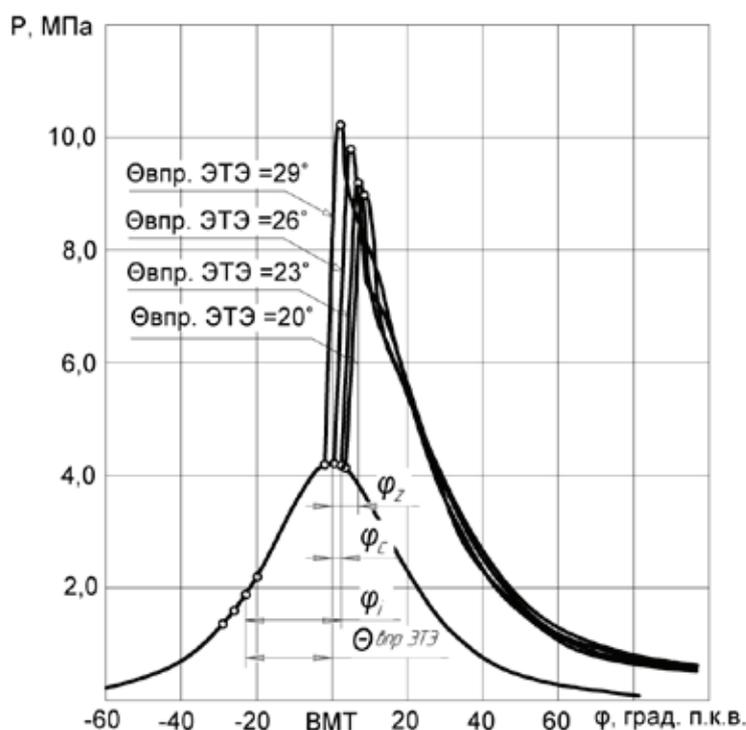


Рис. 1. Совмещенные индикаторные диаграммы дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 при работе на ЭТЭ при различных установочных УОВТ при  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 0,69 \text{ МПа}$

Сгорание будет происходить до ВМТ при уменьшающемся объеме. Процесс сгорания смещается относительно ВМТ таким образом, что наибольшее давление  $p_{z \max}$  достигается близко к ВМТ. Это сопровождается резким увеличением работы сжатия, уменьшением работы расширения и, соответственно, снижением индикаторных показателей. Кроме того, возросшее давление сгорания негативно сказывается на надежности деталей кривошипно-шатунного механизма и ЦПГ.

Установка позднего установочного УОВТ, при работе на ДТ, приводит к тому, что топливо впрыскивается в заряд, имеющий более высокое давление и температуру. Скорость предпламенных реакций увеличивается, поэтому ПЗВ уменьшается. Однако точка индикаторной диаграммы, соответствующая началу горения, все-таки смещается вправо. Скорость повышения давления  $dp/d\phi$  и максимальное давление сгорания  $p_{z \max}$  уменьшается. Весь процесс сгорания смещается также вправо. Большая часть топлива сгорает при нисходящем движении поршня. Большая доля теплоты, выделившейся при горении то-

плива, в этом случае идет на нагрев стенок цилиндра и также теряется с ОГ. Таким образом, позднее впрыскивание также ухудшает индикаторные показатели [15–27].

При работе на ЭТЭ воспламенение топлива происходит несколько по другому механизму. Находящиеся в цилиндре дизеля капли ЭТЭ подвергается воздействию растущей температуры и давлению, тем самым начиная процесс испарения капли ЭТЭ. Вследствие значительной разности температур кипения этанола и ДТ первоначально происходит испарение частиц спирта заключенного в каплях ДТ, что способствует разрыву капель ДТ. Эти микровзрывы способствуют интенсификации процесса испарения капель ДТ. Интенсивность данных процессов зависит от давления и температуры в цилиндре дизеля при образовании воздушно-топливной смеси. При более ранних установочных УОВТ сгорание топлива происходит более активно, с большими скоростями и заканчивается быстрее, что приводит к увеличению максимального давления сгорания и увеличению скорости нарастания давления.

#### Литература:

1. Лиханов, В.А., Россохин, А.В. Исследование процессов сажеобразования и сажесодержания в цилиндре быстросходного дизеля с турбонаддувом Д-245.12С при работе на компримированном природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 223–226.
2. Софронов, М.В., Россохин А.В. Влияние применения этанола-топливной эмульсии на экологические показатели дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от нагрузки // Сборник: молодежная наука 2014: технологии, инновации материалы всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 104–107.
3. Россохин, А.В. Показатели процесса сгорания и сажесодержания в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на ДТ и ЭТЭ в зависимости от угла поворота коленчатого вала // Сборник: молодежная наука 2014: технологии, инновации материалы всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 98–101.
4. Лиханов, В.А., Россохин А.В. Особенности теплообмена излучением в цилиндре дизелей при работе на газомоторном топливе // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 10–1. с. 14–17.
5. Кузьмин, В.А., Заграй И.А., Россохин А.В., Рукавишников Р.В. Определение размеров частиц сажи на различных участках системы выпуска дизеля // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2013. № 11–12. с. 3–10.
6. Лиханов, В.А., Россохин А.В., Чупраков А.И. Снижение выбросов сажи с отработавшими газами дизелей путем применения альтернативных топлив // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 9. с. 13–16.
7. Лиханов, В.А., Россохин А.В., Полевщиков А.С. Влияние этанола на показатели дизеля Д21А1 // Автомобильная промышленность. 2011. № 12. с. 26–27.
8. Россохин, А.В. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на природном газе путем снижения дымности отработавших газов // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Киров, 2006.
9. Лиханов, В.А., Лопарев А.А., Рудаков Л.В., Россохин А.В. Улучшение эффективных показателей дизеля с турбонаддувом путем применения природного газа // Тракторы и сельхозмашины. 2006. № 12. с. 15–19.
10. Лиханов, В.А., Россохин А.В., Олейник М.А., Рудаков Л.В. Улучшение экологических показателей дизеля с турбонаддувом путем применения природного газа // Тракторы и сельхозмашины. 2006. № 9. с. 8–10.
11. Россохин, А.В. Влияние применения альтернативных топлив на процессы образования и окисления сажевых частиц в цилиндре дизеля с камерой сгорания типа ЦНИДИ // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 152–154.
12. Лиханов, В.А., Лопатин О.П. Улучшение эффективных показателей тракторного дизеля путем применения компримированного природного газа и рециркуляции отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсий // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 7. с. 12–15.
13. Лиханов, В.А., Лопатин О.П. Влияние применения природного газа и рециркуляции отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсий на содержание токсичных компонентов в ОГ // Транспорт на альтернативном топливе. 2015. № 4 (46). с. 42–47.

14. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследования эффективных и экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на природном газе с рециркуляцией отработавших газов, метанолю- и этанолю-топливных эмульсиях // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 5—1. с. 22—25.
15. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этанолю-топливной эмульсии // Известия Международной академии аграрного образования. 2013. Т. 4. № 16. с. 170—173.
16. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование эффективных показателей дизеля при работе на природном газе, метанолю- и этанолю-топливных эмульсиях // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 4—1 (35). с. 79—81.
17. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2007. — 129 с.
18. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Полевщиков А. С., Долгих М. А., Верстаков С. А. Эффективные и экологические показатели дизеля с двойной системой топливоподачи. Тракторы и сельхозмашины, 2011. — № 10, с. 8—10.
19. Чувашев, А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2007. — 167с.
20. Чувашев, А. Н. Исследование показателей рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от значений установочных углов опережения впрыскивания топлив. Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 340—343.
21. Чувашев, А. Н. Характеристики тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на режиме максимального крутящего момента Молодой ученый. 2015. № 14 (94) с. 203—205.
22. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Показатели процесса сгорания дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения Молодой ученый. 2015. № 15 (95) с. 109—111.
23. Чувашев, А. Н. Характеристики тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения коленчатого вала. Технические науки: проблемы и перспективы: материалы III Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, июль 2015 г.). — СПб.: Свое издательство, 2015. — с. 77—78.
24. Чувашев, А. Н. Совмещённые индикаторные диаграммы дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ при установочном угле впрыскивания дизтоплива 34°. Молодой ученый. 2015. № 16 (96) с. 244—246.
25. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Анфилатов А. А., Глухов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография / Под общ. ред. В. А. Лиханова. — Киров: Вятская ГСХА, 2009. — 334 с.
26. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле / В. А. Лиханов, А. Н. Чувашев, А. А. Глухов, А. А. Анфилатов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 2007. — № 3. — с. 8—11.
27. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле / В. А. Лиханов, А. Н. Чувашев, А. А. Глухов, А. А. Анфилатов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 2007. — № 4. — с. 10—13.

## **Исследование содержания оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом в зависимости от изменения нагрузки при УОВТ 8 градусов**

Лопатин Олег Петрович, кандидат технических наук, доцент  
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

Увеличение процентного выгорания топлива в начальный период при работе по газодизельному процессу приводит к снижению доли потерь тепла в этот период. Это вызывает увеличение коэффициента активного тепловыделения, что предопределяет более эффективное использование тепла в цилиндре дизеля в начальный период сгорания основной части топлива [1—8]. Графики объемного содержания, массовой концентрации оксидов

азота, максимальной температуры и давления газов в цилиндре дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки для установочного угла опережения впрыскивания топлива (УОВТ) 8 градусов представлены на рис. 1 [9—17].

Из графиков (рис. 1, а) видно, что с увеличением нагрузки при работе по дизельному и газодизельному процессам возрастают объемное содержание и массовая

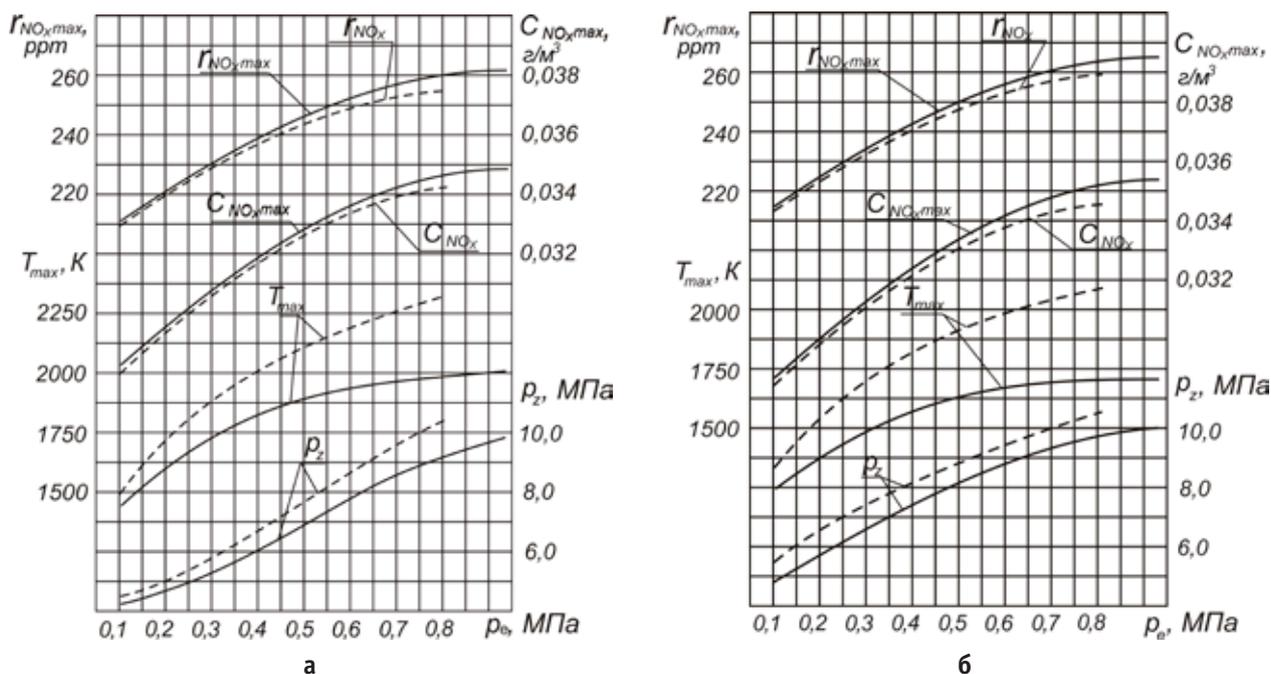


Рис. 1. Влияние применения природного газа на показатели процесса сгорания, объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в цилиндре дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки при  $\Theta_{впр} = 8^\circ$ : а —  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ ; б —  $n = 1900 \text{ мин}^{-1}$ ; — — — — дизельный процесс; - - - - газодизельный процесс

концентрация  $\text{NO}_x$ , максимальные давление газов и температура в цилиндре двигателя [18–22]. Во всем диапазоне изменения нагрузок при переходе на газодизельный процесс происходит снижение объемного содержания и массовой концентрации  $\text{NO}_x$ , увеличение максимальных давления газов и температуры в цилиндре. Так, при работе по газодизельному процессу при  $p_e = 0,84 \text{ МПа}$  значения объемного содержания и массовой концентрации составляют  $255 \text{ ppm}$  и  $0,0341 \text{ г/м}^3$ , соответственно, что ниже на 3% дизельного процесса [23–29].

Из графиков (рис. 1, б) видно, что с увеличением нагрузки при работе по дизельному и газодизельному про-

цессам возрастают объемное содержание и массовая концентрация оксидов азота, максимальные давление газов и температура в цилиндре двигателя [30–35]. Во всем диапазоне изменения нагрузок при переходе на газодизельный процесс происходит снижение объемного содержания и массовой концентрации оксидов азота, увеличение максимальных давления газов и температуры в цилиндре двигателя. Так, при работе по газодизельному процессу при  $p_e = 0,92 \text{ МПа}$  значения объемного содержания и массовой концентрации составляют  $260 \text{ ppm}$  и  $0,0347 \text{ г/м}^3$ , соответственно, что ниже на 2% дизельного процесса [35–40].

#### Литература:

1. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Изменение образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 4. с. 3–5.
2. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Анфилатов А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путём применения метанола с использованием двойной системы топливоподачи // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 5. с. 5–8.
3. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 3. с. 4–5.
4. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 4. с. 10–13.
5. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Анфилатов А. А., Глухов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография / Под общ. ред. В. А. Лиханова. — Киров: Вятская ГСХА, 2009. — 334 с.
6. Анфилатов, А. А., Лиханов В. А., Лопатин О. П. Исследование процессов образования и разложения оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 путем применения метанола с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров, 2008. — 156 с.

7. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Полевщиков А. С., Долгих М. А., Верстаков С. А. Эффективные и экологические показатели дизеля с двойной системой топливоподачи. Тракторы и сельхозмашины, 2011. — № 10, с. 8–10.
8. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Исследование применения метанола в дизеле на оптимальных установочных углах // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 42–44.
9. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2007. — 129 с.
10. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Показатели процесса сгорания дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения Молодой ученый. 2015. № 15 (95) с. 109–111.
11. Анфилатов, А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 184с.
12. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на оксиды азота при сгорании в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 151–154.
13. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле для номинальной частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 142–145.
14. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11. с. 235–238.
15. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
16. Анфилатов, А. А. Удельный эффективный расход топлива дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 87–90.
17. Анфилатов, А. А. Изменения объемного содержания и массовой концентрации оксидов азота в отработавших газах дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 15. С. 75–78.
18. Анфилатов, А. А. Эффективные характеристики дизеля при работе на метаноле и  $N = 1800$  мин<sup>-1</sup> // Потенциал современной науки. 2015. № 5 (13). с. 25–28.
19. Анфилатов, А. А. Содержание токсичных компонентов дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 14. с. 120–123.
20. Анфилатов, А. А. Эффективные показатели дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле в зависимости от частоты вращения // Потенциал современной науки. 2015. № 5 (13). с. 29–32.
21. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на содержание токсичных компонентов в отработавших газах дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на номинальной частоте вращения в зависимости от установочного угла опережения впрыскивания топлива // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 101–104.
22. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2009. — 202 с.
23. Лопатин, С. О., Скрябин М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 96–98.
24. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение эффективных показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 6. с. 19–21.
25. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение токсических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 7. с. 6–7.
26. Скрябин, М. Л. Исследование мощностных и экономических показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 59–62.
27. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.
28. Скрябин, М. Л. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла поворота коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 433–436.

29. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на частоте вращения максимального крутящего момента // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 312–314.
30. Скрябин, М.Л. Влияние отработавших газов автомобильного транспорта на окружающую среду // Молодой ученый. 2015. № 13. с. 185–187.
31. Скрябин, М.Л. Образование топливных оксидов азота в процессе горения углеводородного топлива // Молодой ученый. 2015. № 14. с. 186–188.
32. Скрябин, М.Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на показатели процесса сгорания дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки при работе на номинальной частоте вращения // Молодой ученый. 2015. № 15. с. 179–182.
33. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля Д-245.7 в зависимости от изменения нагрузки // Молодой ученый. 2015. № 16. с. 228–230.
34. Чувашев, А.Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2007. — 167с.
35. Чувашев, А.Н. Исследование показателей рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от значений установочных углов опережения впрыскивания топлив. Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 340–343.
36. Чувашев, А.Н. Характеристики тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на режиме максимального крутящего момента Молодой ученый. 2015. № 14 (94) с. 203–205.
37. Чувашев, А.Н. Характеристики тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения коленчатого вала. Технические науки: проблемы и перспективы: материалы III Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, июль 2015 г.). — СПб.: Свое издательство, 2015. — с. 77–78.
38. Чувашев, А.Н. Совмещённые индикаторные диаграммы дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ при установочном угле впрыскивания дизтоплива 34°. Молодой ученый. 2015. № 16 (96) с. 244–246.
39. Лопатин, О.П. Оценка эффективности применения регулируемой рециркуляции в газодизеле // Молодой ученый. 2015. № 15. с. 131–133.
40. Лопатин, О.П. Влияние степени рециркуляции на характеристики тепловыделения и содержание оксидов азота в цилиндре тракторного газодизеля // Молодой ученый. 2015. № 14. с. 168–171.

## Регулировочные характеристики процесса сгорания газодизеля на режиме максимального крутящего момента

Лопатин Олег Петрович, кандидат технических наук, доцент  
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

На рис. 1 представлены показатели процесса сгорания дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения установочного угла опережения впрыскивания топлива (УОВТ) для частоты вращения, соответствующей максимальному крутящему моменту ( $n=1700 \text{ мин}^{-1}$ ) [1–6].

Из графиков видно, что с увеличением УОВТ происходит повышение максимальной температуры цикла  $T_z$ , максимального давления газов в цилиндре  $P_z$ , степени повышения давления  $\lambda$ , жесткости процесса сгорания и угла, соответствующего периоду задержки воспламенения [1–7]. Причем, необходимо отметить, в результате применения природного газа и РОГ углы наклона кривых с ростом установочного УОВТ возрастают [8–15].

Так, при работе по газодизельному процессу с РОГ снижается максимальное давление газов в цилиндре,

жесткость процесса сгорания и незначительно увеличивается угол, соответствующий периоду задержки воспламенения [16–25]. При установочном УОВТ 23 градуса максимальное давление в цилиндре при газодизельном процессе составляет 11,0 МПа, при газодизельном процессе с 10%-ной РОГ — 10,2 МПа, что на 7,3% ниже газодизельного, но на 16,7% выше дизельного процесса [26–34]. Жесткость процесса сгорания при УОВТ 23 градуса при газодизельном процессе с 10%-ной РОГ составляет 0,76 МПа/град, что на 9,5% ниже газодизельного процесса и на 17,4% ниже, чем при работе с 10%-ной РОГ при УОВТ 26 градусов. Таким образом, по показателям процесса сгорания необходимо для газодизельного процесса с РОГ устанавливать УОВТ  $\Theta_{\text{впр}} = 23$  градуса, вместо 26 градусов при дизельном процессе [35–43].

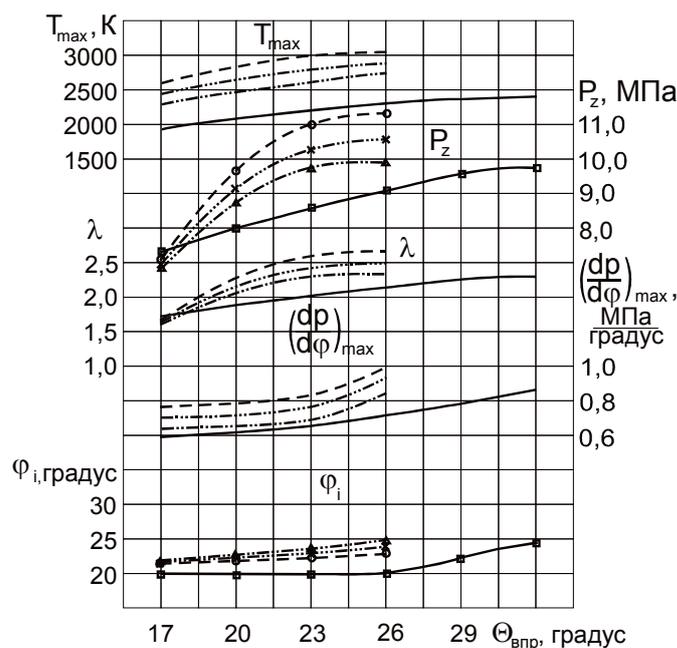


Рис. 1. Влияние применения рециркуляции отработавших газов (РОГ) на показатели процесса сгорания дизеля 4С 11,0/12,5 при работе на природном газе в зависимости от изменения установочного УОВТ при  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ :  $\square$  — дизельный процесс;  $\circ$  — газодизельный процесс;  $\times$  — рециркуляция 10%;  $\triangle$  — рециркуляция 20%

Литература:

1. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Изменение образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 4. с. 3–5.
2. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Анфилатов А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путём применения метанола с использованием двойной системы топливоподачи // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 5. с. 5–8.
3. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2С 10,5/12,0 при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 3. с. 4–5.
4. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 4. с. 10–13.
5. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Анфилатов А. А., Глухов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2С 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография / Под общ. ред. В. А. Лиханова. — Киров: Вятская ГСХА, 2009. — 334 с.
6. Анфилатов, А. А., Лиханов В. А., Лопатин О. П. Исследование процессов образования и разложения оксидов азота в цилиндре дизеля 2С 10,5/12,0 путем применения метанола с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров, 2008. — 156 с.
7. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Полевщиков А. С., Долгих М. А., Верстаков С. А. Эффективные и экологические показатели дизеля с двойной системой топливоподачи. Тракторы и сельхозмашины, 2011. — № 10, с. 8–10.
8. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Исследование применения метанола в дизеле на оптимальных установочных углах // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 42–44.
9. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2С 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2007. — 129 с.
10. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Показатели процесса сгорания дизеля 2С 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения Молодой ученый. 2015. № 15 (95) с. 109–111.
11. Анфилатов, А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2С 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 184с.
12. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на оксиды азота при сгорании в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 151–154.

13. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле для номинальной частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 142–145.
14. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11. с. 235–238.
15. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
16. Анфилатов, А. А. Удельный эффективный расход топлива дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 87–90.
17. Анфилатов, А. А. Изменения объемного содержания и массовой концентрации оксидов азота в отработавших газах дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 15. С. 75–78.
18. Анфилатов, А. А. Эффективные характеристики дизеля при работе на метаноле и  $N = 1800$  мин<sup>-1</sup> // Потенциал современной науки. 2015. № 5 (13). с. 25–28.
19. Анфилатов, А. А. Содержание токсичных компонентов дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 14. с. 120–123.
20. Анфилатов, А. А. Эффективные показатели дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле в зависимости от частоты вращения // Потенциал современной науки. 2015. № 5 (13). с. 29–32.
21. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на содержание токсичных компонентов в отработавших газах дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на номинальной частоте вращения в зависимости от установочного угла опережения впрыскивания топлива // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 101–104.
22. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2009. — 202 с.
23. Лопатин, С. О., Скрябин М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 96–98.
24. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение эффективных показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 6. с. 19–21.
25. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение токсических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 7. с. 6–7.
26. Скрябин, М. Л. Исследование мощностных и экономических показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 59–62.
27. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.
28. Скрябин, М. Л. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла поворота коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 433–436.
29. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на частоте вращения максимального крутящего момента // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 312–314.
30. Скрябин, М. Л. Влияние отработавших газов автомобильного транспорта на окружающую среду // Молодой ученый. 2015. № 13. с. 185–187.
31. Скрябин, М. Л. Образование топливных оксидов азота в процессе горения углеводородного топлива // Молодой ученый. 2015. № 14. с. 186–188.
32. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на показатели процесса сгорания дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки при работе на номинальной частоте вращения // Молодой ученый. 2015. № 15. с. 179–182.
33. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля Д-245.7 в зависимости от изменения нагрузки // Молодой ученый. 2015. № 16. с. 228–230.
34. Чувашев, А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2007. — 167с.
35. Чувашев, А. Н. Исследование показателей рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от значений установочных углов опережения впрыскивания топлив. Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 340–343.

36. Чувашев, А. Н. Характеристики тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на режиме максимального крутящего момента Молодой ученый. 2015. № 14 (94) с. 203–205.
37. Чувашев, А. Н. Характеристики тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения коленчатого вала. Технические науки: проблемы и перспективы: материалы III Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, июль 2015 г.). — СПб.: Свое издательство, 2015. — с. 77–78.
38. Чувашев, А. Н. Совмещённые индикаторные диаграммы дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ при установочном угле впрыскивания дизтоплива 34°. Молодой ученый. 2015. № 16 (96) с. 244–246.
39. Лопатин, О. П. Оценка эффективности применения регулируемой рециркуляции в газодизеле // Молодой ученый. 2015. № 15. с. 131–133.
40. Лопатин, О. П. Влияние степени рециркуляции на характеристики тепловыделения и содержание оксидов азота в цилиндре тракторного газодизеля // Молодой ученый. 2015. № 14. с. 168–171.
41. Лопатин, О. П. Индексирование рабочего процесса газодизеля при работе с рециркуляцией // Молодой ученый. 2015. № 13. с. 144–147.
42. Лопатин, О. П. Влияние применения рециркуляции на эффективные показатели дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 232–235.
43. Лопатин, О. П. Исследование скоростного режима газодизеля при работе с рециркуляцией // Молодой ученый. 2015. № 11. с. 379–383.

## Исследование содержания оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом по скоростной характеристике

Лопатин Олег Петрович, кандидат технических наук, доцент  
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

Графики объемного содержания и массовой концентрации оксидов азота, максимальной температуры и давления в цилиндре дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 при работе по дизельному и газодизельному процессам в зависимости от изменения частоты вращения представлены на рис. 1 [1–8].

Из графиков видно, что с увеличением частоты вращения коленчатого вала двигателя происходит снижение объемного содержания и массовой концентрации оксидов азота и максимального давления газов в цилиндре, увеличение максимальной температуры цикла [9–17]. Так, на установочном угле опережения впрыскивания топлива (УОВТ) 8 градусов (рис. 1, а) при работе по газодизельному процессу при увеличении частоты вращения коленчатого вала двигателя с  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  до  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$  происходит уменьшение объемного содержания с 265 до

255 ppm и массовой концентрации оксидов азота с 0,0353 до 0,0342 г/м<sup>3</sup> [18–26]. На УОВТ равном 11 градусов (рис. 1, б) при работе по газодизельному процессу при увеличении частоты вращения коленчатого вала двигателя с  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  до  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$  происходит уменьшение объемного содержания с 267 до 257 ppm и массовой концентрации оксидов азота с 0,0357 до 0,0344 г/м<sup>3</sup> [27–35].

Применение же природного газа в дизеле на УОВТ 14 градусов (рис. 1, в) при увеличении частоты вращения коленчатого вала двигателя с  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  до  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$  происходит уменьшение объемного содержания с 267 до 257 ppm и массовой концентрации оксидов азота с 0,0357 до 0,0344 г/м<sup>3</sup>. При переходе на газодизельный режим объемное содержание и массовая концентрация оксидов азота ниже в среднем на 3% во всем диапазоне изменения частот вращения коленчатого вала двигателя [36–40].

### Литература:

1. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Изменение образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 4. с. 3–5.
2. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Анфилатов А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путём применения метанола с использованием двойной системы топливоподачи // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 5. с. 5–8.
3. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 3. с. 4–5.

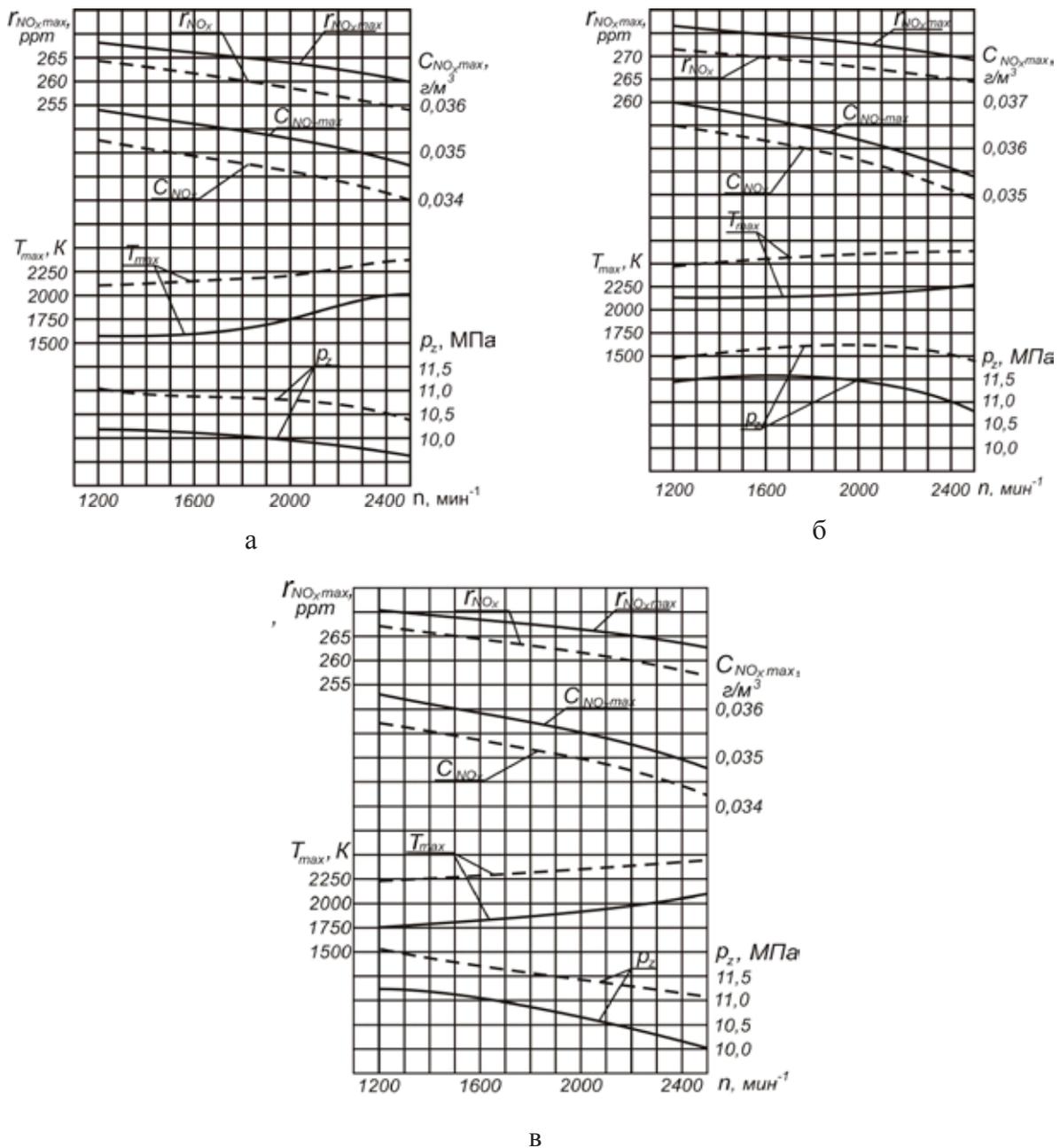


Рис. 1. Влияние применения природного газа на показатели процесса сгорания, объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в цилиндре дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения: а —  $\Theta_{впр} = 8^\circ$ ; б —  $\Theta_{впр} = 11^\circ$ ; в —  $\Theta_{впр} = 14^\circ$ ; — — — — дизельный процесс; - - - - - газодизельный процесс

4. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 4. с. 10–13.
5. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Анфилатов А. А., Глухов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография / Под общ. ред. В. А. Лиханова. — Киров: Вятская ГСХА, 2009. — 334 с.
6. Анфилатов, А. А., Лиханов В. А., Лопатин О. П. Исследование процессов образования и разложения оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 путем применения метанола с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров, 2008. — 156 с.
7. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Полевщиков А. С., Долгих М. А., Верстаков С. А. Эффективные и экологические показатели дизеля с двойной системой топливоподачи. Тракторы и сельхозмашины, 2011. — № 10, с. 8–10.
8. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Исследование применения метанола в дизеле на оптимальных установочных углах // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 42–44.

9. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2007. — 129 с.
10. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Показатели процесса сгорания дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения Молодой ученый. 2015. № 15 (95) с. 109–111.
11. Анфилатов, А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 184с.
12. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на оксиды азота при сгорании в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 151–154.
13. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле для номинальной частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 142–145.
14. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11. с. 235–238.
15. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
16. Анфилатов, А. А. Удельный эффективный расход топлива дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 87–90.
17. Анфилатов, А. А. Изменения объемного содержания и массовой концентрации оксидов азота в отработавших газах дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 15. С. 75–78.
18. Анфилатов, А. А. Эффективные характеристики дизеля при работе на метаноле и  $N = 1800$  мин<sup>-1</sup> // Потенциал современной науки. 2015. № 5 (13). с. 25–28.
19. Анфилатов, А. А. Содержание токсичных компонентов дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 14. с. 120–123.
20. Анфилатов, А. А. Эффективные показатели дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле в зависимости от частоты вращения // Потенциал современной науки. 2015. № 5 (13). с. 29–32.
21. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на содержание токсичных компонентов в отработавших газах дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на номинальной частоте вращения в зависимости от установочного угла опережения впрыскивания топлива // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 101–104.
22. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2009. — 202 с.
23. Лопатин, С. О., Скрябин М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 96–98.
24. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение эффективных показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 6. с. 19–21.
25. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение токсических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 7. с. 6–7.
26. Скрябин, М. Л. Исследование мощностных и экономических показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 59–62.
27. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.
28. Скрябин, М. Л. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла поворота коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 433–436.
29. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на частоте вращения максимального крутящего момента // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 312–314.
30. Скрябин, М. Л. Влияние отработавших газов автомобильного транспорта на окружающую среду // Молодой ученый. 2015. № 13. с. 185–187.
31. Скрябин, М. Л. Образование топливных оксидов азота в процессе горения углеводородного топлива // Молодой ученый. 2015. № 14. с. 186–188.

32. Скрыбин, М.Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на показатели процесса сгорания дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки при работе на номинальной частоте вращения // Молодой ученый. 2015. № 15. с. 179–182.
33. Скрыбин, М.Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля Д-245.7 в зависимости от изменения нагрузки // Молодой ученый. 2015. № 16. с. 228–230.
34. Чувашев, А.Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2007. — 167с.
35. Чувашев, А.Н. Исследование показателей рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от значений установочных углов опережения впрыскивания топлив. Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 340–343.
36. Чувашев, А.Н. Характеристики тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на режиме максимального крутящего момента Молодой ученый. 2015. № 14 (94) с. 203–205.
37. Чувашев, А.Н. Характеристики тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения коленчатого вала. Технические науки: проблемы и перспективы: материалы III Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, июль 2015 г.). — СПб.: Свое издательство, 2015. — с. 77–78.
38. Чувашев, А.Н. Совмещённые индикаторные диаграммы дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ при установочном угле впрыскивания дизтоплива 34°. Молодой ученый. 2015. № 16 (96) с. 244–246.
39. Лопатин, О.П. Оценка эффективности применения регулируемой рециркуляции в газодизеле // Молодой ученый. 2015. № 15. с. 131–133.
40. Лопатин, О.П. Влияние степени рециркуляции на характеристики тепловыделения и содержание оксидов азота в цилиндре тракторного газодизеля // Молодой ученый. 2015. № 14. с. 168–171.

## Влияние режимов эксплуатации дизелей на токсичность отработавших газов

Лопатин Олег Петрович, кандидат технических наук, доцент  
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

Уровни выбросов оксидов азота  $\text{NO}_x$  связаны со скоростными и нагрузочными режимами работы дизеля, так как они определяют с одной стороны время существования высоких температур в цикле, при которых идёт интенсивное окисление азота, а с другой стороны, в зависимости от величины коэффициента избытка воздуха  $\alpha$ , — избыток свободного кислорода для окисления азота [1–8].

Характер изменения выбросов  $\text{NO}_x$  по нагрузочным характеристикам показан на рис.1, а. Существование максимума выбросов  $\text{NO}_x$  по нагрузочной характеристике в районе нагрузок равных  $N_e/N_{en} = 75...87\%$  связано с сочетанием высоких значений температур пламени в зонах горения и высоких значений коэффициента избытка воздуха  $\alpha_{лок}$  [9–14]. При этих же нагрузках наблюдаются лучшие удельные расходы топлива. Дальнейшее повышение мощности связано с ухудшением условий смесеобразования, падением значений  $\alpha_{лок}$  и сопровождается снижением выбросов  $\text{NO}_x$ . Относительное увеличение выбросов по нагрузочной характеристике зависит от типа смесеобразования и частоты вращения коленчатого вала дизеля [15–22].

В качестве примера неявного существования максимума выбросов  $\text{NO}_x$  по нагрузочной характери-

стике можно привести изменение выбросов  $\text{NO}_x$  дизелем 8ЧН16,5/17, полное давление наддувочного воздуха в котором достигало 0,203 МПа (рис.1, б). Из графиков видно, что для дизеля с газотурбинным наддувом при различных частотах вращения коленчатого вала по нагрузочным характеристикам не прослеживается четко выраженных максимумов выбросов  $\text{NO}_x$ . Характерно то, что с ростом нагрузки возрастают выбросы с ОГ углеводородов СН и оксида углерода СО. Отдельный интерес представляют результаты анализа удельных выбросов вредных веществ по нагрузочным характеристикам [23–28]. Автотракторные дизели в эксплуатации значительную часть времени работают на режимах малых и средних нагрузок. Например, тракторные дизели СМД-62 сельскохозяйственного назначения работают при полной нагрузке  $N_e/N_{en} = 100\%$  только 3% времени, при нагрузке  $82...85\%$  — только 2% времени, при нагрузке  $70...75\%$  — до 5% времени, а при нагрузке  $60...67\%$  — до 41% времени и остальное время при нагрузках ниже 50%. Поэтому при оценке удельных выбросов  $\text{NO}_x$  необходимо учитывать относительное время эксплуатации дизеля на отдельных режимах [29–35].

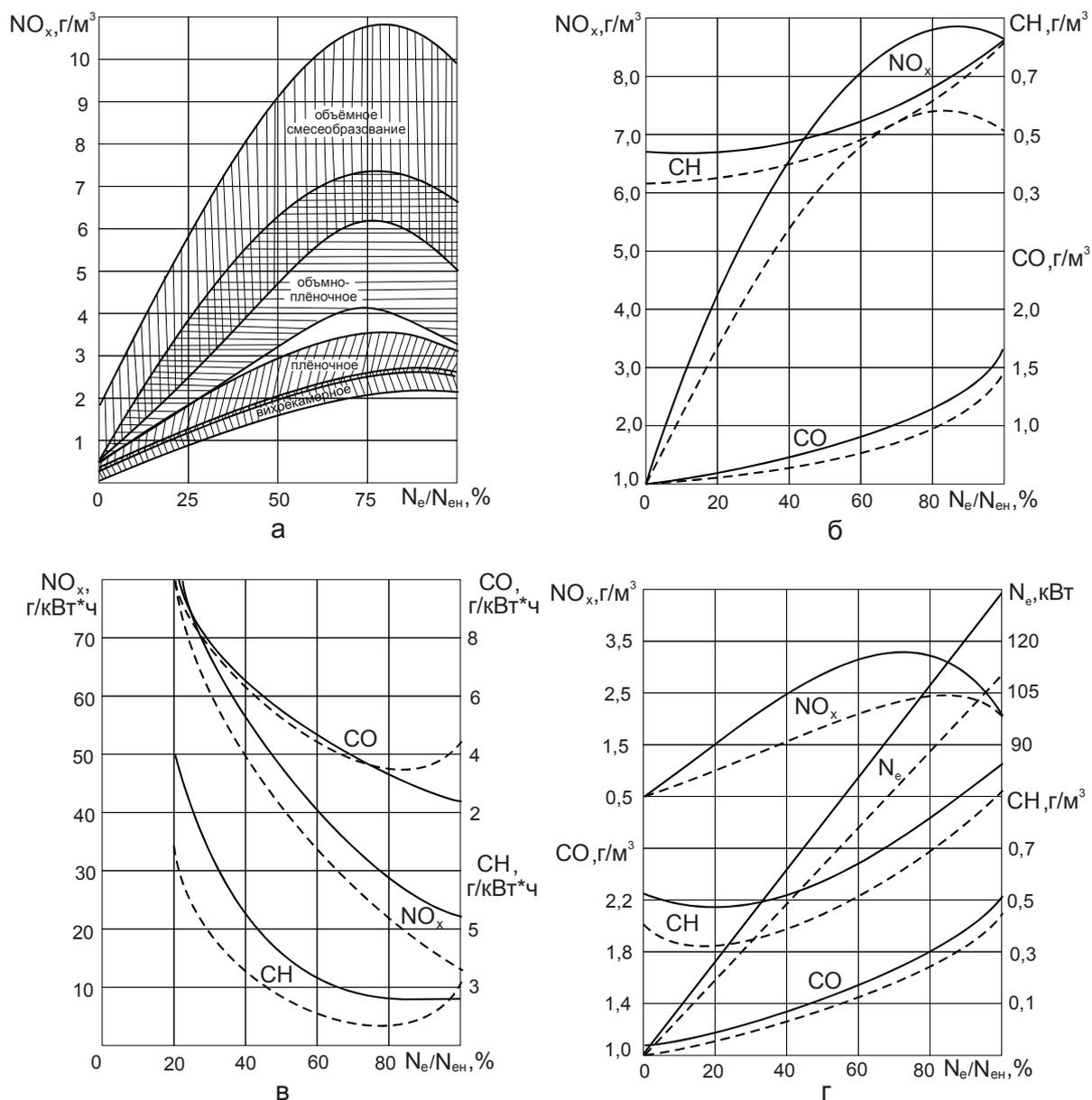


Рис. 1. Характер изменения выбросов  $NO_x$  с ОГ в зависимости от режимов работы дизелей: — —  $n=1800 \text{ мин}^{-1}$ ; - - - -  $n=1300 \text{ мин}^{-1}$

На рис.1, в показан характер изменения удельных выбросов  $NO_x$ , CO и CH в зависимости от нагрузочных и скоростных режимов дизеля 8ЧН16,5/17. При увеличении частоты вращения дизели, как правило, имеют более высокие уровни выбросов вредных веществ. Это объясняется тем, что на окисление продуктов неполного сгорания отводится меньше времени. Увеличение же выбросов  $NO_x$  связано с ростом температур при увеличении

подачи топлива и ростом избытка воздуха при увеличении давления  $P_k$  наддувочного воздуха [36–40].

Влияние частоты вращения коленчатого вала на уровни вредных выбросов дизеля 6Ч13/14 с наддувом до  $P_k=0,172 \text{ МПа}$  показано на рис.1, г. Здесь наблюдается существование максимумов выбросов  $NO_x$  между нагрузками в 60...80%. При увеличении частоты вращения происходит рост выбросов не только  $NO_x$ , но и CH и CO [41–45].

Литература:

1. Лиханов, В. А., Анфилов А. А. Изменение образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 4. с. 3–5.
2. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Анфилов А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путём применения метанола с использованием двойной системы топливоподачи // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 5. с. 5–8.

3. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 3. с. 4–5.
4. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 4. с. 10–13.
5. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Анфилатов А. А., Глухов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография / Под общ. ред. В. А. Лиханова. — Киров: Вятская ГСХА, 2009. — 334 с.
6. Анфилатов, А. А., Лиханов В. А., Лопатин О. П. Исследование процессов образования и разложения оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 путем применения метанола с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров, 2008. — 156 с.
7. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Полевщиков А. С., Долгих М. А., Верстаков С. А. Эффективные и экологические показатели дизеля с двойной системой топливоподачи. Тракторы и сельхозмашины, 2011. — № 10, с. 8–10.
8. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Исследование применения метанола в дизеле на оптимальных установочных углах // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 42–44.
9. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2007. — 129 с.
10. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Показатели процесса сгорания дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения Молодой ученый. 2015. № 15 (95) с. 109–111.
11. Анфилатов, А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 184с.
12. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на оксиды азота при сгорании в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 151–154.
13. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле для номинальной частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 142–145.
14. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11. с. 235–238.
15. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
16. Анфилатов, А. А. Удельный эффективный расход топлива дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 87–90.
17. Анфилатов, А. А. Изменения объемного содержания и массовой концентрации оксидов азота в отработавших газах дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 15. С. 75–78.
18. Анфилатов, А. А. Эффективные характеристики дизеля при работе на метаноле и  $N = 1800$  мин<sup>-1</sup> // Потенциал современной науки. 2015. № 5 (13). с. 25–28.
19. Анфилатов, А. А. Содержание токсичных компонентов дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 14. с. 120–123.
20. Анфилатов, А. А. Эффективные показатели дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле в зависимости от частоты вращения // Потенциал современной науки. 2015. № 5 (13). с. 29–32.
21. Скрыбин, М. Л. Влияние применения природного газа на содержание токсичных компонентов в отработавших газах дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на номинальной частоте вращения в зависимости от установочного угла опережения впрыскивания топлива // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 101–104.
22. Скрыбин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2009. — 202 с.
23. Лопатин, С. О., Скрыбин М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 96–98.
24. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрыбин М. Л. Улучшение эффективных показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 6. с. 19–21.
25. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрыбин М. Л. Улучшение токсических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 7. с. 6–7.

26. Скрябин, М.Л. Исследование мощностных и экономических показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 59–62.
27. Скрябин, М.Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.
28. Скрябин, М.Л. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла поворота коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 433–436.
29. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на частоте вращения максимального крутящего момента // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 312–314.
30. Скрябин, М.Л. Влияние отработавших газов автомобильного транспорта на окружающую среду // Молодой ученый. 2015. № 13. с. 185–187.
31. Скрябин, М.Л. Образование топливных оксидов азота в процессе горения углеводородного топлива // Молодой ученый. 2015. № 14. с. 186–188.
32. Скрябин, М.Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на показатели процесса сгорания дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки при работе на номинальной частоте вращения // Молодой ученый. 2015. № 15. с. 179–182.
33. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля Д-245.7 в зависимости от изменения нагрузки // Молодой ученый. 2015. № 16. с. 228–230.
34. Чувашев, А.Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2007. — 167с.
35. Чувашев, А.Н. Исследование показателей рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от значений установочных углов опережения впрыскивания топлив. Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 340–343.
36. Чувашев, А.Н. Характеристики тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на режиме максимального крутящего момента Молодой ученый. 2015. № 14 (94) с. 203–205.
37. Чувашев, А.Н. Характеристики тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения коленчатого вала. Технические науки: проблемы и перспективы: материалы III Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, июль 2015 г.). — СПб.: Свое издательство, 2015. — с. 77–78.
38. Чувашев, А.Н. Совмещённые индикаторные диаграммы дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ при установочном угле впрыскивания дизтоплива 34°. Молодой ученый. 2015. № 16 (96) с. 244–246.
39. Лопатин, О.П. Оценка эффективности применения регулируемой рециркуляции в газодизеле // Молодой ученый. 2015. № 15. с. 131–133.
40. Лопатин, О.П. Влияние степени рециркуляции на характеристики тепловыделения и содержание оксидов азота в цилиндре тракторного газодизеля // Молодой ученый. 2015. № 14. с. 168–171.
41. Лопатин, О.П. Индексирование рабочего процесса газодизеля при работе с рециркуляцией // Молодой ученый. 2015. № 13. с. 144–147.
42. Лопатин, О.П. Влияние применения рециркуляции на эффективные показатели дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 232–235.
43. Лопатин, О.П. Исследование скоростного режима газодизеля при работе с рециркуляцией // Молодой ученый. 2015. № 11. с. 379–383.
44. Лопатин, О.П. Моделирование процесса образования оксидов азота в цилиндре газодизеля // Молодой ученый. 2015. № 11. с. 370–372.
45. Лопатин, О.П. Исследование индикаторных показателей газодизеля при работе с рециркуляцией отработавших газов // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 253–255.

## Многопараметровые характеристики дизелей как оценка содержания оксидов азота в ОГ

Лопатин Олег Петрович, кандидат технических наук, доцент  
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

Наиболее полное представление о влиянии скоростных и нагрузочных режимов на уровни выбросов  $\text{NO}_x$  можно получить ознакомившись с многопараметровыми характеристиками дизелей (рис. 1) [1–6].

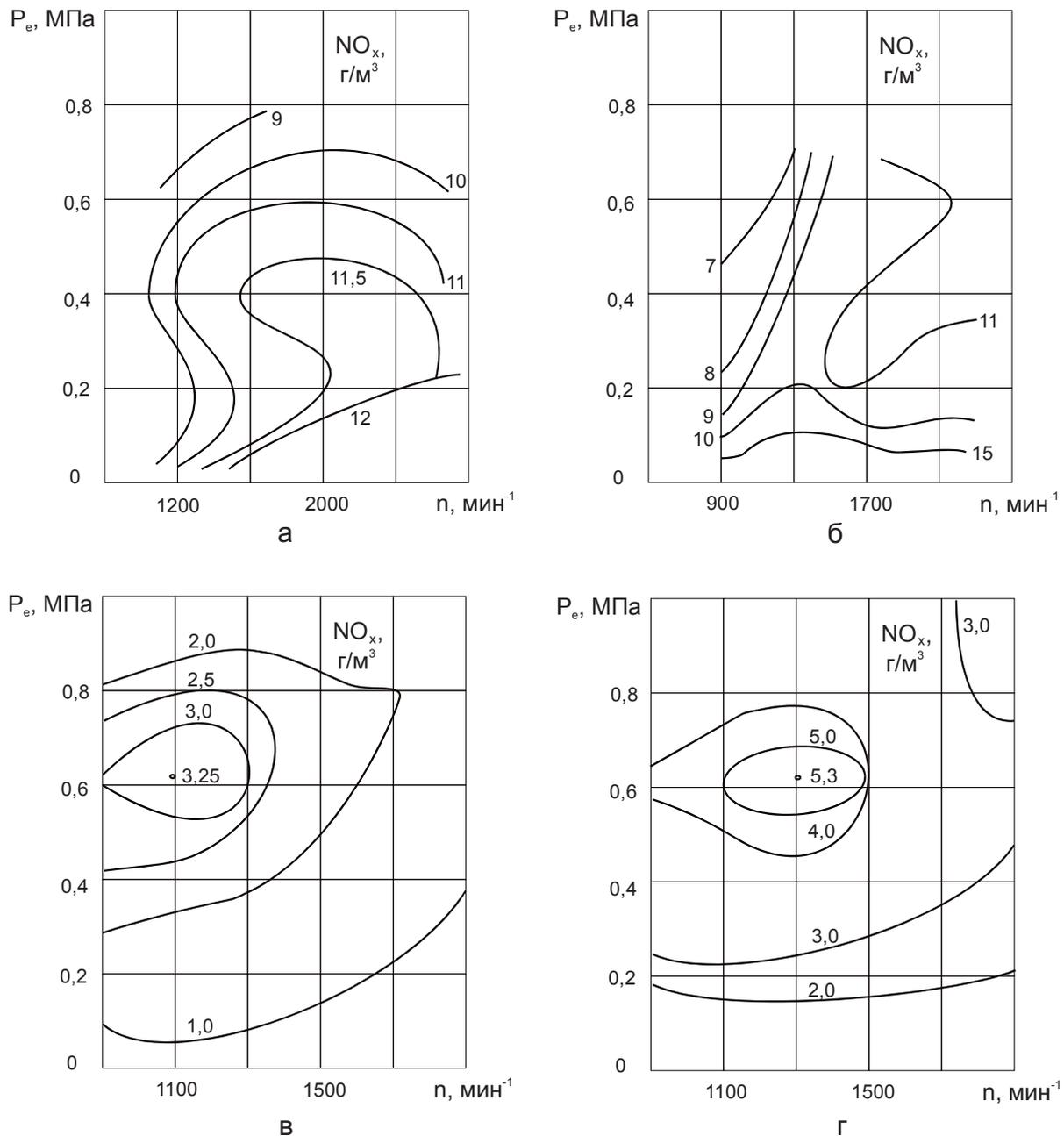


Рис. 1. Многопараметровые характеристики дизелей

На рис. 1, а даны многопараметровые характеристики выбросов NO<sub>x</sub> дизелями КаМАЗ-740, а на рис. 1, б дизелями ЯМЗ-236. Многопараметровые характеристики позволяют выделить зоны, характеризующие в условиях эксплуатации дизелей наиболее опасные режимы работы дизеля [7–15]. Из характеристик видно, что зоны максимальных выбросов NO<sub>x</sub> лежат в районах P<sub>e</sub>=0,3...0,5 МПа при частотах вращения от 1500 мин<sup>-1</sup> и до максимальных [16–24]. Сравнение многопараметровых характеристик тракторных дизелей А-01М (рис 1, в) и А-41

(рис 1, г) показывает, что для этого типа дизелей наиболее опасными режимами, с точки зрения выбросов NO<sub>x</sub> являются сочетания P<sub>e</sub>=0,5...0,7 МПа при частотах вращения свыше 1500 мин<sup>-1</sup> [25–34].

Однако выделение выше названных факторов, как основополагающих при определении уровней выбросов NO<sub>x</sub> дизелями, было бы не верным, так как их действие обнаруживается в разной мере в сочетании с регулировками, видами топлива, геометрией камеры сгорания, условиями окружающей среды и так далее [35–40].

Литература:

1. Лиханов, В. А., Анфилатов А.А. Изменение образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 4. с. 3–5.

2. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Анфилатов А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путём применения метанола с использованием двойной системы топливоподачи // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 5. с. 5–8.
3. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 3. с. 4–5.
4. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 4. с. 10–13.
5. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Анфилатов А. А., Глухов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография / Под общ. ред. В. А. Лиханова. — Киров: Вятская ГСХА, 2009. — 334 с.
6. Анфилатов, А. А., Лиханов В. А., Лопатин О. П. Исследование процессов образования и разложения оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 путем применения метанола с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров, 2008. — 156 с.
7. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Полевщиков А. С., Долгих М. А., Верстаков С. А. Эффективные и экологические показатели дизеля с двойной системой топливоподачи. Тракторы и сельхозмашины, 2011. — № 10, с. 8–10.
8. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Исследование применения метанола в дизеле на оптимальных установочных углах // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 42–44.
9. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2007. — 129 с.
10. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Показатели процесса сгорания дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения Молодой ученый. 2015. № 15 (95) с. 109–111.
11. Анфилатов, А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 184с.
12. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на оксиды азота при сгорании в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 151–154.
13. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле для номинальной частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 142–145.
14. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11. с. 235–238.
15. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
16. Анфилатов, А. А. Удельный эффективный расход топлива дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 87–90.
17. Анфилатов, А. А. Изменения объемного содержания и массовой концентрации оксидов азота в отработавших газах дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 15. С. 75–78.
18. Анфилатов, А. А. Эффективные характеристики дизеля при работе на метаноле и  $N = 1800$  мин<sup>-1</sup> // Потенциал современной науки. 2015. № 5 (13). с. 25–28.
19. Анфилатов, А. А. Содержание токсичных компонентов дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 14. с. 120–123.
20. Анфилатов, А. А. Эффективные показатели дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле в зависимости от частоты вращения // Потенциал современной науки. 2015. № 5 (13). с. 29–32.
21. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на содержание токсичных компонентов в отработавших газах дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на номинальной частоте вращения в зависимости от установочного угла опережения впрыскивания топлива // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 101–104.
22. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2009. — 202 с.
23. Лопатин, С. О., Скрябин М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 96–98.
24. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение эффективных показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 6. с. 19–21.

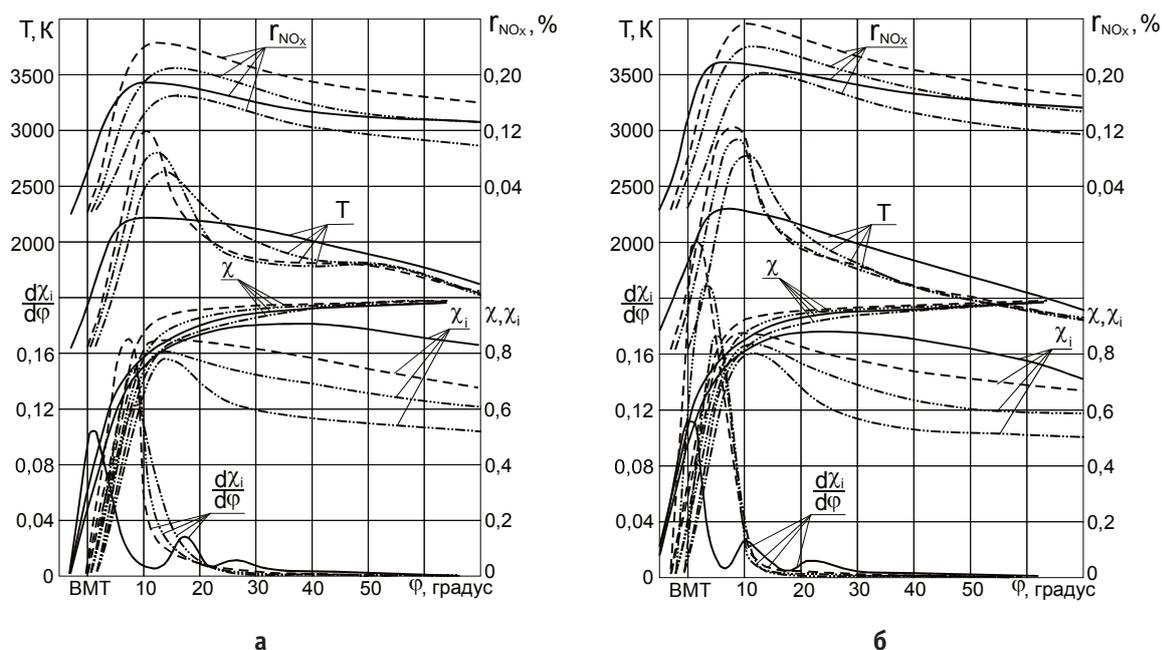
25. Лиханов, В.А., Гребнев А.В., Бузмаков Ю.Г., Скрябин М.Л. Улучшение токсических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 7. с. 6–7.
26. Скрябин, М.Л. Исследование мощностных и экономических показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 59–62.
27. Скрябин, М.Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.
28. Скрябин, М.Л. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла поворота коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 433–436.
29. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на частоте вращения максимального крутящего момента // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 312–314.
30. Скрябин, М.Л. Влияние отработавших газов автомобильного транспорта на окружающую среду // Молодой ученый. 2015. № 13. с. 185–187.
31. Скрябин, М.Л. Образование топливных оксидов азота в процессе горения углеводородного топлива // Молодой ученый. 2015. № 14. с. 186–188.
32. Скрябин, М.Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на показатели процесса сгорания дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки при работе на номинальной частоте вращения // Молодой ученый. 2015. № 15. с. 179–182.
33. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля Д-245.7 в зависимости от изменения нагрузки // Молодой ученый. 2015. № 16. с. 228–230.
34. Чувашев, А.Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2007. — 167с.
35. Чувашев, А.Н. Исследование показателей рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от значений установочных углов опережения впрыскивания топлив. Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 340–343.
36. Чувашев, А.Н. Характеристики тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на режиме максимального крутящего момента Молодой ученый. 2015. № 14 (94) с. 203–205.
37. Чувашев, А.Н. Характеристики тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения коленчатого вала. Технические науки: проблемы и перспективы: материалы III Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, июль 2015 г.). — СПб.: Свое издательство, 2015. — с. 77–78.
38. Чувашев, А.Н. Совмещённые индикаторные диаграммы дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ при установочном угле впрыскивания дизтоплива 34°. Молодой ученый. 2015. № 16 (96) с. 244–246.
39. Лопатин, О.П. Оценка эффективности применения регулируемой рециркуляции в газодизеле // Молодой ученый. 2015. № 15. с. 131–133.
40. Лопатин, О.П. Влияние степени рециркуляции на характеристики тепловыделения и содержание оксидов азота в цилиндре тракторного газодизеля // Молодой ученый. 2015. № 14. с. 168–171.

## **Динамика тепловыделения и содержание оксидов азота в цилиндре газодизеля на режиме максимального крутящего момента**

Лопатин Олег Петрович, кандидат технических наук, доцент  
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

Графики содержания оксидов азота, динамики выделения тепла, температуры газов, скорости отвода тепла и полезного выделения тепла в цилиндре газодизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла поворота

коленчатого вала при работе по дизельному, газодизельному и газодизельному с рециркуляцией отработавших газов (РОГ) процессам для частоты вращения 1700 мин<sup>-1</sup> представлены на рис. 1 [1–7].



**Рис. 1.** Влияние применения природного газа и РОГ на характеристики тепловыделения и содержание оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла поворота коленчатого вала двигателя при  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$  и  $p_e = 0,69 \text{ МПа}$ : а —  $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$ ; б —  $\Theta_{\text{впр}} = 26^\circ$ ; — — — — дизельный процесс; - - - - газодизельный процесс; ······ — рециркуляция 10%; ······ — рециркуляция 20%

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 увеличением максимальной температуры цикла [8–15]. Так, при работе по газодизельному процессу с 20%-ной РОГ (рис. 1, а) максимальное содержание оксидов азота составляет 0,18%, что ниже газодизельного и дизельного процессов на 30 и 9% соответственно и выше более 50% содержания оксидов азота в ОГ на этом же режиме [16–24]. Следовательно, это говорит о том, что с уменьшением температуры происходит активное разложение образовавшегося оксида азота. При работе по газодизельному с РОГ процессу уменьшается скорость активного выделения тепла. Для газодизельного с РОГ процесса характерно уменьшение температуры газов в цилиндре, смещение максимального значения в сто-

рону от ВМТ [25–33]. Так, при работе газодизеля с 10%-ной РОГ на режиме при максимальном крутящем моменте происходит снижение максимальной температуры газов в цилиндре с 3100 К (рис. 1, б) при чисто газодизельном процессе до 2850 К, при работе газодизеля с 20%-ной РОГ максимальная температура цикла составляет 2750 К, что ниже на 350 К чисто газодизельного процесса [34–40].

В целом характер протекания характеристик тепловыделения, как при газодизельном, так и при газодизельном с РОГ процессам отличный от характеристик дизельного процесса. Значения активного выделения тепла при максимальной температуре и максимума скорости активного тепловыделения при работе по газодизельному с РОГ процессу уменьшаются с увеличением степени рециркуляции во всем диапазоне изменения нагрузок.

Литература:

1. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Изменение образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 4. с. 3–5.
2. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Анфилатов А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путём применения метанола с использованием двойной системы топливopодачи // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 5. с. 5–8.
3. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 3. с. 4–5.
4. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 4. с. 10–13.
5. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Анфилатов А. А., Глухов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливopодачи: Монография / Под общ. ред. В. А. Лиханова. — Киров: Вятская ГСХА, 2009. — 334 с.

6. Анфилатов, А. А., Лиханов В. А., Лопатин О. П. Исследование процессов образования и разложения оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 путем применения метанола с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров, 2008. — 156 с.
7. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Полевщиков А. С., Долгих М. А., Верстаков С. А. Эффективные и экологические показатели дизеля с двойной системой топливоподачи. Тракторы и сельхозмашины, 2011. — № 10, с. 8–10.
8. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Исследование применения метанола в дизеле на оптимальных установочных углах // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 42–44.
9. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2007. — 129 с.
10. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Показатели процесса сгорания дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения Молодой ученый. 2015. № 15 (95) с. 109–111.
11. Анфилатов, А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 184с.
12. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на оксиды азота при сгорании в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 151–154.
13. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле для номинальной частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 142–145.
14. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11. с. 235–238.
15. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
16. Анфилатов, А. А. Удельный эффективный расход топлива дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 87–90.
17. Анфилатов, А. А. Изменения объемного содержания и массовой концентрации оксидов азота в отработавших газах дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 15. С. 75–78.
18. Анфилатов, А. А. Эффективные характеристики дизеля при работе на метаноле и  $N = 1800$  мин<sup>-1</sup> // Потенциал современной науки. 2015. № 5 (13). с. 25–28.
19. Анфилатов, А. А. Содержание токсичных компонентов дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 14. с. 120–123.
20. Анфилатов, А. А. Эффективные показатели дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле в зависимости от частоты вращения // Потенциал современной науки. 2015. № 5 (13). с. 29–32.
21. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на содержание токсичных компонентов в отработавших газах дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на номинальной частоте вращения в зависимости от установочного угла опережения впрыскивания топлива // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 101–104.
22. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2009. — 202 с.
23. Лопатин, С. О., Скрябин М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 96–98.
24. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение эффективных показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 6. с. 19–21.
25. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение токсических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 7. с. 6–7.
26. Скрябин, М. Л. Исследование мощностных и экономических показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 59–62.
27. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.
28. Скрябин, М. Л. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла поворота коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 433–436.

29. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на частоте вращения максимального крутящего момента // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 312–314.
30. Скрябин, М.Л. Влияние отработавших газов автомобильного транспорта на окружающую среду // Молодой ученый. 2015. № 13. с. 185–187.
31. Скрябин, М.Л. Образование топливных оксидов азота в процессе горения углеводородного топлива // Молодой ученый. 2015. № 14. с. 186–188.
32. Скрябин, М.Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на показатели процесса сгорания дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки при работе на номинальной частоте вращения // Молодой ученый. 2015. № 15. с. 179–182.
33. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля Д-245.7 в зависимости от изменения нагрузки // Молодой ученый. 2015. № 16. с. 228–230.
34. Чувашев, А.Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2007. — 167с.
35. Чувашев, А.Н. Исследование показателей рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от значений установочных углов опережения впрыскивания топлив. Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 340–343.
36. Чувашев, А.Н. Характеристики тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на режиме максимального крутящего момента Молодой ученый. 2015. № 14 (94) с. 203–205.
37. Чувашев, А.Н. Характеристики тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения коленчатого вала. Технические науки: проблемы и перспективы: материалы III Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, июль 2015 г.). — СПб.: Свое издательство, 2015. — с. 77–78.
38. Чувашев, А.Н. Совмещённые индикаторные диаграммы дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ при установочном угле впрыскивания дизтоплива 34°. Молодой ученый. 2015. № 16 (96) с. 244–246.
39. Лопатин, О.П. Оценка эффективности применения регулируемой рециркуляции в газодизеле // Молодой ученый. 2015. № 15. с. 131–133.
40. Лопатин, О.П. Влияние степени рециркуляции на характеристики тепловыделения и содержание оксидов азота в цилиндре тракторного газодизеля // Молодой ученый. 2015. № 14. с. 168–171.

## Скоростные характеристики динамики тепловыделения и содержания оксидов азота в цилиндре газодизеля

Лопатин Олег Петрович, кандидат технических наук, доцент  
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

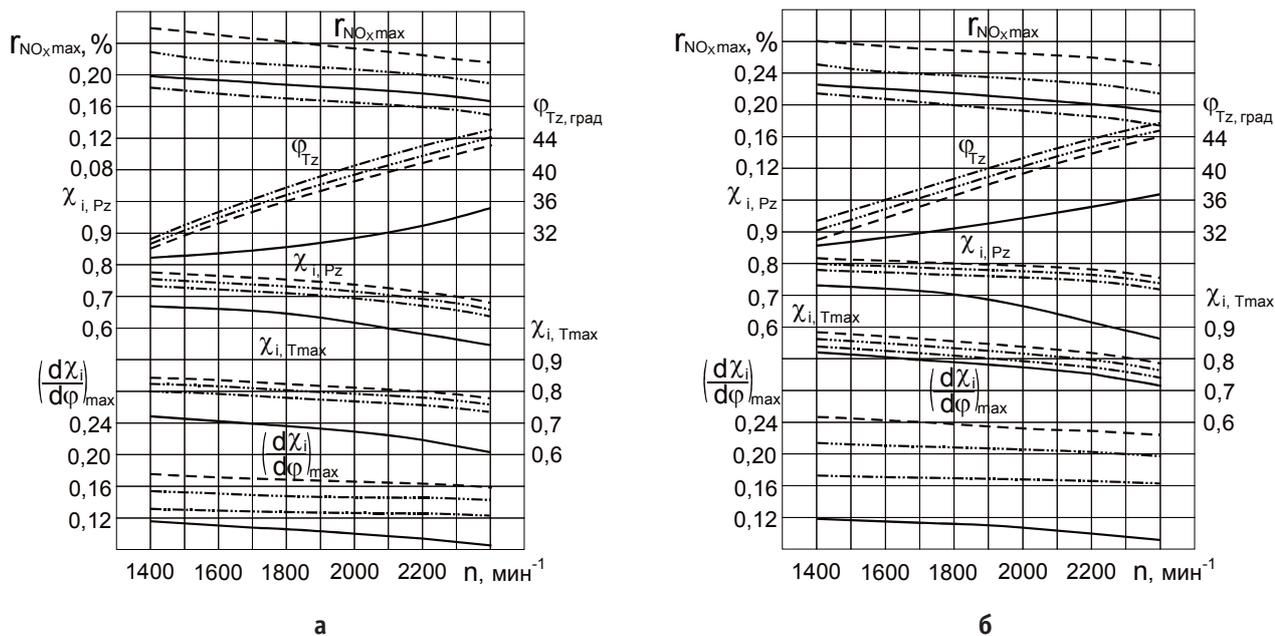
Характеристики тепловыделения и содержание оксидов азота в цилиндре газодизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе по дизельному, газодизельному и газодизельному с рециркуляцией отработавших газов (РОГ) процессам для установочных углов опережения впрыскивания топлива 23 и 26 градусов в зависимости от изменения частоты вращения представлены на рис. 1 [1–8].

Из графиков видно, что при газодизельном с РОГ процессе характер кривых максимального содержания оксидов азота в цилиндре и тепловыделения аналогичен газодизельному процессу [9–16]. Так, с увеличением частоты вращения коленчатого вала происходит снижение максимального содержания оксидов азота, активного выделения тепла при максимальном давлении, активного выделения тепла при максимальной температуре и максимума скорости активного тепловыделения. При этом

происходит увеличение угла, соответствующего максимальной температуре цикла в цилиндре дизеля [17–24].

В целом применение природного газа увеличивает максимальную температуру цикла в цилиндре, что, в свою очередь, отрицательно сказывается на содержании оксидов азота [25–32]. Применение же РОГ довольно эффективно решает эту проблему. При этом происходит не только снижение содержания оксидов азота, но и уменьшение всего спектра токсичных компонентов за счет уменьшения объема отработавших газов [33–38].

Так, применение 10%-ной РОГ приводит к снижению содержания оксидов азота в районе 30%, а применение 20%-ной РОГ снижает содержание оксидов азота более чем на 40%. Точно так же с увеличением степени РОГ происходит снижение активного выделения тепла при максимальном давлении, активного выделения тепла при



**Рис. 1. Влияние применения природного газа и РОГ на характеристики тепловыделения и содержание оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения: а —  $\Theta_{впр} = 23^\circ$ ; б —  $\Theta_{впр} = 26^\circ$ ; — — — — дизельный процесс; - - - - — газодизельный процесс; - · - · - · — рециркуляция 10%; - · - · - · — рециркуляция 20%**

максимальной температуре и максимума скорости активного тепловыделения и возрастает значение угла, со-

ответствующего максимальной температуре цикла в цилиндре дизеля [39–42].

#### Литература:

1. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Изменение образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 4. с. 3–5.
2. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Анфилатов А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путём применения метанола с использованием двойной системы топливоподачи // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 5. с. 5–8.
3. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 3. с. 4–5.
4. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 4. с. 10–13.
5. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Анфилатов А. А., Глухов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография / Под общ. ред. В. А. Лиханова. — Киров: Вятская ГСХА, 2009. — 334 с.
6. Анфилатов, А. А., Лиханов В. А., Лопатин О. П. Исследование процессов образования и разложения оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 путем применения метанола с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров, 2008. — 156 с.
7. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Полевщиков А. С., Долгих М. А., Верстаков С. А. Эффективные и экологические показатели дизеля с двойной системой топливоподачи. Тракторы и сельхозмашины, 2011. — № 10, с. 8–10.
8. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Исследование применения метанола в дизеле на оптимальных установочных углах // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 42–44.
9. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2007. — 129 с.
10. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Показатели процесса сгорания дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения Молодой ученый. 2015. № 15 (95) с. 109–111.
11. Анфилатов, А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 184с.

12. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на оксиды азота при сгорании в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 151–154.
13. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле для номинальной частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 142–145.
14. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11. с. 235–238.
15. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
16. Анфилатов, А. А. Удельный эффективный расход топлива дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 87–90.
17. Анфилатов, А. А. Изменения объемного содержания и массовой концентрации оксидов азота в отработавших газах дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 15. С. 75–78.
18. Анфилатов, А. А. Эффективные характеристики дизеля при работе на метаноле и  $N = 1800$  мин<sup>-1</sup> // Потенциал современной науки. 2015. № 5 (13). с. 25–28.
19. Анфилатов, А. А. Содержание токсичных компонентов дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 14. с. 120–123.
20. Анфилатов, А. А. Эффективные показатели дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле в зависимости от частоты вращения // Потенциал современной науки. 2015. № 5 (13). с. 29–32.
21. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на содержание токсичных компонентов в отработавших газах дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на номинальной частоте вращения в зависимости от установочного угла опережения впрыскивания топлива // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 101–104.
22. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2009. — 202 с.
23. Лопатин, С. О., Скрябин М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 96–98.
24. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение эффективных показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 6. с. 19–21.
25. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение токсических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 7. с. 6–7.
26. Скрябин, М. Л. Исследование мощностных и экономических показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 59–62.
27. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.
28. Скрябин, М. Л. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла поворота коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 433–436.
29. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на частоте вращения максимального крутящего момента // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 312–314.
30. Скрябин, М. Л. Влияние отработавших газов автомобильного транспорта на окружающую среду // Молодой ученый. 2015. № 13. с. 185–187.
31. Скрябин, М. Л. Образование топливных оксидов азота в процессе горения углеводородного топлива // Молодой ученый. 2015. № 14. с. 186–188.
32. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на показатели процесса сгорания дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки при работе на номинальной частоте вращения // Молодой ученый. 2015. № 15. с. 179–182.
33. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля Д-245.7 в зависимости от изменения нагрузки // Молодой ученый. 2015. № 16. с. 228–230.
34. Чувашев, А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2007. — 167с.
35. Чувашев, А. Н. Исследование показателей рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от значений установочных углов опережения впрыскивания топлив. Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 340–343.

36. Чувашев, А. Н. Характеристики тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на режиме максимального крутящего момента Молодой ученый. 2015. № 14 (94) с. 203–205.
37. Чувашев, А. Н. Характеристики тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения коленчатого вала. Технические науки: проблемы и перспективы: материалы III Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, июль 2015 г.). — СПб.: Свое издательство, 2015. — с. 77–78.
38. Чувашев, А. Н. Совмещённые индикаторные диаграммы дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ при установочном угле впрыскивания дизтоплива 34°. Молодой ученый. 2015. № 16 (96) с. 244–246.
39. Лопатин, О. П. Оценка эффективности применения регулируемой рециркуляции в газодизеле // Молодой ученый. 2015. № 15. с. 131–133.
40. Лопатин, О. П. Влияние степени рециркуляции на характеристики тепловыделения и содержание оксидов азота в цилиндре тракторного газодизеля // Молодой ученый. 2015. № 14. с. 168–171.
41. Лопатин, О. П. Индицирование рабочего процесса газодизеля при работе с рециркуляцией // Молодой ученый. 2015. № 13. с. 144–147.
42. Лопатин, О. П. Влияние применения рециркуляции на эффективные показатели дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 232–235.

### Нагрузочные характеристики тепловыделения и содержания оксидов азота в цилиндре газодизеля на номинальном режиме работы

Лопатин Олег Петрович, кандидат технических наук, доцент  
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

Характеристики тепловыделения и содержание оксидов азота в цилиндре газодизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе по дизельному, газодизельному и газодизельному с рециркуляцией отработавших газов (РОГ) процессам

при частоте вращения 2200 мин<sup>-1</sup> в зависимости от изменения нагрузки представлены на рис. 1 [1–7].

Из графиков видно, что применение компримированного природного газа приводит к увеличению макси-

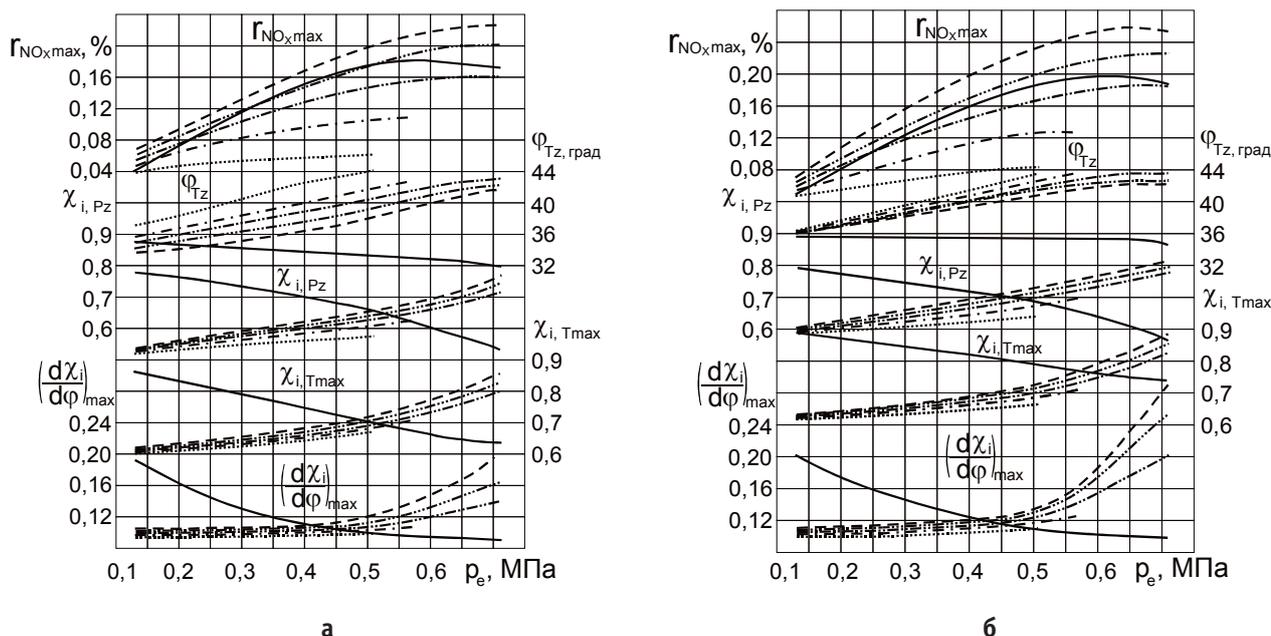


Рис. 1. Влияние применения природного газа и РОГ на характеристики тепловыделения и содержания оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки при  $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ : а —  $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$ ; б —  $\Theta_{\text{впр}} = 26^\circ$ ; — — — — дизельный процесс; - - - - - газодизельный процесс; ······ — рециркуляция 10%; — ····· — рециркуляция 20%; - ····· — рециркуляция 30%; ······· — рециркуляция 40%

мального содержания оксидов азота в цилиндре [8–15]. Так, на номинальном режиме работы это увеличение составляет 23,2%, а при  $p_e = 0,13$  МПа максимальное содержание оксидов азота увеличивается на 42,0%. Применение РОГ снижает максимальное содержание оксидов азота в цилиндре газодизеля во всём диапазоне изменения нагрузок [16–24]. При работе по газодизельному процессу с 40%-ной РОГ в диапазоне изменения нагрузки от 0,13 до 0,26 МПа происходит снижение максимального содержания оксидов азота на 45,0...57,6% [25–34].

Характер протекания характеристик тепловыделения, как при газодизельном, так и при газодизельном с РОГ процессам отличный от характеристик дизельного процесса. Значения активного выделения тепла при максимальном давлении газов, активного выделения тепла при максимальной температуре и максимума скорости активного тепловыделения при работе по газодизельному с РОГ процессу уменьшаются с увеличением степени рециркуляции во всем диапазоне изменения нагрузок. Значения  $j_{tz}$  на всех нагрузочных режимах с увеличением степени РОГ увеличиваются по отношению к чисто газодизельному процессу [35–42].

#### Литература:

1. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Изменение образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 4. с. 3–5.
2. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Анфилатов А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путём применения метанола с использованием двойной системы топливоподачи // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 5. с. 5–8.
3. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 3. с. 4–5.
4. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 4. с. 10–13.
5. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Анфилатов А. А., Глухов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография / Под общ. ред. В. А. Лиханова. — Киров: Вятская ГСХА, 2009. — 334 с.
6. Анфилатов, А. А., Лиханов В. А., Лопатин О. П. Исследование процессов образования и разложения оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 путем применения метанола с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров, 2008. — 156 с.
7. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Полевщиков А. С., Долгих М. А., Верстаков С. А. Эффективные и экологические показатели дизеля с двойной системой топливоподачи. Тракторы и сельхозмашины, 2011. — № 10, с. 8–10.
8. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Исследование применения метанола в дизеле на оптимальных установочных углах // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 42–44.
9. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2007. — 129 с.
10. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Показатели процесса сгорания дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения Молодой ученый. 2015. № 15 (95) с. 109–111.
11. Анфилатов, А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 184с.
12. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на оксиды азота при сгорании в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 151–154.
13. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле для номинальной частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 142–145.
14. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11. с. 235–238.
15. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
16. Анфилатов, А. А. Удельный эффективный расход топлива дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 87–90.
17. Анфилатов, А. А. Изменения объемного содержания и массовой концентрации оксидов азота в отработавших газах дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 15. С. 75–78.
18. Анфилатов, А. А. Эффективные характеристики дизеля при работе на метаноле и  $N = 1800$  мин<sup>-1</sup> // Потенциал современной науки. 2015. № 5 (13). с. 25–28.
19. Анфилатов, А. А. Содержание токсичных компонентов дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 14. с. 120–123.

20. Анфилатов, А. А. Эффективные показатели дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле в зависимости от частоты вращения // Потенциал современной науки. 2015. № 5 (13). с. 29–32.
21. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на содержание токсичных компонентов в отработавших газах дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на номинальной частоте вращения в зависимости от установочного угла опережения впрыскивания топлива // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 101–104.
22. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2009. — 202 с.
23. Лопатин, С. О., Скрябин М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 96–98.
24. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение эффективных показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 6. с. 19–21.
25. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение токсических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 7. с. 6–7.
26. Скрябин, М. Л. Исследование мощностных и экономических показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 59–62.
27. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.
28. Скрябин, М. Л. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла поворота коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 433–436.
29. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на частоте вращения максимального крутящего момента // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 312–314.
30. Скрябин, М. Л. Влияние отработавших газов автомобильного транспорта на окружающую среду // Молодой ученый. 2015. № 13. с. 185–187.
31. Скрябин, М. Л. Образование топливных оксидов азота в процессе горения углеводородного топлива // Молодой ученый. 2015. № 14. с. 186–188.
32. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на показатели процесса сгорания дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки при работе на номинальной частоте вращения // Молодой ученый. 2015. № 15. с. 179–182.
33. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля Д-245.7 в зависимости от изменения нагрузки // Молодой ученый. 2015. № 16. с. 228–230.
34. Чувашев, А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2007. — 167с.
35. Чувашев, А. Н. Исследование показателей рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от значений установочных углов опережения впрыскивания топлив. Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 340–343.
36. Чувашев, А. Н. Характеристики тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на режиме максимального крутящего момента Молодой ученый. 2015. № 14 (94) с. 203–205.
37. Чувашев, А. Н. Характеристики тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения коленчатого вала. Технические науки: проблемы и перспективы: материалы III Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, июль 2015 г.). — СПб.: Свое издательство, 2015. — с. 77–78.
38. Чувашев, А. Н. Совмещённые индикаторные диаграммы дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ при установочном угле впрыскивания дизтоплива 34°. Молодой ученый. 2015. № 16 (96) с. 244–246.
39. Лопатин, О. П. Оценка эффективности применения регулируемой рециркуляции в газодизеле // Молодой ученый. 2015. № 15. с. 131–133.

40. Лопатин, О. П. Влияние степени рециркуляции на характеристики тепловыделения и содержание оксидов азота в цилиндре тракторного газодизеля // Молодой ученый. 2015. № 14. с. 168–171.
41. Лопатин, О. П. Индицирование рабочего процесса газодизеля при работе с рециркуляцией // Молодой ученый. 2015. № 13. с. 144–147.
42. Лопатин, О. П. Влияние применения рециркуляции на эффективные показатели дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 232–235.

## Проблемы обеспечения информационной безопасности в открытых компьютерных системах

Малышев Иван Сергеевич, старший оператор научной роты;  
Маляров Андрей Иванович, кандидат юридических наук  
Краснодарское высшее военное училище имени генерала армии С. М. Штеменко

*В статье исследуются проблемы обеспечения информационной безопасности в открытых компьютерных системах. Описываются причины, угрозы, наиболее часто встречающиеся дефекты защиты и уязвимости открытых компьютерных систем. Раскрывается сложность противостояния экстремизму и терроризму в сети Интернет.*

Стремительное развитие информационных технологий на современном этапе невозможно без использования открытых компьютерных сетей. В свою очередь безопасность работы в открытых компьютерных сетях государственных учреждений, коммерческих организаций и даже отдельных лиц во многом зависит от качества передаваемой ими информации. Случаи нарушения целостности, конфиденциальности, доступности информации приводят не только к экономическим, сбоям в работе информационной системы, но и представляют реальную угрозу человеческим жизням.

Существует достаточно большое число определений понятия «открытая компьютерная система», сформулированных в различных организациях по стандартизации и в отдельных крупных компаниях. Анализируя их, можно сформулировать обобщённое определение открытых компьютерных сетей (ОКС). Открытая компьютерная система — это система, которая способна взаимодействовать с другой системой посредством реализации международных стандартных протоколов.

В связи с этим возникают вопросы обеспечения информационной безопасности в них. Информационная безопасность ОКС представляет собой «состояние защищённости сбалансированных интересов производителей информационно-коммуникационных технологий и конкретно сетей, потребителей, операторов и органов государственной власти в информационной сфере» [1].

Благодаря своей общедоступности ОКС являются удобным средством для обеспечения взаимодействия граждан, бизнеса и органов государственной власти. Однако чем более открыты сети, тем более они уязвимы. Статистическое исследование информационной безопасности в ОКС, проведенное в 2014 году специалистами компании

Positive Technologies, показало, что абсолютно все системы подвержены уязвимостям среднего уровня риска. Уязвимости высокой степени риска были обнаружены в 95% исследуемых систем [2]. Для большинства ОКС характерны следующие причины, приводящие к серьёзным проблемам обеспечения информационной безопасности:

- широкое использование технических средств импортного производства, потенциально имеющих не декларированные возможности;

- недостаточная проработка методологии документирования функционирования сетей, необходимого для создания доказательной базы правонарушений;

- неполное изъятие прав доступа при увольнении сотрудников, неправильно обслуживаемые права доступа;

- необоснованный общий доступ к файловым системам;

- недостаточные требования к идентификации пользователя;

- присутствие ненужных сервисов или приложений;

- отсутствие контроля вносимых изменений;

- отсутствие информации о внутренних угрозах безопасности;

- использование не сертифицированных в соответствии с требованиями безопасности отечественных и зарубежных информационных технологий, средств информатизации и связи, а также средств защиты информации и контроля их эффективности [3].

Адекватные меры противодействия указанным угрозам могут носить как организационный, так и технический характер. Естественно, одним из способов обеспечения информационной безопасности в ОКС является изоляция ОКС. Эта изоляция может быть обеспечена или путем физического отделения, или путем использования программно-аппаратных средств защиты ОКС.

В современных условиях Интернет является наиболее распространённой ОКС, состоящей из многочисленных сетей, пользователями которой, по некоторым оценкам, в настоящее время являются около 1,9 млрд. человек (в 2000 году таковых было всего 360 млн.) [4]. Вместе с тем, помимо положительных сторон применения Интернета, появляются деструктивные возможности его использования в идеологических и религиозных целях. Они также могут проявляться в религиозно-политическом экстремизме («виртуальный джихад»), ведущим к возникновению и эскалации межэтнических и межконфессиональных конфликтов. В связи с этим в современных условиях происходит формирование нового вида международного и внутригосударственного терроризма — информационного терроризма, и его разновидности — компьютерного терроризма (кибертерроризма) [5]. Данный вид терроризма может проявляться в двух формах: во-первых, как способ управления фактически автономными современными террористическими и экстремистскими организациями; во-вторых, для воздействия на автоматизированные системы управления органов власти и критических структур (военные объекты, химические производства, ядерные объекты и т.п.).

В качестве самостоятельного фактора данное явление фиксируется с середины 90-х гг. XX века [6]. По мнению некоторых исследователей, «этот новый вид терроризма будет осуществляться в инфосфере, представляющей собой совокупность информации, информационных структур, субъектов, осуществляющих сбор, формирование, распространение и использование информации, а также системы регулирования возникающих при этом общественных отношений» [7]. По мнению О.А. Степанова «под кибертерроризмом обычно понимают действия лица или группы лиц, направленные на устрашение людей, оказание давления на правительства и организации с целью создания атмосферы страха в обществе, навязывания им определенной линии поведения либо причинения существенного вреда посредством использования информационно — электронных сетей, систем или информационно-электронных данных» [8]. Проведенный им анализ показывает, что основным содержанием кибертерроризма является несанкционированный доступ в информационно-телекоммуникационные сети; взлом кодов безопасности; нарушение работы серверов; скрытый перехват и копирование информации с электронных носителей; блокирование и уничтожение информации критически важных структур (военных пунктов управления, ядерных центров, химических производств, гидросооружений, систем энергоснабжения, аэропортов и т.п.).

В качестве основных средств и способов сетевого компьютерного вторжения кибертеррористы применяют: компьютерные вирусы загрузки; компьютерные вирусы (черви), модифицирующие или блокирующие информацию, блокирующие работу автоматизированной информационной системы; программы класса Logic Bombs, обеспечивающие негласный доступ и съём информации;

программы класса Trojan Horse; поисковые программы класса Sniffers; программы подавления обмена в сетях; дикие макровирусы класса boot-macro-file-multipartite-worm [6].

Интернет является сверхдинамичной открытой системой, и контролировать её развитие даже на данном этапе довольно трудно, а в перспективе, согласно прогнозам ряда зарубежных экспертов, станет практически невозможно. Принимаемые сейчас государством меры в какой-то степени снижают террористическую активность в сети, однако находятся всё новые методы и пути обхода этого контроля. Сложность противостояния экстремизму и терроризму в Интернете обусловлена рядом факторов:

во-первых, пространство Интернета крайне обширно — предугадать характер информации, время, место, автора и её цель практически невозможно. Современные технологии позволяют лишь частично отследить первоочередную информацию. Однако ряд программных средств, доступных обычному пользователю, позволяет обойти и эти технологии;

во-вторых, террористы могут использовать для загрузки своих материалов ресурсы, не требующие регистрирующих данных, и, кроме того, популяризировать ссылки на них через социальные сети. В этом случае масса пользователей, которые, просматривая новостные ленты, случайно получают доступ к тому или иному материалу;

в-третьих, вероятность того, что опубликованный где-либо материал сразу же обнаружат и удалят, крайне мала;

в-четвёртых, единой законодательной базы, регулирующей содержание контента Интернета, пока не существует, хотя попытки её создания предпринимались уже не раз [9].

Анализ информационной безопасности в сети показывает, что контент основных интернет-ресурсов по продвижению идеологии терроризма носит наступательный, агрессивный характер, отличается хорошей теоретической базой, продуманным спектром методов управляемого информационно-психологического воздействия на пользователей и защищённостью ресурсов. Интернет сегодня превратился в мощный инструмент манипуляции сознанием и поведением молодых людей, способный эффективно влиять на общественное мнение, как в России, так и за рубежом. Этому способствует специфика глобальной сети, которая обеспечивает такие преимущества, как простота доступа, независимость от географического расположения, неограниченная потенциальная аудитория, высокая скорость передачи информации, трудности в осуществлении контроля со стороны правоохранительных органов и другие.

В виртуальном пространстве осуществляется управление деятельностью автономных групп, проводится идеологическая работа, сбор средств, а также непосредственная подготовка к совершению экстремистских акций. Необходимо отметить, что одной из главных задач, решаемых экстремистскими и террористическими орга-

низациями с помощью Интернета, является как можно более широкое освещение своих акций с привязкой их к идеологическим установкам и устрашением общества.

Прекращение деятельности таких интернет-ресурсов зачастую невозможно в силу правовых и юридических сложностей, а иногда малоэффективно, т.к. их место быстро занимают новые. Несмотря на обеспокоенность, проблемой терроризма и на предпринимаемые усилия кон-

троль Интернет-пространства остаётся сложной задачей. Эксперты в сфере обеспечения информационной безопасности приходят к выводу, что в основе борьбы с пропагандой экстремизма и терроризма в глобальной сети должны лежать комплексные меры, которые со своей строгостью будут применяться в отношении как лиц, осуществляющих такую деятельность, так и в отношении их любых пособников [10].

Литература:

1. Материалы Международного конгресса «Доверие и безопасность в информационном обществе», 21 апреля 2003. [Электронный ресурс] / <http://www.rans.ru>. (дата обращения 05.05.2015).
2. Статистические исследования информационной безопасности в открытых компьютерных системах за 2014 год. [Электронный ресурс] / <http://www.positive-technologies.ru>. (дата обращения 05.05.2015).
3. Барабанова, М.И. Информационные технологии: открытые системы, сети, безопасность в системах и сетях [Текст]: учебное пособие. / — М.И. Барабанова, В.И. Кияев. — СПб.: Изд-во СПбГУЭФ., 2010. — 267 с.
4. Путилин, Б.Г. Террористический интернационал [Текст] / Б.Г. Путилин. — М., 2005. — 300 с.
5. Маляров, А.И. Уголовно-правовые и криминологические аспекты международного сотрудничества в сфере защиты электронно-цифровой информации [Текст]: дис. ... канд. юрид. наук: 12.00.08: защищена 10.12.08: утв. 20.03.08 / Маляров Андрей Иванович. — Краснодар: КГАУ, 2008. — 266 с. — Библиогр.: с. 217–246.
6. Джангир, А. Четвертая мировая война [Текст] / А. Джангир // Информационно-аналитический справочник по негосударственным военизированным системам. — М., 2003. — 597 с.
7. Требин, М.П. Терроризм в XXI веке [Текст] / М.П. Требин. — М., 2003. — с. 267.
8. Степанов, О.А. Развитие информационно-электронных систем как объект правового анализа в условиях нарастания угрозы кибертерроризма [Текст] / О.А. Степанов // Государство и право. — 2008. — № 8. — с. 19.
9. Завьялов, С. Зарубежный опыт в области борьбы с пропагандой терроризма в интернете [Текст] / С. Завьялов // Зарубежное военное образование. — 2014. — № 4 (805). — с. 24.
10. Попов, В.В. Методические рекомендации по совершенствованию пропагандистской работы в сфере противодействия распространению идеологии терроризма в субъектах Российской Федерации [Текст] / В.В. Попов. — М., 2013. — 49 с.

### К вопросу о пошаговой формовке изогнутого стального листа

Мокроусов Владимир Иванович, инженер-технолог  
АО «Выксунский металлургический завод» (Нижегородская обл.)

*Получен метод расчета технологических параметров формовки изогнутой стальной заготовки на трубном прессе.*

**Ключевые слова:** *стальная труба, листовая заготовка, трубный пресс.*

Формовка заготовки на трубном прессе (рис. 1–4). Пусть  $H$  — глубина обжатия заготовки при формовке;  $r_1$  и  $r_2$  — радиусы пуансона и матрицы;  $r_0$  — радиус недеформируемой части заготовки ( $\beta > 1$ );  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  — углы контакта заготовки с левой и правой матрицами;  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  — углы левой и правой зон контакта пуансона и заготовки;  $L$  — расстояние между матрицами.

Тогда

$$\varphi_0 = \alpha_1 - \varphi_1 = \arccos \left[ \frac{(\beta r_1 + r_1)^2 + r_1^2 (\beta - 1)^2 - (r_1 + r_1 - H)^2 - \left(\frac{L}{2} + r_1\right)^2}{2(\beta r_1 + r_1) r_1 (\beta - 1)} \right],$$



Рис. 1. Формовка левой части изогнутой заготовки на трубном прессе



Рис. 2. Формовка правой части изогнутой заготовки на трубном прессе

$$\varphi_0 = \arcsin \left[ \frac{(\beta r_i + r_i) \sin \varphi_0}{\sqrt{(\beta r_i + r_i)^2 - 2(\beta r_i + r_i) r_i (\beta - 1) \cos \varphi_0 + r_i^2 (\beta - 1)^2}} \right],$$

$$\varphi_1 = -\varphi_0 + \arcsin \left[ \frac{\frac{L}{2} + r_i}{\sqrt{(\beta r_i + r_i)^2 - 2(\beta r_i + r_i) r_i (\beta - 1) \cos \varphi_0 + r_i^2 (\beta - 1)^2}} \right],$$

$$\alpha_1 = \varphi_1 + \varphi_0,$$



Рис. 3. Формовка середины изогнутой заготовки на трубном прессе

$$\alpha = \varphi = \arcsin \left( \frac{r_1 + r_2}{\sqrt{(r_1 + r_2 - H)^2 + \left(\frac{L}{2} + r_1\right)^2}} \right) - \operatorname{arctg} \left( \frac{r_1 + r_2 - H}{\frac{L}{2} + r_1} \right),$$

Угол контактной зоны между заготовкой и пуансоном равен  $\varphi_k = (\varphi_1 + \varphi)$ .



Рис. 4. Вид заготовки после формовки на трубном прессе

**Дефекты трубной заготовки и стального листа.** В практике производства стальных труб для магистральных трубопроводов утвердился процесс формовки заготовки по схеме JCOE [1–49]. Перед формовкой труб стальной лист

правят на листопрямляющих машинах [8, 9, 14–19]. Дефект стального листа раскатной пригар с риской изучался в работах — в [3, 8, 9], дефект несплавления сварного продольного шва — в [4, 8, 9], вредное влияние остаточных напряжений стального листа на процесс экспандирования трубы — в [5, 8, 9], дефект образования гофра стального листа на кромкогибочном прессе — [8, 9, 22–34], дефект точка перегиба при изгибе стального листа на трубоформовочном прессе — в [8, 9, 36].

Автор выражает благодарность научному руководителю, профессору, д.ф. — м.н. Владимиру Николаевичу Шинкину (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС») за обсуждение статьи и ценные замечания.

#### Литература:

1. Мокроусов, В. И. Формовка плоской стальной заготовки на трубном прессе // Молодой ученый. 2015. № 15 (95) с. 133–136.
2. Мокроусов, В. И. К вопросу о гибке стальной цилиндрической заготовки // Молодой ученый. 2015. № 16 (96).
3. Шинкин, В. Н., Мокроусов В. И. Критерий разрыва труб газонефтепроводов при дефекте раскатной пригар с риской // Производство проката. 2012. № 12. с. 19–24.
4. Шинкин, В. Н., Барыков А. М., Коликов А. П., Мокроусов В. И. Критерий разрушения труб большого диаметра при несплавлении сварного соединения и внутреннем давлении // Производство проката. 2012. № 2. с. 14–16.
5. Шинкин, В. Н., Коликов А. П., Мокроусов В. И. Расчет максимальных напряжений в стенке трубы при экспандировании с учетом остаточных напряжений заготовки после трубоформовочного пресса SMS Meer // Производство проката. 2012. № 7. с. 25–29.
6. Мокроусов, В. И. К вопросу о разрыве стальных прямошовных труб при гидроиспытаниях и дефекте сварного шва // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 8–1.
7. Мокроусов, В. И. К вопросу о разрушении труб при дефекте раскатной пригар с риской // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 9–1.
8. Шинкин, В. Н. Механика сплошных сред для металлургов. — М: Изд. Дом МИСиС, 2014. — 628 с.
9. Шинкин, В. Н. Сопrotивление материалов для металлургов. — М: Изд. Дом МИСиС, 2013. — 655 с.
10. Шинкин, В. Н. Сопrotивление материалов. Простые и сложные виды деформаций в металлургии. — М: Изд. Дом МИСиС, 2008. — 307 с.
11. Шинкин, В. Н. Теоретическая механика для металлургов. — М: Изд. Дом МИСиС, 2012. — 679 с.
12. Буланов, Э. А., Шинкин В. Н. Механика. Вводный курс. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. — 172 с.
13. Шинкин, В. Н. Математическая модель правки стальной полосы на пятироликовой листопрямляющей машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 8 (88). с. 344–349.
14. Шинкин, В. Н. Правка толстой стальной полосы на одиннадцатироликовой листопрямляющей машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 359–365.
15. Шинкин, В. Н. Расчет технологических параметров правки тонкой стальной полосы на пятнадцатироликовой листопрямляющей машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 361–366.
16. Шинкин, В. Н. Холодная правка толстого стального листа на девятироликовой машине фирмы SMS Siemag на металлургическом комплексе стан 5000 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 467–472.
17. Шинкин, В. Н. Четырехроликовый режим холодной правки толстого стального листа на пятироликовой листопрямляющей машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 356–361.
18. Шинкин, В. Н. Упругопластическая деформация металлического листа на трехвалковых вальцах // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 225–229.
19. Шинкин, В. Н. Шестироликовый режим предварительной правки стальной полосы на листопрямляющей машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 14 (94). с. 205–211.
20. Шинкин, В. Н. Определение критических давлений магистральных газонефтепроводов при частичном несплавлении продольного сварного шва стальных толстостенных труб // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 222–227.
21. Шинкин, В. Н. Критерий разрушения труб при дефекте раскатной пригар // Молодой ученый. 2015. № 16 (96).
22. Шинкин, В. Н., Уандыкова С. К. Гибка стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе при производстве труб большого диаметра // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2009. № 16. с. 110–112.
23. Шинкин, В. Н. Гофр продольной кромки листа при его формовке на кромкогибочном прессе // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2009. Вып. 6. с. 171–174.
24. Шинкин, В. Н., Коликов А. П. Моделирование процесса пластического формоизменения листовой заготовки для производства труб большого диаметра // Обработка металлов давлением, 2011. № 3 (28). с. 7–11.

25. Шинкин, В. Н., Коликов А. П. Формовка листовой заготовки в кромкогибочном прессе и условие возникновения гофра при производстве труб магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 4. с. 14–22.
26. Шинкин, В. Н., Коликов А. П. Упругопластическое изменение металла на кромкогибочном прессе при формовке труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 6. с. 53–56.
27. Shinkin, V. N., Kolikov A. P. Elastoplastic shaping of metal in an edge-ending press in the manufacture of large-diameter pipe // Steel in Translation. 2011. Vol. 41. No. 6. P. 528–531.
28. Шинкин, В. Н., Коликов А. П. Модель пластического формоизменения кромок листовой заготовки при производстве труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Известия вузов. Черная металлургия. 2011. № 9. с. 45–49.
29. Шинкин, В. Н. Математическое моделирование процессов производства труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. № 4 (62). Вып. 4. с. 69–74.
30. Шинкин, В. Н., Коликов А. П., Барыков А. М. Технологические расчеты процессов производства труб большого диаметра по технологии SMS Meer // Металлург. 2011. № 11. с. 77–81.
31. Shinkin, V. N., Kolikov A. P. Engineering calculations for processes involved in the production of large-diameter pipes by the SMS Meer technology // Metallurgist. 2012. Vol. 55. Nos. 11–12. P. 833–840.
32. Шинкин, В. Н., Коликов А. П. Моделирование процесса формовки заготовки для труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 1. с. 54–58.
33. Shinkin, V. N., Kolikov A. P. Simulation of the shaping of blanks for large-diameter pipe // Steel in Translation. 2011. Vol. 41. No. 1. P. 61–66.
34. Шинкин, В. Н., Барыков А. М. Расчет формы трубной заготовки при гибке на кромкогибочном и трубоформовочном прессах фирмы SMS Meer при производстве труб большого диаметра по схеме JCOE // Производство проката. 2014. № 12. с. 13–20.
35. Шинкин, В. Н., Коликов А. П. Моделирование процессов экспандирования и гидроиспытания труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 10. с. 12–19.
36. Шинкин, В. Н. Критерий перегиба в обратную сторону свободной части листовой заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer при производстве труб большого диаметра // Производство проката. 2012. № 9. с. 21–26.
37. Шинкин, В. Н., Барыков А. М. Гибка стального листа на трубоформовочном прессе при производстве труб большого диаметра // Сталь. 2015. № 4. с. 38–42.
38. Шинкин, В. Н. Производство труб большого диаметра по схеме JCOE фирмы SMS Meer для магистральных трубопроводов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 3–1. с. 64–67.
39. Шинкин, В. Н. Расчет технологических параметров кромкогибочного пресса фирмы SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 4–1. с. 114–119.
40. Шинкин, В. Н. Математический критерий возникновения гофра при формовке стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 5–1. с. 96–99.
41. Шинкин, В. Н. Расчет усилий трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе плоской толстой стальной заготовки при производстве труб большого диаметра // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 6–1. с. 115–118.
42. Шинкин, В. Н. Оценка усилий трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе стальной цилиндрической заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 7–1. с. 74–78.
43. Шинкин, В. Н., Барыков А. М. Сила давления пуансона трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе частично изогнутой толстой стальной заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 8–1.
44. Шинкин, В. Н., Барыков А. М. Математический критерий перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 9–1.
45. Шинкин, В. Н., Федотов О. В. Расчет технологических параметров правки горячекатаной рулонной полосы на пятироликовой машине линии Fagor Arrasate // Производство проката. 2013. № 9. с. 43–48.
46. Шинкин, В. Н., Борисевич В. Г., Федотов О. В. Холодная правка стального листа в четырехроликовой листо-правильной машине // В сборнике: Глобализация науки: проблемы и перспективы. Том 2. — Уфа: Башкирский государственный университет, 2014. — с. 119–121.
47. Шинкин, В. Н., Барыков А. М. Расчет технологических параметров холодной правки стального листа на девятироликовой машине SMS Siemag металлургического комплекса стан 5000 // Производство проката. 2014. № 5. с. 7–15.

48. Шинкин, В. Н. Расчет технологических параметров правки стального листа на одиннадцатироликовой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2014. № 8. с. 26–34.
49. Шинкин, В. Н. Математическая модель правки тонкого стального листа на пятнадцатироликовой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2015. № 1. с. 42–48.

## Анализ предпосылок создания электромобилей на базе серийных автомобилей с ДВС

Полуэктвов Михаил Владимирович, кандидат технических наук, доцент;  
Долуда Алексей Олегович, студент;  
Климов Михаил Андреевич, студент  
Волгоградский государственный технический университет

*Рассмотрены основные преимущества и недостатки электромобилей по отношению к традиционным автомобилям с двигателями внутреннего сгорания (ДВС). Проанализированы особенности производства и технической эксплуатации электромобилей в современных условиях.*

**Ключевые слова:** электромобиль, техническая эксплуатация автомобилей.

В связи с тенденциями роста цен на нефтяные виды топлива и экологической обстановкой в крупных городах в настоящее время возрастает актуальность применения альтернативных источников энергии на автомобильном транспорте. Одним из таких источников является электричество.

Несмотря на то, что электромобили пока занимают лишь малую долю российского автопарка, их количество будет неуклонно расти. Учитывая цены на представленные на рынке электромобили (в настоящий момент цены варьируются от 1,7 до 7 миллионов рублей за автомобиль) [1] и специфику российского автопарка (большое количество подержанных автомобилей, имеющих значительные пробеги), в ближайшем будущем наиболее перспективным вариантом является переоборудование существующих автомобилей в электромобили, а не приобретение серийных моделей. Стоимость переоборудования составляет около 300–1000 тысяч рублей [2], что существенно ниже цены серийного электромобиля.

Штатное оборудование включает в себя электродвигатель, регулятор мощности, аккумуляторы, DC\DC преобразователи (для питания бортовых потребителей необходимо напряжение 12В), устройство для зарядки и индикаторные приборы. Принцип работы системы заключается в том, что электроэнергия от аккумуляторов поступает через регулятор мощности к электродвигателю. Регулятор мощности выполняет ту же функцию, что педаль газа на автомобиле с ДВС.

При переходе с традиционных бензиновых и дизельных двигателей на инновационный электрический можно выделить следующие преимущества:

1. Значительное снижение затрат на топливо.

2. Высокая экологичность электромобиля (не загрязняет окружающую среду опасными химическими соединениями, менее шумен).

3. Стоимость электроэнергии в России значительно ниже, чем в странах Европы.

4. Во время простоя автомобиля в заторах не потребляется электроэнергия.

5. Используются возобновляемые ресурсы.

6. Уровень шума и вибраций внутри автомобиля снижается, что благоприятно сказывается на комфорте водителя (особенно при переоборудовании подержанных автомобилей).

7. Идеально подходит для городской езды (до 100 км за день).

8. Уменьшается количество систем и агрегатов (например, отсутствует система питания топливом, коробка передач).

9. Управлять электромобилем проще, так как отсутствуют педаль сцепления и коробка передач, а двигатель самостоятельно приспосабливается к дорожным условиям.

10. Станции для зарядки автомобиля экологически безопаснее, чем традиционные АЗС.

11. В некоторых районах для тех, кто использует электромобили, отменяются или уменьшаются налоги.

12. При определенной доработке электромобили могут частично или полностью подзаряжаться не от сети, а от других источников.

13. Электромобиль не требует дорогостоящего сервисного обслуживания. Электродвигатель почти не нуждается в уходе, у него меньше элементов, которые необходимо настраивать, ремонтировать и регулировать, кроме ходовой части.

14. Сохранение привычного вида автомобиля (немалая часть серийных электромобилей выглядит футуристично, что отпугивает многих автовладельцев).

Но не стоит забывать и о недостатках электромобилей, к которым можно отнести:

1. Небольшой запас хода (до 100 км).
2. Необходимость частой замены аккумуляторов (примерно через 3–5 лет они выходят из строя).
3. Эффективность эксплуатации в зимнее время года существенно снижается (быстрая разрядка аккумуляторов на холоде).
4. Достаточно долгий процесс зарядки аккумуляторов (при зарядке от обычной розетки — 10–12 часов, при увеличении напряжения до промышленных значений скорость зарядки увеличивается).
5. Опасность взрыва аккумуляторов.
6. Для ТО и ремонта требуются высококвалифицированные электрики.
7. Сложность утилизации аккумуляторов.

Исходя из перечисленного, можно сделать вывод, что электромобили имеют полное право на существование. Благодаря низкой стоимости энергии их популярность возрастает, другим немаловажным плюсом является их высокая экологичность. Электромобиль является лучшим вариантом для городских поездок на работу или в магазин. Затраты на его содержание минимальны, а энергия для работы — возобновляемый ресурс. В скором времени возможно даже появление специализированных дорог, проезжая по которым можно будет подзаряжать аккумуляторы.

На рис. 1 для сравнения представлено изменение цен на топливо, используемые автомобилями, за последнее десятилетие. Как видно из графика, стоимость электричества так и не перевалила пятирублевый рубеж, в то время как цены на бензин выросли на 17–18 рублей, а на газ — примерно на 10 рублей. Рассматривая данную тенденцию, можно предположить, что в скором времени стоимость на традиционные виды топлив будет только расти. В связи с этим, переход на электричество весьма экономически обоснован.

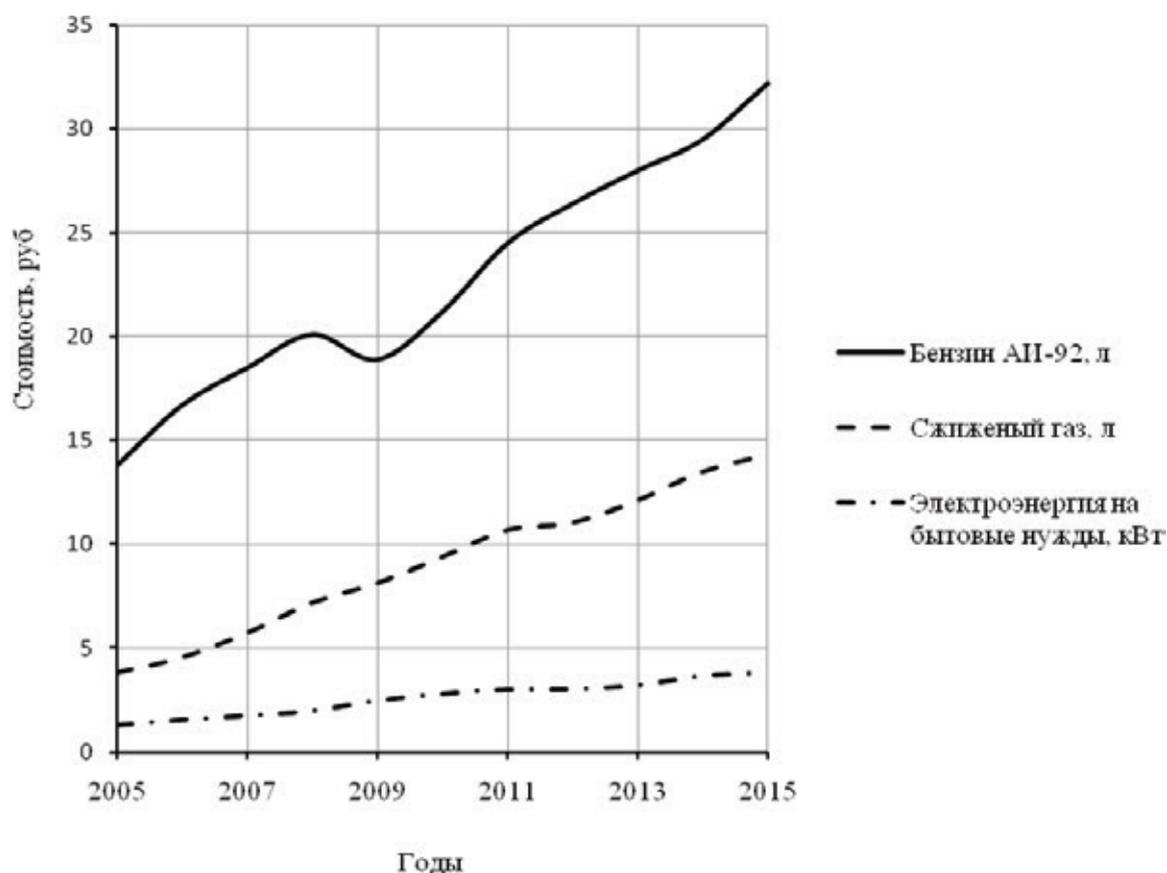


Рис. 1. Изменение цен на топливо (по данным федеральной службы государственной статистики [3])

Таким образом, в современной России явно существует потребность в создании предприятий, занимающихся переоборудованием автомобилей в электромобили и их последующим ремонтом и обслуживанием. Также возможен вариант оказания подобных услуг уже существующими предприятиями автомобильного сервиса. В настоящее время переоборудование зачастую осущест-

вляется частными лицами и непрофессиональными организациями, что приводит к снижению эффективности от данной операции, т.к. не учитывается множество факторов. Создание специализированных предприятий с собственной технологией проведения работ повысит эффективность переоборудования и последующей эксплуатации электромобиля.

На предприятиях, специализированных по электромотоциклам, будет наблюдаться иное, чем в традиционных СТО и автоцентрах, распределение объема работ. Часть работ, таких как уборочно-моечные, кузовные, окрасочные, а также работы по обслуживанию и ремонту элементов подвески и тормозной системы, сохранятся в том же объеме, что и для автомобилей с ДВС. Объем работ по электрооборудованию и аккумуляторным работам батареям возрастет, а работы по ремонту агрегатов, напротив, существенно упростятся.

Перспективно выглядит применение переоборудованных электромобилей в коммерческих целях, например:

- 1) городские маршрутные электротакси;
- 2) малотоннажные грузовики, осуществляющие городские грузоперевозки или доставку грузов на небольшие расстояния;
- 3) электротягачи на промышленных объектах.

Для перечисленных вариантов проблему длительной зарядки аккумуляторов можно решить заменой разрядившихся аккумуляторных батарей на конечных пунктах маршрута.

Увеличение числа электромобилей, занятых в перевозках пассажиров, позволит решить проблемы, характерные для крупных городов или снизить их негативное влияние. Осуществление данной концепции благоприятно скажется на окружающей среде города, ведь электродвигатели не загрязняют окружающую среду выхлопами и имеют значительно более низкий уровень шума. В городских условиях на долю автомобильного транспорта приходится до 90% процентов от общего загрязнения окружающей среды [4]. В связи с этим, целесообразно применение переоборудованных автомобилей в городских пассажироперевозках. Например, в г. Волгограде, который является одним из крупных городов в России, доля маршрутных такси составляет 57% от всего объема перевозок пассажиров (рис. 2), что заметно превышает процент, занимаемый муниципальным электротранспортом. Также благоприятно скажется переоборудование личного автотранспорта, что, например, позволит снизить негативный эффект от автомобильных пробок, присущих большинству современных городов.

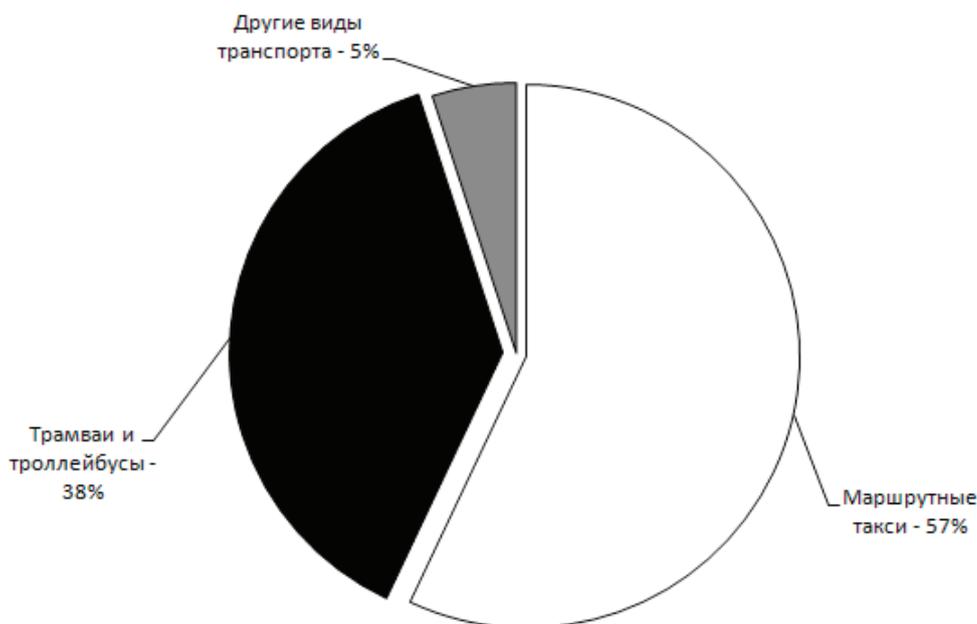


Рис. 2. Доля различных видов транспорта в перевозках пассажиров в г. Волгограде (по данным комитета транспорта и дорожного хозяйства Волгоградской области [4])

Таким образом, переоборудование автомобилей с ДВС в электромобили является актуальной задачей. Для её выполнения могут быть созданы специализированные предприятия. Другим решением является внедрение работ по

переоборудования в состав функций действующих предприятий автосервиса. Это позволит предприятиям не терять клиентов, обладающих автомобилями классической конструкции, а также приобрести новых.

Литература:

1. Электромобили — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://ecomotors.ru>.
2. Услуги по тюнингу авто в Электромобиль — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://elmob.co>.
3. Федеральная служба государственной статистики — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.gks.ru>.

4. Комитет транспорта и дорожного хозяйства Волгоградской области — [Электронный ресурс].— Режим доступа: <http://uad.volganet.ru>.
5. Электромобили и их компоненты — [Электронный ресурс].— Режим доступа: <http://sdisle.com>.
6. Токмаков, Н. М. Конвертация, изготовление и регистрация электромобиля — [Электронный ресурс].— [2009].— Режим доступа: <http://samodelkin.komi.ru>.
7. Электромобили своими руками — [Электронный ресурс].— Режим доступа: <http://electricmobile.ru>.

## Теория процесса сажевыделения в дизеле 2Ч 10,5/12,0 с полусферической КС в поршне при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи

Россохин Алексей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент  
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

При сгорании топлива в цилиндре дизеля образуется большое количество сажи. Для ее количественного анализа пользуются следующими понятиями: массовая концентрация  $C$  сажи и относительная концентрация  $\gamma$  сажи в цилиндре дизеля.

На основании закона Бугера — Беера массовая концентрация сажи при сером характере излучения может быть выражена через относительную концентрацию  $\gamma$  ( $C = \gamma/M$ ). Поэтому относительная концентрация  $\gamma$  всегда пропорциональна массовой концентрации  $C$ .

$$\gamma = C \cdot M = \ln\left(\frac{I_0}{I_e}\right), \quad (1)$$

где  $I_0$  и  $I_e$  — интенсивности луча начальная и после его прохождения через цилиндр;

$M$  — число Бугера,

$M = \text{const}$  для эксперимента.

К моменту открытия выпускного клапана величина ослабления проходящего света в цилиндре дизеля, как правило, невелика. Поэтому массовую концентрацию  $C$  сажи в цилиндре дизеля на момент открытия выпускного клапана необходимо сопоставлять с уровнем дымности ОГ.

Для зависимостей  $C = f(\varphi)$  и  $\gamma = f(\varphi)$  существует три характерные точки:

— начало активного сажевыделения всегда совпадает с началом видимого сгорания и активного тепловыделения;

—  $C_{\text{max}}$  — максимальное значение массовой концентрации сажи. Время достижения  $C_{\text{max}}$  для дизеля 2Ч 10,5/12,0 составляет 2...3 мс, угол  $\varphi$  п.к.в., при котором достигается максимальное значение массовой концентрации частиц сажи в цилиндре дизеля, больше угла  $\varphi$  п.к.в., при котором достигается первый максимум активного тепловыделения;

—  $C_{\text{вых}}$  — значение массовой концентрации сажи в момент начала открытия выпускного клапана.

Дымность ОГ зависит от интенсивности процесса выгорания массы сажи после достижения максимального значения  $C_{\text{max}}$ . Выгорание сажи в свою очередь зависит от

скорости процесса окисления сажевых частиц и от времени, отводимого на этот процесс.

Таким образом, процесс развития сажевыделения можно условно разбить на 3 характерных участка. Выделение участков в процессе сажевыделения основывается на предположении об относительной роли конкурирующих процессов образования и выгорания сажи. Процесс сгорания в целом обусловлен множеством различных физических явлений. Поэтому границы участков будут иметь условный характер:

$I$  — участок преимущественного образования сажи

От угла  $\varphi$  п.к.в., при котором наблюдается начало активного сажевыделения, до угла  $\varphi$  п.к.в., когда достигается максимальное давление в цилиндре  $p_{\text{max}}$ . В этот промежуток времени процесс образования сажи преобладает над ее выгоранием. Этот участок включает в себя период наибольшего активного тепловыделения, связанный со сгоранием смеси, подготовленной за период задержки воспламенения.

Для дизеля при работе на метаноле с ДСТ этот участок имеет свои особенности, на которые влияют характеристики топлива и процесса впрыскивания. На основании теоретических и экспериментальных исследований известно, что сажа образуется в ядре факела ДТ. Таким образом, можно предположить, что массовая концентрация достигает значений близких к максимальному после впрыскивания запальной порции ДТ. Это подтверждается замедлением активного тепловыделения, что связано в свою очередь с тем, что метанол обладает высокой теплотой парообразования. При взаимодействии с факелом ДТ метанолу необходимо некоторое время для достижения необходимой температуры воспламенения. Также это предположение подтверждается тем, что запальная порция ДТ мала по сравнению с зарядом впрыскиваемого метанола, время его впрыскивания заканчивается значительно раньше, чем впрыскивание метанола. Это явление снижает скорость процесса сгорания, а следовательно, и процессов образования и выгорания сажи. При взаимодействии факелов ДТ и метанола образуется большое количество микро- и макрозон, характере

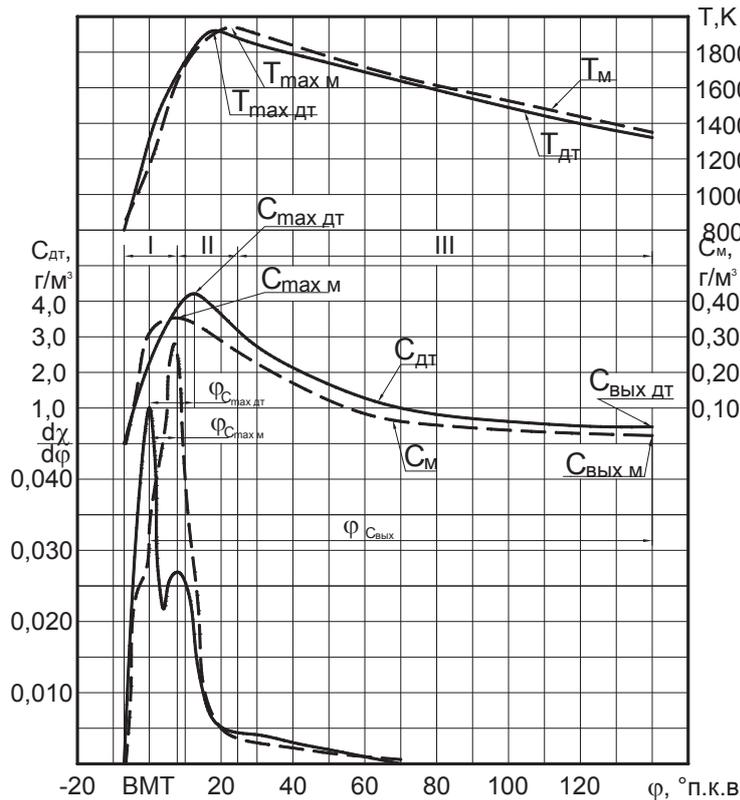


Рис. 1. Основные фазы сажевыделения в дизелях с непосредственным впрыскиванием топлива: <sup>3</sup>/<sub>4</sub> дизельный процесс; — — метанол с запальным ДТ: I — участок преимущественного образования сажи; II — участок одновременного образования и выгорания сажи; III — участок преимущественного выгорания сажи

ризующихся химической и физической неоднородностью. При сгорании метанола образуются активные радикалы ОН, которые вступают в химические реакции с углеводородами топлива и образовавшейся сажей, тем самым увеличивая интенсивность процесса окисления сажи. Пересекающиеся струи ДТ и метанола выносят основную массу образовавшейся сажи за пределы пламенной зоны, и, основываясь на физических свойствах метанола, можно сделать предположение, что частицы сажи находятся в облаке испарившегося метанола.

II — участок одновременного образования и выгорания сажи

От угла φ п.к.в., когда достигается максимальное давление, до значения угла φ п.к.в., когда достигается максимальное значение температуры T<sub>max</sub>. В этот промежуток времени в цилиндре идет процесс развитого диффузионного горения основной части топлива. Диффузионным пламенем охвачена большая часть объема, а температура газов достигает своего максимального значения. Процессы образования и выгорания сажи идут с соизмери-

мыми скоростями, но количество образовавшейся сажи незначительно превосходит количество выгорающей сажи, что обуславливает рост сажесодержания до максимального значения.

III — участок преимущественного выгорания сажи

От угла φ п.к.в., когда достигается максимальное значение температуры T<sub>max</sub>, до угла φ п.к.в., когда открываются выпускные клапана, при φ = 140,0° п.к.в. после ВМТ. Образование сажи практически завершилось и продолжается интенсивное выгорание сажи. Образовавшиеся в результате горения метанола активные радикалы ОН· вступают во взаимодействие с частицами сажи и увеличивают толщину пограничного слоя. Тем самым увеличивая вклад в процесс окисления реакций частиц сажи с водяным паром. Чем дольше длится этот интервал времени, тем меньше останется сажи к моменту открытия выпускных клапанов.

Наиболее эффективным представляется снижение дымности воздействием на выгорание сажи в цилиндре до открытия выпускных клапанов. С этой целью желательно смещение максимума сажевыделения в сторону ВМТ.

Литература:

1. Лиханов, В.А., Россохин, А.В. Исследование процессов сажеобразования и сажесодержания в цилиндре быстрого дизеля с турбонаддувом Д-245.12С при работе на компримированном природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 223–226.

2. Лиханов, В. А., Россохин А. В. Оценка влияния режимов работы дизеля Д-245.12С на дымность отработавших газов при работе на нефтяном и альтернативных топливах // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 226–229.
3. Россохин, А. В. Показатели процесса сгорания и сажесодержания в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на ДТ и ЭТЭ в зависимости от угла поворота коленчатого вала // Сборник: молодежная наука 2014: технологии, инновации материалы всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 98–101.
4. Лиханов, В. А., Россохин А. В. Особенности теплообмена излучением в цилиндре дизелей при работе на газомоторном топливе // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 10–1. с. 14–17.
5. Россохин, А. В. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на природном газе путем снижения дымности отработавших газов // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Санкт-Петербург, 2006.
6. Россохин, А. В. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на природном газе путем снижения дымности отработавших газов // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Киров, 2006.
7. Россохин, А. В. Влияние применения альтернативных топлив на процессы образования и окисления сажевых частиц в цилиндре дизеля с камерой сгорания типа ЦНИДИ // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 152–154.
8. Россохин, А. В. Влияние применения этанола-топливной эмульсии на эффективные показатели дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 в зависимости от установочного УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 154–157.
9. Россохин, А. В. Результаты исследований влияния применения этанола-топливной эмульсии на экологические показатели дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 в зависимости от установочного УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 157–159.
10. Россохин, А. В. Влияние применения этанола-топливной эмульсии на показатели процесса сгорания и сажесодержания в цилиндре и отработавших газах дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 в зависимости от установочного УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 159–162.
11. Россохин, А. В. Влияние применения этанола-топливной эмульсии на эффективные показатели дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 в зависимости от частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 163–165.
12. Россохин, А. В. Влияние применения этанола-топливной эмульсии на экологические показатели дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 в зависимости от нагрузки // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 165–167.
13. Россохин, А. В. Показатели процесса сгорания и сажесодержания в цилиндре дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 при работе на дизельном топливе и этанола-топливной эмульсии в зависимости от угла поворота коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 168–171.
14. Россохин, А. В. Результаты исследований влияния применения этанола-топливной эмульсии на показатели процесса сгорания и сажесодержания в цилиндре и отработавших газах дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 в зависимости от нагрузки // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 171–174.
15. Лиханов, В. А., Россохин, А. В. Уточненный химизм процессов образования частиц сажи в цилиндре дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 при работе на этанола-топливной эмульсии // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 103–105.
16. Лиханов, В. А., Россохин, А. В. Уточненная математическая модель образования и выгорания частиц сажи в цилиндре дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 при работе на этанола-топливной эмульсии // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 106–109.

## Влияние применения метанола на удельный эффективный расход топлива дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ в зависимости от УОВТ

Россохин Алексей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент  
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

В соответствии с целью, задачами и методикой исследований были проведены стендовые испытания. Как показал эксперимент, наилучшие результаты получаются при одновременной подаче запальной порции ДТ и мета-

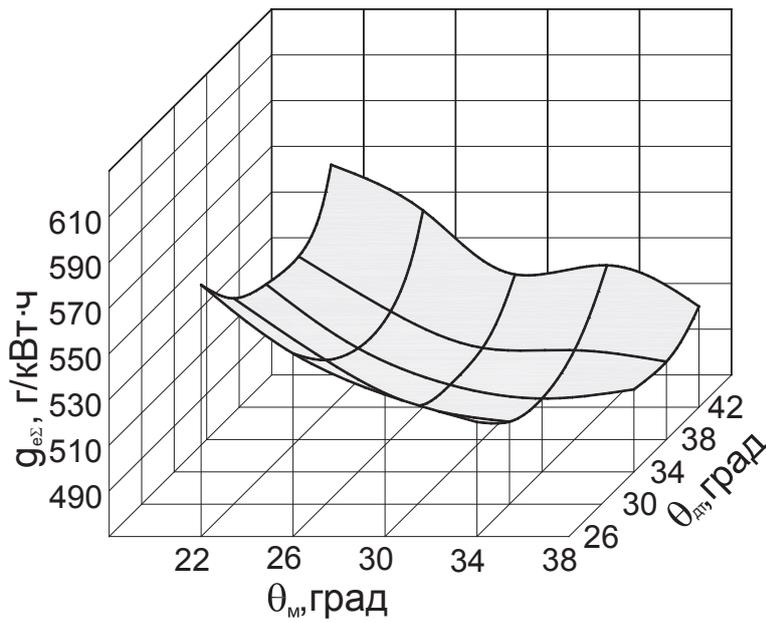
нола. На рис. 1, а представлено влияние применения метанола на удельный эффективный расход топлива дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ при различных установочных УОВТ на номинальном режиме работы при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ .

Рассматривая экономичность дизеля при работе на метаноле с ДСТ при различных установочных УОВТ, можно отметить следующее. Минимальное значение  $g_{e\Sigma}$  наблюдается при подаче метанола на установочном УОВТ  $\Theta_M = 34^\circ$  и впрыскивании ДТ при установочном УОВТ  $\Theta_{ДТ} = 34^\circ$  и равняется  $g_{e\Sigma} = 502$  г/(кВт·ч). При изменении установочных УОВТ как для ДТ  $\Theta_{ДТ}$ , так и для метанола  $\Theta_M$  в ту или иную сторону показатели экономичности ухудшаются. При увеличении установочного УОВТ ДТ до  $\Theta_{ДТ} = 38^\circ$  и  $\Theta_M = 34^\circ$  значение  $g_{e\Sigma}$  увеличивается до  $g_{e\Sigma} =$

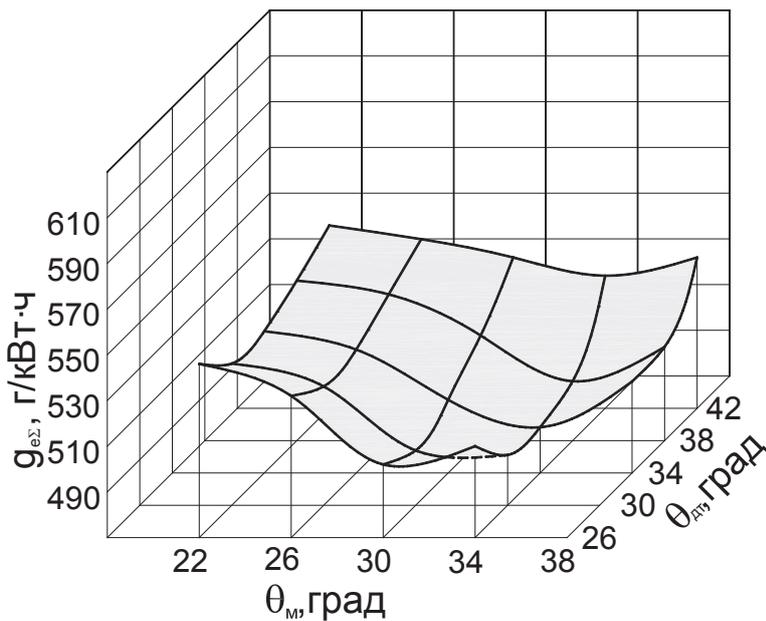
510 г/(кВт·ч). При уменьшении установочного УОВТ ДТ до  $\Theta_{ДТ} = 30^\circ$  и  $\Theta_M = 34^\circ$  значение  $g_{e\Sigma}$  также изменяется в большую сторону и составляет  $g_{e\Sigma} = 506$  г/(кВт·ч).

При увеличении установочного УОВТ метанола до  $\Theta_M = 38^\circ$  и  $\Theta_{ДТ} = 34^\circ$  значение удельного эффективного расхода увеличивается до  $g_{e\Sigma} = 506$  г/(кВт·ч). С уменьшением установочного УОВТ метанола до  $\Theta_M = 30^\circ$  и  $\Theta_{ДТ} = 34^\circ$  значение  $g_{e\Sigma}$  изменяется до  $g_{e\Sigma} = 508$  г/(кВт·ч).

С одновременным увеличением установочных УОВТ ДТ  $\Theta_{ДТ} = 38^\circ$  и метанола  $\Theta_M = 38^\circ$   $g_{e\Sigma}$  растет до  $g_{e\Sigma} = 505$  г/



а)



б)

Рис. 1. Влияние применения метанола на суммарный удельный эффективный расход топлива дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ при различных установочных УОВТ: а) при  $n = 1800$  мин<sup>-1</sup> и  $p_e = 0,585$  МПа,  $q_{цдт} = 6,6$  мг/цикл; б) при  $n = 1400$  мин<sup>-1</sup> и  $p_e = 0,594$  МПа,  $q_{цд} = 6,0$  мг/цикл

(кВт·ч). При одновременном уменьшении установочных УОВТ ДТ  $\Theta_{ДТ} = 30^\circ$  и метанола  $\Theta_{М} = 30^\circ$  значение удельного эффективного расхода увеличивается до  $g_{е\sigma} = 513$  г/(кВт·ч).

На рис. 1, б представлено влияние применения метанола при работе с ДСТ на удельный эффективный расход топлива дизеля 2Ч 10,5/12,0 при различных установочных УОВТ на режиме максимального крутящего момента при  $n = 1400$  мин<sup>-1</sup>.

При изменении значений  $g_{е\sigma}$  видно, что при увеличении установочного УОВТ метанола от  $\Theta_{М} = 22^\circ$  до  $\Theta_{М} = 34^\circ$  значение  $g_{е\sigma}$  уменьшается во всем диапазоне изменения установочного УОВТ ДТ. При установочном УОВТ метанола  $\Theta_{М} = 38^\circ$  значение удельного эффективного расхода  $g_{е\sigma}$  увеличивается при всех установочных УОВТ ДТ. Как видно из графика, минимальное значение удельного эффективного расхода топлива  $g_{е\sigma}$  достигается при сочетании установочных УОВТ ДТ  $\Theta_{ДТ} = 34^\circ$  и метанола  $\Theta_{М} = 34^\circ$  и равно  $g_{е\sigma} = 490$  г/(кВт·ч). При изменении установочных УОВТ ДТ  $\Theta_{ДТ}$  и метанола  $\Theta_{М}$  в ту или иную сторону показатели экономичности ухудшаются.

При увеличении установочного УОВТ ДТ до  $\Theta_{ДТ} = 38^\circ$  и  $\Theta_{М} = 34^\circ$  значение  $g_{е\sigma}$  увеличивается до  $g_{е\sigma} = 506$  г/(кВт·ч). С уменьшением установочного УОВТ ДТ до  $\Theta_{ДТ} = 30^\circ$  и  $\Theta_{М} = 34^\circ$  значение  $g_{е\sigma}$  снижается до  $g_{е\sigma} = 493$  г/(кВт·ч).

При увеличении установочного УОВТ до  $\Theta_{М} = 38^\circ$  и  $\Theta_{ДТ} = 34^\circ$  значение удельного эффективного расхода возрастает до  $g_{е\sigma} = 512$  г/(кВт·ч). С уменьшением установочного УОВТ метанола до  $\Theta_{М} = 30^\circ$  и  $\Theta_{ДТ} = 34^\circ$  значение  $g_{е\sigma}$  увеличивается до  $g_{е\sigma} = 502$  г/(кВт·ч).

С одновременным увеличением установочных УОВТ метанола до  $\Theta_{М} = 38^\circ$  и ДТ  $\Theta_{ДТ} = 38^\circ$  удельный эффек-

тивный расход увеличивается до  $g_{е\sigma} = 511$  г/(кВт·ч). При уменьшении установочных УОВТ ДТ  $\Theta_{ДТ} = 30^\circ$  и метанола до  $\Theta_{М} = 30^\circ$   $g_{е\sigma}$  изменяется до  $g_{е\sigma} = 494$  г/(кВт·ч).

При установочных УОВТ ДТ  $\Theta_{ДТ} = 30^\circ$  и метанола  $\Theta_{М} = 34^\circ$  на номинальном режиме работы при частоте вращения  $n = 1800$  мин<sup>-1</sup> значение  $g_{е\sigma}$  увеличивается до  $g_{е\sigma} = 506$  г/(кВт·ч).

На режиме максимального крутящего момента при частоте вращения при  $n = 1400$  мин<sup>-1</sup> значение удельного эффективного расхода изменяется до  $g_{е\sigma} = 494$  г/(кВт·ч). При установочных УОВТ ДТ  $\Theta_{ДТ} = 30^\circ$  и метанола  $\Theta_{М} = 30^\circ$  на номинальном режиме работы при  $n = 1800$  мин<sup>-1</sup> значение  $g_{е\sigma}$  составляет уже  $g_{е\sigma} = 513$  г/(кВт·ч), а при  $n = 1400$  мин<sup>-1</sup> на режиме максимального крутящего момента значение  $g_{е\sigma}$  изменяется до  $g_{е\sigma} = 494$  г/(кВт·ч).

При установочных УОВТ ДТ  $\Theta_{ДТ} = 34^\circ$  и метанола  $\Theta_{М} = 38^\circ$ , на номинальном режиме работы при частоте вращения  $n = 1800$  мин<sup>-1</sup> значение  $g_{е\sigma}$  увеличивается до  $g_{е\sigma} = 506$  г/(кВт·ч). На режиме максимального крутящего момента при частоте вращения при  $n = 1400$  мин<sup>-1</sup> значение удельного эффективного расхода изменяется до  $g_{е\sigma} = 512$  г/(кВт·ч). При установочных УОВТ ДТ  $\Theta_{ДТ} = 38^\circ$  и метанола  $\Theta_{М} = 38^\circ$  на номинальном режиме работы при  $n = 1800$  мин<sup>-1</sup> значение  $g_{е\sigma}$  составляет  $g_{е\sigma} = 505$  г/(кВт·ч), на режиме максимального крутящего момента при  $n = 1400$  мин<sup>-1</sup> значение  $g_{е\sigma}$  изменяется до  $g_{е\sigma} = 511$  г/(кВт·ч).

Таким образом, на основании полученных данных, минимальное значение удельного эффективного расхода топлива наблюдается при установочных УОВТ ДТ  $\Theta_{ДТ} = 34^\circ$  и метанола  $\Theta_{М} = 34^\circ$  как на номинальном режиме работы при  $n = 1800$  мин<sup>-1</sup>  $g_{е\sigma} = 502$  г/(кВт·ч), так и на режиме максимального крутящего момента при  $n = 1400$  мин<sup>-1</sup>  $g_{е\sigma} = 490$  г/(кВт·ч).

#### Литература:

1. Лиханов, В.А., Россохин, А.В. Исследование процессов сажеобразования и сажесодержания в цилиндре быстросходного дизеля с турбонаддувом Д-245.12С при работе на компримированном природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 223–226.
2. Лиханов, В.А., Россохин А.В. Оценка влияния режимов работы дизеля Д-245.12С на дымность отработавших газов при работе на нефтяном и альтернативных топливах // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 226–229.
3. Россохин, А.В. Показатели процесса сгорания и сажесодержания в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на ДТ и ЭТЭ в зависимости от угла поворота коленчатого вала // Сборник: молодежная наука 2014: технологии, инновации материалы всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 98–101.
4. Лиханов, В.А., Россохин А.В. Особенности теплообмена излучением в цилиндре дизелей при работе на газомоторном топливе // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 10–1. с. 14–17.
5. Россохин, А.В. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на природном газе путем снижения дымности отработавших газов // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Санкт-Петербург, 2006.
6. Россохин, А.В. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на природном газе путем снижения дымности отработавших газов // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Киров, 2006.
7. Россохин, А.В. Влияние применения альтернативных топлив на процессы образования и окисления сажевых частиц в цилиндре дизеля с камерой сгорания типа ЦНИДИ // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 152–154.

8. Россохин, А.В. Влияние применения этанола-топливной эмульсии на эффективные показатели дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 в зависимости от установочного УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 154–157.
9. Россохин, А.В. Результаты исследований влияния применения этанола-топливной эмульсии на экологические показатели дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 в зависимости от установочного УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 157–159.
10. Россохин, А.В. Влияние применения этанола-топливной эмульсии на показатели процесса сгорания и сажесодержания в цилиндре и отработавших газах дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 в зависимости от установочного УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 159–162.
11. Россохин, А.В. Влияние применения этанола-топливной эмульсии на эффективные показатели дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 в зависимости от частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 163–165.
12. Россохин, А.В. Влияние применения этанола-топливной эмульсии на экологические показатели дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 в зависимости от нагрузки // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 165–167.
13. Россохин, А.В. Показатели процесса сгорания и сажесодержания в цилиндре дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 при работе на дизельном топливе и этанола-топливной эмульсии в зависимости от угла поворота коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 168–171.
14. Россохин, А.В. Результаты исследований влияния применения этанола-топливной эмульсии на показатели процесса сгорания и сажесодержания в цилиндре и отработавших газах дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 в зависимости от нагрузки // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 171–174.
15. Лиханов, В.А., Россохин, А.В. Уточненный химизм процессов образования частиц сажи в цилиндре дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 при работе на этанола-топливной эмульсии // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 103–105.
16. Лиханов, В.А., Россохин, А.В. Уточненная математическая модель образования и выгорания частиц сажи в цилиндре дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 при работе на этанола-топливной эмульсии // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 106–109.

## Влияние применения метанола на максимальное давление газов в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ в зависимости от УОВТ

Россохин Алексей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент  
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

На рис. 1, а представлено влияние применения метанола на максимальное давление газов в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ при различных установочных УОВТ на номинальном режиме работы при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ . Из графиков видно, что при увеличении установочных углов впрыскивания ДТ и метанола, максимальное значение давления газов увеличивается во всем диапазоне изменения углов впрыскивания.

При установочном УОВТ ДТ  $\Theta_{\text{ДТ}} = 26^\circ$  максимальное значение давления увеличивается с  $p_{z\text{max}} = 4,98 \text{ МПа}$  при  $\Theta_{\text{М}} = 22^\circ$  до  $p_{z\text{max}} = 5,81 \text{ МПа}$  при  $\Theta_{\text{М}} = 34^\circ$ . Рост составляет 17,7%. При увеличении установочного УОВТ до  $\Theta_{\text{ДТ}} = 30^\circ$  максимальное давление газов изменяется с  $p_{z\text{max}} = 5,09 \text{ МПа}$  при  $\Theta_{\text{М}} = 22^\circ$  до  $p_{z\text{max}} = 6,55 \text{ МПа}$  при  $\Theta_{\text{М}} = 34^\circ$ . Увеличение равно 28,4%. При изменении установочного УОВТ дизельного топлива до  $\Theta_{\text{ДТ}} = 34^\circ$  максимальное давление газов изменяется с 5,04 МПа до 7,31 МПа при изменении установочного УОВТ метанола с  $\Theta_{\text{М}} = 22^\circ$  до  $\Theta_{\text{М}} = 38^\circ$  соответственно. Увеличение составляет 44,5%.

При увеличении установочного УОВТ до  $\Theta_{\text{ДТ}} = 38^\circ$  максимальное значение давления газов изменяется с  $p_{z\text{max}} = 5,02 \text{ МПа}$  при  $\Theta_{\text{М}} = 22^\circ$  до  $p_{z\text{max}} = 7,51 \text{ МПа}$  при  $\Theta_{\text{М}} =$

$38^\circ$ . Изменение равно 49,1%. При установочном УОВТ ДТ  $\Theta_{\text{ДТ}} = 42^\circ$  максимальное значение давления увеличивается с  $p_{z\text{max}} = 5,26 \text{ МПа}$  при  $\Theta_{\text{М}} = 22^\circ$  до  $p_{z\text{max}} = 7,59 \text{ МПа}$  при  $\Theta_{\text{М}} = 34^\circ$ . Рост составляет 43,4%. При установочном УОВТ метанола  $\Theta_{\text{М}} = 22^\circ$  максимальное значение давления увеличивается с  $p_{z\text{max}} = 4,98 \text{ МПа}$  при  $\Theta_{\text{ДТ}} = 26^\circ$  до  $p_{z\text{max}} = 5,26 \text{ МПа}$  при  $\Theta_{\text{ДТ}} = 42^\circ$ . Рост составляет 5,6%.

При увеличении установочного УОВТ до  $\Theta_{\text{М}} = 26^\circ$  максимальное значение давления газов изменяется с  $p_{z\text{max}} = 5,28 \text{ МПа}$  при  $\Theta_{\text{ДТ}} = 26^\circ$  до  $p_{z\text{max}} = 6,10 \text{ МПа}$  при  $\Theta_{\text{ДТ}} = 42^\circ$ . Увеличение равно 14,6%. При изменении установочного УОВТ метанола до  $\Theta_{\text{М}} = 30^\circ$  максимальное значение давления газов изменяется с 5,68 МПа до 6,48 МПа при изменении установочного УОВТ ДТ с  $\Theta_{\text{ДТ}} = 26^\circ$  до  $\Theta_{\text{ДТ}} = 42^\circ$  соответственно. Увеличение составляет 12,0%.

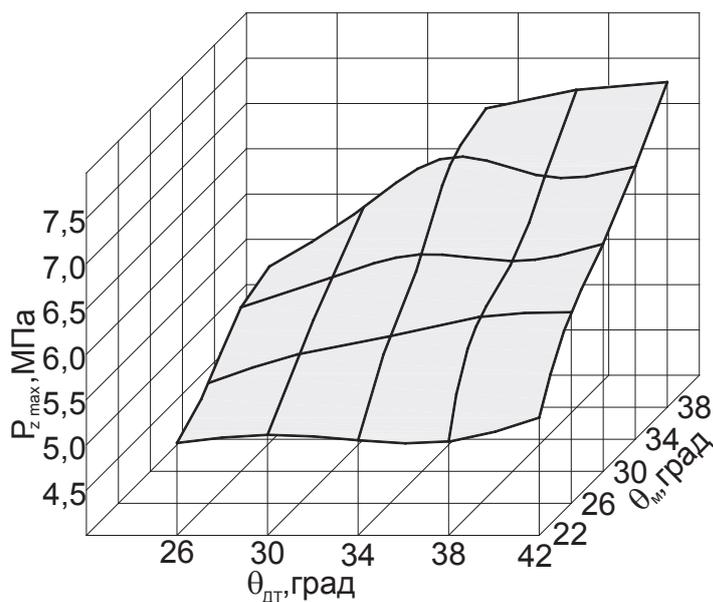
При увеличении установочного УОВТ метанола до  $\Theta_{\text{М}} = 34^\circ$  максимальное значение давления газов изменяется с  $p_{z\text{max}} = 5,81 \text{ МПа}$  при  $\Theta_{\text{ДТ}} = 26^\circ$  до  $p_{z\text{max}} = 6,98 \text{ МПа}$  при  $\Theta_{\text{ДТ}} = 42^\circ$ . Изменение равно 18,6%. При установочном УОВТ метанола  $\Theta_{\text{М}} = 38^\circ$  максимальное давление увеличивается с  $p_{z\text{max}} = 7,31 \text{ МПа}$  при  $\Theta_{\text{ДТ}} = 34^\circ$  до  $p_{z\text{max}} = 7,59 \text{ МПа}$  при  $\Theta_{\text{ДТ}} = 42^\circ$ . Рост составляет 4,0%.

На рис. 1, б представлено влияние применения метанола на максимальное значение давления газов в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ при различных установочных УОВТ на режиме максимального крутящего момента при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ .

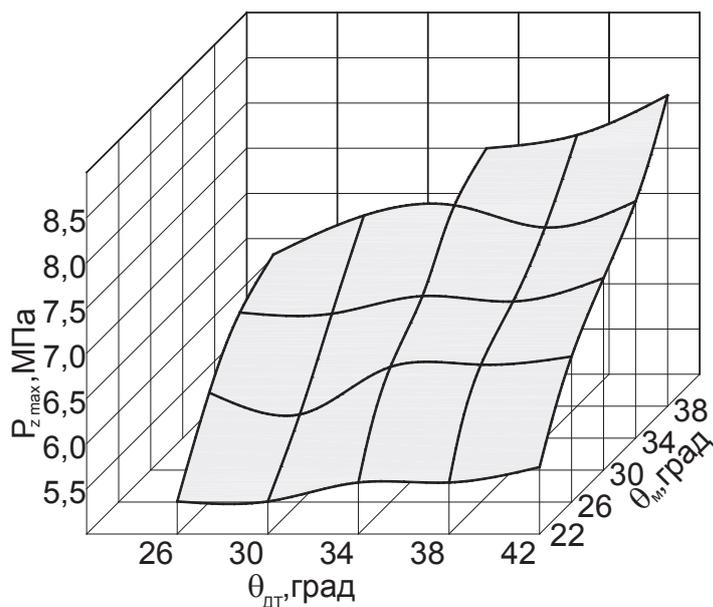
Из графиков видно, что при увеличении установочных углов впрыскивания ДТ и метанола, максимальное давление газов увеличивается во всем диапазоне изменения УОВТ.

При установочном УОВТ дизельного топлива  $\Theta_{\text{ДТ}} = 26^\circ$  максимальное значение давления газов увеличивается

с  $p_{z\text{max}} = 5,19 \text{ МПа}$  при  $\Theta_{\text{М}} = 22^\circ$  до  $p_{z\text{max}} = 6,82 \text{ МПа}$  при  $\Theta_{\text{М}} = 34^\circ$ . Рост составляет 31,1%. При увеличении установочного УОВТ до  $\Theta_{\text{ДТ}} = 30^\circ$  максимальное значение давления газов изменяется с  $p_{z\text{max}} = 5,19 \text{ МПа}$  при  $\Theta_{\text{М}} = 22^\circ$  до  $p_{z\text{max}} = 7,22 \text{ МПа}$  при  $\Theta_{\text{М}} = 34^\circ$ . Увеличение равно 39,2%. При изменении установочного УОВТ дизельного топлива до  $\Theta_{\text{ДТ}} = 34^\circ$  максимальное значение давления газов изменяется с 5,39 МПа до 7,60 МПа при изменении установочного угла впрыскивания метанола с  $\Theta_{\text{М}} = 22^\circ$  до  $\Theta_{\text{М}} = 38^\circ$  соответственно. Увеличение составляет 40,1%.



а)



б)

Рис. 1. Влияние применения метанола на максимальное давление сгорания дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ при различных установочных УОВТ: а) при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$  и  $p_e = 0,585 \text{ МПа}$ ,  $q_{\text{цдт}} = 6,6 \text{ мг/цикл}$ ; б) при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  и  $p_e = 0,594 \text{ МПа}$ ,  $q_{\text{цд}} = 6,0 \text{ мг/цикл}$

При увеличении установочного УОВТ до  $\Theta_{ДТ} = 38^\circ$  максимальное значение давления газов изменяется с  $p_{z_{\max}} = 5,39$  МПа при  $\Theta_M = 22^\circ$  до  $p_{z_{\max}} = 7,74$  МПа при  $\Theta_M = 38^\circ$ . Изменение равно 43,6%. При установочном УОВТ дизельного топлива  $\Theta_{ДТ} = 42^\circ$  максимальное значение давления увеличивается с  $p_{z_{\max}} = 5,55$  МПа при  $\Theta_M = 22^\circ$  до  $p_{z_{\max}} = 8,17$  МПа при  $\Theta_M = 34^\circ$ . Рост составляет 47,0%.

При установочном УОВТ метанола  $\Theta_M = 22^\circ$  максимальное значение давления увеличивается с  $p_{z_{\max}} = 5,19$  МПа при  $\Theta_{ДТ} = 26^\circ$  до  $p_{z_{\max}} = 5,55$  МПа при  $\Theta_{ДТ} = 42^\circ$ . Рост составляет 7,0%. При увеличении установочного УОВТ до  $\Theta_M = 26^\circ$  максимальное значение давления газов изменяется с  $p_{z_{\max}} = 6,01$  МПа при  $\Theta_{ДТ} = 26^\circ$  до  $p_{z_{\max}} = 6,4$  МПа при  $\Theta_{ДТ} = 42^\circ$ . Увеличение равно 6,4%. При изменении установочного УОВТ метанола до  $\Theta_M = 30^\circ$  макси-

мальное значение давления газов изменяется с 6,52 МПа до 6,9 МПа при изменении установочного угла впрыскивания ДТ с  $\Theta_{ДТ} = 26^\circ$  до  $\Theta_{ДТ} = 42^\circ$  соответственно. Увеличение составляет 5,7%.

При увеличении установочного УОВТ метанола до  $\Theta_M = 34^\circ$  максимальное значение давления газов изменяется с  $p_{z_{\max}} = 6,82$  МПа при  $\Theta_{ДТ} = 26^\circ$  до  $p_{z_{\max}} = 7,37$  МПа при  $\Theta_{ДТ} = 42^\circ$ . Изменение равно 8,4%. При установочном УОВТ дизельного топлива  $\Theta_M = 38^\circ$  максимальное значение давления увеличивается с  $p_{z_{\max}} = 7,6$  МПа при  $\Theta_{ДТ} = 34^\circ$  до  $p_{z_{\max}} = 8,17$  МПа при  $\Theta_{ДТ} = 42^\circ$ . Рост составляет 7,5%.

Таким образом, можно сделать вывод, что подача метанола оказывает более сильное влияние на изменение максимального значения сгорания газов в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0.

#### Литература:

1. Лиханов, В.А., Россохин, А.В. Исследование процессов сажеобразования и сажесодержания в цилиндре быстрогоходного дизеля с турбонаддувом Д-245.12С при работе на компримированном природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 223–226.
2. Лиханов, В.А., Россохин А.В. Оценка влияния режимов работы дизеля Д-245.12С на дымность отработавших газов при работе на нефтяном и альтернативных топливах // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 226–229.
3. Россохин, А.В. Показатели процесса сгорания и сажесодержания в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на ДТ и ЭТЭ в зависимости от угла поворота коленчатого вала // Сборник: молодежная наука 2014: технологии, инновации материалы всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 98–101.
4. Лиханов, В.А., Россохин А.В. Особенности теплообмена излучением в цилиндре дизелей при работе на газомоторном топливе // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 10–1. с. 14–17.
5. Россохин, А.В. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на природном газе путем снижения дымности отработавших газов // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Санкт-Петербург, 2006.
6. Россохин, А.В. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на природном газе путем снижения дымности отработавших газов // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Киров, 2006.
7. Россохин, А.В. Влияние применения альтернативных топлив на процессы образования и окисления сажевых частиц в цилиндре дизеля с камерой сгорания типа ЦНИДИ // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 152–154.
8. Россохин, А.В. Влияние применения этанола-топливной эмульсии на эффективные показатели дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 в зависимости от установочного УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 154–157.
9. Россохин, А.В. Результаты исследований влияния применения этанола-топливной эмульсии на экологические показатели дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 в зависимости от установочного УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 157–159.
10. Россохин, А.В. Влияние применения этанола-топливной эмульсии на показатели процесса сгорания и сажесодержания в цилиндре и отработавших газах дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 в зависимости от установочного УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 159–162.
11. Россохин, А.В. Влияние применения этанола-топливной эмульсии на эффективные показатели дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 в зависимости от частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 163–165.
12. Россохин, А.В. Влияние применения этанола-топливной эмульсии на экологические показатели дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 в зависимости от нагрузки // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 165–167.
13. Россохин, А.В. Показатели процесса сгорания и сажесодержания в цилиндре дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 при работе на дизельном топливе и этанола-топливной эмульсии в зависимости от угла поворота коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 168–171.
14. Россохин, А.В. Результаты исследований влияния применения этанола-топливной эмульсии на показатели процесса сгорания и сажесодержания в цилиндре и отработавших газах дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 в зависимости от нагрузки // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 171–174.

15. Лиханов, В.А., Россохин, А.В. Уточненный химизм процессов образования частиц сажи в цилиндре дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 при работе на этанолю-топливной эмульсии // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 103–105.
16. Лиханов, В.А., Россохин, А.В. Уточненная математическая модель образования и выгорания частиц сажи в цилиндре дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 при работе на этанолю-топливной эмульсии // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 106–109.

# Молодой ученый

Научный журнал  
Выходит два раза в месяц

№ 17 (97) / 2015

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

**Главный редактор:**

Ахметова Г. Д.

**Члены редакционной коллегии:**

Ахметова М. Н.  
Иванова Ю. В.  
Каленский А. В.  
Куташов В. А.  
Лактионов К. С.  
Сараева Н. М.  
Авдеюк О. А.  
Айдаров О. Т.  
Алиева Т. И.  
Ахметова В. В.  
Брезгин В. С.  
Данилов О. Е.  
Дёмин А. В.  
Дядюн К. В.  
Желнова К. В.  
Жуйкова Т. П.  
Жураев Х. О.  
Игнатова М. А.  
Коварда В. В.  
Комогорцев М. Г.  
Котляров А. В.  
Кузьмина В. М.  
Кучерявенко С. А.  
Лескова Е. В.  
Макеева И. А.  
Матроскина Т. В.  
Матусевич М. С.  
Мусаева У. А.  
Насимов М. О.  
Прончев Г. Б.  
Семахин А. М.  
Сенцов А. Э.  
Сенюшкин Н. С.  
Титова Е. И.  
Ткаченко И. Г.  
Фозилов С. Ф.  
Яхина А. С.  
Ячинова С. Н.

**Ответственные редакторы:**

Кайнова Г. А., Осянина Е. И.

**Международный редакционный совет:**

Айрян З. Г. (Армения)  
Арошидзе П. Л. (Грузия)  
Атаев З. В. (Россия)  
Бидова Б. Б. (Россия)  
Борисов В. В. (Украина)  
Велковска Г. Ц. (Болгария)  
Гайич Т. (Сербия)  
Данатаров А. (Туркменистан)  
Данилов А. М. (Россия)  
Демидов А. А. (Россия)  
Досманбетова З. Р. (Казахстан)  
Ешиев А. М. (Кыргызстан)  
Жолдошев С. Т. (Кыргызстан)  
Игиснинов Н. С. (Казахстан)  
Кадыров К. Б. (Узбекистан)  
Кайгородов И. Б. (Бразилия)  
Каленский А. В. (Россия)  
Козырева О. А. (Россия)  
Колпак Е. П. (Россия)  
Куташов В. А. (Россия)  
Лю Цзюань (Китай)  
Малес Л. В. (Украина)  
Нагервадзе М. А. (Грузия)  
Прокопьев Н. Я. (Россия)  
Прокофьева М. А. (Казахстан)  
Рахматуллин Р. Ю. (Россия)  
Ребезов М. Б. (Россия)  
Сорока Ю. Г. (Украина)  
Узаков Г. Н. (Узбекистан)  
Хоналиев Н. Х. (Таджикистан)  
Хоссейни А. (Иран)  
Шарипов А. К. (Казахстан)

**Художник:** Шишков Е. А.

**Верстка:** Голубцов М. В.

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.  
За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.

При перепечатке ссылка на журнал обязательна.

Материалы публикуются в авторской редакции.

**АДРЕС РЕДАКЦИИ:**

420126, г. Казань, ул. Амирхана, 10а, а/я 231.

E-mail: info@moluch.ru

http://www.moluch.ru/

**Учредитель и издатель:**

ООО «Издательство Молодой ученый»

ISSN 2072-0297

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», 420029, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, 25