

МОЛОДОЙ

ISSN 2072-0297

Учёный

научный журнал

UNTERSUCHUNGEN

UEBER DIE
 $\frac{\lambda}{2}$ -DIPOL
AUSBREITUNG

DER ELEKTRISCHEN KRAFT

VON

DR. H.

PROFESSOR P.

JOHANN

Hertzscher
Dipol

54°

Ueber die

Induction in rotirenden Kugeln.

λ -Dipol

mit asymmetrischer
Speisung

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

VON DER PHILOSOPHISCHEN FACULTÄT

DER

FRIEDRICH-WILHELMS-UNIVERSITÄT ZU BERLIN

GENEHMIGT

UND

ÖFFENTLICH ZU VERTHEIDIGEN

am 15. März 1880

VON

Heinrich Hertz

aus Hamburg.

$$\begin{aligned}
 X_1 &= -2K \left\{ \frac{\partial^2 \Pi}{\partial x^2} + K(1+2\sigma) \frac{\partial P}{\partial x} \right\}, & X_2 &= -2K \left\{ \frac{\partial^2 \Pi}{\partial x \partial y} \right\}, \\
 Y_1 &= -2K \left\{ \frac{\partial^2 \Pi}{\partial y^2} + K(1+2\sigma) \frac{\partial P}{\partial y} \right\}, & X_3 &= -2K \left\{ \frac{\partial^2 \Pi}{\partial x \partial z} + \sigma \frac{\partial P}{\partial x} \right\} = 2s \frac{\partial^2 P}{\partial x \partial z}, \\
 Z_1 &= -2K \left\{ \frac{\partial^2 \Pi}{\partial z^2} + 2Q(1+2\sigma) \frac{\partial P}{\partial z} \right\}, & Y_2 &= -2K \left\{ \frac{\partial^2 \Pi}{\partial y \partial z} + \sigma \frac{\partial P}{\partial y} \right\} = 2s \frac{\partial^2 P}{\partial y \partial z}
 \end{aligned}$$

OPPONENTEN:

Herr Dr. med. C. Günther.

- Cand. phil. F. Schulze-Berge.
- Stud. jur. G. Hertz.

Receiver

$$\frac{\partial V}{\partial x} = \frac{\partial U}{\partial x} - \frac{\partial W}{\partial x} = \frac{\partial \Psi}{\partial x} - \frac{\partial \Psi}{\partial x} = 0$$

BERLIN

VON GUSTAV SCHUBERT
Lichtenstr. 17

18
2015
Часть II

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{y}{R} \frac{\partial \Psi}{\partial z} - \frac{z}{R} \frac{\partial \Psi}{\partial y} = \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \omega_x} \Psi \\
 V &= \frac{z}{R} \frac{\partial \Psi}{\partial x} - \frac{x}{R} \frac{\partial \Psi}{\partial z} = \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \omega_y} \Psi \\
 U &= \frac{x}{R} \frac{\partial \Psi}{\partial y} - \frac{y}{R} \frac{\partial \Psi}{\partial x} = \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \omega_z} \Psi.
 \end{aligned}$$

Spark Gap transmitter



Handwritten signature in red ink.

ISSN 2072-0297

Молодой учёный

Научный журнал

Выходит два раза в месяц

№ 18 (98) / 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; <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 Генрих Рудольф Герц (1857—1894) — немецкий физик, один из основоположников электродинамики.

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

Анисимов М. В.

Оценка применимости методов определения коэффициента теплопроводности для сверхтонких жидких композиционных теплоизолирующих покрытий 101

Анфилатов А. А.

Способы подачи метанола в камеру сгорания 105

Анфилатов А. А.

Влияние подачи метанола на содержание токсичных компонентов в зависимости от нагрузки 107

Анфилатов А. А.

Влияние подачи метанола на содержание токсичных компонентов в отработавших газах..... 109

Анфилатов А. А.

Перспективы применения метанола в дизелях 111

Балакин Ю. А., Киселёв В. Ю.

Особенности проведения технического диагностирования шахтной многофункциональной лебёдки с целью повышения точности прогнозирования остаточного ресурса 114

Башаров М. М., Лаптева Е. А.

Эффективность охлаждения газов в пенном слое на провальных тарелках..... 117

Богачёва С. В.

Опалубочный элемент сборно-монолитного перекрытия с безригельным каркасом 120

Бородачев С. А., Фоменко А. А.

Многофакторный анализ при определении типа боевой части для миниракеты, запускаемой с беспилотного летательного аппарата..... 123

Гурулёва М. А., Марюхненко В. С.

Применение режима доплеровского облучения луча в обеспечении движения железнодорожного транспорта 126

Домбровский А. Б., Михайловская О. А., Козловская Л. В.

Исследование влияния молочной среды на прочность ниточного крепления деталей верха специальной обуви для работников молочной промышленности 129

Дроздов А. С., Садомский Я. А.

К вопросу аттестации экспертов промышленной безопасности 132

Ермоленко М. В., Надырова А. Р., Степанова О. А., Золотов А. Д.

Санитарно-защитные зоны объектов энергетики 134

Корниенко Н. Д., Лыгина Е. Г.

Современные направления в области создания упаковки на основе бумаги 138

Кудряшов Б. П., Попов А. Ю., Реченко Д. С., Шагов Д. А., Балова Д. Г., Бугай И. А., Артеменко Н. С.

Создание твердосплавного инструмента сверхскоростным шлифованием для суперфинишной лезвийной обработки..... 141

Лиханов В. А., Анфилатов А. А.

Камеры сгорания дизелей с двойным впрыскиванием топлива..... 143

Лиханов В. А., Лопатин О. П.

Исследование содержания оксидов азота по нагрузочной характеристике газодизеля с турбонаддувом на режиме максимального крутящего момента..... 145

Лиханов В. А., Скрябин М. Л.

Исследование эффективных показателей дизеля Д-245.7 при работе на дизельном топливе и природном газе 147

Лопатин О. П.

Регулирование перепуска отработавших газов во впускной трубопровод дизеля 150

Лопатин О. П. Статистическая модель для уточнения расчета скоростей реакций образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом 152	Россохин А. В. Влияние применения метанола на показатели процесса сгорания в цилиндре и сажесодержания в ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки 181
Лопатин О. П. Исследование содержания оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом в зависимости от изменения нагрузки при УОВТ 11 градусов 154	Россохин А. В. Влияние применения природного газа на показатели процесса сгорания дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения установочного УОВТ 183
Лопатин О. П. Снижение содержания оксидов азота в ОГ дизеля путем применения рециркуляции отработавших газов 157	Россохин А. В. Показатели процессов сгорания и сажеобразования в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ в зависимости от угла поворота коленчатого вала 186
Лосев Д. А., Миронов А. П., Садилов А. И., Хмелев С. В. Особенности обследования станков-качалок без вывода из эксплуатации..... 159	Семирненко С. Л. Теоретические исследования процесса охлаждения и сушки топливных брикетов из соломенной биомассы 189
Лосев Д. А., Миронов А. П., Садилов А. И., Хмелев С. В. Проведение оперативного неразрушающего контроля устьевого арматуры 161	Скрябин М. Л. Влияние метанола-топливных эмульсий на показатели работы дизеля Д-240 при $\Theta_{впр} = 23^\circ$ до ВМТ..... 194
Махмудова С. Н., Сичная М. А., Абдрахманов А. А., Сафин Г. Г., Великанов В. С. Адаптивный обучающий комплекс для тренинга операторов горных машин и транспортно-технологических комплексов..... 164	Скрябин М. Л. Нагрузочные характеристики работы дизеля Д-240 при работе на частоте вращения максимального крутящего момента..... 196
Махмудова С. Н., Сичная М. А., Сафин Г. Г., Абдрахманов А. А., Великанов В. С. Совершенствование процесса подготовки операторов горных машин посредством обучающей системы 167	Скрябин М. Л. Теоретические расчеты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля Д-245.7 в зависимости от угла поворота коленчатого вала 199
Мокроусов В. И. К вопросу о разрушении стальных труб большого диаметра при дефекте риска на внешней поверхности трубы..... 168	Скрябин М. Л. Исследование дымности отработавших газов дизелей при работе на альтернативном топливе 202
Орешкин А. Ю., Шлячков Д. А., Юшков А. Б. Особенность коррозионной стойкости сварных соединений при проведении экспертизы промышленной безопасности технологического оборудования нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. Часть 1 172	Файзиев М. М., Каримов И. Н. Нагрузочный режим удвоителя частоты со стабилизацией выходного напряжения на базе магнитного усилителя..... 205
Россохин А. В. Влияние применения метанола на показатели процесса сгорания в цилиндре и сажесодержания в ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения 175	Фокин В. Г., Шаныгин С. В. Обзор и перспективы развития мобильных шагающих робототехнических систем 207
Россохин А. В. Влияние применения метанола на показатели процессов сгорания и сажеобразования в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 178	Хожиева М. С., Эсанов Э. Т., Бахранова Д. А. Применение информационных технологий при анализе многофазных параметров гидродинамики процесса бурения нефтяных скважин..... 215
	Чувашев А. Н. Индикаторные показатели дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на ЭТЭ 217

Чувашев А. Н.	Чувашев А. Н.
Характеристики тепловыделения дизеля 4Ч	Показатели процесса сгорания дизеля 4Ч
11,0/12,5 при работе на ЭТЭ..... 220	11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки
	на режиме максимального
	крутящего момента..... 225
Чувашев А. Н.	Чувашев А. Н.
Показатели процесса сгорания дизеля 4Ч	Характеристики тепловыделения дизеля 4Ч
11,0/12,5 в зависимости от изменения	11,0/12,5..... 228
нагрузки 223	Шинкин В. Н.
	Подгибка кромок стального листа
	по эвольвенте..... 231

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Оценка применимости методов определения коэффициента теплопроводности для сверхтонких жидких композиционных теплоизолирующих покрытий

Анисимов Максим Васильевич, кандидат технических наук, доцент
Томский государственный архитектурно-строительный университет

Цель работы: проведение оценки применимости существующих методов измерения коэффициента теплопроводности для сверхтонких жидких композиционных теплоизолирующих покрытий. Методы исследования: проведение эксперимента. Результаты: проведен анализ существующих методов измерения коэффициента теплопроводности для различных строительных материалов. Изучены области применимости методов. Анализ показал, что для экспериментального измерения коэффициента теплопроводности для сверхтонких жидких композиционных теплоизолирующих покрытий наибольшую точность дает метод ГОСТ.

Ключевые слова: эксперимент; коэффициент теплопроводности; теплоизоляция; жидкие сверхтонкие покрытия; тепловая защита

Анализ проблемы

В настоящее время на строительном рынке имеется широкий выбор различных теплоизоляционных материалов. К уже имеющимся и неплохо себя зарекомендовавшим пенополистироловым, минераловатным утеплителям добавляются все новые и новые материалы, которые фирмы-изготовители предлагают использовать потребителям в различных климатических и строительных условиях.

Сравнительно недавно некоторые фирмы стали предлагать для утепления фасадов домов, а также инженерных коммуникаций современные сверхтонкие жидкие композиционные теплоизолирующие покрытия (далее теплоизолирующие краски). По мнению самих производителей красок, они обладают исключительными теплоизолирующими качествами (например, коэффициент теплопроводности таких материалов находится на уровне $\lambda = 0,001$, $0,0015$ Вт/(м²·°С)). В качестве сравнительного примера часто приводятся данные о том, что слой такой краски, толщиной от 1 до 3 мм, нанесенный на инженерные трубопроводы, может с успехом заменить изоляцию в несколько сантиметров толщины широко известных минераловатных утеплителей.

Как известно, наилучшими теплоизолирующими качествами обладает вакуум (коэффициент теплопроводности равен $\lambda = 0$ Вт/(м²·°С), а в земных условиях — воздух ($\lambda = 0,034$ Вт/(м²·°С)). Иными словами, производители подобного рода теплоизолирующих красок «поместили» свою продукцию, по их теплоизоляционным качествам, между

вакуумом и воздухом. Подобного рода выводы вызывают некоторые сомнения, т.к. изготовители не приводят теоретического обоснования тепловых эффектов, которые привели бы к такому результату или они неоднозначны.

Для экспериментального определения коэффициентов теплопроводности различных строительных материалов разработано немало различных методов. Имеются нормативные методы, такие как [1, 2], существуют и различные альтернативные методики, включая современные запатентованные [3–6]. В ряде случаев, когда строительный материал обладает рядом уникальных свойств, некоторые методы измерений могут давать высокую погрешность.

В связи с этим, было принято решение о проведении оценки применимости различных существующих методов для экспериментального определения коэффициента теплопроводности некоторых образцов теплоизолирующих красок (как одного из основных теплотехнических характеристик таких покрытий) с целью выявить его истинное значение.

Обзор существующих методов определения коэффициентов теплопроводности строительных материалов

На сегодняшний день существуют несколько нормативных методов определения коэффициентов теплопроводности различных строительных материалов [1, 2]. Так, например, в методике [1] используют измерительный комплекс (рис. 1 а), состоящий из:

- первичного преобразователя, предназначенного для преобразования импульса электрической энергии в тепловую и создания электрического сигнала, характеризующего изменение температуры поверхности материала изделия под воздействием теплового импульса;
- вторичного измерительного прибора для регистрации электрического сигнала;
- импульсного источника тока с таймером теплового импульса, обеспечивающего нагрев пластины первичного преобразователя.

В качестве вторичного измерительного прибора применяют вольтметр чувствительностью не ниже 1×10^{-6} В с цифрочитающим автономным или встроенным устройством и таймером опроса датчика, задающим интервалы регистрации.

При проведении испытаний изделий толщиной менее 15 мм теплопроводность исследуемого материала для одного измерения вычисляют по формуле [1]

$$\lambda = (z_i - b_s) \sqrt{\frac{C_R}{(z_m - b_s)(z_l - z_i)}}, \quad (1)$$

$$z_i = \frac{C_o}{x_i \sqrt{i}}, \quad (2)$$

здесь $m = 2l$; $i < k < l < m$, причем k такое, что

$$|X_k \sqrt{K} - X_{k-1} \sqrt{K-1}| < \Delta X < |X_{k+1} \sqrt{K+1} - X_k \sqrt{K}|,$$

где ΔX — абсолютная погрешность определения X .

Для измерения эффективной теплопроводности и термического сопротивления по методике [2] при стационарном тепловом режиме применяют приборы:

- собранные по асимметричной схеме, оснащенные одним тепломером, который расположен между испытуемым образцом и холодной плитой прибора или между образцом и горячей плитой прибора (рис. 1 б).

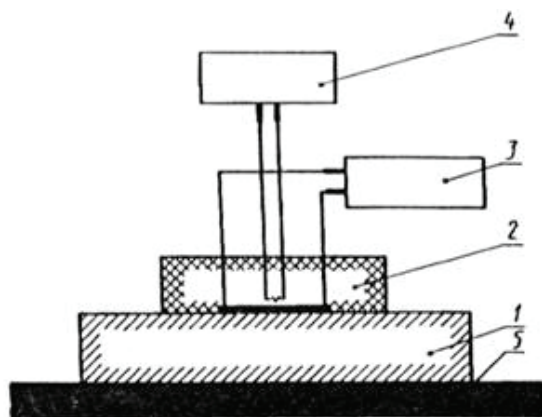
Относительная погрешность определения эффективной теплопроводности и термического сопротивления по методу [2] не превышает $\pm 3\%$, если испытание проведено в полном соответствии с требованиями стандарта.

Плиты нагревателя или холодильника могут иметь форму квадрата, сторона которого должна быть не менее 250 мм, или круга, диаметр которого должен быть не менее 250 мм.

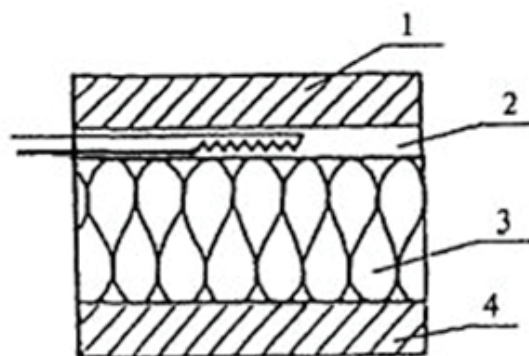
Рабочие поверхности плит нагревателя и холодильника должны быть изготовлены из металла. Отклонение от плоскостности рабочих поверхностей должно быть не более 0,025% их максимального линейного размера.

Относительная полусферическая излучательная способность рабочих поверхностей плит нагревателя и холодильника, соприкасающихся с испытуемым образцом, должна быть более 0,8 при тех температурах, которые эти поверхности имеют в процессе испытания.

Число датчиков температуры на каждой рабочей поверхности плит нагревателя или холодильника и лицевой грани тепломера, соприкасающейся с испытуемым образцом, регламентировано ГОСТ [2]. Диаметр проводов, подходящих к этим датчикам, должен быть не более 0,6 мм.



а) 1 — исследуемое изделие; 2 — первичный преобразователь; 3 — вторичный измерительный прибор для регистрации электрического сигнала; 4 — импульсный источник тока с таймером теплового импульса; 5 — основание



б) 1 — нагреватель; 2 — тепломер; 3 — испытуемый образец; 4 — холодильник

Рис. 1. Измерительные схемы нормативных методов определения коэффициентов теплопроводности различных строительных материалов:

а) метод по [1], ГОСТ 30290–94, б) метод по [2], ГОСТ 7076–99

Эффективную теплопроводность материала образца λ_{effu} вычисляют по формуле [2]

$$\lambda_{effu} = \frac{d_u}{\frac{\Delta T_u}{q_u} - 2R_L}, \quad (3)$$

где d_u — толщина образца в процессе испытания, м; ΔT_u — разность температур лицевых граней испытываемого образца, °С; q_u — плотность стационарного теплового потока, проходящего через испытываемый образец, Вт/м²; R_L — термическое сопротивление листового материала, из которого изготовлены дно и крышка ящика для образца насыпного материала, м²С/Вт.

При проведении обзора методик определения коэффициентов теплопроводности материалов следует отметить работы таких авторов как Ю. Ю. Головач (ФГУП НИИ «Сантехники»), А. В. Швецов (Capstone Manufacturing), Ю. Ф. Колхир (ЗАО «Предприятие Итиль»)) [3].

Данный способ определения коэффициента теплопроводности сверхтонких жидких теплоизоляционных покрытий λ_u с использованием устройства, включающего сосуд из нержавеющей стали, наполненный водой, нагреваемой до температуры кипения, к которому прикрепляются три камеры из пенопласта соответствующих размеров, разделенные металлическими пластинами. Между первой и второй камерами стоит пластина с нанесенным на нее сверхтонким жидким теплоизоляционным покрытием. Коэффициент теплопроводности определяется по уравнению

$$\lambda_u = \delta_u / [((t_2 - t_4) / q) - (1/\alpha_a + 2\delta_k/\lambda_k + 1/\alpha_n)] \quad (4)$$

Способ определяет коэффициент теплопроводности изоляции при строго определенных внешних условиях, чего достигнуть не всегда возможно.

Известен способ определения коэффициента теплопроводности с помощью «вспомогательной стенки» [4], включающей два слоя материала, один из которых с известным коэффициентом теплопроводности, размещаемые на источнике тепла, у второго определяются коэффициент теплопроводности по формуле

$$\lambda_2 = \delta_2 \frac{\lambda_1 t_T - t_1}{\delta_1 t_1 - t_2}, \quad (5)$$

где d_1 и λ_1 — толщина и коэффициент теплопроводности материала с известным коэффициентом теплопроводности, t_T — температура источника тепла, t_1 — температура между слоями стенки, t_2 — температура наружной поверхности второго слоя, d_2 — толщина слоя, коэффициент теплопроводности которого определяется. Этот слой может быть теплоизоляцией [4].

По указанному способу можно определить коэффициент теплопроводности традиционных теплоизоляторов. Способ основан на равенстве удельных тепловых потоков, применять его при определении коэффициента те-

плопроводности сверхтонких жидких теплоизоляционных покрытий возможно при известной теплопроводности одного из слоев, что не всегда возможно.

Также существует запатентованный метод определения коэффициента теплопроводности сверхтонких жидких теплоизоляционных покрытий [5].

Суть метода заключается в том, что в способе определения коэффициента теплопроводности сверхтонких жидких теплоизоляционных покрытий, заключающемся в использовании многослойной плоскопараллельной стенки, состоящей из двух слоев материала, установленных на источник тепла, измерении температуры источника тепла t_T , температур между двумя слоями материала t и наружной поверхности t_n , в определении λ_u по расчетной формуле, согласно изобретению температуру неизолированной наружной поверхности верхнего слоя t_n вычисляют как разность удвоенной температуры между слоями материала и температуры источника тепла по равенству: $t_n = 2t - t_T$, затем закрепляют на наружной поверхности верхнего слоя материала тонкую металлическую пластину с нанесенным на нее сверхтонким жидким теплоизоляционным покрытием, измеряют температуру в контактной поверхности верхнего слоя материала и металлической пластины с теплоизоляцией t_u и определяют коэффициент теплопроводности сверхтонкого жидкого теплоизоляционного покрытия λ_u по формуле:

$$\lambda_u = \delta_u \frac{\lambda}{\delta} \left(1 - \frac{t_n}{t_u} \right), \quad (6)$$

где λ_u — коэффициент теплопроводности сверхтонкого теплоизоляционного покрытия, d_u — толщина сверхтонкого теплоизоляционного покрытия, d — толщина слоя материала, λ — коэффициент теплопроводности материала, t_n — температура неизолированной наружной поверхности верхнего слоя, t_u — температура в контактной поверхности верхнего слоя материала и металлической пластины с теплоизоляцией.

Устройство для определения коэффициента теплопроводности сверхтонких жидких теплоизоляционных покрытий λ_u представлено на рис. 2.

Устройство представляет собой установку (рис. 2 а), являющуюся многослойной плоскопараллельной стенкой, включающую установленные друг на друга два слоя одного и того же материала одинаковой толщины d и с равными коэффициентами теплопроводности λ : нижний слой 1 и верхний слой 2. Измерив температуру t_T терморегулируемого источника тепла 3 и температуру t между слоями 1 и 2 и вычислив по ним температуру t_n на наружной поверхности верхнего слоя 2, закрепляют тонкую металлическую пластину с нанесенным на ее внешнюю поверхность сверхтонким жидким теплоизоляционным покрытием 4 (далее теплоизоляция) (рис. 2 б). Толщина d пластины должна быть такой, чтобы она не коробилась от термонапряжений. Благодаря высокому коэффициенту теплопроводности тонкая металлическая пластина прак-

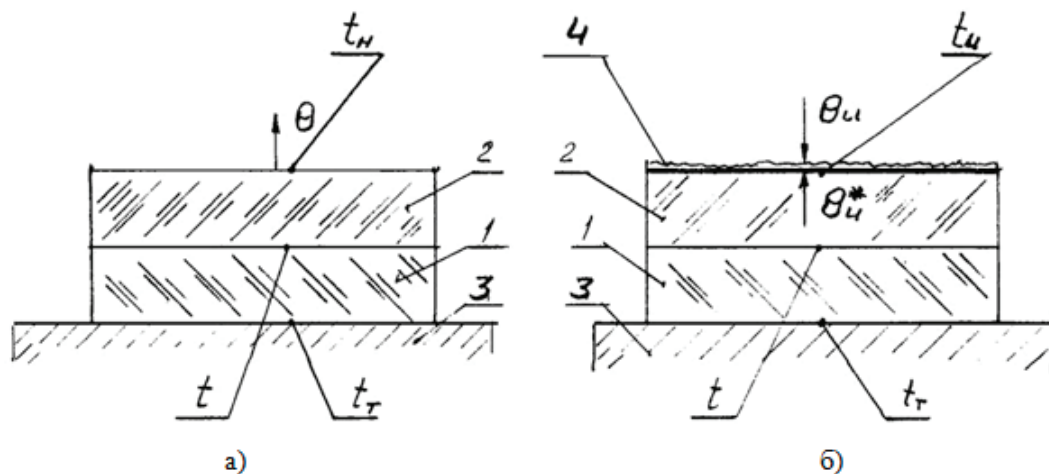


Рис. 2. Схема проведения эксперимента по методике [5]

тически не влияет на результаты измеряемых температур. Так как сама термопара и ее измерительный спай имеют определенные размеры, между слоями устанавливают дополнительные металлические пластины толщиной, совместимой с размерами термопар. В этих пластинах для термопар делаются прорезы, обеспечивающие измерение температуры приблизительно в центре слоя. Все это устанавливают на терморегулируемый источник тепла 3, обеспечивая плотное прилегание всех слоев. Установка должна исключать влияние внешней среды на боковые поверхности слоев.

Способ определения коэффициента теплопроводности сверхтонкого жидкого теплоизоляционного покрытия осуществляется следующим образом. Терморегулируемый источник тепла 3 включают в работу и по достижении расчетного термостационарного режима снимают показания термопар: температуру t_r источника тепла 3, температуру t между слоями 1 и 2, вычисляют температуру t_n неизолированной наружной поверхности верхнего слоя 2 по равенству $t_n = 2t - t_r$, что позволяет вычислять теплопроводность по зависимости (6).

Анализ условий применимости существующих методов показал, что нормативный метод [1] разработан для измерения коэффициента теплопроводности в основном сыпучих материалов, что не отвечает начальным требованиям. Метод [3] весьма требователен к точности поддержания температурных условий. Метод [5] разработан для области $\lambda = 0,01 \dots 0,009 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$, что не отвечает требованиям к диапазону измерений.

В соответствии с проведенным анализом существующих методик, было принято решение использовать для экспериментального определения коэффициента теплопроводности некоторых образцов теплоизолирующих красок нормативного метода [2] с заменой тепломера (рис. 1 б) на слой материала с известной теплопроводностью. Такая замена является корректной и не противоречит теории исследования тепловых процессов [4]. Метод [2] отвечает всем требованиям к проведению эксперимента (стандарт не распространяется на материалы и изделия с теплопроводностью более $1,5 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$ и относительная погрешность определения эффективной теплопроводности и термического сопротивления по методу [2] не превышает $\pm 3\%$).

Литература:

1. ГОСТ 30290–94. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности поверхностным преобразователем. — Введ. 01.01.1996. — М.: Госстрой России, 1996. — 12 с. — (Государственный стандарт Российской Федерации).
2. ГОСТ 7076–99. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме. — Введ. 01.04.2000. — М.: Госстрой России, 2000. — 20 с. — (Государственный стандарт Российской Федерации).
3. Головач, Ю. Ю., Швецов А. В., Колхир Ю. Ф.. Метод постановки опыта и расчета коэффициента теплопроводности для сверхтонких тепловых изоляционных материалов / Ю. Ю. Головач, А. В. Швецов, Ю. Ф. Колхир и др. — (URL: <http://inn-t.com/teploprovodnost/index.html>.) [Электронный ресурс], Казань, 2008 г.
4. Михеев, М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. — М.: Высш. школа, 1973. — 309 с.
5. Патент РФ № 2478936, МПК G01N25/18, G01N25/20. Способ определения коэффициента теплопроводности сверхтонких жидких теплоизоляционных покрытий / Правник Юрий Иосифович, Садыков Ренат Ахатович, Иванова Росица Видовна, Манешев Иван Олегович, Крайнов Дмитрий Владимирович, Адаев Эдуард Вилевич.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»,

6. Садыков Ренат Ахатович. — № 2478936; заявл. 07.11.2011, опубл. 10.04.2013. — 5 с.: ил.
7. Логинова, Н. А. Определение эффективности тонкопленочных теплоизоляционных покрытий применительно к системам теплоснабжения.: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.04 — Москва, 2010. — 133 с.

Способы подачи метанола в камеру сгорания

Анфилатов Антон Анатольевич, кандидат технических наук, доцент
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

Возможность использования метанола в качестве топлива для автотракторных дизелей обуславливается в первую очередь тем, что в условиях дефицита ДТ метанол может быть получен из любого газообразного топлива, а также из пищевых и сельскохозяйственных отходов. Кроме того, метанол как топливо для дизелей позволяет решить проблему снижения выбросов оксидов азота и, особенно, твердых частиц. Это объясняется тем, что при сгорании метанола не выделяются промежуточные продукты, из которых затем образуются ароматические и ацетиленовые углеводороды, которые способствуют зарождению и росту сажевых частиц [1–11].

При системе двойной топливоподачи, иногда называемой «пилотной», большое влияние на мощностные и токсические показатели дизеля оказывает правильная ориентация сопловых отверстий форсунок. Оптимальная ориентация струй топлива для двух вариантов КС в поршне и для вихревой камеры

Есть способ, основанный на волновом процессе в линии высокого давления, который заключается в следующем: при отсечке подачи топлива насосом рисунок 1, а, его нагнетательный клапан своим разгрузочным пояском

формирует в линии высокого давления волну разряжения. В период между впрыскиваниями волна разряжения многократно открывает обратный клапан и способствует поступлению и смешиванию добавочного топлива с дизельным топливом (ДТ). Однако такой способ вряд ли сможет обеспечить высокую равномерность подачи метанола. Кроме того, величина подачи добавочного топлива зависит от перепада давлений на обратном клапане. В случае малого перепада давлений затруднена подача высокой доли добавочного топлива и наоборот [12–17].

С целью упрощения системы топливоподачи авторами предложено включить в линию подачи ДТ обменник давления с делителем давления рисунок 1, б. Делитель давления может быть плунжерного или мембранного типа. Одна полость обменника включена в линию подачи ДТ, а вторая — в линию подачи спиртового топлива. При работе насоса высокого давления плунжер или мембрана делителя давления перемещается за счет давления в полости подачи ДТ и подает спиртовое топливо через дополнительную форсунку. Таким образом, частично упрощается конструкция двухтопливной системы питания дизеля [18–23].

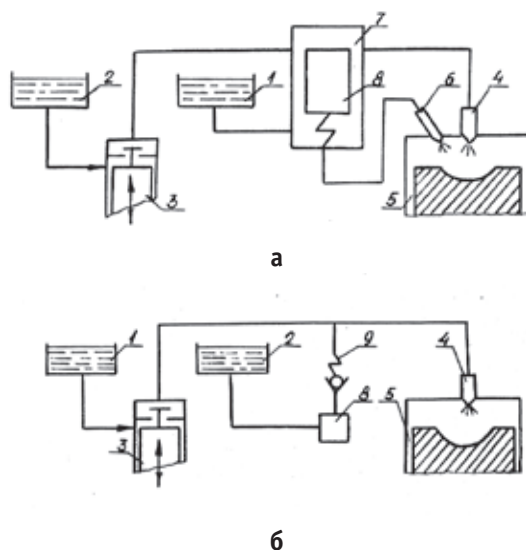


Рис. 1. Схемы двойной системы подачи метанола с использованием: а — волнового процесса; б — обменника давления: 1 — метанол; 2 — ДТ; 3 — секция насоса высокого давления; 4 — штатная форсунка; 5 — цилиндр; 6 — дополнительная форсунка; 7 — смешивающее устройство; 8 — регулятор давления; 9 — обратный клапан

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. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 2. с. 6–7.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. 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.

19. Скрябин, М.Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый_. 2015. № 10 (90). с. 315–318.
20. 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.
21. 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.
22. Скрябин, М.Л. Влияние отработавших газов автомобильного транспорта на окружающую среду // Молодой ученый_. 2015. № 13. с. 185–187.
23. 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.

Влияние подачи метанола на содержание токсичных компонентов в зависимости от нагрузки

Анфилатов Антон Анатольевич, кандидат технических наук, доцент
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

Изменение токсичности и дымности ОГ при работе дизеля на метаноле с ДСТ по сравнению с серийным дизелем в зависимости от нагрузки при частоте вращения 1800 мин⁻¹ представлено на рисунке 1, а [1–5].

Как видно из графиков, при работе дизеля на метаноле с ДСТ содержание некоторых токсичных компонентов в ОГ заметно снижается. Так, при увеличении нагрузки содержание NO_x в ОГ у серийного дизеля изменяется от 1,95 мг/л до 3,00 мг/л с максимальным значением 3,25 мг/л при p_c = 0,585 МПа. При работе дизеля на метаноле с ДСТ содержание NO_x в ОГ изменяется

при увеличении нагрузки от 0,3 мг/л до 0,7 мг/л с максимальным содержанием 1,00 мг/л при p_c = 0,585 МПа. На номинальном нагрузочном режиме содержание NO_x в ОГ у дизеля, работающего на метаноле с ДСТ, снижается с 3,25 мг/л до 1,00 мг/л, или на 69% [6–12].

Такое резкое снижение содержания NO_x в ОГ исследователи объясняют тем, что скорость тепловыделения и нарастания давления у дизеля, работающего на метаноле, значительно ниже, чем у серийного, что подтверждается уменьшением первого и увеличением второго пика динамики тепловыделения и, кроме того, сме-

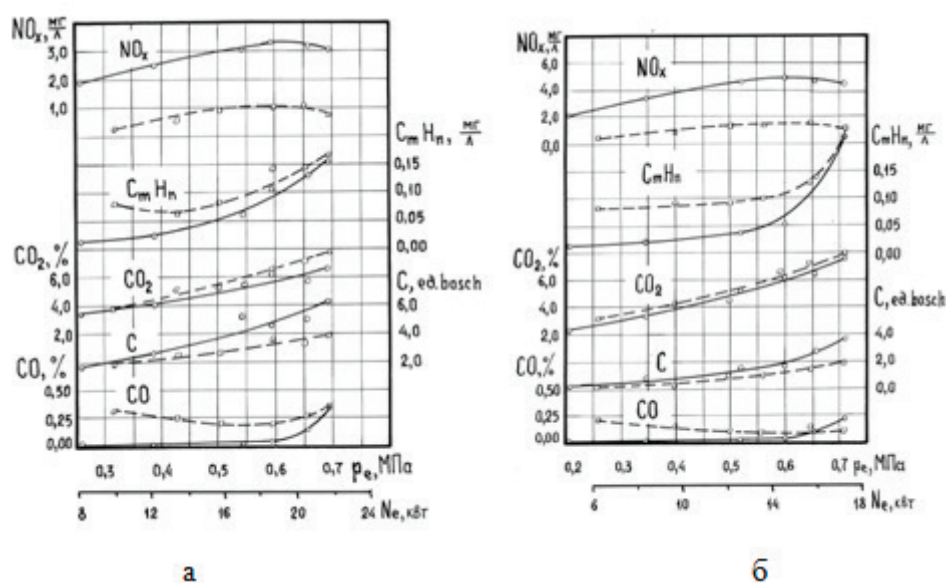


Рис. 1. Влияние подачи метанола с двойной системой топливоподачи на содержание токсичных компонентов в ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от нагрузки: а — при n = 1800 мин⁻¹; б — при n = 1400 мин⁻¹; о/о — дизельный процесс; □ — — — □ — метанол с запальным ДТ

щением их вправо по углу поворота коленчатого вала. Эти факторы являются определяющими в образовании NO_x при сгорании топливо-воздушной смеси в цилиндре. На частоте вращения 1400 мин^{-1} и работе дизеля на метаноле с ДСТ содержание токсичных компонентов в ОГ в зависимости от нагрузки изменяется аналогичным образом рисунок 1, б. Так, содержание оксидов азота при работе дизеля на ДТ при увеличении нагрузки изменяется от $2,1 \text{ мг/л}$ до $4,4 \text{ мг/л}$ с максимальным значением $4,8 \text{ мг/л}$ при $p_e = 0,600 \text{ МПа}$. При работе дизеля на метаноле с ДСТ содержание NO_x в ОГ при возрастании нагрузки изменяется от $0,4 \text{ мг/л}$ до $1,1 \text{ мг/л}$ с максимальным содержанием $1,5 \text{ мг/л}$ при $p_e = 0,650 \text{ МПа}$ [13–19].

При работе дизеля 2Ч 10,5/12,0 с непосредственной подачей метанола в КС и воспламенением запальным ДТ возможно получение мощностных показателей на уровне серийного дизеля при использовании 10% ДТ (запаль-

ного) и 90% метанола (основного), чем достигается экономия до 80% ДТ путем замещения его метанолом, снижается содержание в ОГ оксидов азота на 66...75% и сажи на 40% в условиях работы по скоростной характеристике. При этом снижается максимальное давление сгорания $p_{z \text{ max}}$, «жесткость» процесса, сгорание топлива происходит более мягко, без резких повышений давления, сдвигаясь на индикаторной диаграмме на линию расширения, уменьшается максимальное значение осредненной температуры цикла и температуры ОГ [20–23].

Снижение содержания NO_x в ОГ при номинальной нагрузке $p_e = 0,594 \text{ МПа}$ составляет у дизеля, работающего на метаноле с ДСТ, 68%. Таким образом общие закономерности сохраняются: с увеличением доли подачи метанола существенно снижается содержание NO в ОГ, а концентрация CH_x резко увеличивается, особенно на больших нагрузках, где подача метанола достигает 80%.

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. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей тракторного дизеля путем применения природного газа и рециркуляции отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсий // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 3. с. 3–6.
10. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 2. с. 6–7.
11. 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.
12. 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.
13. 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. Мате-

- риалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 101–104.
14. 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.
 15. 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.
 16. 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.
 17. 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.
 18. 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.
 19. Скрябин, М.Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.
 20. 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.
 21. 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.
 22. Скрябин, М.Л. Влияние отработавших газов автомобильного транспорта на окружающую среду // Молодой ученый. 2015. № 13. с. 185–187.
 23. 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.

Влияние подачи метанола на содержание токсичных компонентов в отработавших газах

Анфилатов Антон Анатольевич, кандидат технических наук, доцент
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

Проблема снижения токсичности отработавших газов (ОГ) двигателей внутреннего сгорания приобрела мировой характер и стала общей для всех стран. Токсичные компоненты ОГ двигателей, попадая в атмосферу, разносятся воздушными потоками на огромные расстояния. Поэтому снижение содержания токсичных компонентов в ОГ дизелей является актуальной и насущной задачей, рассматриваемой на федеральном уровне

В Вятской ГСХА были проведены исследования с целью снижения содержания токсичных компонентов в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 с полусферической камерой сгорания в поршне при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи (ДСТ) и впрыскивании дизельного топлива (запального) через многоструйную форсунку, изучение его влияния на процессы образования и разложения оксидов азота, токсич-

ческие, мощностные и экономические показатели, экономии нефтяного моторного топлива [1–11].

Имеются исследования по влиянию применения метанола с двойной системой топливоподачи на содержание токсичных компонентов в ОГ дизеля. Изменение содержания токсичных компонентов в ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от частоты вращения коленчатого вала при работе на метаноле с ДСТ представлено на рисунке 1. Проведенные исследования показали, что при работе на метаноле увеличение частоты вращения сопровождается увеличением количества токсичных компонентов в ОГ дизеля кроме оксидов азота, содержание которых при этом снижается [12–20].

Как видно из графиков, для дизеля, работающего на метаноле с ДСТ, характерно снижение содержания NO_x в ОГ по отношению к серийному дизелю на всех иссле-

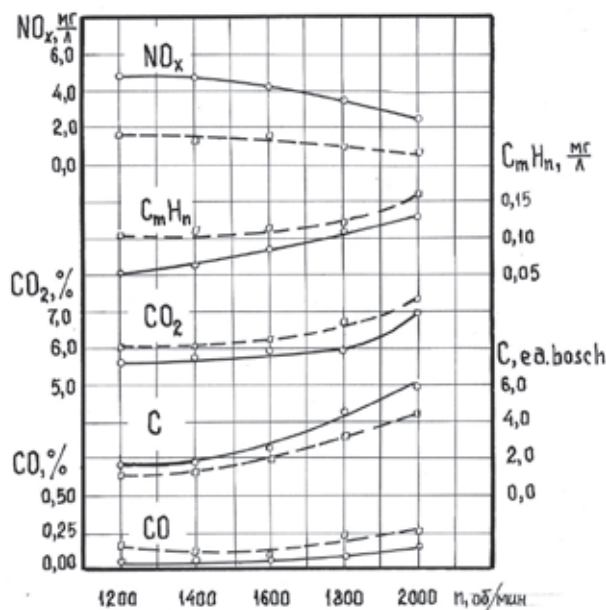


Рис. 1. Влияние подачи метанола с двойной системой топливоподачи в зависимости от частоты вращения дизеля 2Ч 10,5/12,0 на содержание токсичных компонентов в ОГ: \circ — дизельный процесс; \square — метанол с запальным ДТ; \times — часовой расход запального ДТ

дуемых скоростных режимах. Так, если у серийного дизеля содержание оксидов азота в ОГ уменьшается с 4,8 мг/л при частоте вращения 1200 мин⁻¹ до 2,4 мг/л при 2000 мин⁻¹, то у дизеля, работающего на метаноле,

содержание NO_x соответственно снижается с 1,6 мг/л до 0,6 мг/л. В процентном отношении при $n = 1200$ мин⁻¹ снижение составляет 66,6%, а при $n = 2000$ мин⁻¹ уже 75% [21–24].

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. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей тракторного дизеля путем применения природного газа и рециркуляции отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсий // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 3. с. 3–6.

10. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 2. с. 6–7.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
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 азота в отработавших газах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2009. — 202 с.
19. 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.
20. 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.
21. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.
22. 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.
23. 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.
24. 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.

Перспективы применения метанола в дизелях

Анфилатов Антон Анатольевич, кандидат технических наук, доцент
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

В отработавших газах (ОГ) двигателей внутреннего сгорания (ДВС) содержится свыше 280 токсичных компонентов, большая часть из которых образуется из-за

неполного сгорания топлива в цилиндре двигателя. Наличие в ОГ вредных веществ зависит также от вида применяемого топлива и его химического состава [1–6].

В настоящее время нефть является практически единственным источником производства моторных топлив, на получение которых расходуется около 50% (1,7 из 3,5 млрд. т) добываемой нефти. Несоответствие транспортных средств экологическим требованиям при продолжающемся увеличении количества автомобилей приводит к непрерывному возрастанию уровня загрязнения атмосферного воздуха [7–12].

Постоянное ужесточение норм на содержание токсичных веществ в ОГ и повышение требований по улучшению топливной экономичности стимулируют исследования по созданию принципиально новых двигателей, отвечающих самым жестким мировым стандартам с одновременным улучшением качества моторных топлив.

Ограниченность запасов топлив нефтяного происхождения, повышение цен на нефть и нефтепродукты, а также сложившаяся неблагоприятная экологическая обстановка в стране и мире сделала актуальными работы, направленные на поиск и обоснование применения альтернативных возобновляемых видов топлив [13–16].

На рисунке 1.1 представлены основные виды и способы применения альтернативных видов топлива для транспортных силовых установок, а в таблице 1.1 представлены общие требования к альтернативным топливам для транспортных силовых установок и их соответствие необходимым условиям с точки зрения возможной применимости [17...19].

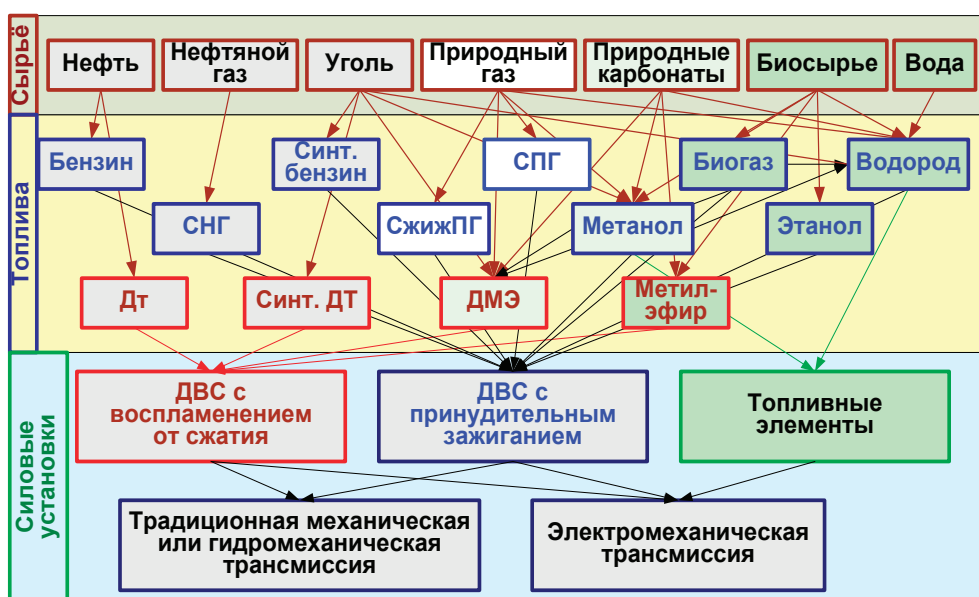


Рис. 1. Виды и способы применения альтернативных видов топлива для транспортных силовых установок

Среди последних важное место занимают спирты, в частности метанол (CH_3OH), для производства которых в промышленных масштабах имеются сырьевые ресурсы. Метанол используется для производства пластмасс, синтетических волокон, протеина, ядохимикатов, карбамидных смол, фотопленки и плексигласа. Большие объемы метанола используются в производстве МТБЭ (высокооктановой добавки к моторному топливу) [20–24].

Возможность использования метанола в качестве топлива для автотракторных дизелей обуславливается в первую очередь тем, что в условиях дефицита ДТ ме-

танол может быть получен из любого газообразного топлива, а также из пищевых и сельскохозяйственных отходов. Кроме того, метанол как топливо для дизелей позволяет решить проблему снижения выбросов оксидов азота и, особенно, твердых частиц. Это объясняется тем, что при сгорании метанола не выделяются промежуточные продукты, из которых затем образуются ароматические и ацетиленовые углеводороды, которые способствуют зарождению и росту сажевых частиц. В продуктах сгорания метанола практически нет и сернистых соединений.

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 показателей процесса сгорания газодизеля при работе с рециркуляцией отработавших газов // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 33–36.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 2. с. 6–7.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
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 азота в отработавших газах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2009. — 202 с.
19. 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.
20. 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.
21. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.

22. 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.
23. 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.
24. 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.

Особенности проведения технического диагностирования шахтной многофункциональной лебёдки с целью повышения точности прогнозирования остаточного ресурса

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

Разработаны рекомендации по проведению экспертного обследования лебёдок типа ЛШМ с целью определения соответствия требованиям промышленной безопасности и возможности дальнейшей эксплуатации.

Шахтные лебедки на угледобывающих предприятиях имеют широкую область применения: используются в подземных и открытых разработках, для транспортировки горной массы по горизонтальным и наклонным выработкам, для перемещения грузов и оборудования, т.е. как электрический подъемно-тяговый механизм. Электролебедки имеют множество модификаций, по своему назначению они делятся на вспомогательные (распределительные и транспортные), маневровые, грузовые, монтажные, низкоскоростные, откаточные, посадочные, проходческие (полковые), тягальные и пр.

В данной работе рассматривается шахтная многофункциональная лебёдка (ЛШМ), предназначенная для перемещения оборудования по монтажным и демонтажным камерам очистных и подготовительных выработок без ограничения угла наклона в угольных шахтах. Эта разновидность лебёдок может использоваться для доставки оборудования и материалов по подготовительным выработкам, извлечения крепи и оборудования при погашении выработок, для вспомогательных работ при монтаже и демон-

таже добычных комплексов и других работ, связанных с перемещением и подъемом грузов. На лебедке установлены два тормоза и устройство, обеспечивающее отключение барабана от привода для свободного разматывания каната.

Нормативный срок эксплуатации рассматриваемого вида технических устройств, согласно конструкторской документации, составляет в среднем около 2,5 лет. Далее возможны два варианта: замена оборудования на новое либо продление срока службы после проведения капитального ремонта. В настоящее время в силу ряда причин, прежде всего экономических, многие предприятия предпочитают второй способ решения проблемы. От надёжности работы оборудования после ремонта зависят экономическая эффективность предприятия, безопасность труда персонала. Надёжность как показатель является свойством объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания [1].

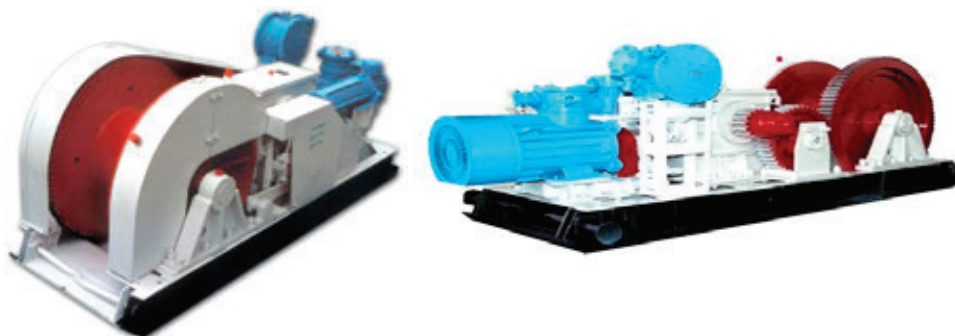


Рис. 1. Шахтная многофункциональная лебёдка

Надежность характеризуется следующими факторами: безотказностью, долговечностью, ремонтпригодностью.

Под безотказностью понимается свойство оборудования непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени или некоторой наработки.

Долговечность — сохранение работоспособности до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов.

Ремонтпригодность — свойство машины, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения его отказов, повреждений и устранению их последствий путем проведения ремонтов и технического обслуживания.

Согласно требованиям п.6 Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности», вступивших в силу с 01 января 2014 г., техническое устройство, применяемое на опасном производственном объекте, по истечении срока службы подлежит экспертизе. При проведении экспертного обследования обязательным является определение остаточного ресурса с указанием условий дальнейшей безопасной эксплуатации. Капитальный ремонт должен обеспечивать исправность и полный, или близкий к полному, ресурс технического устройства путём восстановления и замены сборочных единиц и деталей, только в этом случае срок эксплуатации лебёдок может быть продлён.

Проблема состоит в том, что, к сожалению, довольно часто капитальный ремонт проводится некачественно, а для определения соответствия шахтной многофункциональной лебёдки требованиям промышленной безопасности на сегодняшний день нет действующей методики.

Экспертное обследование проводится в порядке, определенном ФНИП «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 шахтной многофункциональной лебёдки:

- рама лебёдки — наличие (отсутствие) деформаций и разрывов;
- барабан — трещины в сварном шве (не допускаются трещины более 20 мм);
- тормозные ленты рабочего и предохранительного тормозов (не допускаются трещины в местах клёпки проушин; износ обкладки не более 3 мм);
- эффективность торможения;
- износ шестерен и подшипников редуктора;
- ограждение груза тормозного;
- блокировка предохранительного тормоза с отключением электродвигателя;
- соответствие смазки требованиям РЭ, утечки.



Рис. 2. Дефект сварного шва

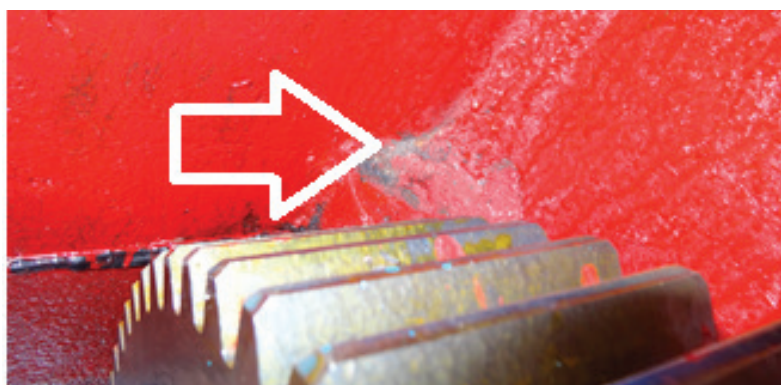


Рис. 3. Отложение абразивных веществ

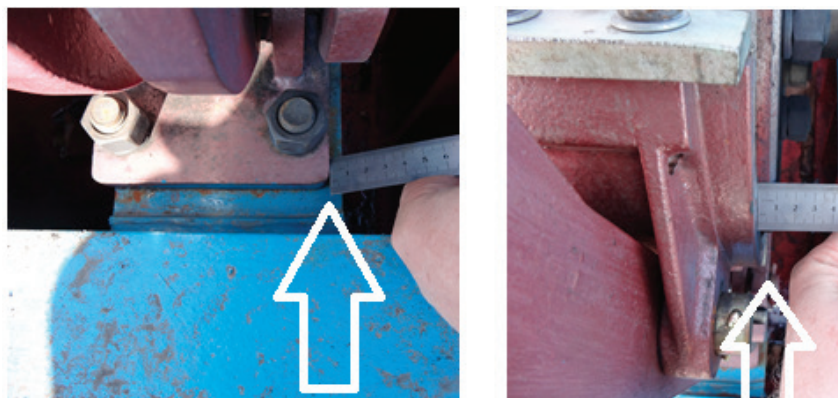


Рис. 4. Смещение крепления тормозных колодок

При проведении технического диагностирования лебёдки 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. Для оценки общего состояния лебёдки применяется, прежде всего, визуальный и измерительный контроль, включающий внешний осмотр, проверку состояния элементов крепления, сварных швов. 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.

Проведённый на основании данных технического диагностирования анализ состояния лебёдок после капитального ремонта позволил выявить наиболее вероятные дефекты, на которые целесообразно обратить особое внимание в процессе приёмки оборудования в эксплуатацию:

1. Низкое качество соединений элементов металлических конструкций, неравномерная ширина шва, непровар, что ослабляет конструкцию рамы (рис.2).

2. На внутренней поверхности редуктора (в полостях корпуса) присутствуют отложения абразивных веществ. Во время работы возможно попадание абразивных веществ вместе с маслом в подшипники и в зацепления зубчатых передач, что может являться причиной повышенного износа деталей редуктора (рис. 3).

3. Неполное прилегание тормозных накладок к поверхности тормозного барабана электрогидравлического аварийного тормоза, что приводит к неэффективности процесса торможения. Причина отклонения: смещение основания рамы тормозных колодок (рис. 4).

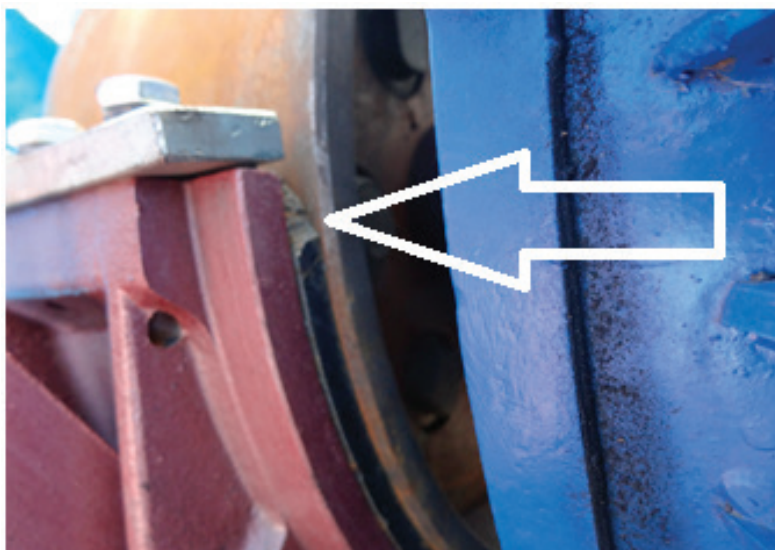


Рис. 5. Сколы на тормозных накладках

4. Сколы на тормозных накладках электрогидравлического аварийного тормоза (рис. 5).

Своевременное обнаружение и устранение вышеуказанных дефектов позволит повысить надёжность оборудования, снизить до минимума вероятность возникновения

отказов в процессе эксплуатации, что, в свою очередь, позволит значительно сократить затраты на ремонт и эффективно использовать остаточный ресурс шахтных многофункциональных лебёдок.

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.

Эффективность охлаждения газов в пенном слое на провальных тарелках

Башаров Марат Миннахматович, кандидат технических наук, доцент;
Лаптева Елена Анатольевна, кандидат технических наук, доцент
Казанский государственный энергетический университет

Рассмотрен подход определения температурных профилей и эффективности охлаждения газов в развитом турбулентном барботажном слое на провальных тарелках в колонных аппаратах. Подход базируется на моделях структуры потока для двухфазных сред. Используются диффузионная и ячеечная модели с объемными источниками тепла. Представлены решения уравнений этих моделей для различных частных случаев теплообмена на тарелках. Даны результаты расчетов и сравнение с опытными данными.

Ключевые слова: теплообмен, барботаж, противоток, эффективность, структура потока, законы сохранения.

Введение. На предприятиях нефтегазохимического комплекса и энергетики находят применение пенные аппараты охлаждения газов и жидкостей, которые относятся к теплообменникам смешения. Причем, теплообмен может сопровождаться массообменом или мокрой очистки газов. Наиболее характерные случаи охлаждения газов жидкостями рассмотрены в работах [1,2].

Математическое описание явлений переноса в двухфазных средах с случайным образом распределением дисперсной фазы в сплошной возможно с применением модели многоскоростного континуума или ряда других моделей, которые в итоге приводят к системе уравнений с осредненными источниковыми членами [3, 4].

Законы сохранения в многофазных средах. В дисперсных многофазных системах, встречающихся при осуществлении различных химико-технологических процессов, в сплошной фазе (жидкости или газе) находится значительное количество дисперсных включений — твердых частиц, жидких капель или газовых пузырей. Точное описание движения фаз такой системы на уровне отдельных дисперсных включений представляется невозможным вследствие большого числа этих включений. К тому же точная информация о движении всех дисперсных включений и сплошной фазы между ними является ненужной, так как на практике интерес представляют

только некоторые осредненные величины. Поэтому математическое описание осуществляется при помощи осредненных величин.

Обычно предполагается, что такие системы можно изучать, используя представления механики взаимодействующих взаимодействующих сплошных сред (континуумов). Применение указанных представлений правомерно только в том случае, если для рассматриваемой многофазной системы существует физически бесконечно малый объем. Физически бесконечно малый объем — объем, размеры которого пренебрежимо малы по сравнению с характерным пространственным масштабом макроскопического течения (то есть масштабом, на котором осредненные параметры многофазной среды существенно изменяются). Данное условие позволяет считать, что осредненные по физически бесконечно малому объему характеристики многофазной среды практически постоянны в пределах этого объема. Число дисперсных частиц, заключенных в физически бесконечно малом объеме, должно быть настолько большим, чтобы осредненные по этому объему характеристики многофазной системы были устойчивы по отношению к изменению объема. При этом осредненные по физически бесконечно малому объему величины представляют собой осредненные характеристики фаз реальной многофазной системы. Следовательно, введение

физически бесконечно малого объема позволяет представить рассматриваемую многофазную среду как совокупность нескольких (по числу фаз) сплошных сред, обладающих физическими свойствами фаз реальной многофазной среды и непрерывно распределенных в пространстве, занимаемом многофазной средой.

Другое условие, которое обычно предполагается выполненным, заключается в том, что размер неоднородностей в рассматриваемой многофазной системе считается существенно превосходящим молекулярно-кинетические размеры (средние длины свободного пробега молекул, расстояния между молекулами и т.п.), то есть неоднородности содержат очень большое число молекул. Выполнение этого условия позволяет использовать для описания движения отдельных дисперсных включений и окружающей их жидкости (газа) обычные уравнения и методы механики сплошной среды.

Решением таких систем уравнений имеет значительные трудности и при проектировании или модернизации промышленных аппаратов практически используются довольно редко. Авторы данной статьи не раз сталкивались с производственными задачами, когда от технического задания до выдачи технических решений составляет не более месяца, а иногда и несколько дней. В таких случаях наиболее подходят приближенные модели, которые с достаточной для практических целей точностью позволяют быстро получать необходимые результаты. Одной из таких моделей являются модели структуры потока в аппаратах, которые основаны на представлении процесса в аппарате в виде статической системы с различным временем пребывания частиц в потоке.

Диффузионная модель. Наибольшее применение получили двух и однопараметрические диффузионные модели, где все неравномерности распределения фаз учитываются в виде коэффициентов поперечного и обратного (продольного) перемешивания, а так же построенные на их основе комбинированные модели [5,6]. Так, например, при теплопереносе однопараметрическая диффузионная модель структуры потока имеет вид

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} + w \frac{\partial T}{\partial z} = D_{\text{п}} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}, \quad (1)$$

где T — температура среды; τ — время, с; z — продольная координата, м; w — средняя скорость среды, м/с; $D_{\text{п}}$ — коэффициент обратного перемешивания, м²/с.

При тепло или массообмене в барботажном слое для учета второй фазы используются объемные источники, уравнения баланса и условия равновесия.

При относительно небольших температурах газов на входе в аппарат (<50°) и полным его насыщениями парами воды теплообмен не сопряжен с явлениями испарениями или конденсации и эти эффекты можно не учитывать.

Тогда при стационарном режиме работы провальной барботажной тарелки (рис.1) уравнение (1), записанное для жидкой и газовой фаз с источником теплоты, примет в вид

$$u_{\text{ж}} \frac{dT_{\text{ж}}}{dz} = D_{\text{пж}} \frac{d^2 T_{\text{ж}}}{dz^2} + \frac{(\alpha_{\text{г}} a) \Delta T}{\rho_{\text{ж}} c_{\text{рж}}}, \quad (2)$$

$$w_{\text{г}} \frac{dT_{\text{г}}}{dz} = D_{\text{пг}} \frac{d^2 T_{\text{г}}}{dz^2} - \frac{(\alpha_{\text{г}} a) \Delta T}{\rho_{\text{г}} c_{\text{рг}}}, \quad (3)$$

где z — вертикальная координата по высоте слоя, м; $u_{\text{ж}}$ — средняя скорость жидкости, м/с; $T_{\text{ж}}$ — температура жидкости, °С; $D_{\text{пж}}$ — коэффициент перемешивания по высоте слоя, м²/с; $\alpha_{\text{г}} a$ — объемный коэффициент теплоотдачи, Вт/(м³ К); $\rho_{\text{ж}}$ — плотность жидкости, кг/м³; $c_{\text{рж}}$ — удельная теплоемкость жидкости, Вт/(м К); ΔT — движущая сила теплопередачи, °С; Источники тепла уравнениях (2) и (3) записаны используя коэффициент теплоотдачи, т.к. известно, что при охлаждении газов основное сопротивление теплопередачи сосредоточено в газовой фазе. Коэффициент теплоотдачи в газовой фазе пенного слоя можно вычислить используя математическую модель [7] или критериальные выражения [1,6]

Ячеечная модель. Далее рассмотрим процесс охлаждения газа в пенном слое на провальной тарелке, учитывая, что по газовой фазе практически идеальное вытеснение и поэтому можно использовать ячейечную модель при достаточно большом числе условных ячеек по высоте слоя.

$$w_{\text{г}} \frac{T_{\text{г},i-1} - T_{\text{г},i}}{\Delta z} = \frac{(\alpha_{\text{г}} a) (T_{\text{г},i} - T_{\text{ж},i})}{\rho_{\text{г}} c_{\text{рг}}}, \quad (4)$$

где $i=1,2,\dots, n$; n — число ячеек по высоте слоя.

Так как по жидкой фазе происходит практически полное перемешивание запишем уравнение баланса тепла для i -й ячейки

$$L c_{\text{рж}} (T_{\text{ж},i-1} - T_{\text{ж},i}) = G c_{\text{рг}} (T_{\text{г},i-1} - T_{\text{г},i}). \quad (5)$$

где L, G — массовые расходы жидкости и газа, кг/с.

Из уравнения теплопередачи (4) и баланса тепла (5) для i -й ячейки получим выражения для расчета профиля температур газа и жидкости в барботажном слое

$$T_{\text{г},i} = \frac{T_{\text{г},i-1} + b_{\text{г}} T_{\text{ж},i+1} + \frac{b_{\text{г}} L}{2 G} T_{\text{г},i-1}}{b_{\text{г}+1} + \frac{b_{\text{г}} L}{2 G} + 1}, \quad (6)$$

где $b_{\text{г}} = (\alpha_{\text{г}} a) \Delta z_i / (w_{\text{г}} \rho_{\text{г}} c_{\text{рг}})$; $\Delta z_i = H_{\text{г-ж}} / n$; где n — число ячеек.

$$T_{\text{ж},i} = \frac{G c_{\text{рг}} (T_{\text{г},i-1} - T_{\text{г},i})_{\text{г}} + L c_{\text{рж}} T_{\text{ж},i+1}}{L c_{\text{рж}}}. \quad (7)$$

Температура жидкости на выходе из слоя

$$T_{\text{жк}} = \frac{G c_{\text{рг}} (T_{\text{н}} - T_{\text{к}})_{\text{г}} + L c_{\text{рж}} T_{\text{жн}}}{L c_{\text{рж}}}. \quad (8)$$

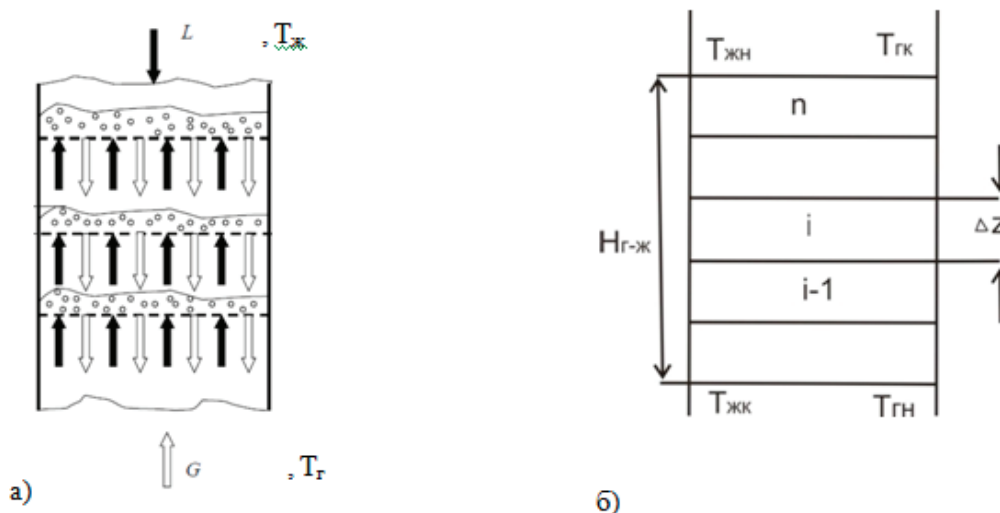


Рис. 1. а) Схема взаимодействия фаз (L, G — массовые расходы жидкости и газа), б) ячеечная модель тарелки

Тепловая эффективность охлаждения газа

$$E_r = \frac{T_{гн} - T_{гк}}{T_{гн} - T_{жср}} \quad (9)$$

где $T_{жср} = 0,5(T_{жн} + T_{жк})$ — средняя температура жидкости на тарелке.

Примеры расчетов. Примем $T_{гн} = 40^{\circ}\text{C}$; $T_{жн} = 20^{\circ}\text{C}$. В формуле коэффициент b_r будет иметь значение $b_r = 1,47$. Скорость газа $w_r = 1,5 \text{ м/с}$; $L/G = 1$. В результате из расчетов по формуле (6) получим $T_{гк} = 28^{\circ}\text{C}$; а при $T_{жн} = 30^{\circ}\text{C}$, имеем $T_{гк} = 34,2^{\circ}\text{C}$.

Температура жидкости на выходе (8) $T_{жк} = 23,1^{\circ}\text{C}$ (при $T_{жн} = 20^{\circ}\text{C}$). Тепловая эффективность (9) $E_r = 0,71$ (71%). При начальной температуре $T_{жн} = 30^{\circ}\text{C}$, $T_{жк} = 32^{\circ}\text{C}$. Эффективность $E_r = 0,72$ (72%). Как и следовало ожидать, тепловой КПД не зависит от значения начальной температуры охлаждающей воды, а определяется гидродинамикой двухфазного слоя.

При идеальном вытеснении по газу тепловую эффективность можно записать по известной формуле

$$E_r = 1 - \exp\left(-\frac{\alpha_r F}{\rho_r c_{pr} V_r}\right) = 1 - \exp\left(-\frac{\alpha_{rf}}{\rho_r c_{pr} w_r}\right) \quad (10)$$

или

$$E_r = 1 - \exp\left(-\frac{(\alpha_r a) H_{г-ж}}{\rho_r c_{pr} w_r}\right) \quad (11)$$

где $F = a_v S_k H_{г-ж}$ — площадь контакта фаз, м^2 ; $\alpha_{rf} = \alpha_r F / S_k$, $\text{м}^3/\text{с}$; V_r — объемный расход газа, $\text{м}^3/\text{с}$.

Расчет по формуле (10) дает $E_r = 0,76$ (76%). Расхождение с расчетами по ячейечной модели составляет 5–6%, что вполне допустимо для двухфазных сред. Таким образом, если при проектировании пенного теплообменника не требуются знания температурных профилей, то эффективность теплопередачи при охлаждении газа можно вычислить по формуле (10) или (11), которые не требуют интернациональных процедур.

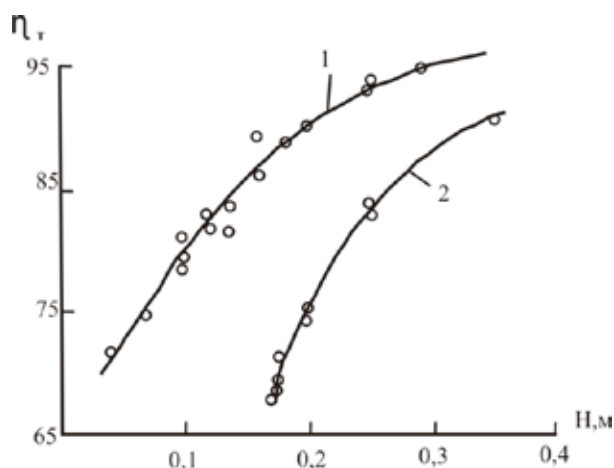


Рис. 2. Зависимость теплового КПД барбатажной тарелки от высоты пены

На рис. 2 представлено сравнение результатов расчетов тепловой эффективности по формуле (10) с экспериментальными данными [1].

$$1 - w_T = 1,5 \text{ м/с}; \quad 2 - w_T = 3,5 \text{ м/с}. \quad T_{\text{ГН}} = 70^{\circ} \text{С}.$$

Точки — эксперимент [1]

Литература:

1. Тарат, Э.Я. Пенный режим и пенные аппараты / Э.Я. Тарат, И.П. Мухленов, А.Ф. Туболкин, Е.С. Тумаркина. — Л.: Химия, 1977.
2. Лаптев, А.Г. Проектирование и модернизация аппаратов разделения в нефте- и газопереработке / А.Г. Лаптев, Н.Г. Минеев, П.А. Мальковский. — Казань: Печатный двор, 2002.
3. Нигматуллин, Р.И. Динамика многофазных сред / Р.И. Нигматуллин. — М.: Наука, 1987.
4. D'yakonov, S. G., Elizarov V. I., Laptev A. G. Mass transfer model in bubblelayer of contact unit on the basis of active (inlet) section conception. Теорет. основы хим. техн.. 1991. Т. 25. 36. С 783–795.
5. Гельперин, Н.И. Структура потоков и эффективность колонных аппаратов химической промышленности / Н.И. Гельперин, В.Л. Пибалк, А.Е. Кастанян. — М.: Химия, 1977.
6. Комиссаров, Ю.А. и др. Процессы и аппараты химической технологии / Комиссаров Ю.А. и др. Гордеев Л.С., Вент Д.П. — М.: Химия, 2011. — 1230с.
7. Лаптев, А.Г. Модели пограничного слоя и расчет тепломассообменных процессов / А.Г. Лаптев. — Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 2007.
8. Лаптев, А.Г., Лаптева Е.А. Модель очистки газов от тонкодисперсной фазы в барботажном слое на основе концепции активного входного участка // Теор. основы хим. технологии, 2015. т. 49. № 2. с.163.
9. Алексеев, Д.В., Николаев Н.А., Лаптев А.Г. Комплексная очистка стоков промышленных предприятий методом струйной флотации. Изд-во Казанск. технол. ун-та (КХТИ). 2005.
10. Фарахов, М.И., Лаптев А.Г. Энергоэффективное оборудование разделения и очистки веществ в химической технологии. Вестник Казанского технол. ун-та (КХТИ). 2011. № 9. с. 152–158.

Расхождение составляет не более 7–8%.

Представление в статье уравнения можно использовать при проектировании или модернизации пенных теплообменных в различных отраслях промышленности, причем такие задачи могут сопровождаться мокрой очистки газов от пыли [8], флотацией [9] и другими процессами [10].

Опалубочный элемент сборно-монолитного перекрытия с безригельным каркасом

Богачёва Светлана Валерьевна, аспирант

Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова

Рассмотрены варианты несъемных опалубочных элементов перекрытий, используемых в практике сборно-монолитного каркасного домостроения. Предложен тонкостенный железобетонный опалубочный элемент плиты с выступающим арматурным каркасом.

Ключевые слова: опалубочный несъемный элемент, плоское сборно-монолитное перекрытие.

Применение плоских сборно-монолитных перекрытий в каркасном домостроении имеет значительные преимущества по сравнению с монолитной и сборной технологией строительства [1, с. 70]. Проблемы ускорения сроков строительства, снижения трудоемкости возведения перекрытий, ограниченной пригодности щитов опалубки и ее подготовки для повторного использования могут быть решены с помощью сборно-монолитных перекрытий с неизвлекаемыми бетонными или железобетонными элементами. Опалубочные элементы выполняют роль несущего основания плиты перекрытия, обеспечивающего ее омоноличивание за счет установки армирующих элементов и укладки слоя бетонной смеси. Стремление к увеличению шага колонн несущего каркаса не

позволяет использовать опалубочные элементы размером на всю ячейку из условий транспортировки, поэтому встает вопрос их стыка и разработки конструкции перекрытия, отвечающей требованиям надежности и пространственной жесткости.

В настоящее время широко известны конструктивные решения, принятые в универсальной открытой архитектурно-строительной системе зданий на основе сборно-монолитного каркаса с плоскими перекрытиями (АРКОС)[2, с. 5]. Один из вариантов диска перекрытий данной системы включает сборные многопустотные плиты, опертые концами посредством бетонных шпонок на несущие монолитные ригели таврового сечения с полкой, размещенной в стяжке пола (рис. 1). В роли своеобразного элемента

несъемной опалубки выступает сборная многопустотная плита, как традиционная типовая, изготавливаемая по агрегатно-поточной технологии, так и многопустотная безопалубочного формования. В случае применения последней, не имеющей выпусков рабочей арматуры, предусмотрено размещение арматурных стержней-коротышей.

Достаточно интересным является решение сборно-монолитного перекрытия [3] с использованием клинообразных элементов, выполненных из прямоугольной несущей плиты и пирамидальной части с боковыми гранями, наклонными под углом 5–15°, имеющими на стыках разгрузочные канавки с криволинейной поверхностью (рис. 2). Перекрытие собирается из опалубочных элементов, устанавливаемых большим основанием вниз, арматурная сетка фиксируется с помощью предварительно заглубленных в элементы анкеров и наносится стяжка.

Основным недостатком описанных выше конструктивных решений сборно-монолитных перекрытий яв-

ляется достаточно высокая трудоемкость при монтаже, а в случае перекрытия с клинообразными опалубочными элементами — значительная толщина перекрытия и, как следствие, материалоемкость конструкции.

Предлагается вариант сборно-монолитного перекрытия, состоящего из элементов несъемной опалубки, представляющей собой тонкостенные железобетонные плиты с арматурными пространственными каркасами, выступающими вверх за пределы бетона плит, арматурных сеток, укладываемых по верху сборных элементов и бетона замоноличивания (рис. 3). Выступающие арматурные каркасы исключают потребность в стальных фиксаторах, необходимых для проектного положения арматурных изделий и обеспечивают надежное сцепление сборного и монолитного слоев перекрытия. Подобные опалубочные элементы уже нашли применение при строительстве сборно-монолитных каркасов с железобетонными ригелями, а также в перекрытиях, опирающихся на любые несущие конструкции: стены, балки, строи-

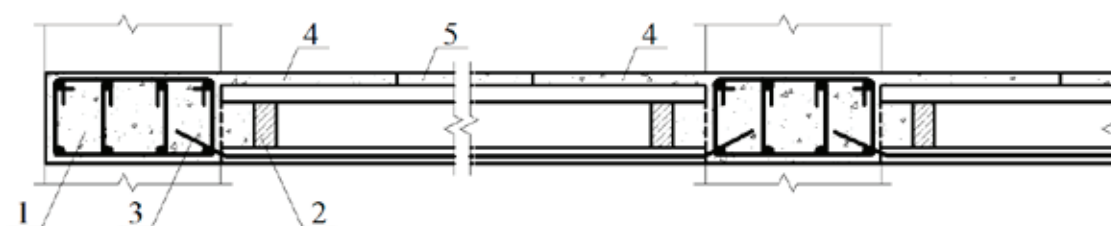
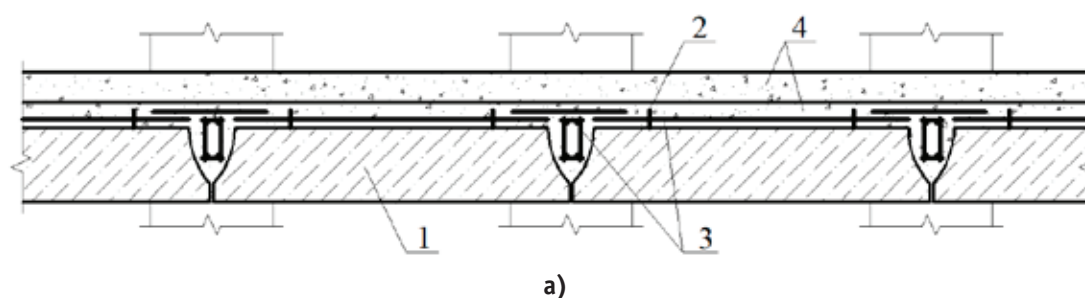
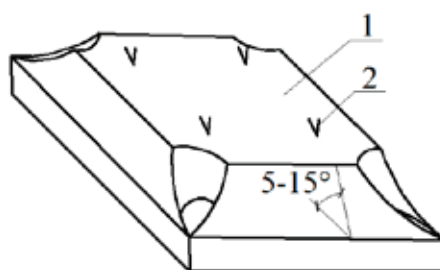


Рис. 1. Конструкция сборно-монолитного перекрытия системы АРКОС: 1 — монолитный несущий ригель; 2 — бетонная шпонка ригеля; 3 — выпуски рабочей арматуры многопустотных плит; 4 — полки ригеля таврового сечения; 5 — стяжка пола



а)



б)

Рис. 2. Конструкция сборно-монолитного перекрытия с несъемными клинообразными опалубочными элементами: а — вид в разрезе; б — опалубочный элемент: 1 — опалубочный элемент; 2 — анкера; 3 — элементы армирования; 4 — двухслойный строительный раствор с фиброй между слоями

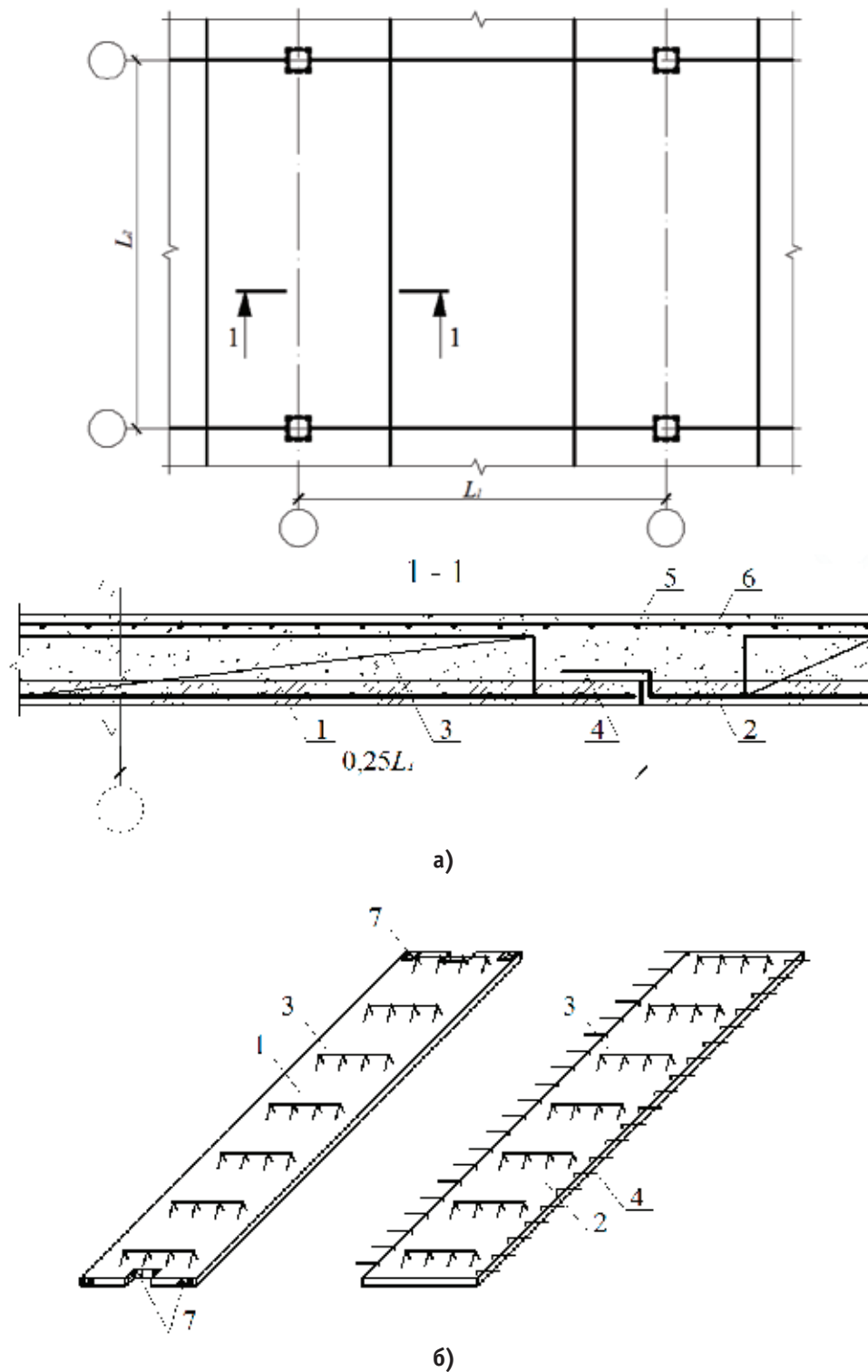


Рис. 3. Конструкция сборно-монолитного перекрытия с несъемными тонкостенными плитами: а — схема расположения элементов в плане; б — опалубочные элементы: 1 — надколонный опалубочный элемент; 2 — то же, пролетный; 3 — арматурный пространственный каркас; 4 — арматурные выпуски; 5 — элементы армирования; 6 — бетон замоноличивания; 7 — закладные детали

тельные фермы как железобетонные, так и стальные [4, с. 9]. Предусмотрены опалубочные элементы двух типов: надколонные с опиранием непосредственно на колонны и имеющие вырезы для пропуска арматуры колонн и пролетные. Пролетные опалубочные элементы снабжены гнутыми арматурными выпусками для монтажа и стыка,

устанавливаемого на расстоянии $0,25$ длины пролета между колоннами.

Требуемая минимальная толщина опалубочных элементов, диаметр и шаг арматурных каркасов зависят от действующих усилий на перекрытие и расчетных пролетов и подлежат дальнейшему исследованию.

Литература:

1. Никулин, А. И. Эффективность применения плоских сборно-монолитных перекрытий в каркасном домостроении / А. И. Никулин, С. В. Богачёва // Технические науки: проблемы и перспективы: материалы III междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, июль 2015 г.). — СПб.: Свое издательство, 2015. — с. 70–74.
2. Мордич, А. И. Описание конструкции каркаса зданий серии Б1.020.1–7 (АРКОС) и общие рекомендации по расчету / А. И. Мордич, В. Н. Белевич. — Минск: Институт БелНИИС, 2005. — 52 с.
3. Шалис, Е. Е., Зубко В. Е., Дудко О. В., Жуков А. Ю., Мандровская М. Б. способ возведения сборно-монолитного перекрытия в несъемной опалубке и опалубочный элемент для его осуществления // Патент России № 2109896. 1998.
4. СТО НОСТРОЙ 2.6.15–2011 Элементы сборные железобетонные стен и перекрытий с пространственным арматурным каркасом. Технические условия. — М.: ООО «Научно-исследовательский институт бетона и железобетона», ООО Издательство «БСТ», 2011. — 49 с.

Многофакторный анализ при определении типа боевой части для минаракеты, запускаемой с беспилотного летательного аппарата

Бородачев Станислав Александрович, кандидат педагогических наук
Тульский государственный университет
Фоменко Андрей Александрович, начальник сектора
ПАО «Таганрогский авиационный научно-технический комплекс имени Г. М. Бериева»

В статье рассматриваются характеристики осколочно-фугасных, кумулятивных и термобарических боевых частей (массогабаритные характеристики, эффективность поражения одиночной цели), проводится обоснование отбора типа боевой части для минаракеты проектируемого беспилотного летательного аппарата по методике многофакторного анализа.

Ключевые слова: ударный беспилотный летательный аппарат, многофакторный анализ, требования заказчика, осколочно-фугасная боевая часть, кумулятивная боевая часть, термобарическая боевая часть.

Под базовыми требованиями к боевой части минаракеты (для ударного беспилотного летательного аппарата) нами понимаются тип боевой части (или множество приемлемых типов) и массогабаритные ограничения, которые обеспечивают заданный уровень эффективности поражения одиночных целей.

В качестве ориентира выбраны требования к боевым частям, предъявляемые Пентагоном для поставщиков американской армии. На основе анализа опыта применения высокоточных комплексов Министерство обороны США выделило основные требования для боевых частей изделий, закупаемых американской армией [4]:

1) унификация по носителям (оперативно-тактические ракеты, артиллерийские снаряды, авиационные касеты, реактивные снаряды систем залпового огня, противотанковые ракеты и мины);

2) повышение поражающего действия боевых частей за счет применению облицовок из тяжелых металлов (германий, обедненный уран, тантал и др.) при одновременном снижении стоимости;

3) снижение массогабаритных показателей;

4) наличие механизма самоликвидации (с вероятностью отказа не более 1%);

5) система ограничений для боевой части:

- масса не более 5,5 кг;
- калибр (диаметр) не более 128 мм;
- стоимость серийного образца не более 10 тыс. долларов за единицу.

Разрабатываемый ударный беспилотный летательный аппарат предназначается для поражения сухопутных объектов:

- войсковых колонн (автомобильная техника, легкобронированная и бронированная техника) в условиях открытой местности и городской застройки;
- доты, блиндажи, долговременные огневые сооружения;
- живая сила противника, обслуживающая технику.

Требованиям заказчика по поражению типов целей соответствуют осколочно-фугасные, кумулятивные и термобарические боевые части.

Осколочно-фугасная боевая часть обладает наибольшей универсальностью (живая сила и легкобронированные цели) и приведенной площадью поражения. Осколочно-фугасная боевая часть используется (с боевой эффективностью от 80% до 94% против одиночных объектов) в следующих изделиях, представленных на рынке вооружений: противотанковые управляемые ракеты AGM-114M Hellfire 2 (Lockheed Martin), зенитные

ракеты Javelin, Blowpipe и Starburst (Thales Air Defense), Mistral (MBDA France) [5].

Осколочно-фугасная боевая часть является одним из самых распространенных типов боевых частей. Она применяется для поражения практически всех видов целей, кроме подводных, подземных и сильно бронированных целей.

Кумулятивная боевая часть «специализируется» на бронированной технике и долговременных бетонированных огневых сооружениях (доты, блиндажи), обладает маленькой приведенной площадью поражения и эффективна при калибре не менее 100 мм (для тандемной кумулятивной боевой части — основной кумулятивный заряд не менее 100 мм). Кумулятивная боевая часть используется (с боевой эффективностью от 35% до 70% против одиночных танков, от 70% до 80% — против других типов целей) в следующих изделиях: противотанковые управляемые ракеты AGM-114L Hellfire2 (Lockheed Martin), Spike-SR (Rafael), Predator (Lockheed Martin), Dragon (McDonnell Douglas), Milan2 (MBDA) [3].

Основное поражающее действие основано на кумулятивном эффекте: при взрыве формируется струя металла, которая со скоростью до 10 км/с направляется в сторону цели. Кумулятивная струя, продавливая преграду, проникает внутрь и создает за преградой зону повышенного давления и температуры, поражая живую силу и оборудование. Основное преимущество кумулятивной боевой части состоит в том, что она позволяет при малой массе пробивать большую толщину преграды.

Термобарические боевые части эффективны для поражения живой силы, укрывающейся в бункерах, пещерах и зданиях (противодействие нерегулярным вооруженным формированиям), причем малые калибры боеприпасов (менее 120 мм) нецелесообразны. В качестве примера использования термобарической боевой части можно привести одну из снаряд «Шмель» (КБП) [5].

Боевая часть с термобарическим зарядом, а не с обычным взрывчатим веществом, при взрыве создает в течение относительно длительного отрезка времени избыточное давление и температуру, являющимися основными поражающими факторами взрыва.

Проектируемый ударный беспилотный летательный аппарат будет оснащаться серией миниракет (количество ракет будет задано после окончательного определения их массогабаритных характеристик). К миниракете предъявляется *основное требование* со стороны заказчика — обеспечение вероятности поражения не менее 80% для одиночных объектов. В рамках нашей исследовательской работы необходимо определить следующие требования для каждого типа боевой части миниракеты (осколочно-фугасного, кумулятивного и термобарического типов):

- набор целей для каждого типа боевой части;
- линейные размеры (длина и калибр) для каждого типа боевой части;
- масса боевой части (в том числе масса взрывчатого вещества) для всех типов боевых частей.

Изучение литературы по военно-технической тематике (описание конструкции ракет Mistral, AGM-114 Hellfire2, Javelin, Blowpipe, Starburst, Predator, Milan2, Spike-SR, Roland3) показало, что для обеспечения должной боевой эффективности (вероятность поражения единичной цели больше 80%) длина боевой части находится в интервале 25...45% от длины ракеты, а масса боевой части не превышает 80% от максимальной полезной нагрузки ракеты [3]. Исходя из этих соображений, введем следующие ограничения для боевой части:

- масса не более 5,0 кг;
- длина в интервале 0,20...0,40 м;
- калибр в интервале 0,07...0,13 м (70...130 мм).

Проведем сравнительный *многофакторный анализ* типов боевых частей по методике бенчмаркинга (метод линейной свертки). В качестве *альтернативных вариантов* будем рассматривать следующие типы боевых частей:

- осколочно-фугасная боевая часть (альтернатива № 1);
- кумулятивная боевая часть (альтернатива № 2);
- кумулятивная тандемная боевая часть (альтернатива № 3);
- термобарическая боевая часть (альтернатива № 4).

Выделим *ключевые характеристики* для объекта «боевая часть»:

- 1) универсальность (способность поражения различных видов целей);
- 2) высокая эффективность применения против статичных целей (живая сила и легкобронированные сооружения);
- 3) высокая эффективность применения против скоростных мобильных целей (движущиеся автомобили и бронетехника);
- 4) бронепробиваемость, мм;
- 5) минимальность массы боевой части (ограничение до 5,0 кг);
- 6) экономичность (стоимость до 3000 долларов США).

Экспертно авторами определена весовая шкала для ключевых характеристик, табл. 1.

Сопоставление альтернативных вариантов по ключевым характеристикам (в абсолютных параметрах) представлено в табл. 2.

Сопоставление альтернативных вариантов по ключевым характеристикам (в относительных параметрах, на базе табл. 2) и расчёт интегральных характеристик представлены в табл. 3.

Пересчет абсолютных параметров в относительные осуществляется экспертно по 10-балльной шкале. Интегральная характеристика для каждой j-ой альтернативы определяется по следующей схеме: по j-ому столбцу суммируем произведения числовых значений из ячеек, получившихся на пересечении i-ой строки и j-ого столбца, на i-ое значение из столбца «Весовое значение ключевой характеристики».

Наибольшая интегральная характеристика (взвешенная сумма баллов) по авторской экспертной оценке у альтернативы № 1 (осколочно-фугасная боевая часть).

Таблица 1. Ранжирование ключевых характеристик по значимости для проекта

Ключевая характеристика	Весовое значение (по 10-балльной шкале)
универсальность	10
высокая эффективность применения против статичных целей	8
высокая эффективность применения против скоростных мобильных целей	7
бронепробиваемость	3
минимальность массы боевой части	5
экономичность	8

Таблица 2. Альтернативные варианты (абсолютные параметры)

Ключевые характеристики	Альтернативные варианты			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
универсальность	Все виды целей, кроме подводных, подземных и сильно-бронированных целей	Бронетехника, бетонированные доты	Бронетехника (танки, корабли)	Условия города, пещеры, тоннельные комплексы
высокая эффективность применения против статичных целей	высокая (>50%)	низкая	низкая	высокая
высокая эффективность применения против скоростных мобильных целей	низкая (до 25%) для высокоскоростных целей	средняя (25...50%)	средняя	низкая
бронепробиваемость	до 40 мм	500...600 мм	1200...1500 мм	-
минимальность массы боевой части	0,8...60,0 кг	0,4...7,0 кг	2,0...13,0 кг	40...150 кг
Экономичность (минимальная стоимость)	\$1500	\$3000	\$4500	\$7000

Таблица 3. Интегральные характеристики для альтернативных вариантов

Ключевые характеристики	Альтернативные варианты (относительные параметры, в баллах)				Весовое значение ключевой характеристики
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	
универсальность	8	2	2	5	10
высокая эффективность применения против статичных целей	7	4	4	9	8
высокая эффективность применения против скоростных мобильных целей	4	6	6	3	8
бронепробиваемость	1	5	10	1	8
минимальность массы боевой части	6	8	5	1	7
экономичность	8	7	6	3	9
Сумма баллов:	290	259	269	188	-

Итак, согласно методике многофакторного анализа (бенчмаркинг) осколочно-фугасная боевая часть в наибольшей степени соответствует требованиям к миниракете для разрабатываемого ударного беспилотного лета-

тельного аппарата. При этом осколочно-фугасная боевая часть может быть улучшена за счет отдельных свойств кумулятивной боевой части (увеличение бронепробиваемости) — до осколочно-кумулятивной боевой части.

Литература:

1. Braybrook, R. United States Fly High // Complete Guide by Armada. — 2008. — № 3. — P. 2–36.
2. Streetly, M. Load masters // Jane’s Defence Weekle: военно-технический журнал. — 2007. — Vol. 44, № 24. — P. 55–60.

3. Балаганский, И. А., Мержневский Л. А. Действие средств поражения и боеприпасов: Учебник. — Новосибирск: Изд-во НГТУ. — 2004. — 408 с. — С.19–65.
4. Балько, Ю. Беспилотники НАТО в локальных военных конфликтах // Военный парад: Военно-технический журнал. — 2008. — № 1. — с. 38–39.
5. Высокоточное оружие зарубежных стран. Том 3. «Ракетные комплексы наземного базирования ближнего действия»: обзорно-аналит. справ. / Конструкторское бюро приборостроения им. академика А.Г. Шипунова, Открытое акционер. общество: [В. М. Лихтеров и др.]. — Тула: Анкил, 2014. — 644 с. ил. — с. 174–193, 374–400, 618–628.
6. Новые тактические разведывательные БПЛА с вертикальным взлетом и посадкой // Иностранная печать об экономическом, научно-техническом и военном потенциале государств-участников СНГ и технических средствах его выявления. Сер. «Технические средства разведывательных служб зарубежных государств»: Информационный бюллетень. — 2012. — № 5. — с. 11–17.
7. Разведывательные и ударные БПЛА зарубежных государств // Иностранная печать об экономическом, научно-техническом и военном потенциале государств-участников СНГ и технических средствах его выявления. Сер. «Технические средства разведывательных служб зарубежных государств»: Информационный бюллетень. — 2011. — № 1. — с. 39–45.
8. Черенков, Е. А. Беспилотные летательные аппараты Израиля // Зарубежное военное обозрение: информационно-аналитический журнал Министерства обороны РФ. — 2008. — № 5. — с. 54–58.

Применение режима доплеровского облучения луча в обеспечении движения железнодорожного транспорта

Гурулёва Марина Анатольевна, аспирант;
Марюхненко Виктор Сергеевич, доктор технических наук, профессор
Иркутский государственный университет путей сообщения

Введение. В процессе движения той или иной железнодорожной единицы под постоянным контролем должны находиться важные для качественного управления последним параметры, к которым, в частности, относятся скорость движения, характеристики колебательных перемещений, расстояние до некоторого объекта, координаты «дальность — пространственный угол» элементов объекта.

Одним из перспективных методов измерения всех этих параметров является радиолокационный метод, в основу которого положен эффект Доплера.

Особенности радиолокационных измерений параметров железнодорожных объектов заключаются, в первую очередь, в необходимости встречной или встречно-боковой (передней или передне-боковой, в случае расположения антенны на подвижной единице) ориентации приемо-передающей антенны по отношению к облучаемому объекту. Во-вторых, для железнодорожного транспорта характерны относительно небольшие скорости движения (по сравнению с воздушным транспортом). Для российских железных дорог диапазон реализуемых скоростей поездов составляет от 0 до 250 км/ч — для высокоскоростных пассажирских поездов, от 0 до 100 км/ч — для грузовых поездов [1]. И, в-третьих, малые дальности измерений. Облучаемый объект при этом является пространственно протяженным.

В случае, когда необходимо вычислить координаты: скорость, дальность, пространственный угол, целесо-

образно использовать режим доплеровского облучения луча (ДОЛ), заключающийся в дальномерно-доплеровской обработке [2] отраженного от цели сигнала. Более простой в реализации по сравнению с режимом ДОЛ — режим реального луча. Однако он применим лишь в тех случаях измерения дальности до объекта, когда отсутствует необходимость разрешения по углу относительно основного направления излучения. В этом режиме разрешение по углу оказывается равным эффективной ширине диаграммы направленности антенны (ДНА), что недостаточно для различения малоразмерных элементов на облучаемой поверхности. Последнее необходимо и в случае облучения поверхности движущегося вагона, когда измеритель установлен стационарно вблизи железнодорожного пути, в связи с конструктивными особенностями вагонов различного типа, и в случае облучения железнодорожного полотна, балласта пути, когда измеритель расположен на подвижной единице, в связи с конструкцией элементов верхнего строения пути и напольного оборудования в исследуемой зоне. Приемник в этом случае получает отраженный сигнал в виде совокупности лучей с разным параметром, определяющим дальность, в зависимости от метода измерения. В общем случае, результирующая наклонная дальность определяется как средняя, что влечет за собой соответствующие погрешности измерений. К тому же, зачастую требуется определить зависимость между дальностью и углом положения относительно вектора скорости, то есть вычислить матрицу, i, j -е

элементы которой представляют амплитуду сигнала, зафиксированного в i -м элементе разрешения по дальности для j -го фильтра частот (то есть для определенного угла положения). Решением данной задачи и является использование Доплеровского обужения луча.

Цель статьи: рассмотрение некоторых вопросов дальномерно-доплеровской обработки отраженных от объектов железнодорожного транспорта и инфраструктуры радиолокационных сигналов.

1. Дальномерно-доплеровская обработка отраженного сигнала

Если излучаемый радиолокационный сигнал является непрерывным немодулированным, то принимаемый отраженный сигнал k -ого отражателя представляет собой гармоническое колебание, модулированное по амплитуде и фазе. Модуляция параметров сигнала возникает при его распространении и переотражении. Для k -ого точечного элемента объекта принимаемый сигнал (без учета фазовых искажений) можно представить в виде

$$U_k(t) = \varepsilon_0 \varepsilon(t) U_k \cos[\omega_0(t - \tau_r(t)) + \varphi_{от}(t)], \quad (1)$$

где ε_0 — коэффициент ослабления сигнала, учитывающий изменение его интенсивности при распространении и отражении; $\varepsilon(t)$ — коэффициент, учитывающий случайную флуктуацию интенсивности отраженного сигнала; $\tau_r(t) = 2r(t)/c$ — время запаздывания параметров отраженного сигнала; $\varphi_{от}(t)$ — случайная начальная фаза отраженного сигнала, включающая начальную фазу передаваемого сигнала и ее изменения в процессе распространения и отражения сигнала; $r(t)$ — расстояние до объекта в данный момент времени; c — скорость распространения электромагнитных волн; U_k — случайная амплитуда сигнала.

Фазовый сдвиг сигнала зависит от расстояния до отражающей поверхности $r(t)$

$$\varphi(t) = \omega_0 \tau_r(t) = 4\pi f_0 r(t)/c = 4\pi r(t)/\lambda. \quad (2)$$

В экспоненциальном виде выражение (1) можно записать как:

$$U_k(t) = \varepsilon_0 \varepsilon(t) U_k \exp\{-j[4\pi r(t)/\lambda - \varphi_{от}(t)]\}. \quad (3)$$

Разложив $r(t)$ в ряд, получим

$$r(t) = r_{0k} - (V \cos \alpha_k) t + (V^2 \sin^2 \alpha_k) t^2 / 2r_{0k} + \dots, \quad (4)$$

где r_{0k} — наклонная дальность до k -ого отражателя в начальный момент времени; V — скорость подвижного железнодорожного объекта; α_k — угол отклонения луча k -ого отражателя от вектора скорости движения объекта.

При этом $r'(t)$ характеризует скорость движения объекта, $r''(t)$ — его ускорение.

Подставив выражение (4) в (2) и, учитывая только первые три члена разложения в ряд, получим выражение для полной фазы сигнала

$$\varphi_k(t) = - (4\pi/\lambda) r_{0k} + (4\pi/\lambda) (V \cos \alpha_k) t - (4\pi/2r_{0k} \lambda) (V^2 \sin^2 \alpha_k) t^2 + \varphi_{от}(t) = (4\pi/\lambda) (V \cos \alpha_k) t - (2\pi/\lambda r_{0k}) (V^2 \sin^2 \alpha_k) t^2 + (\varphi_{от}(t) - (4\pi/\lambda) r_{0k}). \quad (5)$$

При этом доплеровская частота

$$F_d = (2/\lambda) (V \cos \alpha_k) - (2/\lambda r_{0k}) (V^2 \sin^2 \alpha_k) t. \quad (6)$$

Для того чтобы второе слагаемое выражения (6) не влияло на доплеровскую частоту в режиме ДОЛ ограничивается интервал синтезирования [3]

$$T_c \leq \sqrt{\lambda r_{0k} / (2V^2 \sin^2 \alpha_k)}, \quad (7)$$

следовательно, ограничивается и угловая разрешающая способность по углу α_k .

Тогда разрешающая способность по частоте

$$\delta f = 1/T_c. \quad (8)$$

Поскольку для железнодорожного транспорта изменяемые дальности малы, скорость движения ограничена, то интервал синтезирования должен принимать сравнительно небольшие значения. Так, для измерения параметров движения подвижной единицы, скорость которой равна 100 км/ч, при установке антенны на расстоянии 3100 мм (предел габарита приближения строений) от облучаемой поверхности, длине волны, равной 1,25 см, $\alpha = 45^\circ$, интервал синтезирования должен быть не более 7 мс, минимальный интервал разрешения по частоте — 142 Гц.

2. Разрешение по углу положения цели относительно вектора скорости

Доплеровские фильтры настроены на частоту

$$f_j = j \delta f, \quad (9)$$

где $j = \overline{1, n}$, n — число фильтров.

Максимального значения $F_{д}$, согласно (6) достигает при $\cos \alpha_k = 1$, тогда

$$F_{д \max} = 2V/\lambda. \quad (10)$$

Элементы цели, расположенные на углах $\pm \alpha_k$ относительно вектора скорости подвижного объекта, имеют одинаковую доплеровскую частоту, поскольку $\cos(-\alpha_k) = \cos \alpha_k$, следовательно, отраженный от них сигнал попадает в один доплеровский фильтр. Для отображения спектров частотных фильтров относительно нулевой частоты, найдем разность опорной частоты [4] и доплеровской частоты принятого сигнала. Пусть опорный сигнал имеет частоту $F_{д \max}$. Тогда разностная частота принимаемого сигнала

$$\Delta f_j = 2V/\lambda - 2V \cos \alpha_j / \lambda = (2V/\lambda) (1 - \cos \alpha_j) = 4V \sin^2(\alpha_j/2) / \lambda. \quad (11)$$

$\Delta f_j = 0$ при $\alpha_j = 0$. При этом $\sin(\alpha_j/2) \approx \alpha_j/2$. Поэтому $\Delta f_j \approx V \alpha_j^2 / \lambda$,

$$\alpha_j = \pm \sqrt{\Delta f_j \lambda / V}. \quad (12)$$

Поскольку рассматривается положительная полуось частот, в которых работают доплеровские фильтры, то разрешение по углу α_j в направлении, близком к вектору скорости подвижного объекта, запишем для половины угла α_0 .

$$\delta(\alpha_0/2) = \sqrt{\lambda \delta f / 2V}.$$

$$\text{Тогда } \delta(\alpha_0) = 2\sqrt{\lambda \delta f / 2V} = \sqrt{2\lambda \delta f / V}. \quad (13)$$

Для последующих j фильтров угол α_j отличен от нуля. Разрешение по углу α_j запишется как [5]

$$\delta(\alpha_j) = \sqrt{\lambda \delta f / 2V \sin \alpha_j}. \quad (14)$$

Для различения сигналов, принятых от элементов цели, расположенных на углах $\pm \alpha_k$, возможно использование суммарно-разностной антенны или антенны со специальной диаграммой направленности [6].

Поскольку выражение (6) при $V = \text{const}$ содержит информацию о угле α_j , а в некоторых случаях требуется определить угол отклонения k -ого отражателя относительно направления вектора скорости объекта в горизонтальной

плоскости β_k , то нужно определить зависимость углов α_k и β_k . Для этого рассмотрим случай облучения антенной с верной диаграммой направленности, расположенной на движущемся со скоростью V объекте, неподвижного основания (рис. 1, а). При этом вектор скорости подвижной единицы направлен параллельно основанию, основной угол между вектором скорости и направлением излучения равен α . Угол облучения поверхности относительно основного направления излучения — β_k . Зависимость угла между вектором скорости объекта и направлением луча к k -ому отражателю α_k от углов α и β_k , в общем случае будет нелинейной, найти ее можно решением системы из трех уравнений (рис. 1, б)

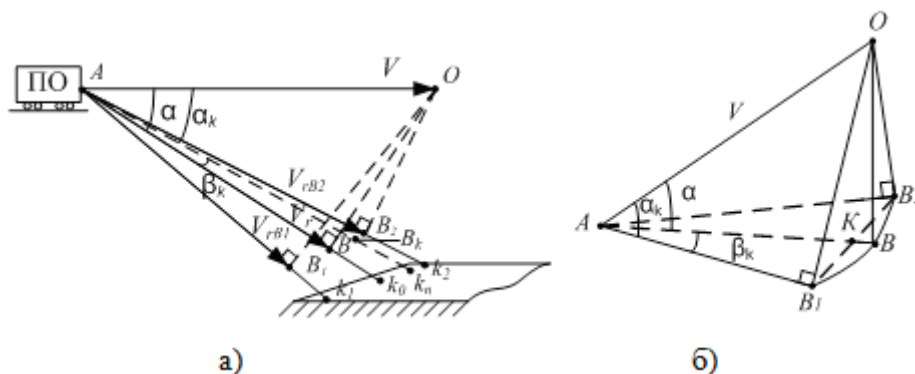


Рис.1. а) К пояснению различия лучевых относительных скоростей; б) К расчету тригонометрических соотношений

$$\begin{aligned} AB_1 &= V \cos \alpha_k \\ AK &= AB_1 \cos \beta_k \\ AB_1 &= \sqrt{V^2 + X - 2V \cos \alpha_k \sqrt{X}}, \end{aligned} \quad (15)$$

где

$$X = V^2 + (AK)^2 - 2V(AK) \cos \alpha + (AK)^2 / \operatorname{tg}^2(90 - \beta_k).$$

Выводы. Использование дальномерно-доплеровской обработки радиолокационных сигналов позво-

ляет получить отметку цели — элемента облучаемого железнодорожного объекта, в трех координатах: скорость, дальность, пространственный угол. Потенциально достижимая точность определения последних зависит от длительности строка дальномерной обработки и ширины полосы доплеровской обработки. При этом особенности радиолокационных измерений на железнодорожном транспорте накладывают ограничения на интервал синтезирования и угловую разрешающую способность.

Литература:

1. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации: утв. Приказом Минтранса России от 21.12.2010 г. N286. — М.: ООО «Трансинфо ЛТД», 2011. — 256 с.
2. Марюхненко, В. С. Информационный анализ навигационного обеспечения управляющих систем подвижных транспортных объектов: монография; — Иркутск: изд-во ИрГУПС, 2009. — 112 с.
3. Витязев, В. В., Колодыко Г. Н., Витязев С. В. Способы и алгоритмы формирования радиолокационного изображения в режиме доплеровского облучения луча // Цифровая обработка сигналов. — М.: Научный центр МТУСИ. — 2006. — № 3. — с.31–41.
4. Ефимов, К. Л., Жукова И. Н., Харечкин А. С. Применение сложных сигналов с псевдослучайным законом амплитудно-фазовой манипуляции в РЛС обзора земной поверхности // Вестник Новгородского государственного университета. — Н. Новгород: Новгородский государственный университет. — 2013. — № 75 Т. 1. — с.75–79.
5. Кондратенков, Г. С., Фролов А. Ю. Радиовидение в передней зоне обзора бортовой радиолокационной станции с синтезированной апертурой антенны // Радиотехника. — М.: «Радиотехника». — 2004. — № 1. — с.47–49.
6. Орлов, М. С. Авиационная радиолокационная станция с синтезированной апертурой антенны и передним обзором земной поверхности. — Радиотехника. — 2003, № 1

Исследование влияния молочной среды на прочность ниточного крепления деталей верха специальной обуви для работников молочной промышленности

Домбровский Анатолий Брониславович, кандидат технических наук, профессор;

Михайловская Оксана Анатольевна, кандидат технических наук, доцент;

Козловская Людмила Викторовна, аспирант

Хмельницкий национальный университет (Украина)

Целью работы является исследование влияния молочной среды на прочность ниточного крепления деталей верха обуви, а также влияния молочной среды на физико-механические свойства специальной обуви для работников молочной промышленности. Определен характер влияния молочной среды на прочность ниточного крепления деталей верха специальной обуви под действием агрессивной среды.

Ключевые слова: специальная обувь, прочность соединения, молочная среда, ниточное крепление, агрессивная среда, молочная промышленность, долговечность обуви, физико-механические свойства.

Основной задачей обувной промышленности является изготовление высококачественных товаров, соответствующих как требованиям потребителей, так и промышленным требованиям. Молочная промышленность является составной частью пищевой промышленности Украины. Именно поэтому задача создания отечественной высококачественной специальной обуви для работников молочной промышленности является весьма актуальной. Первоначально с этой целью необходимо изучить влияние негативных производственных факторов, приводящих к возникновению профессиональных заболеваний, ведь условия работы на молочных предприятиях сопровождаются целым комплексом опасных и вредных факторов, характеризующихся повышенной влажностью окружающей среды, колебаниями температуры от $+20^{\circ}\text{C}$ до $+5^{\circ}\text{C}$, постоянным контактом рабочих с водой, сывороткой, жиром и молочной кислотой [1]. В связи с этим возникает вопрос разработки современной специальной обуви, которая надежно защищала бы стопу человека от вредных производственных факторов. Однако, современная специальная обувь должна создавать не только надежную защиту, соответствовать условиям производства, но и выдерживать определенные сроки эксплуатации [2]. В настоящее время актуальной остается проблема изменения прочности ниточного крепления деталей верха специальной обуви под действием агрессивной среды молочного производства. Ведь прочность ниточного крепления деталей верха обуви влияет на долговечность специальной обуви. Долговечность, то есть свойство обуви хранить свои утилитарные и эстетические функции до наступления предельного состояния, при котором выполнение их становится невозможным, что связано с износостойкостью отдельных деталей и креплений. Долговечность характеризуется сроком эксплуатации обуви до полного ее физического износа [4]. Под физическим износом понимается невозможность рабочего работать в обуви вследствие понижения уровня потребительских возможностей материалов или креплений, входящих в конструкцию изделия. Износ материалов наступает

в результате одновременного действия следующих факторов:

- механических — истирание и потеря прочности от постоянных воздействий растяжения и сжатия и т.д.;
- физико-химических — действие света, влаги, температуры, воздуха, кислорода, озона, пота, агрессивных сред и т.д.;
- биологических — влияние микроорганизмов, вызывающих процесс гниения материалов.

В процессе эксплуатации специальной обуви, которая используется в условиях воздействия агрессивной среды, факторы влияют на материалы комплексно. Например, на подошву влияют трение, растяжение, сжатие и ударные усилия, погода и агрессивная среда и др. На материал верха обуви — атмосферные воздействия и утомление от многократных изгибов. Наиболее быстро изнашивается союзка, пяточная часть, подложки и ниточные швы. Поэтому, весьма актуальным является проведение испытаний физико-механических свойств материалов для специальной обуви при действии на них агрессивной среды, что обеспечит возможность оценки важнейших свойств обуви и материалов в условиях, приближенных к условиям их эксплуатации. Стремление к получению более полной характеристики свойств обуви и материалов обусловлено не только разработкой методов испытаний, заменяющих органолептическую оценку отдельных свойств, но и создание методов, предназначенных для характеристики одноименных свойств, а именно прочности ниточного крепления деталей верха обуви.

Прочность ниточного крепления деталей верха обуви — это показатель, определяющий усилие, необходимое для разрушения единицы длины ниточного шва элементарной пробы [3]. На прочность ниточного крепления влияют следующие факторы: свойства скрепляемых материалов; изменение свойств при скреплении; плотность прижатия деталей; длина стежка; число строчек; конструкция шва. Прочность Q ниточного крепления характеризуется усилием разрыва, которое приходится на единицу длины шва, $\text{H} / \text{см}$:

$$Q = P/l(1.1), \text{ где } P \text{ — усилие разрушения шва, H;}$$

l — длина шва (расстояние между крайними проколами иглы), см.

Значение Q должно быть не ниже нормы, предусмотренной ГОСТ 21 463–87 «Обувь. Нормы прочности». Прочность ниточных швов заготовок верха обуви определяется на образцах, вырубленных на соответствующих участках так, чтобы шов располагался внутри образца. Размеры образцов и места их вырубки нормируются стандартом. По краям швы закрепляются нитью двойным узлом, измеряется длина строчки между крайними проколами, на разрывной машине определяется разрывная нагрузка и рассчитывается прочность шва в Н/см. Нормы прочности зависят от материала верха и количества строчек, которые располагаются в пределах от 75 для тонких кож при одной строчке до 175 Н/см для юфти, если количество строчек более трех. Метод определения прочности крепления деталей верха приводится в ГОСТ 9290. Для исследования влияния молочной среды на прочность ниточных швов специальной обуви, были избраны четыре группы материалов, которые наиболее отвечают условиям эксплуатации специальной обуви.

I группа — натуральная кожа «нубук ойл»;

II группа — кожа с полимерным покрытием;

III группы — искусственная кожа;

IV группы — синтетическая кожа.

Учитывая условия эксплуатации специальной обуви для работников молочной промышленности, испытаниям

будут подвергаться образцы деталей верха, которые соединены двухрядной строчкой с длиной стежка 2,0 мм. Для проведения испытаний необходимо провести испытания 12 образцов для каждой группы (по четыре образца в каждой группе). Рабочий день на предприятии составляет 8 часов и непосредственное влияние на обувь происходит именно в это время. Избранные группы сшитых образцов подвергались воздействию молочной среды с различным уровнем кислотности (сыростка — $ph = 5,8$; кефир 2,5% — $ph = 4,2$; сметана 20% — $ph = 4,7$). на протяжении 8 часов, а затем промывались и просушивались до начала следующего рабочего дня. Данный эксперимент достаточно длительный, по времени отвечал 6-и месяцам эксплуатации спецобуви (НПАОП15.0–3.03–98. Типовые нормы бесплатной выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты мясной и молочной промышленности.), что позволило реально выдерживать образцы кожи в условиях, приближенных к условиям эксплуатации специальной обуви. Во время испытания образцы периодически подвергались трению, многократному замятию, давлению и т.д. Одна группа образцов оставалась не обработанной (контрольная группа). Исследование прочности ниточных швов производилось на машине РТ-250 М, при скорости активного зажима 100 мм/мин. и расстоянии между зажимами 25мм.

Результаты испытаний и расчета прочности ниточного скрепления представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты испытаний прочности ниточных швов

Номер группы образцов	Ph молочной среды	Разрывная нагрузка		Характер разрушения	Средняя прочность по группе P_c , Н	Нормативная прочность Q_n , Н/см
		P , Н	Q , Н/см			
I (нубук ойл)	-	436	148,9	По ниткам	417	70
	-	415				
	-	400				
	5,8	430	165,4	—//—	463	70
	5,8	500				
	5,8	460				
	4,7	454	157,5	—//—	441	70
	4,7	384				
	4,7	484				
	4,2	510	157,1	—//—	440	70
	4,2	462				
	4,2	348				
II (кожа с полимерным покрытием)	-	380	142,1	По ниткам	398	100
	-	364				
	-	450				
	5,8	270	127,1	—//—	356	100
	5,8	378				
	5,8	420				
	4,7	498	156,4	—//—	438	100
	4,7	384				
	4,7	432				
	4,2	468	165,4	—//—	463	100
	4,2	464				
	4,2	456				

III (искусственная кожа)	-	170	58,2	По материалу	163	75			
	-	168							
	-	150							
	5,8	100	44,3	—//—	124	75			
	5,8	130							
	5,8	142							
	4,7	156							
	4,7	182	59,6	—//—	167	75			
	4,7	162							
	4,2	164							
	4,2	132	53,9	—//—	151	75			
4,2	156								
IV (синтетическая кожа)		103,9					По материалу	291	75
-	284								
-	302								
-	286	83,6	—//—	234	75				
5,8	280								
5,8	220								
5,8	282								
4,7	256	103,2	—//—	289	75				
4,7	308								
4,7	302								
4,2	254	99,6	—//—	279	75				
4,2	280								
4,2	304								

Анализируя результаты исследований влияния молочной среды на прочность ниточного крепления (рис. 1) видно, что необходимую нормативную прочность обеспечивают все образцы по четырем группам, хотя просматривается и существенное влияние кислотной среды на степень соответствия нормативным показателям. По характеру разрушения оказалось, что образцы III-й группы (искусственная кожа) и IV-й группы (синтетиче-

ская кожа) разорвались по материалу, что не допускается в производстве специальной обуви. Ведь материал для производства специальной обуви должен быть прочным и долговечным. Как видно из полученных результатов исследований, для изготовления специальной обуви для работников молочной промышленности целесообразно использовать в качестве материала внешних деталей верха натуральную кожу «нубук-ойл».

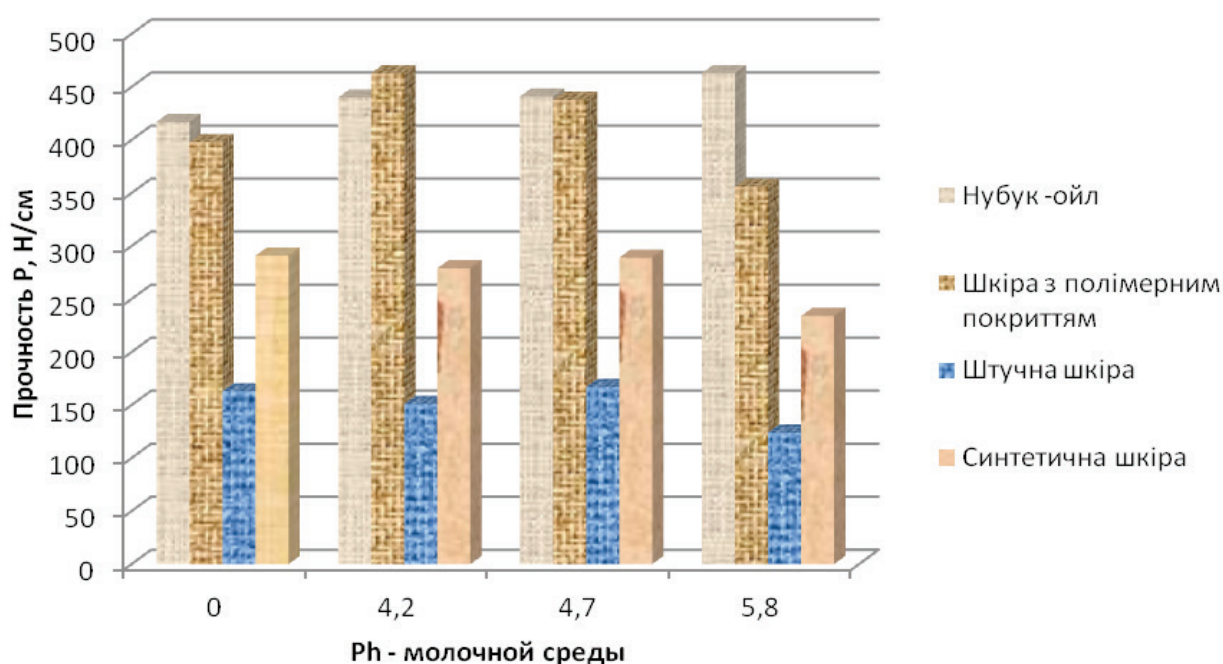


Рис.1. Диаграмма зависимости прочности ниточных швов различных видов кож от Ph молочной среды.

Литература:

1. ДСТУ 3835—98. Обувь специальная с верхом из кожи для защиты от механического воздействия. Технические условия. — М.: Госстандарт Украины, 1998.
2. ДСТУ 3962—2000. Обувь специальная с верхом из кожи для защиты от нефти, нефтепродуктов, кислот и щелочей, нетоксичной и взрывоопасной пыли. Технические условия. — М.: Госстандарт Украины, 2000.
3. ISO 8782—1: 1998 «Safety, protective and occupational footwear for professional use part 1: Requirements and test methods» (Обувь безопасная, защитная и рабочая производственного назначения. Часть 1. Требования и методы испытаний). — М.: Госпотребстандарт Украины, 2003.
4. В. П. Коновал, С. С. Гаркавенко, Л. Т. Свистунова. Универсальный справочник обувщика. — М.: Либра. — с. 202—205. Состояние безопасности труда в мире // Охрана труда. — № 11. — С. 17—29.

К вопросу аттестации экспертов промышленной безопасности

Дроздов Алексей Сергеевич, эксперт, специалист неразрушающего контроля;
Садомский Яков Анатольевич, эксперт, специалист неразрушающего контроля
ООО «Эталон» (г. Сыктывкар)

В данной работе проанализированы правовые основы аттестации экспертов в области промышленной безопасности. Приведены основные требования к экспертам, а также дана оценка существующим в настоящее время квалификационным требованиям к экспертам промышленной безопасности.

Ключевые слова: *эксперт промышленной безопасности, экспертиза промышленной безопасности.*

01 июня 2015 года были опубликованы новые требования к аттестации экспертов в области промышленной безопасности, утвержденные Постановлением Правительства РФ от 28.05.2015 № 509 «Об аттестации экспертов в области промышленной безопасности».

Согласно этому постановлению все эксперты должны проходить аттестацию в Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору [1].

Аттестация включает в себя рассмотрение представленных заявителем заявления и документов, подтверждающих его соответствие обязательным требованиям, а также проверку знаний и навыков заявителя в соответствии с обязательными требованиями (квалификационный экзамен).

Экспертом в области промышленной безопасности является физическое лицо, аттестованное в установленном Правительством Российской Федерации порядке, которое обладает специальными познаниями в промышленной безопасности и соответствует требованиям, которые установлены федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности, и участвует в проведении экспертизы промышленной безопасности [2].

Постановлением Правительства РФ от 28.05.2015 № 509 «Об аттестации экспертов в области промышленной безопасности» введено категорирование экспертов в зависимости от класса опасности опасного производственного объекта.

Эксперт первой категории должен соответствовать следующим требованиям:

- 1) иметь высшее образование;

- 2) иметь стаж работы не менее 10 лет по специальности, соответствующей его области (областям) аттестации;

- 3) обладать знаниями нормативных правовых актов Российской Федерации в области промышленной безопасности, используемых средств измерений и оборудования, а также методов технического диагностирования, неразрушающего и разрушающего контроля технических устройств, обследования зданий и сооружений;

- 4) иметь опыт проведения не менее 15 экспертиз промышленной безопасности;

- 5) являться автором не менее 10 публикаций в области промышленной безопасности, размещенных в периодических изданиях (данное требование не относится к экспертам, имеющим ученую степень).

Эксперт второй категории должен соответствовать следующим требованиям:

- 1) иметь высшее образование;

- 2) иметь стаж работы не менее 7 лет по специальности, соответствующей его области (областям) аттестации;

- 3) обладать знаниями нормативных правовых актов Российской Федерации в области промышленной безопасности, используемых средств измерений и оборудования, а также методов технического диагностирования, неразрушающего и разрушающего контроля технических устройств, обследования зданий и сооружений;

- 4) иметь опыт проведения не менее 10 экспертиз промышленной безопасности;

- 5) являться автором не менее 10 публикаций в области промышленной безопасности, размещенных в пе-

риодических изданиях (данное требование не относится к экспертам, имеющим ученую степень).

Эксперт третьей категории должен соответствовать следующим требованиям:

- 1) иметь высшее образование;
- 2) иметь стаж работы не менее 5 лет по специальности, соответствующей его области (областям) аттестации;
- 3) обладать знаниями нормативных правовых актов Российской Федерации в области промышленной безопасности, используемых средств измерений и оборудования, а также методов технического диагностирования, неразрушающего и разрушающего контроля технических устройств, обследования зданий и сооружений;
- 4) являться автором не менее 5 публикаций в области промышленной безопасности, размещенных в периодических изданиях (данное требование не относится к экспертам, имеющим ученую степень).

В проведении экспертизы в отношении опасных производственных объектов I класса опасности вправе участвовать эксперты первой категории, аттестованные в порядке, установленном постановлением Правительства Российской Федерации от 28 мая 2015 года N 509 «Об аттестации экспертов в области промышленной безопасности».

В проведении экспертизы в отношении опасных производственных объектов II класса опасности вправе участвовать эксперты первой и (или) второй категории.

В проведении экспертизы в отношении опасных производственных объектов III и IV классов опасности вправе участвовать эксперты первой и (или) второй, и (или) третьей категории [3].

Квалификационный экзамен проводится в форме тестирования и решения ситуационных задач. Для заявителей, претендующих на прохождение аттестации первой или второй категории, завершающим этапом квалификационного экзамена является устное собеседование по вопросам, соответствующим заявляемой области аттестации.

По результатам квалификационного экзамена может быть принято одно из следующих решений:

- а) об аттестации заявителя в соответствующей области аттестации и присвоении ему одной из следующих категорий эксперта в области промышленной безопасности:
 - эксперт в области промышленной безопасности первой категории с правом проведения экспертизы в отношении опасных производственных объектов I, II, III и IV классов опасности;
 - эксперт в области промышленной безопасности второй категории с правом проведения экспертизы в отношении опасных производственных объектов II, III и IV классов опасности;
 - эксперт в области промышленной безопасности третьей категории с правом проведения экспертизы в отношении опасных производственных объектов III и IV классов опасности;

б) об отказе в аттестации заявителя (в случае если по результатам квалификационного экзамена принято решение о его несоответствии обязательным требованиям).

Одним из недостатков требований к экспертам является неточная формулировка пункта об отсутствии публикаций у экспертов, имеющих ученую степень. Ученая степень — это научная квалификация в определенной отрасли знания. В настоящее время в России присуждают учёные степени кандидата и доктора наук по следующей номенклатуре:

1. Архитектура (архитектуры);
2. Биологические (биол.);
3. Ветеринарные (ветеринар.);
4. Военные (воен.);
5. Географические (геогр.);
6. Геолого-минералогические (геол. — минерал.);
7. Искусствоведение (искусствоведения);
8. Исторические (ист.);
9. Культурология (культурологии);
10. Медицинские (мед.);
11. Педагогические (пед.);
12. Политические (полит.);
13. Психологические (психол.);
14. Сельскохозяйственные (с. — х.);
15. Социологические (социол.);
16. Технические (техн.);
17. Фармацевтические (фармацевт.);
18. Физико-математические (физ. — мат.);
19. Филологические (филол.);
20. Философские (филос.);
21. Химические (хим.);
22. Экономические (экон.);
23. Юридические (юр.) [4].

В связи с большим количеством научных специальностей, требование об отсутствии публикаций у экспертов, имеющих ученую степень, должно касаться только экспертов, имеющих научную степень по заявленной области аттестации, например кандидат технических наук или доктор химических наук. Кандидаты и доктора наук таких специальностей, например как искусствоведение, психология, филология и т.п. должны иметь публикации в области промышленной безопасности наравне с рядовыми экспертами.

Требование о наличии публикаций однозначно можно рассматривать, как существенный вклад в повышение результативности, объективности и полноты проведения экспертизы, которое управляется через повышение уровня квалификации экспертов в области промышленной безопасности, но не стоит забывать, что эксперт — это, прежде всего, «технар», а не ученый.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что существующая нормативная база далека от совершенства, хотя правильные шаги в данном направлении уже сделаны. Совершенствование законодательной базы по отношению к проведению экспертизы промышленной безопасности и аттестации экспертов приведет к повышению качества выполняемых экспертиз и положительно повлияет на уровень промышленной безопасности на опасных производственных объектах [5].

Литература:

1. Постановление Правительства РФ от 28.05.2015 № 509 «Об аттестации экспертов в области промышленной безопасности».
2. Федеральный закон РФ от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».
3. Приказ Ростехнадзора от 14.11.2013 № 538 «Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности»».
4. Номенклатура специальностей научных работников (утверждена приказом Министерства образования и науки РФ от 25.02.2009 № 59, в ред. Приказов Минобрнауки РФ от 11.08.2009 № 294, от 10.01.2012 № 5)
5. Дроздов, А. С. Роль экспертов в проведении экспертизы промышленной безопасности. // Наука, техника и образование. 2015. № 5 (11). с. 19–21.

Санитарно-защитные зоны объектов энергетики

Ермоленко Михаил Вячеславович, кандидат технических наук, доцент;
Надырова Акбота Рыспековна, магистрант;
Степанова Ольга Александровна, кандидат технических наук, доцент;
Золотов Александр Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент
Государственный университет имени Шакарима города Семей (Казахстан)

В статье рассматривается роль санитарно-защитных зон для объектов энергетики в вопросах уменьшения их вредного воздействия на окружающую среду.

Ключевые слова: энергетика, санитарно-защитная зона, загрязняющие вещества, газоустойчивость, выбросы.

В системе теплоснабжения города Семей задействованы одна ТЭЦ и девятнадцать котельных. Все котельные предприятия расположены в пределах городской черты, а также в районе размещения поселка Шульбинск, в непосредственной близости от жилых районов, которые ими обслуживаются. По месту расположения и с учетом зон влияния котельные сгруппированы по двадцати площадкам.

Теплоснабжающие организации города Семей используют уголь разреза Каражыра. Топливо сжигается слоевым и пылевидным способами. Как и все подобные предприятия, регулярно выполняя мероприятия по защите окружающей среды, они, тем не менее, оказывают воздействие на все, что окружает территорию. В условиях увеличения техногенных нагрузок санитарно-гигиеническая роль покрытых растительностью пространств города является мощным средством нейтрализации вредных последствий техногенного загрязнения для городского населения. И здесь особенно актуально рассмотреть каким образом уменьшает такое воздействие санитарно-защитная зона и зеленые насаждения, и каким кустарникам и деревьям отдать предпочтение, с целью уменьшения вредного воздействия объектов энергетики.

Природные, озелененные территории, а также акватории, влияют на микроклиматические характеристики городской среды, в том числе задерживают десятки тонн

пыли, концентрируют в листьях тяжелые металлы, участвуют в формировании температурно-влажностных режимов, химического состава воздуха: биотрансформируют и рассеивают сотни тысячи тонн загрязняющих веществ, обогащают воздух кислородом. Они оказывают воздействие на скорость движения воздушных потоков, уровень инсоляции поверхностей на уровне земли, зданий и сооружений, а также снижают шумовую нагрузку от автомобилей и других источников [1].

Цель и задачи

Цель — изучение роли санитарно-защитной зоны (СЗЗ) объектов энергетики города Семей в вопросах охраны атмосферного воздуха.

Задачи:

- анализ способов очистки атмосферного воздуха от выбросов топливно-энергетического комплекса;
- анализ санитарной эффективности системы озеленения санитарно-защитных зон;
- анализ основных загрязняющих веществ энергетических предприятий;
- анализ растений, наиболее устойчивых к воздействию вредных выбросов объектов энергетики.

Объект исследования

Растения санитарно-защитных зон объектов энергетики.

Для того чтобы очищать выбросы в атмосферу, на предприятиях используются мокрые и сухие методы очистки воздуха.

При «мокрых» типах очистки выбросы газов пропускаются через емкость с водой или с определенными химическими растворами. В результате происходит осаждение пыли и нейтрализация кислот или щелочей. Такие типы очистки могут избавить выбрасываемый воздух от 90% вредных веществ. Однако это сложная и тяжелая в использовании технология. В связи с этим для очистки выбросов на энергетических предприятиях города Семей используют «сухие» методы очистки.

Основными среди «сухих» методов очистки считаются электростатический и фильтрационный. При первом выбросы поступают в специальный корпус. Внутрь подается ток, который заряжает частички пыли и загрязнений, после этого они притягиваются к электродам. Это технология недорогая, но она способна очистить воздух только на (40÷70)%. Поэтому ее чаще всего используют вместе с фильтрационным методом. После электростатики воздух под большим напором поступает в емкость, где стоят сотни тканевых фильтров, на которых оседают около (95÷99)% загрязнений. Потом очищенный воздух выходит в атмосферу, а фильтры в емкости сильно встряхиваются, чтобы упал осадок. После этого поступает следующая порция выбросов [2].

Из всех возможных на сегодняшний день и ближайшее будущее средств борьбы с техногенными загрязнениями энергетических предприятий единственным практически осуществимым средством остается формирование аэродинамической системы из древесно-кустарниковых насаждений.

Предприятия или их отдельные здания и сооружения, технологические процессы которых являются источником

выделения в атмосферный воздух вредных и неприятно пахнущих веществ, отделяют от жилой застройки санитарно-защитными зонами. Для повышения эффективности санитарно-защитных зон на их территории высаживают древесно-кустарниковую и травянистую растительность, снижающую концентрацию промышленной пыли и газов [3].

Санитарная эффективность системы озеленения санитарно-защитных зон будет зависеть не только от правильности принципов озеленения, хорошего ухода за насаждениями, но и от величины площади озеленения. Чем полнее система аэродинамических зеленых коридоров и больше общая площадь озеленения, тем приземные загрязнения будут лучше улавливаться и выдуваться во внешние пространства пригородной зоны [3].

Озеленение территорий энергетических предприятий затрудняется наличием различных выбросов, загрязняющих атмосферу и отрицательно действующих на растения. Наиболее вредно действующими на растения веществами являются пыль и газообразные соединения азота, серы и углерода, в связи с их преобладающим количеством в выбросах. В промышленных выбросах всегда присутствует не одно какое-то соединение, а их комплекс. На рисунке 1 представлена диаграмма основных видов загрязнений котельных и ТЭЦ города Семей [2].

Оксид углерода получается при неполном сгорании углеродистых веществ, дерева, каменного угля и многих других горючих материалов. Оксид углерода является соединением, активно реагирующим с составными частями атмосферы, способствует повышению температуры на планете и созданию парникового эффекта. Вдыхаемый в больших количествах оксид углерода поступает в кровь, повышает количество сахара в крови, ослабляет подачу кислорода к сердцу. Ежегодно этого газа поступает в атмосферу города Семей 4561.08755 т.



Рис. 1. Диаграмма выбросов для ГКП «Теплокоммунэнерго» города Семей

ТЭС города ежегодно выбрасывают в атмосферу 3044.618963 тонн серы. Сернистый ангидрид выделяется в процессе сгорания серосодержащего топлива. Серный ангидрид образуется при окислении сернистого ангидрида. Конечным продуктом реакции является аэрозоль или раствор серной кислоты в дождевой воде, который подкисляет почву, обостряет заболевания дыхательных путей человека. Сероводород и сероуглерод поступают в атмосферу отдельно или вместе с другими соединениями серы. В атмосфере при взаимодействии с другими загрязнителями подвергаются медленному окислению до серного ангидрида.

Оксиды азота также поставляются в атмосферу выбросами энергетических предприятий. Диоксид азота относится ко 2 классу опасности, обладает высокой реакционной способностью. Диоксид азота является важной составляющей фотохимических процессов в атмосфере, связанных с образованием озона при солнечной погоде. При небольших концентрациях диоксида азота наблюдается нарушение дыхания, кашель. Количество оксидов азота, поступающих в атмосферу только от предприятий ГКП «Теплокоммунэнерго» составляет 1003.902467 т. в год.

В соответствии с СП «Санитарно-эпидемиологические требования по установлению санитарно-защитной зоны производственных объектов», утвержденных Постановлением Правительства РК № 93 от 17.01.2012 г., санитарно-защитная зона установлена по расчетам рассеивания загрязняющих веществ от источников предприятия, согласно которых размер СЗЗ для предприятия ГКП «Теплокоммунэнерго» составляет менее 1000 м, предприятие относится к объектам I класса опасности (СЗЗ не менее 1000 м)[4].

Территория санитарно-защитной зоны предназначена для:

- обеспечения снижения уровня загрязнения атмосферного воздуха, уровней шума и других факторов негативного воздействия до предельно допустимых значений за ее пределами на границе с селитебными территориями;
- создания санитарно-защитного и эстетического барьера между территорией предприятия и территорией жилой застройки;
- организации дополнительных озелененных площадей, обеспечивающих экранирование, ассимиляцию, фильтрацию загрязнителей атмосферного воздуха и повышение комфортности микроклимата.

Для защитных зон важно выбрать ассортимент растений, соответствующий климатическим и почвенным условиям района и характеру загрязнения воздуха отходами данного предприятия.

В санитарно-защитных зонах предприятий, интенсивно загрязняющих атмосферный воздух вредными для растительности газами, каковыми являются теплоснабжающие предприятия, следует выращивать наиболее газоустойчивые деревья, кустарники и травы с учетом степени агрессивности и концентрации промышленных выбросов.

Газоустойчивость оценивается по пятибалльной шкале: «5» — не имеющие видимых повреждений, рост и развитие нормальное; «4» — с небольшими отклонениями от нормы; «3» — имеющие ожоги на листьях (30 ÷ 40)%; «2» — очень ослабленные растения, имеющие ожоги на листьях (50 ÷ 60)%; «1» — погибающие растения [2].

На основе данных таблицы 1 согласно руководству по проектированию санитарно защитных зон промыш-

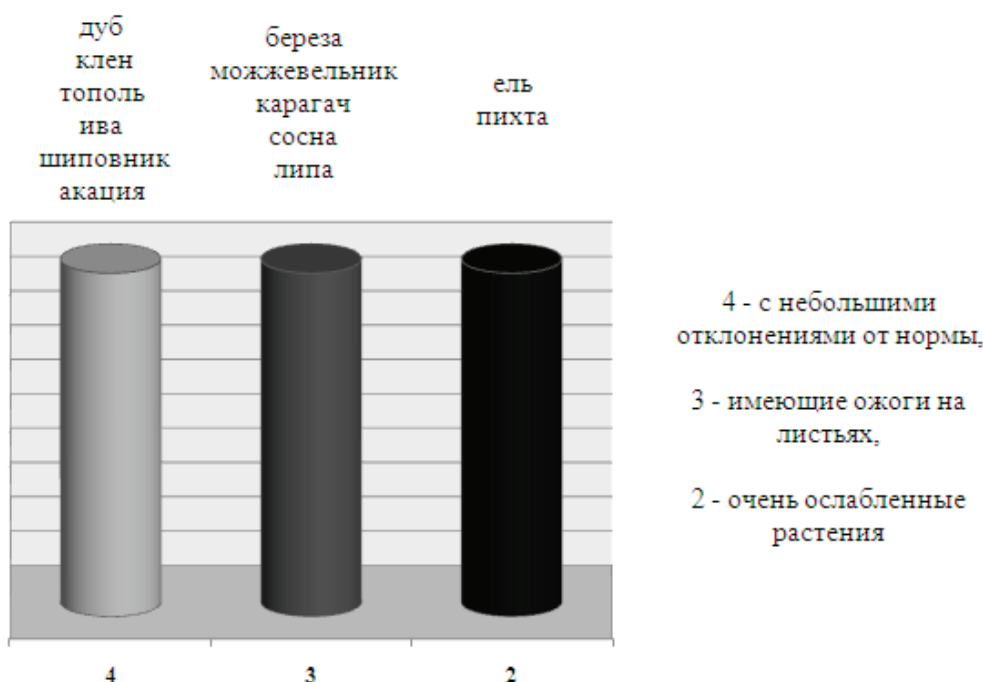


Рис. 2. Устойчивость против производственных выбросов ТЭС, работающих на угле

ленных предприятий был произведен отбор и построен график устойчивости растений против производственных выбросов ТЭЦ и котельных (рисунок 2).

Как видно из графика, к наиболее газоустойчивым выбросам котельных и ТЭЦ, а также способным хорошо произрастать в местных климатических условиях древесным насаждениям, можно отнести дуб, тополь, клен, иву, шиповник и акацию.

Пыль — дисперсная система, состоящая из твердых различных по величине частичек, находящихся в воздухе во взвешенном состоянии. При проникновении взвешенных частиц в органы дыхания происходит нарушение системы дыхания и кровообращения. Вдыхаемые частицы влияют как непосредственно на респираторный тракт, так и на другие органы за счет токсического воздействия входящих в состав частиц компонентов.

Ежегодно от предприятия ГКП «Теплокоммунэнерго» города Семей в атмосферу поступает 6020.568574 тонн неорганической пыли с (70 ÷ 20)% содержанием двуокиси кремния (шамот, цемент, глина, глинистый сланец, доменный шлак, песок, клинкер, зола, кремнезем и др.). Количество неорганической пыли с содержанием двуокиси кремния ниже 20% (доломит, пыль) ежегодно составляет 50.5503753 тонн в год.

Процесс очищения от пыли происходит следующим образом. Загрязненный воздушный поток, встречающий на своем пути зеленый массив, замедляет скорость, в результате чего под влиянием силы тяжести от 60 до 70% пыли, содержащейся в воздухе, оседает на деревья и кустарники. Некоторое количество пыли выпадает из воздушного потока, наталкиваясь на стволы, ветви, листья. Значительная часть пыли оседает на поверхность листьев, хвои, веток, стволов. Во время дождя эта пыль смывается на землю. Под зелеными насаждениями вследствие разности температур, возникают нисходящие потоки воздуха, которые также увлекают пыль на землю. Распространению или движению пыли препятствуют не только деревья и кустарники, но и газоны, которые задерживают поступательное движение пыли, перегоняемой ветром из разных мест.

Пылезадерживающие свойства различных пород деревьев и кустарников неодинаковы и зависят от морфологических особенностей листьев. Лучше всего задерживают пыль шершавые листья и листья, поверхность которых покрыта ворсинками, как у сирени. Если принять количество пыли, задерживаемой 1 см² поверхности листа тополя за 1 (единица), то количество пыли, удерживаемой таким же по площади листом клена остролистного, составит 2, сирени 3, вяза 6. Осевшая на листьях пыль, периодически смывается дождем, сдувается ветром, и листья вновь способны задерживать пыль.

Хвойные растения, такие как, туя, можжевельник и пихта очищают воздух в течение всего года, а не только в теплое время. Березы, вырабатывающие фитонциды, биологически активные летучие вещества, подавляют и убивают развитие и рост вредных микроорганизмов, однако

эти деревья лучше сажать подальше от «грязных» производств — они не так жизнестойки, как тополя или клен [5].

Исходя из вышесказанного, можно отметить наиболее подходящие породы, очищающие атмосферный воздух от выбросов энергетических предприятий. К ним можно отнести тополь. Именно он лучше всех других деревьев справляется с промышленными выбросами в атмосферу. Его широкие и клейкие листья успешно задерживают пыль, фильтруя воздух. Тополь быстро растет и набирает зеленую массу, которая поглощает углекислый газ и вырабатывает путем фотосинтеза кислород. Гектар тополей вырабатывает кислорода в 40 раз больше, чем гектар хвойных деревьев. Раздражающую многих проблему тополиного пуха можно решить заменой черного тополя «непушащими» видами — серебристым и белым.

Большую роль в очищении атмосферного воздуха может сыграть карагач. Карагач хорошо приспособлен к местным климатическим условиям. Он может расти и на очень сухих почвах, превосходя по засухоустойчивости и солевыносливости не только ильм, но и вяз, что является большим преимуществом для условий произрастания вблизи котельных и ТЭЦ. Он выживает без полива даже в засушливое лето, живет до 150 лет, хорошо переносит обрезку.

Хорошо справляются с поглощением вредных веществ из воздуха шиповник, акация, вяз. Эти растения также выживают в условиях высокой запыленности. Их можно сажать в качестве зеленого щита против дымовых газов. Вязы своими широкими листьями удерживают в шесть раз больше пыли, чем тополя.

Результаты

В результате проведенных исследований было выявлено, что наиболее оптимальным как с экологической, так и с экономической точек зрения, способом очистки атмосферы от выбросов энергетических предприятий города Семей является формирование аэродинамической системы из древесно-кустарниковых насаждений.

В условиях увеличения техногенных нагрузок санитарно-гигиеническая роль покрытых растительностью пространств города является мощным средством нейтрализации вредных последствий техногенного загрязнения для городского населения.

Атмосфера города испытывает влияние от широкого спектра химических загрязнений выбрасываемых предприятием ГКП «Теплокоммунэнерго» (диоксид серы, диоксид азота, оксид углерода, пыль неорганическая с различным процентным содержанием двуокиси кремния).

Была изучена степень улавливания углекислого газа древесными растениями. К наиболее газоустойчивым, пылезадерживающим, а также способным хорошо произрастать в местных климатических условиях древесным насаждениям можно отнести дуб, тополь, клен, иву, шиповник и акацию.

Литература:

1. Воробьев, С. А. «Накопление и распределение тяжелых металлов и радионуклидов в парковых экосистемах». Специальность 03.00.16 — «Экология». Орел — 2005.
2. Проект нормативов предельно-допустимых выбросов (ПДВ) для ГКП «Теплокоммунэнерго» ГУ «Отдел жилищно-коммунального хозяйства, пассажирского транспорта и автомобильных дорог г. Семей» на праве хозяйственного ведения. — Семей, 2012.
3. Санитарные правила по приказу МЗ РК от 06.10.2010 г. № 795 «Санитарно-эпидемиологические требования по установлению санитарно-защитной зоны производственных объектов».
4. Санитарно-эпидемиологические требования по установлению санитарно-защитной зоны производственных объектов № 93 от 17.01.2012 г.
5. Авдеева, Е. В. «Зеленые насаждения в мониторинге окружающей среды крупного промышленного города (на примере г. Красноярск)» 03.00.16 — Экология. Красноярск — 2008. ГОУ ВПО «Сибирский государственный технологический университет».

Современные направления в области создания упаковки на основе бумаги

Корниенко Наталья Дмитриевна, студент;

Лыгина Елена Геннадьевна, студент

Магнитогорский государственный технический университет имени Г. И. Носова (Челябинская обл.)

В настоящее время упаковочная промышленность в России является одной из наиболее динамично развивающихся отраслей. Ее развитие стимулируется постоянно повышающимся спросом на современные упаковочные материалы. Качество упаковочных материалов и тары во многом определяются технологией их производства и базовым сырьем, что подтверждено результатами исследований [1, 2, 3].

Среди большого многообразия используемых упаковочных материалов картон и бумага занимают ведущее место в тароупаковочной отрасли. Доля их использования составляет в среднем 50% общего потребления и доминирует не только по объемам производства, но и по широкой номенклатуре тароупаковочной продукции и ассортименту упаковываемых товаров. В настоящее время на рынке упаковочных бумаг наиболее востребованным являются мелованные и пергаментированные виды бумаг и картонов.

Мелованием называется процесс нанесения на слой основной бумаги (бумаги-основы) одного или более слоев меловальной суспензии, придающие материалу ряд специальных свойств.

Производство мелованной бумаги в последние десятилетия входит в число наиболее динамично развивающихся секторов мировой целлюлозно-бумажной промышленности. Данный факт объясняется производством широкого ассортимента типографской продукции, в технологиях которых используются преимущественно мелованные виды бумаг.

В тароупаковочной индустрии особенно популярна тара и упаковка из мелованного картона. Она используется в ликероводочной, кондитерской, упаковочной и др. промышленности.

Мелованный картон придает дополнительную привлекательность любому товару. Литое мелование придаёт ему почти зеркальный глянец, гладкость, снижает пористость лицевого слоя, что гарантирует лучший результат при нанесении печати: на поверхности картона остается качественное яркое изображение.

Значительное преимущество мелованной бумаги в процессах производства бумаги для печати заключается в возможности изменения ее печатных свойств в широком диапазоне за счет изменения композиционного состава пигментного покрытия.

Такие параметры как глянец и гладкость увеличивают контраст, резкость при печати.

Впитывающая способность влияет на однородное качество печати и область полутонов. А белизна на цветовую палитру.

Из этого следует, что мелованная бумага просто необходима при печати многоцветной качественной полиграфии. Мелованное покрытие придает банковским отсчетам презентабельность, а при создании визиток или брошюр может служить для последующих операций, таких как ламинирование, тиснение и т.д.

При создании детских книг используют мелованную бумагу, так как для такой продукции очень важна качественная красочная печать.

В ликероводочной промышленности мелованный картон применяется для создания коробок для бутылок. В табачной — коробок под сигареты. В обоих случаях мелованный картон служит для полноцветной печати, дальнейшего лакирования и тиснения фольгой.

Высококачественный мелованный картон — незаменимый материал для производства кондитерской и пи-

щевой упаковки. При этом особые требования предъявляются к гладкости поверхности и глянцевого покрытию, а также полноцветной печати.

Основными компонентами меловальных составов являются пигменты. Основным пигментом, используемым в бумажной промышленности, является каолин. Это связано с его большими природными запасами, относительно невысокой стоимостью наряду с высокими потребительскими свойствами. Поверхностное покрытие бумаги минеральными пигментами применяется для придания бумаге гладкой и впитывающей печатные краски поверхности, скрывает или изменяет цвет бумаги-основы и придания бумаге непрозрачности. Пигменты составляют обычно от 70 до 90% массы покровного слоя мелованной бумаги.

В зависимости от композиционного состава меловального покрытия может существенно изменять характер впитывания печатных красок, степени укрывности, однородности и лоска мелованного покрытия.

Традиционно основными поставщиками мелованной продукции на российский рынок выступают целлюлозно-бумажные корпорации Финляндии и Германии.

Крупнейшей компанией в России является Пакинг Ру Москва, в уральском регионе — Аверс Екатеринбург.

Упаковка из растительных полимеров безвредна для человека, быстро разлагается в природе и не загрязняет окружающую среду, легко перерабатывается в виде макулатуры. Все более приоритетной становится упаковка, практичная и безвредная для потребителя. Одним из таких упаковочных материалов является растительный пергамент [5].

Пергаментом называют упаковочную, очень прочную, жиро- и влагостойкую бумагу, изготовленную из чистой целлюлозы. Отсюда и название — растительный пергамент или пергаментная бумага [4].

Актуальность обусловлена использованием пергаментов в качестве упаковочного материала тем, что пергамент на сегодняшний день является, одним из наиболее безопасных и чистых с экологической точки зрения упаковочных материалов. Он такой же биоразлагаемый, как дерево и солома. В природе он разлагается на безвредные вещества: целлюлозу, глюкозу, углекислый газ, воду. Его безвредность при контакте с пищевыми продуктами признана законодательством всех стран [5].

На сегодняшний день Троицкая бумажная фабрика — единственное в России и странах СНГ предприятие, выпускающее на современном оборудовании растительный пергамент, универсальную упаковку для жировлагодерживающих продуктов [6].

Сфера применения пищевого пергамента достаточно широка.

Пищевой пергамент используется в качестве защитной обертки жирных продуктов, являясь отличным жиронепроницаемым и влагопрочным упаковочным материалом.

Так же пергамент используется для кондитерских изделий. Помимо эстетического вида создают различные формы упаковочного материала. При этом следует от-

метить, что пергамент является хорошей основой не требующей дополнительной обработки для получения качественных оттесков печати, что в свою очередь расширяет спектр применения в качестве упаковочного материала.

В хлебопечении пергаментная бумага используется для выпечки на противнях — что бы исключить возможность пригорания продукции так как прекрасно заменяет растительное масло и другие жиры, в качестве разделительного слоя. Так же к неоспоримым достоинствам пищевого пергамента относится способность выдерживать высокие температуры (вплоть до 230 С).

Пергамент медицинский предназначен для упаковки перевязочных материалов и изделий медицинской промышленности, в том числе подлежащих стерилизации. Пергамент является химически инертным и биологически чистым материалом, что позволяет его широко использовать в медицине и косметологии.

Пергамент нашел свое применение в упаковке различных видов корпусной мебели. Пергамент для мебели обладает некоторыми новыми свойствами, которые не требуются для пищевого пергамента, а именно — высокой термостойкостью, стойкостью к расслаиванию и адгезионными свойствами по отношению к мебельным смолам.

Одним из недостатков пергамента является его повышенная прозрачность.

Высокая прозрачность упаковочного материала плохо защищает продукт от ультрафиолета, способствующего окислительным процессам и процессам деструкции. Кроме того, страдает и качество печати и внешнего оформления упаковки из-за низкой контрастности печатного изображения. Этот недостаток усиливается, когда в пергамент упаковывают влажные продукты и прозрачность упаковки повышается.

С целью преодоления такого недостатка, как низкая непрозрачность пергамента, в России несколько лет назад была разработана и освоена технология производства наполненного пергамента.

Наполненный пергамент наравне с традиционным является экологически чистым, инертным к продукту, безопасным для здоровья, легко утилизируемым материалом. Наполнение пергамента представляет собой введение в суспензию различных видов наполнителей [7, 8].

В качестве наполнителя для пергамента используют двуокись титана.

Диоксид, как и металл, белого цвета, поэтому используется он в качестве пигмента. Главное его достоинство — нетоксичность и безвредность. Кроме того, покрытия приобретают высокую стойкость к воздействиям ультрафиолета, не желтеют и практически не стареют.

Около 14% объема производства двуокиси титана используется при производстве бумаги (белой, цветной, пропитанной), картона, обоев. Диоксид титана играет важную роль при пигментовании. Для придания бумаге

гладкости, белизны и высоких свойств при печати на поверхность наносят диоксид или его смеси с другими пигментами.

Основная цель введения наполнителей в бумагу заключается в том, чтобы сообщить ей такие свойства, как белизну, непрозрачность, мягкость, гладкость, впитывающую способность и другие. Эти свойства особенно необходимы для писчей бумаги и бумаги для печати. Минеральные наполнители улучшают печатные свойства бумаги. Бумага лучше воспринимает краску из печатной формы. Полученное изображение отличается большей

сочностью, не просвечивает на другую сторону листа и не затрудняет чтения. Последнее свойство важно также и для писчей бумаги [4,5].

Таким образом, растительный пергамент это материал исключительно натурального происхождения, состоит из 100% целлюлозы, экологически чистый продукт европейского качества. Широкий спектр применения и актуальность спроса во всем мире на пергамент, как упаковочный материал, указывает на перспективность развития данного сектора упаковочной отрасли, несмотря на некоторые его недостатки.

Литература:

6. Мишурина, О. А., Чупрова Л. В., Муллина Э. Р. Исследование влияния химического состава углеводородной части различных видов целлюлозных волокон на физико-механические свойства бумаг для гофрирования // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2013. № 8. с. 52–55.
7. Мишурина, О. А., Чупрова Л. В., Муллина Э. Р., Ершова О. В. Исследование влияние качества исходного сырья на прочностные свойства картонных втулок // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 1. с. 254. URL: www.science-education.ru/115-12226 (дата обращения: 12.09.2015).
8. Муллина, Э. Р., Мишурина О. А., Чупрова Л. В., Ершова О. В. Влияние химической природы проклеивающих компонентов на гидрофильные и гидрофобные свойства целлюлозных материалов // Современные проблемы науки и образования. — 2014. — № 6. — с. 250; URL: www.science-education.ru/120-16572 (дата обращения: 14.09.2015).
9. Медяник, Н. Л., Мишурина О. А., Агеев А. Я., Родионова Н. И. Материалы, используемые в производстве упаковки на основе бумаги // Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова. Магнитогорск, 2009.
10. Аким, Э. Л., Махотина Л. Г. Упаковка на основе бумаги — СПб.: Профессия, 2008. — 488 с.
11. Домнин, В. Н. Новые технологии в России. СПб., 2002. — 86 с.
12. Агеев, А. Я., Медяник Н. Л., Мишурина О. А., Муллина Э. Р., Родионова Н. И. Технологии производства упаковки на основе бумаги // Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова. Магнитогорск, 2012.
13. Примаков, С. Ф. Производство бумаги. — М.: Лесн. пром-сть, 1967—224с. [Б-чка бумажника]

Создание твердосплавного инструмента сверхскоростным шлифованием для суперфинишной лезвийной обработки

Кудряшов Борис Петрович, кандидат технических наук, доцент
Курганский государственный университет

Попов Андрей Юрьевич, доктор технических наук, зав. Кафедрой;
Реченко Денис Сергеевич, кандидат технических наук, доцент;
Шагов Дмитрий Александрович, лаборант;
Балова Дарья Георгиевна, магистрант;
Бугай Иван Анатольевич, ассистент;
Артеменко Никита Сергеевич, инженер
Омский государственный технический университет

Качество затачивания твердосплавного режущего инструмента определяет его стойкость, качество и надежность лезвийной обработки. На сегодняшний день существует большое количество фирм, поставляющих металлорежущий инструмент в Россию. Номенклатура представленного инструмента разнообразна и включает режущий инструмент для высокоточной обработки, при этом качество затачивания лезвия, то есть радиус округления лезвия этого инструмента составляет порядка 10...15 мкм, что в свою очередь позволяет производить обработку с толщиной стружки не менее 20...30 мкм. Это ограничение зачастую является критическим и предельным, так как точность обработки некоторых ключевых деталей составляет 3...5 мкм, а также приводит к значительному снижению потенциального ресурса режущего инструмента. Повышение качества затачивания до значений 1...3 мкм позволяет получать высокую точность обработки и ресурс режущего инструмента, что также положительно отражается на качестве обработки. Данная работа выполнена при финансовой поддержке министерства образования и науки РФ.

Ключевые слова: металлообработка, высокоскоростное шлифование, затачивание твердосплавного инструмента

Качество затачивания режущего инструмента характеризуется радиусом округления лезвия. Традиционные технологии затачивания позволяют получать высокие параметры качества лезвия лишь с помощью трудоемких доводочных операций. Переход на высокоскоростное затачивание позволяет, используя традиционные схемы формообразования режущей части, получать качественно новый результат, за счет изменения механизма износа алмазных зерен шлифовального круга и процесса разрушения обрабатываемого материала, а также за счет подбора наиболее оптимальной рецептуре абразивного материала.

Общее количество твердосплавного инструмента, применяемого в современном механообрабатывающем производстве, составляет до 90%, причем этим инструментом производится большая часть операций. Основой всех твердых сплавов являются карбиды металлов, которые представляют собой химические соединения металла с углеродом. Современные твердые сплавы являются основным инструментальным материалом, обеспечивающим высокопроизводительную обработку резанием, и имеют размер карбидов около одного микрометра [1].

Современные твердосплавные пластины изготавливают с использованием операций прессования, спекания, затачивания и покрытия. При этом операции затачивания являются одними из ключевых, так как на них формиру-

ется окончательная форма пластины и качество лезвия. Классические режимы затачивания находятся в узком диапазоне и составляют: продольная подача $S_{\text{прод}} = 1...9$ м/мин; поперечная подача $S_{\text{поп}} = 0,01...0,05$ мм/дв. ход; скорость резания $V = 15...45$ м/с, и обеспечивают условный вписанный радиус округления лезвия (острота) порядка $\rho = 15...25$ мкм. Данная острота лезвия получается на особомелкозернистом твердом сплаве ($\Delta = 1...2$ мкм), после всех операций. Повышение скорости резания до 250 м/с позволяет получать $\rho = 0,1...1$ мкм и менее, при сохранении остальных параметров затачивания.

В данной работе проводились исследования по определению наиболее оптимальной рецептуре шлифовального инструмента. Производилось затачивание твердосплавных пластин CNMG 120408 маки 890 (Seco) на высокоскоростной шлифовально-заточной установке ВЗ-326Ф4 при продольной подаче $S_{\text{прод}} = 3$ м/мин; поперечной подаче $S_{\text{поп}} = 0,01$ мм/дв. ход. и скорости резания $V = 250$ м/с. В таблице 1, представлены результаты затачивания пластин различными рецептурами шлифовального инструмента.

По проведенным исследованиям установлено, что наилучшее качество затачивания твердосплавного инструмента обеспечивают рецептуры III, 7, 15 и 20. При этом шлифовальные головки, выполненные по рецептуре 15 и 20, в процессе работы значительно истираются и закаливаются, что приводит к повышению температуры

Таблица 1. Результаты обработки твердосплавного инструмента

рецепта	Обозначение	Алмазное зерно%	Карбид кремния%	Микросферы стеклянные%	СФП%	Лезвие твердосплавного инструмента, x100	Обработанная поверхность, x1000	Абразивный инструмент, x50	Абразивный инструмент, x350	Параметры обработки и механизм изнашивания зерен
	II	АС5 63 \ 40 12,5%	SIC8 45%	-	40					$\rho=3...5$ мкм; $R_a=0,1...0,3$ мкм; микрокол.
	III	АС5 63 \ 40 45%	-	-	52					$\rho=1...2$ мкм; $R_a=0,08...0,15$ мкм; микрокол.
	7	АСМ 28 \ 20 25%	-	50	25					$\rho=0,5...1$ мкм; $R_a=0,08...0,2$ мкм; микрокол.
	9	АСМ 28 \ 20 12,5%	SIC8 45%	-	40					$\rho=1...3$ мкм; $R_a=0,1...0,3$ мкм; микрокол и истирание.
	10	АС5 63 \ 40 25%	64С 40 \ 28 35%	-	35					$\rho=2...4$ мкм; $R_a=0,2...0,6$ мкм; микрокол и истирание.
	15	АСМ 28 \ 20 12,5%	-	50	45					$\rho=1...2$ мкм; $R_a=0,2...0,6$ мкм; истирание.
	20	АСМ 28 \ 20 45%	-	35	45					$\rho=1...2$ мкм; $R_a=0,08...0,12$ мкм; истирание.

на обрабатываемой поверхности. Проведенные исследования показали, что, наилучшее качество обеспечивают

рецептура III (АС563\4045% и СПФ 52%) и 7 (АСМ 28\2025%; Микросферы стеклянные 50% и СПФ 25%).

Литература:

1. Палей, М.М. Технология шлифования и заточки режущего инструмента. / М.М. Палей, Л.Г. Дибнер, М.Д. Флид; М.: Машиностроение. — 1988. — 288 с.

Камеры сгорания дизелей с двойным впрыскиванием топлива

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

Способы подачи метанола в цилиндр дизеля, влияющие на содержание токсичных компонентов в ОГ, мало чем отличаются один от другого. Общие закономерности сохраняются: с увеличением доли подачи метанола существенно снижается содержание NO_x в ОГ, а концентрация CH_x резко увеличивается, особенно на малых нагрузках, где подача метанола достигает 80% [1–6].

При системе двойной топливоподачи, иногда называемой «пилотной», большое влияние на мощностные и токсические показатели дизеля оказывает правильная ориентация сопловых отверстий форсунок. Оптимальная ориентация струй топлива для двух вариантов КС в поршне и для вихревой камеры (последняя менее чувствительна к положению факела ДТ) показана на рисунке 1 [7–11].

Вихревая камера с двойным впрыскиванием прошла всесторонние испытания на дизеле со степенью сжатия 19,5. Мощность регулировалась изменением количества впрыскиваемого метанола. Максимальная степень за-

мены метанолом достигает 94% на режиме максимальной мощности. В Кировском сельскохозяйственном институте были выполнены работы по переводу дизеля Д-21А1 трактора Т-25А на метанол с использованием двойной системы топливоподачи рисунок 2.

Метанол подавался топливным насосом УТН-5А через штатную форсунку. Для подачи порции ДТ в цилиндр на дизеле был смонтирован второй топливный насос УТН-5А, а в цилиндре с помощью шпилек в отверстии головки, просверленном ниже места установки основной форсунки, но в одной с ней вертикальной плоскости, установлена дополнительная штифтовая форсунка ФШ6–2/25. Это позволяло при соответствующей разнице установочных углов опережения впрыскивания ДТ и метанола подавать метанол в факел распыленного ДТ, что способствовало лучшей организации воспламенения метанола в цилиндре. Пуск и прогрев дизеля осуществлялись на ДТ, после чего включалась подача метанола, а подача ДТ уменьшалась. Эксперименты показали, что на номи-

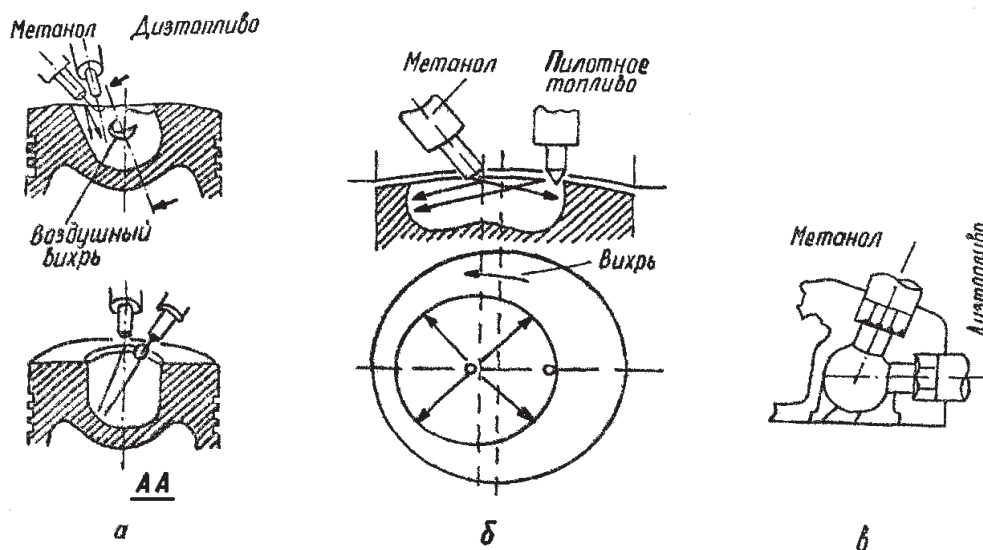


Рис. 1. Варианты камер сгорания дизелей с двойным впрыскиванием топлива

нальном скоростном и нагрузочных режимах для обеспечения устойчивой работы дизеля (без перебоев и пропу-

сков воспламенения) достаточно подавать не менее 10% запального ДТ от суммарного расхода топлива [12–23].

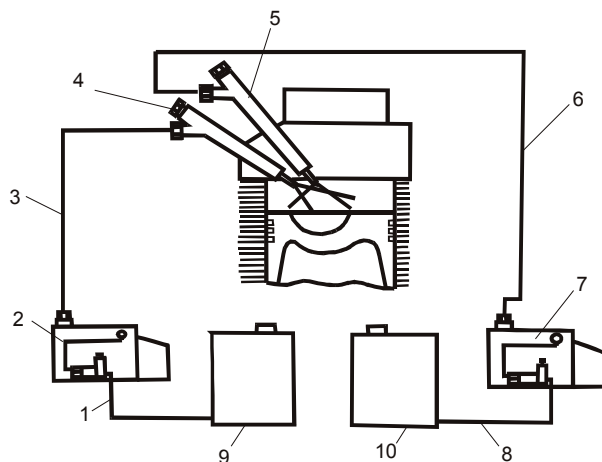


Рис. 2. Принципиальная схема двойной системы топливоподдачи (ДСТ): 1 и 3-топливпровода низкого и высокого давления для подачи ДТ; 2 и 7-ТНВД для подачи ДТ и метанола; 6 и 8-топливпровода высокого и низкого давления для подачи метанола; 9 и 10-топливные баки для ДТ и метанола

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. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей тракторного дизеля путем применения природного газа и рециркуляции отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсий // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 3. с. 3–6.
10. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 2. с. 6–7.
11. 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.
12. 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.

13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. Скрябин, М.Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.
20. 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.
21. 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.
22. Скрябин, М.Л. Влияние отработавших газов автомобильного транспорта на окружающую среду // Молодой ученый. 2015. № 13. с. 185–187.
23. 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.

Исследование содержания оксидов азота по нагрузочной характеристике газодизеля с турбонаддувом на режиме максимального крутящего момента

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) 11^0 и частоте вращения при максимальном крутящем моменте ($n = 1900 \text{ мин}^{-1}$) представлены на рис. 1 [1–4].

Из графиков видно, что с увеличением нагрузки содержание NO_x в ОГ при работе двигателя по дизельному процессу возрастает от 169 ppm при $p_e = 0,13 \text{ МПа}$ до 230 ppm при $p_e = 0,92 \text{ МПа}$, рост составляет 36,1%. Содержание CH_x с увеличением нагрузки в целом снижается с 0,024 до

0,008%, т.е. в три раза [5–9]. Содержание сажи по дизельному процессу с увеличением нагрузки возрастает с 0,5 до 2 ед. по шкале Bosch и, соответственно увеличивается в 4 раза. Содержание CO изменяется с 0,04 ($p_e = 0,13 \text{ МПа}$) до 0,047% ($p_e = 0,45 \text{ МПа}$), или на 17,5%, а при $p_e = 0,92 \text{ МПа}$ снова снижается до 0,041% [10].

При работе на природном газе содержание NO_x в ОГ при работе двигателя по газодизельному процессу возрастает незначительно: от 166 ppm при $p_e = 0,13 \text{ МПа}$ до 190 ppm при $p_e = 0,85 \text{ МПа}$, рост составляет 14,5% [11–15]. Содержание CH_x с увеличением нагрузки снижается с 0,53 до 0,17%, или в 3,1 раза. Содержание сажи по газодизельному процессу с увеличением нагрузки практически не из-

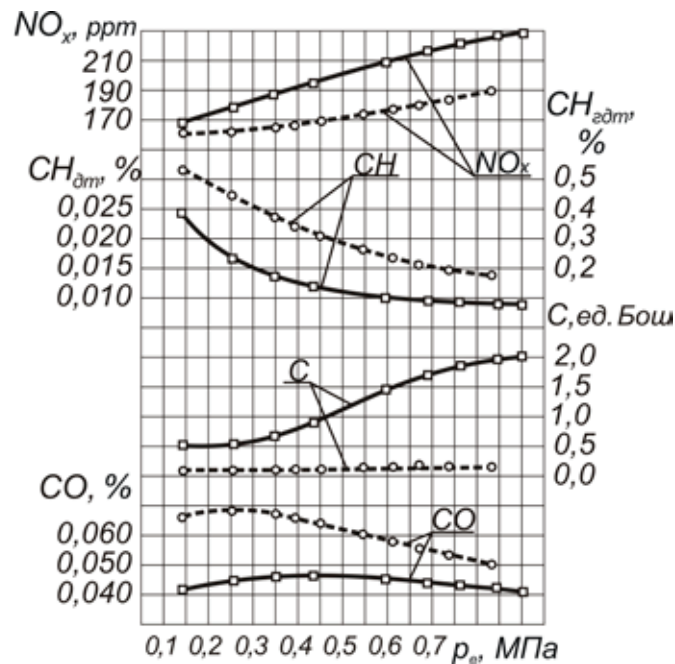


Рис. 1. Влияние применения природного газа на показатели токсичности ОГ дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки при $n = 1900 \text{ мин}^{-1}$ и $\Theta_{\text{впр}} = 11^\circ$; \square — дизельный процесс; \circ — газодизельный процесс

меняется и составляет 0,1 ед. по шкале Bosch на всем диапазоне нагрузок. Содержание CO уменьшается с 0,066 до 0,05%, снижение составляет 32% [16–20].

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° на режиме максимального крутящего момента при $n = 1900 \text{ мин}^{-1}$, можно отметить следующее. На этой частоте вращения зависимости изменения содержания токсичных компонентов в отработавших газах при переходе с одного вида рабочего процесса на другой аналогичны зависимостям при частоте вращения 2400 мин^{-1} .

Содержание оксидов азота в отработавших газах лежит ниже во всем диапазоне нагрузок при работе по газодизельному процессу. Значительно снижается содержание в отработавших газах сажи. Рост содержания CO в отработавших газах при работе по газодизельному процессу наблюдается во всем диапазоне изменения нагрузок. Недостатком на сегодняшний день следует считать увеличение выбросов продуктов неполного сгорания (CH_x) с отработавшими газами при работе на природном газе. Очевидно, в этом случае возникает необходимость применения известных средств снижения токсичности отработавших газов двигателей внутреннего сгорания [21].

Литература:

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на оксиды азота при сгорании в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 151–154.

8. 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.
9. 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.
10. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11. с. 235–238.
11. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. Лопатин, О. П. Улучшение экологических показателей тракторного дизеля путем применения природного газа и рециркуляции // В сборнике: Сборник научных трудов по материалам Восемнадцатой международной научно-практической конференции «Инновационные направления развития АПК и повышение конкурентоспособности предприятий, отраслей и комплексов — вклад молодых ученых» ФГБОУ ВПО «Ярославская ГСХА». Ярославль, 2015. с. 30–34.

Исследование эффективных показателей дизеля Д-245.7 при работе на дизельном топливе и природном газе

Лиханов Виталий Анатольевич, доктор технических наук, профессор;

Скрябин Максим Леонидович, кандидат технических наук, доцент

Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

В данной статье рассмотрено исследование эффективных показателей дизеля Д-245.7 при работе на дизельном топливе и природном газе.

Ключевые слова: *дизель, альтернативное топливо, природный газ, эффективные показатели, максимальный крутящий момент.*

На основании разработанной методики проведения стендовых испытаний с целью исследования эффективных показателей при работе дизеля на ПГ, были сняты различные характеристики работы дизеля. В испытания

входило снятие регулировочных характеристик в зависимости от изменения установочного УОВТ при работе как на ДТ, так и на ПГ, с одновременным индцированием рабочего процесса и определением токсичности и дымности ОГ. На основании этих характеристик был выбран оптимальный установочный УОВТ при работе дизеля на ДТ и на ПГ для оптимизации экологических, эффективных и показателей процесса сгорания.

На кафедре ДВС Вятской ГСХА в течении ряда лет проводятся исследования по переводу двигателей внутреннего сгорания для работы на природном газе. Результаты стендовых испытаний по влиянию применения природного газа представлены ниже.

Нагрузочные характеристики изменения эффективных показателей дизеля Д245.7 при работе дизеля на дизельном топливе (ДТ) и на природном газе (ПГ) на оптимальных установочных УОВТ на номинальной частоте вращения ($n = 2400 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,947 \text{ МПа}$) представлены на рис. 1 [1–18].

Проводя сравнительный анализ работы дизеля на ДТ и ПГ на номинальной частоте вращения ($n = 2400 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,947 \text{ МПа}$), можно отметить следующие особенности. При работе дизеля на ПГ мощностные показатели дизеля полностью сохраняются. Значение эффективной

мощности N_e при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,126 \text{ МПа}$ составляет 12 кВт и увеличивается по линейной зависимости до 90 кВт при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,947 \text{ МПа}$.

Значения суммарного удельного расхода $g_{e\Sigma}$ при работе дизеля на ПГ в области больших нагрузок ниже, чем g_e при работе дизеля на ДТ, а на малой и средней нагрузке удельный расход больше. Так при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,30 \text{ МПа}$ $g_{e\Sigma}$ при переходе на ПГ повышается с 328 г/(кВт·ч) до 430 г/(кВт·ч) или на 31,1%, а при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,947 \text{ МПа}$ $g_{e\Sigma}$ снижается с 227 г/(кВт·ч) до 208 г/(кВт·ч) или на 8,3%.

Значение эффективного к.п.д. η_e при работе дизеля на ПГ во всем диапазоне изменения нагрузки меньше, чем при работе дизеля на ДТ. При $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ $p_e = 0,126 \text{ МПа}$ значение η_e снижается с 0,162 до 0,102, а при нагрузке, соответствующей $p_e = 0,947 \text{ МПа}$ снижается с 0,380 до 0,363. Но можно отметить, что при работе дизеля на ПГ к.п.д. остается достаточно высоким. Часовой расход воздуха при переходе на ПГ при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,126 \text{ МПа}$ равен расходу при работе дизеля на ДТ и составляет $G_B = 455 \text{ кг/ч}$, а при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,947 \text{ МПа}$ снижается с 591 кг/ч до 533 кг/ч или на 9,8%. Снижение происходит вследствие того, что часть воздуха на впуске замещается ПГ. Подача ПГ таким же образом

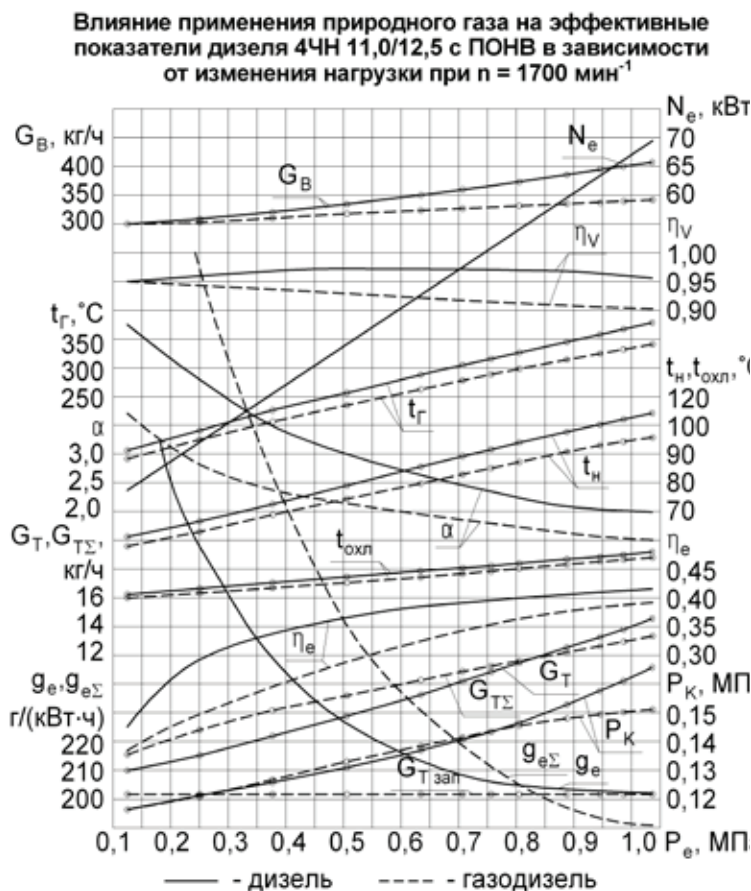


Рис. 1 — Влияние применения ПГ на эффективные показатели дизеля Д-245.7 в зависимости от изменения нагрузки на оптимальных установочных УОВТ при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$: — — — дизельный процесс, — — — газодизельный процесс

влияет на коэффициент наполнения η_v и коэффициент избытка воздуха α . Так, при переходе на ПГ при $n = 2400$ мин⁻¹, $p_e = 0,126$ МПа значение η_v снижается с 0,940 до 0,907 или на 3,1%, а при $n = 2400$ мин⁻¹, $p_e = 0,947$ МПа с 0,938 до 0,909 или на 3,1%. При $n = 2400$ мин⁻¹, $p_e = 0,126$ МПа значение α снижается с 4,86 до 3,03, а при $n = 2400$ мин⁻¹, $p_e = 0,947$ МПа с 2,00 до 1,69. При переходе на ПГ уменьшается температура ОГ. Так, при $n = 2400$ мин⁻¹, $p_e = 0,126$ МПа значение t_r снижается с 197°С до 181°С, а при $n = 2400$ мин⁻¹, $p_e = 0,947$ МПа с 430°С до 367°С [19–22].

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. 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.
4. 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.
5. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Чупраков А. И. Особенности работы автотранспортного дизеля на этанола-топливной эмульсии // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 9. с. 16–19.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей тракторного дизеля путем применения природного газа и рециркуляции отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсий // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 3. с. 3–6.
11. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 2. с. 6–7.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.

Уменьшение температуры ОГ, свидетельствует об уменьшении давления и скорости в выпускном трубопроводе, что влияет на степень увеличения частоты вращения ротора турбокомпрессора. Поэтому давление наддува p_k и температура на выходе из турбокомпрессора t_H при работе дизеля на ПГ также снижаются.

Значение температуры воздуха на выходе из охладителя $t_{охл}$ при переходе на ПГ практически не изменяется, т.е. при $n = 2400$ мин⁻¹, $p_e = 0,126$ МПа значение $t_{охл}$ повышается с 46°С до 47°С, а при $n = 2400$ мин⁻¹, $p_e = 0,947$ МПа снижается с 69°С до 68°С [23–26].

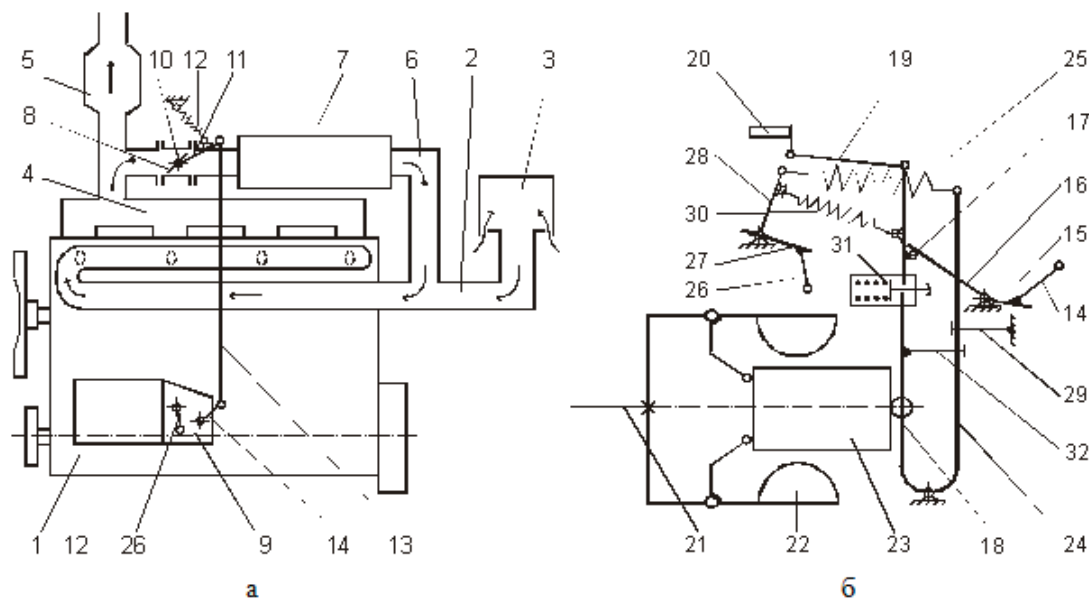
17. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 4. с. 10–13.
18. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на оксиды азота при сгорании в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 151–154.
19. 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.
20. 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.
21. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11. с. 235–238.
22. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
23. Анфилатов, А. А. Исследование дымности в отработавших газах дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 50–53.
24. Анфилатов, А. А. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 45–47.
25. 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.
26. 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.

Регулирование перепуска отработавших газов во впускной трубопровод дизеля

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

В Вятской государственной сельскохозяйственной академии на базе кафедры тепловых двигателей, автомобилей

и тракторов разработано устройство для регулирования степени рециркуляции отработавших газов (РОГ) дизеля (рис. 1).



**Рис. 1. Устройство для регулирования степени РОГ дизеля:
а — схема устройства; б — схема всережимного центробежного регулятора**

Устройство состоит из дизеля 1, содержащего впускной трубопровод 2 с воздушным фильтром 3, выпускной трубопровод 4 с глушителем 5, рециркуляционный трубопровод 6 с охладителем 7 рециркулируемых газов (РГ), запорный орган 8 РГ и всережимный центробежный регулятор 9 скорости топливного насоса. На валу 10 запорного органа 8 РГ неподвижно посажен рычаг 11, соединенный с пружиной 12, действующей в направлении закрытия запорного органа, и через тягу 13 шарнирно соединен с рычагом 14 управления РГ, неподвижно посаженным на ось 15, на другой конец которой неподвижно посажен рычаг 16, прижатый к штифту 17, неподвижно посаженному на промежуточном рычаге 18, пружиной 12. Конструктивно ось 15 рычагов выведена за корпус регулятора, где неподвижно соединена с рычагом 14 управления РГ. [1–6] Верхний конец промежуточного рычага 18 через тягу 19 связан с рейкой 20 топливного насоса. На хвостовике вала топливного насоса 21 центробежного регулятора скорости расположена ступица с грузами 22, рычаги грузов которой через муфту 23 опираются на упор промежуточного рычага 18. Нижний конец промежуточного рычага 25 шарнирно соединен с основным рычагом 24. Верхний конец основного рычага 24 соединен с пружиной 25. Сила этой пружины зависит от положения рычага управления 26 и связанного с ним жестко через ось 27 рычага пружины 28. Поворот основного рычага 24 влево ограничен упором-болтом 29 [7–11].

Для увеличения подачи топлива при пуске дизеля, а также при работе с кратковременными перегрузками

к промежуточному рычагу 18 присоединена пружина 30 и установлен корректор 31. Наибольшее угловое расхождение рычагов 18 и 24 ограничивается болтом 32, закрепленным на основном рычаге 24 [12–16].

При пусковых частотах вращения вала дизеля центробежная сила вращающихся грузов минимальна, поэтому усилие полностью растянутой пружины регулятора 25 переводит основной рычаг регулятора 24 до соприкосновения с плоскостью головки винта номинальной подачи 29, а усилие пружины 30 обогатителя устанавливает промежуточный рычаг 18 и рейку насоса в положение максимальной подачи. В этом случае запорный орган 8 РГ закрыт под действием пружины 12 [17–19]. Далее, при увеличении частоты вращения вала центробежной силы грузов 22 становится достаточно для преодоления усилия пружины 30 обогатителя, пружины корректора 31 и пружины 12. Промежуточный рычаг 18 прижимается к основному рычагу 24 регулятора. Увеличение нагрузки вызывает снижение частоты вращения коленчатого вала дизеля и кулачкового вала насоса, центробежная сила вращающихся грузов снижается, перемещая промежуточный рычаг 18 регулятора влево. При этом запорный орган 8 РГ под действием пружины 12 уменьшает подачу РГ на величину смещения рычага 18 [20, 21].

Таким образом, происходит эффективное снижение содержания оксидов азота ОГ газов, за счет использования РОГ в оптимальном диапазоне режимов работы дизеля.

Литература:

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на оксиды азота при сгорании в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 151–154.
8. 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.
9. 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.
10. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11. с. 235–238.
11. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.

12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. Скрыбин, 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.
18. Скрыбин, 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.
19. Скрыбин, 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.
20. Скрыбин, 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.
21. Лопатин, О. П. Улучшение экологических показателей тракторного дизеля путем применения природного газа и рециркуляции // В сборнике: Сборник научных трудов по материалам Восемнадцатой международной научно-практической конференции «Инновационные направления развития АПК и повышение конкурентоспособности предприятий, отраслей и комплексов — вклад молодых ученых» ФГБОУ ВПО «Ярославская ГСХА». Ярославль, 2015. с. 30–34.

Статистическая модель для уточнения расчета скоростей реакций образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом

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

Теория дает принципиальную возможность уточнить предэкспоненциальный множитель и, следовательно, абсолютную скорость химических реакций образования оксидов азота [1–5].

При элементарном акте химического превращения независимо от того, является ли он энергетически выгодным или нет при тесном сближении частиц между ними, как правило, возникают силы отталкивания, для преодоления которых требуется определенная энергия. Для превращения должен быть преодолен потенциальный барьер. На рис. 1 схематично представлена потенциальная энергия системы четырех атомов N, OH, NO, H на примере реакции, участвующей в процессе образования оксидов азота в цилиндре дизеля с турбонаддувом $N + OH \rightarrow NO + H$, в зависимости от «координаты разложения»,

характеризующей взаимную пространственную конфигурацию атомов [6–9].

Потенциальная энергия системы атомов, участвующих в элементарном акте реакции, зависит от их взаимной конфигурации. Поскольку изменение координат атомов происходит достаточно медленно, электронное состояние системы меняется непрерывным образом, и потенциальная энергия зависит только от ядерных координат. Потенциальная энергия представляет собой непрерывную поверхность в конфигурационном пространстве, которая при начальной и конечной конфигурациях атомов минимальна [10–15].

Для того чтобы произошла реакция, точка, описывающая движение системы в конфигурационном пространстве, должна пройти через максимум, разделяющий ми-

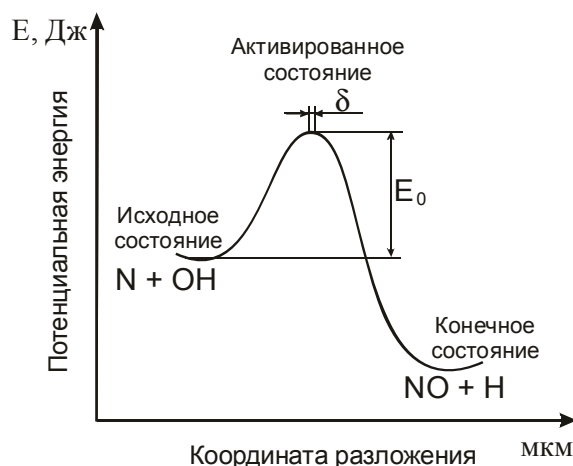


Рис. 1. Потенциальный барьер химической реакции, соответствующей активированному состоянию

нимумы на поверхности, преодолеть потенциальный барьер. При этом фактически осуществляется наиболее выгодный путь реакции, соответствующий наименьшему значению максимума энергии; поверхность энергии около этого пути имеет характер «ложбины». Рис. 1 схематически изображает сечение поверхности энергии вдоль «дна ложбины», причем путь реакции и соответствует координате разложения [16–18].

Вершина потенциального барьера отвечает весьма тесному сближению реагирующих частиц. В окрестности ее, в области с линейными размерами δ порядка молекулярных, атомы образуют активированный комплекс. Однако принципиальное отличие активированного комплекса от молекулы состоит в том, что молекула находится в устойчивом состоянии с минимумом потенциальной энергии; комплекс же находится в состоянии неустойчивого равновесия с максимумом потенциальной энергии как функции координаты разложения. Время жизни комплекса очень мало по сравнению с характерным вре-

менем реакции. Это служит основанием для основного допущения теории, которая предполагает, что комплексы, рассматриваемые как некие молекулы, которые обладают в основном обычными термодинамическими свойствами, находятся в химическом равновесии с реагентами, и концентрация комплексов «следит» за изменением концентраций реагентов.

Комплекс устойчив, как и обычная молекула, по отношению ко всем изменениям конфигурации атомов, за исключением направления вдоль пути реакции. Поэтому если активированный комплекс считать нормальной молекулой, у которой степень свободы, соответствующую координате разложения, можно заменить жесткой связью, то принимая активированные комплексы за нормальные молекулы, можно рассматривать константу равновесия между активированным и начальным состояниями, что, в свою очередь, позволяет уточнить константу скорости химических реакций образования оксидов азота в цилиндре газодизеля [19–21].

Литература:

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.

7. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на оксиды азота при сгорании в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 151–154.
8. 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.
9. 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.
10. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11. с. 235–238.
11. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. Лопатин, О. П. Улучшение экологических показателей тракторного дизеля путем применения природного газа и рециркуляции // В сборнике: Сборник научных трудов по материалам Восемнадцатой международной научно-практической конференции «Инновационные направления развития АПК и повышение конкурентоспособности предприятий, отраслей и комплексов — вклад молодых ученых» ФГБОУ ВПО «Ярославская ГСХА». Ярославль, 2015. с. 30–34.

Исследование содержания оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом в зависимости от изменения нагрузки при УОВТ 11 градусов

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

В Вятской государственной сельскохозяйственной академии на базе кафедры тепловых двигателей, автомобилей и тракторов проведены исследования газодизеля с турбонаддувом с целью снижения содержания оксидов азота в ОГ [1–4].

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

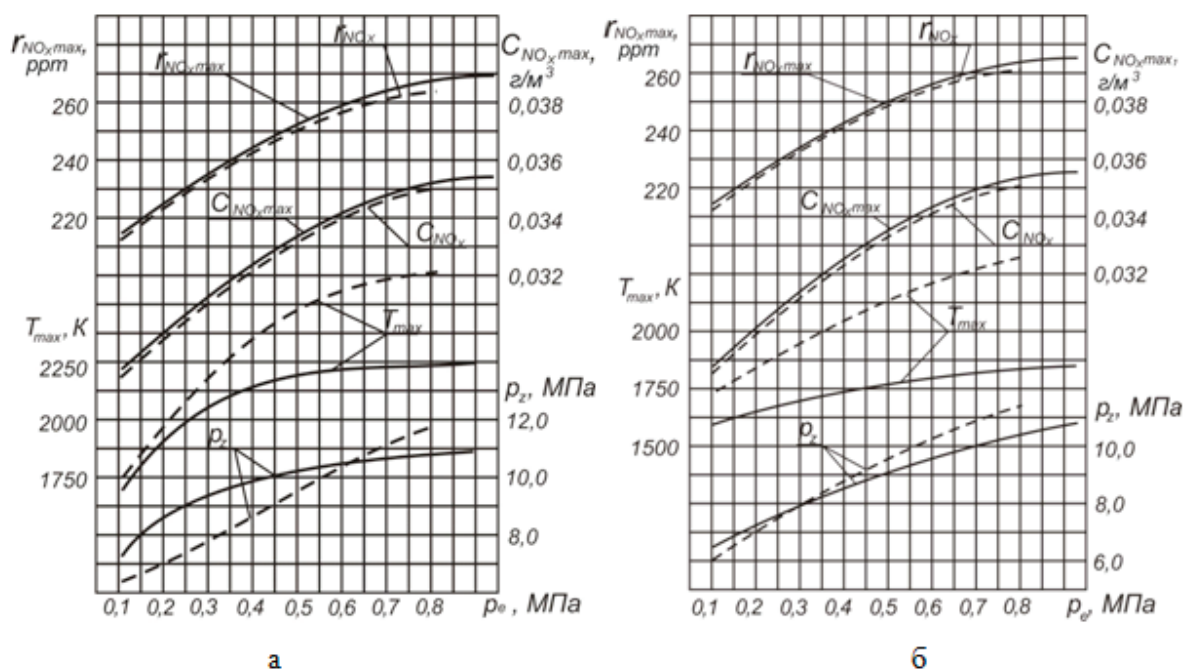


Рис. 1. Влияние применения природного газа на показатели процесса сгорания, объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в цилиндре дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки при $\Theta_{впр} = 11^\circ$: а — $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$; б — $n = 1900 \text{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

(УОВТ) 11 градусов и частоты вращения 2400 мин^{-1} представлены на рис. 1, а [5–7].

Из графиков видно, что с увеличением нагрузки при работе по дизельному и газодизельному процессам возрастают объемное содержание и массовая концентрация оксидов азота, максимальные давление газов и температура в цилиндре двигателя [8–11].

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 $p_e = 0,84 \text{ МПа}$ значения объемного содержания и массовой концентрации составляют 257 ppm и $0,0345 \text{ г/м}^3$, соответственно, что ниже на 3% дизельного процесса [12–15].

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 частоты вращения 1900 мин^{-1} и установочного УОВТ 11 градусов представлены на рис. 1, б.

Из графиков видно, что характер протекания кривых при частоте вращения, соответствующей максимальному крутящему моменту, повторяет номинальный режим. Точно также с увеличением нагрузки при работе по дизельному и газодизельному процессам также возрастают объемное содержание и массовая концентрация оксидов азота, максимальные давление газов и температура в цилиндре двигателя [16–19]. 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 263 ppm и $0,0350 \text{ г/м}^3$, соответственно, что ниже на 2% дизельного процесса [20, 21].

Литература:

1. 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.
2. 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.
3. 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.

4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на оксиды азота при сгорании в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 151–154.
8. 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.
9. 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.
10. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11. с. 235–238.
11. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. Лопатин, О. П. Улучшение экологических показателей тракторного дизеля путем применения природного газа и рециркуляции // В сборнике: Сборник научных трудов по материалам Восемнадцатой международной научно-практической конференции «Инновационные направления развития АПК и повышение конкурентоспособности предприятий, отраслей и комплексов — вклад молодых ученых» ФГБОУ ВПО «Ярославская ГСХА». Ярославль, 2015. с. 30–34.

Снижение содержания оксидов азота в ОГ дизеля путем применения рециркуляции отработавших газов

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

Необходимый эффект от рециркуляции отработавших газов (РОГ) достигается благодаря повышению теплоемкости смеси ОГ и воздушного заряда, что приводит к снижению максимальных температур; уменьшению концентрации кислорода в смеси, что обуславливает снижение скорости окисления азота (рис. 1) [1–5].

Изменение концентрации кислорода в смеси и теплоемкости смеси возможно различными методами: организацией внутренней рециркуляции (увеличение перекрытия впускных и выпускных клапанов); увеличения коэффициента остаточных газов (снижение степени сжатия); традиционной рециркуляцией, обогащением воздушного заряда азотом.

Для дизелей с турбонадувом возможно применение двух различных схем системы рециркуляции: с отбором ОГ после турбины и подводом рециркулируемых газов во

впускной коллектор перед компрессором; с отбором ОГ перед турбиной и подводом во впускной коллектор после компрессора [6, 7]. В последнем случае подвод рециркулируемых газов возможен либо перед охладителем наддувочного воздуха, либо после него. При этом отводимые из выпускного коллектора ОГ могут пропускаться через противосажевый фильтр. Преимущество первой схемы по сравнению со схемой отбора рециркулируемых газов перед турбиной заключается в более низкой (на 100...150°C при полной нагрузке) температуре рециркулируемых газов (значение которой может достигать 700...750°C при полной нагрузке), что приведет к меньшему подогреву воздушного заряда. Применение противосажевого фильтра при этом желательно, так как снижается загрязнение частицами сажи воздушного заряда, элементов впускного тракта (кол-

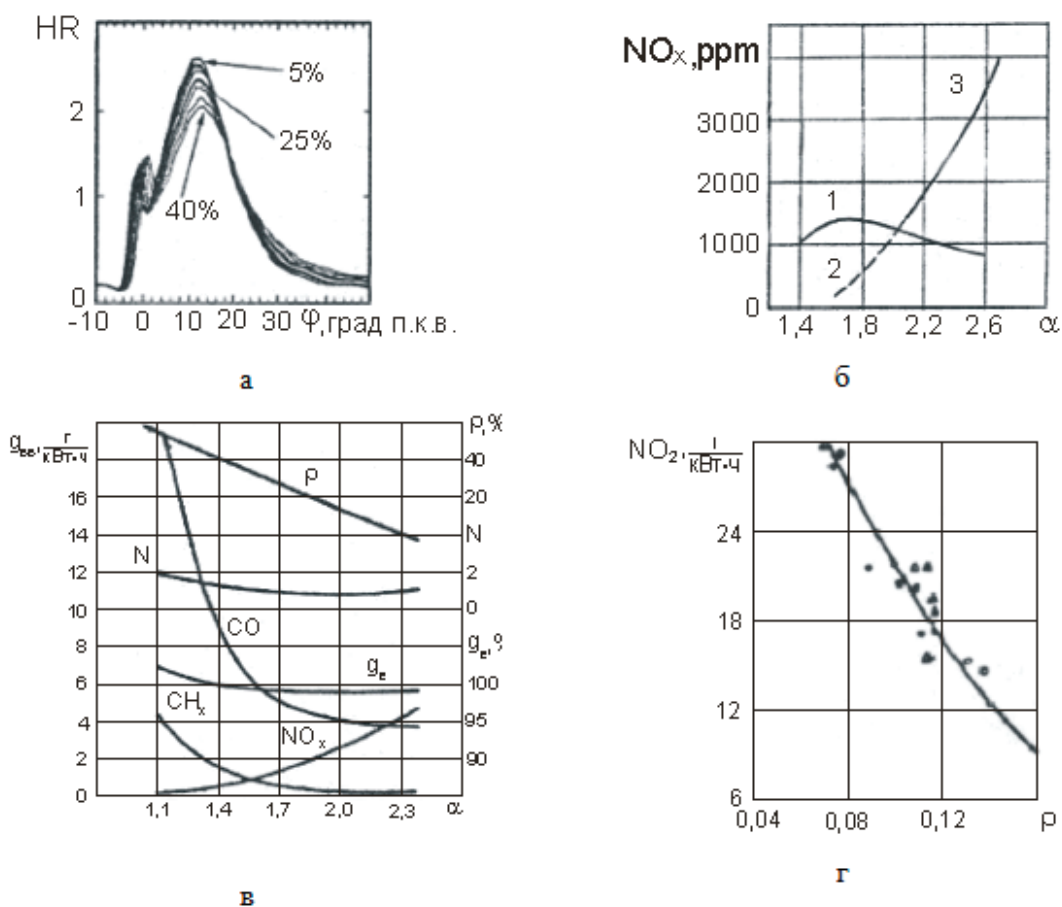


Рис. 1. Способы организации рециркуляции ОГ и ее влияния на показатели рабочего процесса и дизеля: а — на скорость тепловыделения HR в камере сгорания; б — на изменение оксида азота в ОГ в случае обогащения воздушного заряда кислородом (3) или азотом (2), 1 — исходный уровень эмиссии оксидов азота; в — на экономические и экологические показатели дизелей; г — на содержание диоксида азота в зависимости от степени рециркуляции

лктор, каналы головки, клапаны и особенно охладитель наддувочного воздуха), а также масла, в которое частицы могут попадать через камеру сгорания. Подвод рециркулируемых газов перед компрессором позволяет дополнительно их охладить за счет перемешивания со свежим воздухом, что особенно важно для двигателя с турбонаддувом, где температура воздушного заряда после компрессора может достигать 110...170°C [8–11].

Реальный коэффициент рециркуляции находится на уровне $\rho = 0,08...0,12$. Увеличение замещения воздушного заряда рециркулируемыми газами свыше указанного уровня приводит к росту эмиссии продуктов неполного сгорания и дымности ОГ, падению мощности и ухудшению топливной экономичности [12–15].

Еще один момент следует отразить в случае применения системы РОГ. Традиционно перепуск ОГ осуществляют

при нагрузках не более 75% от полных по внешней скоростной характеристике. Причина — в резком увеличении выброса продуктов неполного сгорания не более высоких нагрузках, поскольку коэффициент избытка воздуха и без применения рециркуляции не высок. Однако здесь следует обратить внимание на методику подсчета выбросов вредных веществ с ОГ. Согласно Правилам ЕЭК ООН 249–02, наибольшие значения коэффициента весоности режимов именно на номинальном режиме и режиме максимального крутящего момента: 0,25 и 0,1 соответственно. В итоге, долевой вклад этих двух режимов в значение удельного выброса вредных веществ может достигать 65...75% для оксидов азота, 70...75% для оксида углерода и около 50% для углеводородов. Таким образом, даже небольшое влияние на содержание вредных веществ в ОГ на первых двух режимах может при расчете дать основной вклад [16–20].

Литература:

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на оксиды азота при сгорании в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 151–154.
8. 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.
9. 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.
10. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11. с. 235–238.
11. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.

16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. 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.
20. 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.

Особенности обследования станков-качалок без вывода из эксплуатации

Лосев Дмитрий Анатольевич, эксперт;

Миронов Александр Павлович, эксперт;

Садилев Александр Иванович, эксперт;

Хмелев Сергей Васильевич, главный инженер

Филиал «ДиагностикаПромСервис» 000 «Центр Технического Сервиса» (Пермский край)

В статье рассматривается порядок и особенности обследования, без вывода из процесса эксплуатации, станков-качалок различного типа, конструкций, способа уравнивания.

Ключевые слова: *техническое диагностирование, станки-качалки, экспертиза промышленной безопасности, неразрушающий контроль.*

The article discusses the procedure and especially the survey, without prompting from the process of operation, pumping units of various types, structures, methods of balancing.

Keywords: *technical diagnostics, pumping units, examination of industrial safety, non-destructive testing.*

Станок-качалка — это индивидуальный балансирный механический привод глубинного штангового скважинного насоса, применяемого для добычи воды и нефти из недр.

Название «станок-качалка» соответствует ГОСТ 5866–76 «Станки-качалки Технические условия» [1], на данный момент термин заменен на «привод штангового скважинного насоса», согласно ГОСТ Р 51763–2001 «Приводы Штанговых Скважинных Насосов» [2].

Для удобства изложения информации в данной статье мы будем применять термин «станок-качалка».

В современных условиях, когда значительная, (более 85%) часть станков-качалок отечественного и импортного производства отработала нормативный срок службы, актуальность надежной эксплуатации данного вида оборудования чрезвычайно высока.

Месторождения нефти расположены на площадях большой протяженности, чаще всего вдали от крупных населенных пунктов, часто в очень труднодоступных местах. Процесс добычи является единым сложным технологическим процессом, зависящим от количества нефти непосредственно извлекаемым из рабочих скважин. Исключение или простой даже одного станка-качалки влечет ощутимые экономические потери.

Этим обусловлено все более растущая потребность в применении технического диагностирования станка-качалки без вывода его из процесса эксплуатации.

Согласно существующим требованиям Федерального закона «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» № 116-ФЗ от 21.07.1997г [3] и приказа Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 14 ноября 2013 г. № 538 «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности» [4] станки-качалки проходят процедуру экспертизы промышленной безопасности, с целью определения возможности продления срока безопасной эксплуатации.

В процессе проведения экспертизы промышленной безопасности станка-качалки экспертам часто приходится сталкиваться с различными проблемами.

Анализ документации.

Документация на местах эксплуатации станков-качалок (Цех Добычи Нефти и Газа или опорные пункты бригады добычи нефти), часто находится в неудовлетворительном состоянии.

Формуляры не полностью или неправильно заполнены.

Отсутствует документация, необходимая для разработки программы технического диагностирования станка-качалки, проведения экспертизы промышленной безопасности: паспорта завода-изготовителя, акты ремонтов и реконструкций, паспорта заводов-изготовителей дополнительного оборудования или основных узлов, дефектные ведомости, акты контроля технического состояния и технического диагностирования, заключения экспертизы промышленной безопасности.

Это значительно затрудняет: определение необходимого объема неразрушающего контроля, анализ прошедшего и текущего технического состояния станка-качалки, определения мест концентрации напряжений и узлов которые необходимо подвергнуть более тщательному контролю, расчет остаточного ресурса оборудования;

Комплексное техническое диагностирование.

В некоторых случаях неразрушающий контроль затруднен отсутствием должной полной подготовки к проведению технического диагностирования:

- некомплектность станка-качалки — отсутствуют один или несколько узлов;
- загрязненность нефтепродуктами;
- сильная коррозия основного металла и сварных швов;
- изменение конструкции узлов станка-качалки;
- несовпадение действительной марки станка-качалки с указанной в эксплуатационной документации;
- аварийное состояние станка-качалки;
- необходимостью совместной работы с другими организациями (проведение на соседних скважинах текущего или капитального ремонта скважин).

Техническое диагностирование является основным этапом для оценки текущего технического состояния станка-качалки, с целью определения текущего технического состояния, для последующего анализа и проведения экспертизы промышленной безопасности.

В процессе эксплуатации на элементы конструкции станка-качалки воздействуют: негативные факторы окружающей среды (низкие температуры, снег, дождь, ветер), некачественный монтаж, дефекты крепления составных частей металлоконструкций, удары зубчатой передачи в неисправных редукторах и удары штока об отложения в скважинном оборудовании, многократные циклические знакопеременные нагрузки, которые приводят к постепенной деградации прочностных характеристик материала, накоплению усталостных повреждений и появлению развивающихся макроскопических трещин, в наиболее нагруженных зонах металлоконструкций.

Исходя из многолетнего опыта нашей организации в обследовании станков-качалок, наиболее часто дефекты появляются в следующих узлах:

- поворотная головка балансира;
- втулка поворотной головки балансира;
- сварные швы шатунов;
- пальцы кривошипов;
- подвесной подшипник траверсы;

– рама.

Все вышеперечисленные, кроме рамы, части станка-качалки являются труднодоступными для осмотра и проведения неразрушающего контроля. и требуют: установки монтажных лесов и лестниц или применения специальных приспособлений для работы на высоте, производства работ в ограниченном пространстве, установки дополнительного (кроме естественного) освещения, различных дополнительных мероприятий, не предусмотренных в основном объеме обследования оборудования.

Опыт нашей организации показал эффективность проведения комплексного обследования с применением нескольких различных видов неразрушающего контроля:

Основные виды неразрушающего контроля:

- Метода магнитной памяти металла;
- Ультразвуковой толщинометрии;
- Визуально-измерительного контроля;
- Визуального осмотра в динамическом режиме.

Дополнительные виды неразрушающего контроля, используемые в случае обнаружения признаков дефектов или для оценки обнаруженных дефектов:

- Ультразвуковая дефектоскопия;
- Проникающими веществами;
- Вибрационной диагностики.

Комплексное техническое диагностирование позволяет эффективно и с большой степенью точности произвести обследование станка-качалки без вывода его из процесса эксплуатации, с небольшим периодом остановки, без демонтажа, разборки несущих конструкций и динамических агрегатов (редуктора и электродвигателя), с минимальным количеством мест удаления лакокрасочного покрытия для замеров толщины.

Оценка остаточного ресурса станка-качалки.

Основной трудностью в формировании итогового заключения о техническом состоянии и возможности продления срока безопасной эксплуатации станка-качалки является:

– определение технического состояния и остаточного ресурса отдельных узлов станка-качалки. Это обусловлено тем, что: в процессе эксплуатации станки-качалки подвергаться перемещению с одной скважины на другую, использование редукторов и электродвигателей бывших в употреблении или прошедших некачественный ремонт, отсутствию правильно заполненной эксплуатационной и ремонтной документации на отдельные узлы и станок-качалку в целом.

– наличие вероятности появления под действием внешних факторов, трещин в сварных швах и основном металле нагруженных узлов непосредственно через малый промежуток времени после проведения неразрушающего контроля.

– полное отсутствие нормативной документации (руководящие документы, правила безопасности, федеральные законы), однозначно регламентирующих оценку результатов анализа технической документации, неразрушающего контроля, норм расчета остаточного ресурса. Существующая нормативная база лишь определяет требования к изготовлению и эксплуатации станков-качалок [5–9].

Согласно вышесказанному следует вывод, что существующие методики требуют: наличия правильно заполненной эксплуатационной документации, большой базы данных результатов неразрушающего контроля, стати-

стики отказов аналогичного оборудования, постоянной актуализации и являются способом определения, с определенной долей вероятности и ошибки остаточного ресурса станка-качалки.

Литература:

1. ГОСТ 5866–76 «Станки-качалки Технические условия».
2. ГОСТ Р 51763–2001 «Приводы Штанговых Скважинных Насосов».
3. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» № 116-ФЗ от 21.07.1997 г.
4. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 14 ноября 2013 г. N 538 «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности», с изменениями Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 3 июля 2015 г. N 266 «О внесении изменений в федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности».
5. ГОСТ 12.2.136–98 ССБТ «Оборудование штангонасосное наземное. Требования безопасности».
6. ГОСТ Р 51365–99 «Оборудование нефтепромысловое добычное устьевое. Общие технические условия».
7. Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности Приказ Ростехнадзора от 12 марта 2013 г. N 101.
8. ТР ТС-010–2011 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности машин и оборудования».
9. Свод правил СП 70.13330.2012 «СНиП 3.03.01–87. Несущие и ограждающие конструкции» приказом Федерального агентства по строительству и жилищно-коммунальному хозяйству от 25 декабря 2012 г. N 109/ГС.

Проведение оперативного неразрушающего контроля устьевого арматуры

Лосев Дмитрий Анатольевич, эксперт;

Миронов Александр Павлович, эксперт;

Садилов Александр Иванович, эксперт;

Хмелев Сергей Васильевич, главный инженер

Филиал «ДиагностикаПромСервис» ООО «Центр Технического Сервиса» (Пермский край)

В статье рассматривается преимущество проведения оперативного неразрушающего контроля устьевого арматуры на нефтяных и газовых месторождениях, в условиях непрерывной эксплуатации.

Ключевые слова: устьевая арматура, неразрушающий контроль, эксплуатация, методы неразрушающего контроля, оперативность данных контроля, дефекты оборудования, капитальный ремонт.

This paper discusses the advantages of operational non-destructive testing wellhead in the oil and gas fields, in a continuous operation.

Keywords: *wellhead fittings, non-destructive testing, operation, methods of non-destructive testing, real-time data monitoring, defects in equipment overhaul.*

В настоящее время все более проявляется потребность промышленных предприятий, занимающихся добычей нефти и газа в оперативном определении состояния эксплуатируемого нефтепромыслового оборудования (технических устройств).

Это обусловлено:

- необходимостью планирования ежегодных или долгосрочных финансовых мероприятий на обслуживание, ремонт, замену эксплуатируемого оборудования;

- воздействием окружающей среды;

- высокими эксплуатационными нагрузками;
- агрессивными физическими и химическими свойствами нефти, газа, закачиваемой жидкости;
- большим количеством скважин и значительной протяженностью крупных нефтегазовых месторождений;
- требованиями: охраны окружающей среды, пожарной и промышленной безопасности;
- исключением незапланированных простоев скважин, для обеспечения выполнения годового плана добычи нефти и газа;

– проведением внутреннего контроля, с целью проверки работы подрядных организаций и функционирования системы менеджмента качества предприятия;

– требованиям Федерального закона «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» № 116-ФЗ от 21.07.1997г [1] и приказа Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 14 ноября 2013 г. N 538 «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности» [2–7].

Одним из видов нефтепромыслового оборудования является устьевая арматура.

Устьевая арматура — это техническое устройство, установленное на устье нефтяной, газовой, водяной или иного типа скважины и, обеспечивающее управление потоком скважинной среды в скважинном трубопроводе или трубопроводах и затрубном пространстве, а также обвязывание скважинного трубопровода или трубопроводов.

Требования к конструкции и устройству устьевого оборудования изложены в ГОСТ 13846–89 «Арматура фонтанная и нагнетательная. Типовые схемы, основные параметры и технические требования к конструкции» [3], ГОСТ 28996–91 «Оборудование нефтепромысловое устьевое. Термины и определения» [4], ГОСТ Р 51365–2009, ИСО 10423–2003 «Нефтяная и газовая промышленность. Оборудование для бурения и добычи. Оборудование устья скважины и фонтанное устьевое оборудование. Общие технические требования» [5], Федеральных нормах и правилах в области промышленной безопасности «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности» от 12 марта 2013 г. Приказ Ростехнадзора N 101 [6], а также в технических условиях, стандартах предприятий заводов-изготовителей.

Устьевая арматура скважин, подлежит техническому диагностированию (обследованию) и экспертизе промышленной безопасности в следующих случаях:

– по истечении срока службы или при превышении количества циклов нагрузки технического устройства, установленных его производителем;

– при отсутствии в технической документации данных о сроке службы технического устройства, если фактический срок его службы превышает двадцать лет;

– после проведения работ, связанных с изменением конструкции, заменой материала несущих элементов технического устройства, либо восстановительного ремонта после аварии или инцидента на опасном производственном объекте, в результате которых было повреждено техническое устройство;

– если при проведении технического освидетельствования были выявлены дефекты, причины и последствия которых затруднительно установить;

– при проведении эксплуатирующей организацией или организации-владельца, мероприятий (технического диагностирования) по периодическому контролю технического состояния оборудования.

Работы по техническому диагностированию выполняются специализированной организацией, аттестованной в установленном порядке на проведение неразрушающего контроля опасных производственных объектов [7].

Экспертиза промышленной безопасности проводится специализированной организацией, имеющей лицензию органов Ростехнадзора [8].

Последовательность действий и операций следующая:

Владелец оборудования определяет техническое задание и выбирает подрядчика для проведения работ.

В техническом задании, согласно требований нормативной документации и внутренних нормативных документов предприятия нормируются:

– виды неразрушающего контроля;

– объемы операций по неразрушающему контролю;

– способы оформления оперативных данных обследования;

– вид итогового оформления данных обследования;

– способы взаимодействия специалистов, проводящих неразрушающий контроль и служб (подразделений) предприятия ответственных за эксплуатацию устьевого оборудования.

Применение неразрушающего контроля для определения текущего технического состояния или образования пакета данных при проведении экспертизы промышленной безопасности может быть реализовано несколькими способами:

1. Вывод устьевого оборудования из эксплуатации для обследования.

Скважину, где установлено устьевое оборудование (техническое устройство) полностью останавливают, прекращая процесс добычи, герметизируют закачкой специальных растворов.

После проведения необходимых операций для обеспечения промышленной и экологической безопасности, устьевая арматура демонтируется с устья скважины, подготавливается к контролю (очистка от следов скважинной среды, лакокрасочного покрытия), транспортируется на базу (в цех) производственного обслуживания и ремонта, где подвергается полной разборке на составные части и проходит этапы неразрушающего контроля методами, определенными нормативной документацией и внутренними регламентами владельца оборудования.

Для снижения затрат, чаще всего это выполняется при проведении подземного капитального или текущего ремонта скважин, согласно годового графика, утвержденного главным инженером нефтегазодобывающего предприятия..

Подобный подход требует значительных транспортных расходов, наличие обменного фонда устьевого оборудования, наличие складских площадей, собственных цехов по ремонту оборудования или предприятий—подрядчиков по ремонту оборудования, развитых и правильно взаимодействующих между собой логистической сети и диспетчерской службы.

В современных условиях стремления организаций по снижению затрат, увеличению эффективности производимых работ и получения своевременной оперативной информации, этот вид работ признается все менее востребованным.

2. Вторым способом заключается в проведении неразрушающего контроля устьевого арматуры в условиях эксплуатации, без демонтажа с места установки.

Группа специалистов организации, получает техническое задание, и проводит обследование непосредственно на месте установки устьевого арматуры.

В этом случае процесс останова скважины и вывод её из рабочего процесса минимален, и может совпадать с плановыми процессами по ежемесячному техническому обслуживанию или плановыми режимными остановами оборудования.

Техническое диагностирование проводится одним или несколькими видами неразрушающего контроля, в зависимости от формулировки технического задания.

Для проведения периодического контроля технического состояния достаточно одного или двух методов, измеряющих и фиксирующих от трех до пяти параметров.

Например: визуально-измерительный контроль и ультразвуковой толщинометрии;

Для полного технического диагностирования используют от трех до пяти видов неразрушающего контроля, измеряющих и фиксирующих от трех до двадцати пяти параметров, необходимых для: получения наиболее полных и точных данных о техническом состоянии, исключения недостатков присущих только одному методу, уточнения величины и параметров обнаруженных дефектов, оценки потенциально опасных мест зарождения дефектов.

Полное техническое диагностирование позволяет получить комплексные взаимосвязанные между собой данные о текущем состоянии элементов и устьевого ар-

матуры в целом, что необходимо при проведении экспертизы промышленной безопасности и расчета остаточного ресурса оборудования.

При выборе варианта обследования устьевого арматуры без вывода из процесса эксплуатации владелец оборудования получает значительную экономию времени и финансов, увеличение объемов контролируемого оборудования в единицу времени, оперативные данные, на основании которых могут своевременно быть приняты решения:

- о дальнейшей эксплуатации устьевого арматуры;
- о ремонте или замены устьевого арматуры;
- предотвращение возможного отказа или аварии, в следствии своевременного обнаружения неисправности или дефекта;
- изменении режима работы устьевого арматуры и скважины;
- корректировки проведения текущего или капитального ремонта устьевого арматуры;
- оценки качества проведения сервисных услуг по плановому техническому обслуживанию фонда оборудования.

В последние десятилетия наукой и техникой, достигнуты значительные достижения, которые позволяют оперативно и точно производить неразрушающий контроль. Анализировать, моделировать, обрабатывать, оформлять и доставлять данные полученные при обследовании оборудования. Приборы стали обладать малыми габаритами и весом, что делает возможным малым количеством персонала проводить работы в труднодоступных областях (тундра, пустыни, болото, океан) или применять множество методов для определения текущего технического состояния.

Этими причинами обусловлен рост заинтересованности предприятий в проведении оперативного обследования устьевого арматуры. Без вывода из эксплуатации.

Литература:

1. Закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» № 116-ФЗ от 21.07.1997 г.
2. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 14 ноября 2013 г. N 538 «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности», с изменениями Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 3 июля 2015 г. N 266 «О внесении изменений в федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности».
3. ГОСТ 13846–89 «Арматура фонтанная и нагнетательная. Типовые схемы, основные параметры и технические требования к конструкции».
4. ГОСТ 28996–91 «Оборудование нефтепромысловое устьевое. Термины и определения».
5. ГОСТ Р 51365–2009, ИСО 10423–2003 «Нефтяная и газовая промышленность. Оборудование для бурения и добычи. Оборудование устья скважины и фонтанное устьевое оборудование. Общие технические требования».
6. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности» от 12 марта 2013г, приказ Ростехнадзора N 101.
7. ПБ 03–372–00 Правила аттестации и основных требований к лабораториям неразрушающего контроля» от 02.06.2000.
8. Постановлением Правительства РФ от 04.07.2012 № 682 «О лицензировании деятельности по проведению экспертизы промышленной безопасности».

Адаптивный обучающий комплекс для тренинга операторов горных машин и транспортно-технологических комплексов

Махмудова Светлана Нуриддиновна, магистрант;

Сичная Мария Александровна, магистрант;

Абдрахманов Азат Ахтямович, студент;

Сафин Георгий Григорьевич, студент;

Великанов Владимир Семенович, кандидат технических наук, доцент

Магнитогорский государственный технический университет имени Г. И. Носова (Челябинская обл.)

Введение

В последнее время растет популярность обучающих систем — программ, поддерживающее обучаемых при выполнении различных задач. Во время обучения программа дает адекватное представление изучаемого объекта, согласованное со структурой предметной области, и интерактивное взаимодействие с ней пользователя. Такие системы контролируют действия обучаемого и используют полученную информацию от пользователя для предоставления своевременной помощи, также позволяют сформировать навыки управления с оборудованием на производстве. Программа выводит на дисплей модель инструмента (оборудования) или интерфейс программного продукта, благодаря чему обучаемый выбирает приемлемую для каждой ситуации последовательность операций.

Применение мультимедийных технологий в учебном процессе повысит качество знаний и умений, а также способствует развитию навыков операторов. Необходимо также отметить, что использование современного учебного программного обеспечения направлено на формирование требуемых компетенций, что соответствует положениям федерального государственного образовательного стандарта третьего поколения (ФГОС). [1]

Компьютерные обучающие системы заимели свою популярность благодаря их способности реализовать принципиально новый и эффективный метод обмена информацией.

Традиционные способы в несколько раз уступают компьютерным обучающим системам в возможности исследования и запоминания информации. Эти качества имеют большое значение при обучении и повышении квалификации персонала.

Для выполнения данных качеств компьютерная обучающая система должна соответствовать следующим параметрам: наглядность; информативности; многофункциональности.

Эффективность обучаемой системы зависит от следующих факторов обучающихся: формирование и совершенствование навыков, развитие творческих способностей, профессиональная интуиция, сколько запоминает и т.д.

Компьютерные обучающие системы обладают большим преимуществом в плане запоминания информации, высокий уровень соответствия (подобия) синтезируемого изображения оригиналу; возможность многопользовательского доступа; схожестью имитируемой модели с реальным объектом и соответствие выполняемых операций с требованиям ГОСТ и другим нормативным документам. [2]

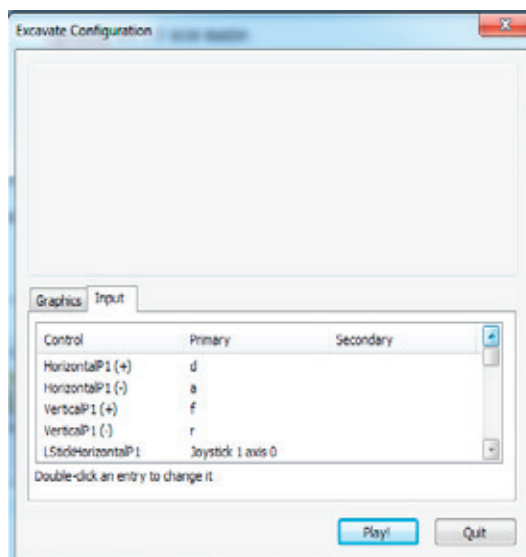


Рис. 1. Закладка «Input»

Для разработки программного продукта был выбран игровой движок Unity.

Unity—является кроссплатформенным движком для создания 2D и 3D приложений, запустить его можно под различными современными операционными системами. [3]

Руководство пользователя по работе с программным продуктом

В рамках магистерской диссертации разработана компьютерная обучающая система, позволяющая отработать навыки оператора карьерного экскаватора.

При запуске обучающей системы пользователь видит 2 вкладки: «Graphics» и «Input». В закладке «Input» (рис.1) находится описание всех клавиш клавиатуры ПК, благодаря которым происходит управление рабочими процессами карьерного экскаватора. Подробное описание клавиш представлено в таблице 1.

Далее при нажатии на кнопку «Play!» происходит запуск системы.

В обучающей системе представлено 2 вида обзора рабочих процессов экскаватора: вид со стороны (рис. 2) и вид из кабины (рис. 3). Переход от вида к виду осуществляется нажатием клавиши «V».

Компьютерная обучающая система позволяет пользователю решать целевые задачи, т.к. все действия, отображаемые на ПК полностью соответствуют реальной работе карьерного экскаватора. Основной задачей данной системы является разработка сценариев действия пользователя. Таким образом, идёт подготовка к более сложному разделу, в котором машинисту предстоит выполнять реальные задачи, возможные на горных предприятиях, согласно одному из целевых сценариев: разработки горной массы и грунта, перемещение экскаватора в процессе работы, обеспечение технически правильной разработки забоя и эффективного исполь-

Таблица 1

Наименование	Описание
Стрелка ▲	Движение гусениц экскаватора вперед
Стрелка ▼	Движение гусениц экскаватора назад
Стрелка ►	Движение гусениц экскаватора вправо
Стрелка ◀	Движение гусениц экскаватора влево
Клавиша «A» (англ.)	Движение кабины экскаватора влево
Клавиша «D»	Движение кабины экскаватора вправо
Клавиша «W»	Движение стрелы экскаватора вверх
Клавиша «S»	Движение стрелы экскаватора вниз
Клавиша «R»	Движение рукояти стрелы «к себе»
Клавиша «F»	Движение рукояти стрелы «от себя»
Клавиша «Z»	Движение ковша стрелы вниз
Клавиша «X» (англ.)	Зачерпывание горной массы
Клавиша «V»	Изменение обзора
Клавиша «N»	Выбор времени суток: день/ночь
Удерживание правой кнопки мыши	Изменение положения камеры
Движение колесиком мыши	Zoom



Рис. 2. Вид со стороны

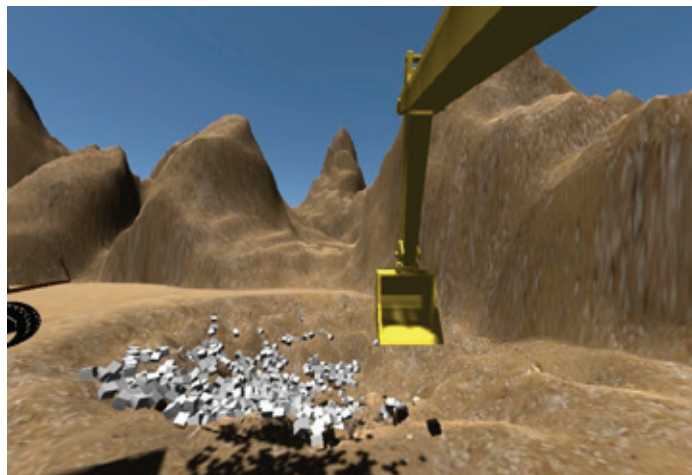


Рис. 3. Вид из кабины

зования экскаватора, погрузка горной породы в автотранспорт.

При работе в обучающей системе, логика программы предусматривает правильное выполнение сценария и учитывает критические и некритические ошибки. Критические ошибки — это перегрузка ковша. Некритические ошибки — недогрузка ковша.

Заключение

Благодаря универсальности материала и легкости в использовании, обучающие системы являются эффективным методом профессионального отбора специалистов. В дальнейшем, обучающие системы без труда можно внедрить на предприятия, для повышения квалификации сотрудников, что значительно сократит время периода обучения. При этом решается главная задача разработанных систем — определение способностей обучаемого по основным направлениям курса и повышение уровня подготовки специалистов.

Преимущества компьютерной обучающей системы при подготовке специалистов:

- компьютерные обучающие системы основного технологического оборудования и процессов горных предприятий могут быть достаточно простыми и недорогими;

- занятия на компьютерных обучающих системах благополучно вписываются в учебный процесс и эффективно сочетаются с теоретическим курсом, лабораторными работами и самостоятельной работой обучающихся;

- значительно улучшается качество обучения за счет наглядности обучения и имитации реальных технологических ситуаций и режимов;

- уменьшаются капитальные затраты на обучение.

Качественная обучающая система будет незаменима не только для периодического тренинга действующих операторов технологических процессов, но и при решении инженерных и технологических задач.

Кроме того, важнейшим достоинством компьютерной обучающей системы является тот фактор, что систему можно постоянно и оперативно совершенствовать в зависимости от требований заказчика.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что предприятия, использующие компьютерные обучающие системы, несомненно повысят свой рейтинг (конкурентоспособность) и получат экономический выигрыш за счет снижения экономических потерь, возникающих из-за ошибок оперативного технологического персонала.

Литература:

1. Яговкин, В. И. Разработки интерактивных тренажеров для освоения компетенций на основе предметной онтологии: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.13.06. — СПб., 2012. — 18 с.
2. Опыт проектирования и использования компьютерных имитационных тренажеров в тюмгнгу // pandia.ru: интернет-изд. URL: <http://pandia.org/text/77/238/43119-3.php> (дата обращения: 06.09.2015).
3. Unity (игровой движок) // Википедия. [2015–2015]. Дата обновления: 08.09.2015. URL: <http://ru.wikipedia.org/?oldid=73219722> (дата обращения: 08.09.2015).
4. Великанов, В. С., Шабанов А. А., Махмудова С. Н., Череднякова Е. В. Разработка тренажерно-обучающей системы подготовки операторов горных машин и транспортно-технологических комплексов. // Сборник научных трудов SWorld. — Выпуск 2. Том 11. — Одесса: КУПРИЕНКО, 2013. — ЦИТ: 213–377 — с. 73–85.
5. Осипова, В. А., Данькина Г. Б., Повышение эффективности обучения операторов технологических процессов на базе компьютерных тренажеров // Системы. Методы. Технологии. — 2011. — № 11. — с. 106–114.

Совершенствование процесса подготовки операторов горных машин посредством обучающей системы

Махмудова Светлана Нуриддиновна, магистрант;

Сичная Мария Александровна, магистрант;

Сафин Георгий Григорьевич, студент;

Абдрахманов Азат Ахтямович, студент;

Великанов Владимир Семенович, кандидат технических наук, доцент

Магнитогорский государственный технический университет имени Г. И. Носова (Челябинская обл.)

Деятельность оператора сложных систем управления связана с высокой напряженностью труда, что негативно отражается на качестве решаемых задач и может привести к ухудшению функционала работника. В любых технологических объектах, в том числе и в горнодобывающей промышленности, определяющим фактором надежности является безошибочное выполнение действий человеком. Чаще всего ошибки оператора проявляются в трех функциональных частях: мотивационной, ориентировочной и исполнительской. Наиболее действенным методом для снижения несчастных случаев и аварийности на горном производстве является профессиональный отбор кандидатов на операторские должности [1,2].

В настоящее время сформировался социальный заказ на разработку обучающих систем, которые позволяют управлять процессом формирования компетентности в той или иной предметной области. С их помощью возможна не только формальная передача знаний, но и прямой процесс получения практических навыков.

Предметная компетентность оператора, как правило, зависит от уровня подготовки и натренированности при выполнении определенных производственных задач. Тренированность в выполнении тех или иных умственных действий характеризует приобретенные оператором навыки.

На данный момент разработано множество обучающих компьютерных программ. Приведем некоторые из них:

1. Обучающая программа «Электробезопасность в электроустановках до 1000 В» — это мультимедиа программа для обучения и подготовки лиц, которые непосредственно отвечают за безопасность на электрохозяйстве предприятий и их структурных подразделений. В данном продукте детально рассматриваются: действие тока на организм; факторы, влияющие на тяжесть поражения; виды прикосновений в электроустановках; классификация условий работ по степени опасности поражения электрическим током; шаговое напряжение; средства защиты; электробезопасность вблизи контактной сети; первая помощь.

2. Обучающая программа «Безопасность технологических процессов выполнения работ составителями поездов и их помощниками при маневрах». Такая программа представляет интерес для предприятий, имеющих собственное вагонное хозяйство.

3. Компактный тренажер одноковшового гидравлического экскаватора. Возможности данного продукта: де-

тальное изучение кабины машиниста экскаватора, в частности органов управления и контрольно-измерительных приборов (КИП); тренировка и отработка навыков управления экскаватором в движении; формирование базы данных о результатах выполнения упражнений обучаемым и т.д.

4. Имитационный тренажер «ДСП/ДНЦ 5.3» — предназначен для обучения оперативного персонала хозяйства перевозок ОАО «РЖД» и студентов, обучающихся по специальности «Организация перевозок и управление на транспорте (железнодорожном)».

5. Мультимедийная обучающая система «Последствия чрезвычайных ситуаций». В программном комплексе представлены защитные меры пожарной, инженерной, медицинской безопасности при чрезвычайных ситуациях техногенного и природного характера.

6. Автоматизированная система обучения «АУК-Т-СОФТ». Предназначена для автоматизации большинства задач, решаемых в процессе организации и осуществления подготовки кадров на предприятиях. Данный тренажер создается для конкретной технологической установки.

7. Тренажерный комплекс по обучению операторов НПС, диспетчеров РДП и ремонтного персонала для подготовки сотрудников предприятий нефтегазодобычи.

8. Симулятор-тренажер экскаватора. Возможности: прямое управление процессами экскавации из кабины оператора.

9. МОС «Сталевар дуговой электросталеплавильной печи», МОС «Оператор МНЛЗ-2», МОС «Сталевар агрегата печь-ковш» — мультимедийная обучающая система для подготовки сталеваров. Состоит из 4 блоков.

В век современных технологий одним из важных вопросов является совершенствование деятельности операторов, отвечающих за управление технологическими процессами разной сложности. Для безопасного и эффективного выполнения производственных функций, при использовании сложного оборудования, персоналу необходимо на высоком уровне освоить соответствующие профессиональные навыки.

Сегодня проблема подготовки новых кадров для горных предприятий остается не решенной. Существует разрыв между производством и учебным процессом, т.к. студенты не получают достаточного количества практических занятий, включающих реальный производственный

цикл. Для обучения высококвалифицированного персонала целесообразней всего вести первоначальную подготовку в ВУЗе. В это время студенты должны получать, помимо фундаментальных знаний, так же основные навыки работы в штатных и аварийных режимах на горном производстве. Чтобы достичь наивысшего результата, необходимо использование промышленного оборудования. Благодаря внедрению современных технологий в учебный процесс, произошло освоение мультимедийных обучающих систем, с помощью которых можно достичь условий приближенных к горнозаводским. Данные мероприятия позволяют существенно повысить степень подготовленности персонала [3,4].

В процессе обучения, главной задачей является: подготовка машиниста экскаватора к адекватному восприятию информации и своевременному реагированию на процесс управления технической системой. Чтобы решить данную проблему, обучаемый должен, прежде всего, знать весь

цикл работы карьерного экскаватора и нормативную документацию. Для правильного и своевременного использования полученных знаний необходимо, чтобы у студентов были сформированы навыки и умения быстрого и безошибочного принятия решений в штатных и аварийных ситуациях управления технической системой. Достичь этого можно при использовании специальных мультимедийных обучающих систем и тренажеров, которые направлены на всестороннюю подготовку студентов [5].

В работе авторами реализован проект обучающей системы для совершенствования процесса подготовки операторов горных машин, который сможет: сформировать компетентности операторов, необходимые для решения стандартных задач, за счет выработки навыков выполнения типовых операций; стимулировать мотивацию познавательной деятельности; разрабатываться на основе достижений систем искусственного интеллекта в области машинного обучения.

Литература:

1. Сафин, Г.Г., Абдрахманов А.А., Великанов В.С. Определение показателей надежности системы «оператор-горная машина-среда» методом функциональных сетей // Инженерный вестник Дона, 2014, № 4 [Электронный ресурс]. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/84N4y14
2. Петухов, И.В. Методологические основы оценки профпригодности оператора эргатических систем // Современные проблемы науки и образования, 2013, № 2 [Электронный ресурс]. URL: science-education.ru/108-8581
3. Сафин, Г.Г., Абдрахманов А.А., Великанов В.С., Усов И.Г., Савельев В.И., Мацко Е.Ю. Групповая экспертная оценка деятельности операторов одним из методов теории принятия решений // Современные проблемы науки и образования, 2015, № 1 [Электронный ресурс]. URL: science-education.ru/121-18867
4. Абдрахманов, А.А., Великанов В.С., Усов И.Г., Сафин Г.Г. Оценка производственной деятельности операторов транспортно технологических машин по обобщенному критерию // Современные проблемы науки и образования, 2015, № 1 [Электронный ресурс]. URL: science-education.ru/125-r19845
5. Краснянский, М.Н., Карпушкин С.В., Дедов Д.Л. Системный подход к проектированию автоматизированной информационной системы обучения студентов и тренинга операторов химико-технологических систем // Вестник тамбовского государственного технического университета, 2009, № 4, том 15 [Электронный ресурс]. URL: vestnik.tstu.ru/rus/t_15/pdf/15_4_022.pdf

К вопросу о разрушении стальных труб большого диаметра при дефекте риска на внешней поверхности трубы

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

Предложен критерий упругопластического разрушения стальных труб большого диаметра при дефекте риска. Результаты исследования могут быть использованы при диагностике причин разрушения стальных труб большого диаметра магистральных газонефтепроводов.

Ключевые слова: стальные трубы большого диаметра, критическое давление разрыва трубы, дефект риска.

Производство труб большого диаметра по схеме ПКСОЕ. Новейшими технологиями производства прямшовных сварных труб большого диаметра 1020 мм,

1220 мм и 1420 мм из сталей класса прочностей К38–К65 и Х42–Х80, с толщиной стенки до 52 мм, длиной до 18 м и рабочим давлением до 22,15 МПа являются процессы

по схеме JCOE, разработанные немецкой фирмой SMS Meeg [1–49]. Технологии SMS Meeg используют российские трубные заводы — АО «Выксунский металлургический завод», ЗАО «Ижорский трубный завод» и ОАО «Челябинский трубопрокатный завод».

Производственные дефекты труб из стального листа. На отечественных нефтепроводах почти в два раза больше, чем в США и Европе, отказов из-за заводских дефектов и брака строительно-монтажных работ. Поэтому необходимо тщательно изучать причины известных случаев отказа трубопроводов из-за производственного брака.

Перед формовкой труб стальной лист правят на листопрямильных машинах [4, 5, 9–15]. Дефект образования гофра продольной кромки стального листа на кромкогибочном прессе изучался в работах [4, 5, 19–30], дефект несплавления сварного продольного шва при сборке

трубы — в [4, 5, 16], дефект остаточных напряжений стального листа после трубоформовочного прессы — в [4, 5, 32], дефект стального листа раскатной пригар — в [4, 5, 17].

Критерий упругопластического разрыва трубы при внутреннем давлении и дефекте риска. *Риска (царапина)* — дефект поверхности трубы в виде канавки без выступа кромок с закругленным или плоским дном, образовавшийся от царапания поверхности металла листа или трубы прокатной арматурой без изменения структуры и неметаллических включений. На рис. 1. показан продольный и поперечный вид риски на внешней поверхности трубы.

Пусть p — внутреннее давление трубы; h и D — толщина стенки и внешний диаметр трубы, σ_b — предел прочности материала трубы; l , Δ и δ — поперечная ширина риски, глубина риски и смещение наибольшей глы-

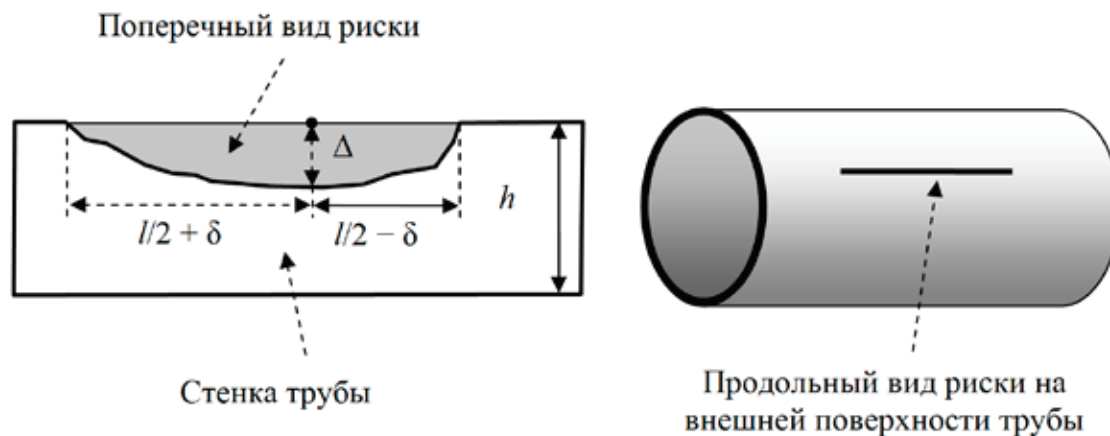


Рис. 1. Дефект риска на внешней поверхности трубы



Рис. 2. Дефект риска на поверхности стальной трубы большого диаметра

бины риски от ее центра ($0 \leq \delta < l/2$), φ — угол наклона линии риски к оси симметрии трубы.

По теории упругопластического течения деформацию элементов сплошной среды можно представить как сумму упругой и пластической деформаций. При этом упругая деформация подчиняется обобщенному закону Гука, а пластическая деформация подчиняется теории Сен-Венана–Мизеса.

Если риска находится на внешней поверхности трубы, то разрушение поверхности трубы происходит, когда

максимальные касательные напряжения в основании риски достигнут половины предела прочности материала трубы:

$$p \geq p_{sh}^{критич} = \frac{\sigma_b \cos \varphi}{\mu D \left(\frac{(h+2\Delta)}{2(h-\Delta)^2} + \frac{1}{h} \sqrt{\frac{\Delta}{l/2-\delta}} \right)}$$

где $\mu = \text{const} \geq 1$ — экспериментальный безразмерный коэффициент.



Рис. 3. Исследование дефекта риска на поверхности стальной трубы с помощью электронной аппаратуры

Пример дефекта риска на поверхности стальной трубы. На рис. 2 и 3 показана стальная труба магистрального трубопровода «Восточная Сибирь — Тихий Океан» с дефектом риска на внешней поверхности трубы. Глубина и ширина риски соответственно равны 0,4 мм и 8 мм. Геометрические и прочностные характеристики стальной трубы: диаметр трубы $D = 1220$ мм, толщина стенки трубы

$h = 19$ мм, класс прочности стали К60, предел прочности стали $\sigma_b = 684$ МПа.

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). с. 202–205.
3. Мокроусов, В. И. К вопросу о пошаговой формовке изогнутого стального листа // Молодой ученый. 2015. № 17 (97).
4. Шинкин, В. Н. Сопротивление материалов для металлургов. — М: Изд. Дом МИСиС, 2013. — 655 с.
5. Шинкин, В. Н. Механика сплошных сред для металлургов. — М: Изд. Дом МИСиС, 2014. — 628 с.
6. Шинкин, В. Н. Сопротивление материалов. Простые и сложные виды деформаций в металлургии. — М: Изд. Дом МИСиС, 2008. — 307 с.
7. Шинкин, В. Н. Теоретическая механика для металлургов. — М: Изд. Дом МИСиС, 2012. — 679 с.

8. Буланов, Э. А., Шинкин В. Н. Механика. Вводный курс. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. — 172 с.
9. Шинкин, В. Н. Математическая модель правки стальной полосы на пятироликовой листопрямильной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 8 (88). с. 344–349.
10. Шинкин, В. Н. Правка толстой стальной полосы на одиннадцатироликовой листопрямильной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 359–365.
11. Шинкин, В. Н. Расчет технологических параметров правки тонкой стальной полосы на пятнадцатироликовой листопрямильной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 361–366.
12. 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.
13. Шинкин, В. Н. Четырехроликовый режим холодной правки толстого стального листа на пятироликовой листопрямильной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 356–361.
14. Шинкин, В. Н. Упругопластическая деформация металлического листа на трехвалковых вальцах // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 225–229.
15. Шинкин, В. Н. Шестироликовый режим предварительной правки стальной полосы на листопрямильной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 14 (94). с. 205–211.
16. 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.
17. Шинкин, В. Н. Критерий разрушения труб при дефекте раскатной пригар // Молодой ученый. 2015. № 16 (96). с. 261–265.
18. Шинкин, В. Н. Дефект перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе // Молодой ученый. 2015. № 17 (97).
19. Шинкин, В. Н. Гофр продольной кромки листа при его формовке на кромкогибочном прессе // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2009. Вып. 6. с. 171–174.
20. 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. Разакова. 2009. № 16. с. 110–112.
21. Шинкин, В. Н., Коликов А. П. Моделирование процесса формовки заготовки для труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 1. с. 54–58.
22. 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.
23. 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.
24. 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.
25. Шинкин, В. Н., Коликов А. П. Упругопластическое формоизменение металла на кромкогибочном прессе при формовке труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 6. с. 53–56.
26. 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.
27. Шинкин, В. Н., Коликов А. П. Моделирование процессов экспандирования и гидротестирования труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 10. с. 12–19.
28. 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.
29. 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.
30. 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.
31. 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.
32. 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.
33. 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.

34. Шинкин, В. Н., Мокроусов В. И. Критерий разрыва труб газонепроводов при дефекте раскатной пригар с риской // Производство проката. 2012. № 12. с. 19–24.
35. 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.
36. Шинкин, В. Н., Федотов О. В. Расчет технологических параметров правки стальной горячекатаной рулонной полосы на пятироlikовой машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2013. № 9. с. 43–48.
37. Шинкин, В. Н., Барыков А. М. Расчет технологических параметров холодной правки стального листа на девятироlikовой машине SMS Siemag металлургического комплекса стан 5000 // Производство проката. 2014. № 5. с. 7–15.
38. Шинкин, В. Н. Расчет технологических параметров правки стального листа на одиннадцатироlikовой листопривильной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2014. № 8. с. 26–34.
39. 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.
40. Шинкин, В. Н., Борисевич В. Г., Федотов О. В. Холодная правка стального листа в четырехроlikовой листопривильной машине // В сборнике: Глобализация науки: проблемы и перспективы. Том 2. — Уфа: Башкирский государственный университет, 2014. — с. 119–121.
41. Шинкин, В. Н. Математическая модель правки тонкого стального листа на пятнадцатироlikовой листопривильной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2015. № 1. с. 42–48.
42. Шинкин, В. Н., Барыков А. М. Гибка стального листа на трубоформовочном прессе при производстве труб большого диаметра // Сталь. 2015. № 4. с. 38–42.
43. 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.
44. Шинкин, В. Н. Расчет технологических параметров кромкогибочного пресса фирмы SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 4–1. с. 114–119.
45. 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.
46. 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.
47. 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.
48. 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.
49. 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.

Особенность коррозионной стойкости сварных соединений при проведении экспертизы промышленной безопасности технологического оборудования нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. Часть 1

Орешкин Александр Юрьевич, технический директор;
Шлячков Денис Алексеевич, начальник лаборатории;
Юшков Александр Борисович, ведущий специалист
ООО «Промтехмониторинг» (г. Волгоград)

В данной работе произведено разделение сварных соединений на группы и рассмотрены первые три группы сварных соединений подверженных коррозионным разрушениям, которые необходимо учитывать при проведении экспертизы промышленной безопасности технических устройств в химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности.

Ключевые слова: промышленная безопасность, экспертиза промышленной безопасности, сварные соединения, разнородные стали, коррозионные разрушения, нефтехимия, нефтепереработка.

The feature of corrosion resistance of welded joints during the examination of industrial safety of technological equipment of petrochemical and oil processing, ing industry. Part 1

Oreshkin Aleksandr Yurevich, technical Director;
Shlyachkov Denis Alekseevich head of laboratory;
Yushkov, Alexander Borisovich, senior specialist
LLC «Promtechmonitoring», Volgograd

In this work produced the separation of the welded joints on the group and considered the first three groups of welded joints susceptible to corrosion damage that must be considered during the examination of industrial safety of technical devices in the chemical, petrochemical and refining industries.

Key words: industrial safety, industrial safety expertise, welded joints, dissimilar steel, corrosion damage, petrochemicals, oil refining.

В последние десятилетия техногенные катастрофы и аварии в нашей стране и за рубежом, повлекшие большие человеческие жертвы, заставили резко изменить отношение общества к проблеме безопасности населения и окружающей среды. Основные причины роста числа аварий и катастроф — это критический уровень износа оборудования, нарушение производственной и технологической дисциплины, ослабление контроля государственных органов

К настоящему времени 80–90% парка нефтеперерабатывающего и нефтехимического оборудования достигло и превысило нормативный срок эксплуатации 20–25 лет назад предельным нормативным сроком эксплуатации считалось 10 лет, после чего следовала замена корпусных аппаратов, змеевиков печей и наиболее ответственных технологических трубопроводов. Однако отсутствие в стране необходимых материальных ресурсов для выполнения этой работы требует продления допускаемых сроков безопасной эксплуатации, при которых предельное старение металла требует специальных подходов к проведению технического диагностированию.

Как свидетельствует статистика, около 80% разрушений нефтехимического оборудования приходится на сварные соединения технологического оборудования, поэтому такие участки всегда привлекали заслуженное внимание специалистов.

Рассмотрение особенностей видов коррозионного разрушения сварных соединений более рационально производить для группы свариваемых сталей, в которых методы предупреждения коррозии и уменьшения влияния коррозионного ослабления конструкции практически одинаковы.

По этим признакам все сварные соединения, применяемые в нефтехимическом оборудовании, можно разбить на следующие группы:

1. Сварные соединения малоуглеродистых и низколегированных кремнемарганцовистых сталей (Ст 3, Сталь 10, Сталь 20, 15К, 16ГС, 09Г2С и т.д.).
2. Сварные соединения теплоустойчивых хромомолибденовых сталей (12МХ, 15Х5М, Х9М и т.д.).
3. Сварные соединения высоколегированных хромистых и хромоникелевых сталей и сплавов более сложного легирования (08Х13, 12Х18Н10Т и т.д.).
4. Сварные соединения двухслойных сталей;
5. Сварные соединения разнородных сталей.

В данной работе рассмотрим первые три группы как наиболее часто встречающиеся на опасных производственных объектах нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств.

Первая группа сварных соединений сталей:

Сварные соединения первой группы сталей подвержены общей коррозии, электрохимической коррозии и коррозионному растрескиванию под напряжением.

Сварные соединения первой группы сталей не имеют склонности к межкристаллитной коррозии, для которой в этой группе сталей не могут быть созданы необходимые условия. Склонность сварных соединений этой группы сталей к коррозионному растрескиванию под напряжением проявляется как в кислой, так и в щелочной агрессивной среде. Наиболее эффективной мерой предупреждения коррозионного растрескивания под напряжением сварных соединений этих материалов являются методы снижения остаточных сварочных напряжений в процессе термической обработки по режиму высоко отпуска.

Вторая группа сварных соединений сталей:

Сварные соединения второй группы сталей также не могут быть склонны к межкристаллитной коррозии, а для исключения коррозионного растрескивания под напряжением здесь также служит термическая обработка сварных соединений, которая для этой группы сталей необходима

еще и поэтому, что обеспечивает повышение стойкости сварного соединения к закалочным трещинам и хрупким разрушениям еще до эксплуатации, например, в процессе гидропрессовки. Таким образом, отсутствие термообработки здесь проявляется уже до вывода нефтехимического оборудования на рабочий режим.

Третья группа сварных соединений сталей:

Сварные соединения третьей группы сталей (с 13 и выше процентами хрома без никеля, а также хромоникелевых сталей типа 12X18H10T и других высоколегированных сталей и сплавов на никелевой основе — ХН32, ХН60, ХН70 и т.д.) является идеальной для проявления склонности к МКК и КР под напряжением без соответствующих технологических мероприятий, предупреждающих реализацию этих видов коррозионного разрушения сварных соединений. Причем эти технологические мероприятия связаны не только со специальным видом термической обработки, который здесь рекомендуется — стабилизирующий отжиг при 850–900°C, но в некоторых случаях (для предупреждения КР) количественным содержанием никеля в металле шва. Остановимся на этом несколько подробнее.

В процессе сварки участки металла шва и околошовной зоны, которые наиболее длительное время находятся в температурном интервале 500–700°C, приобретают склонность к МКК, т.е. к коррозионному растворению границ и приграничных участков зёрен металла. Этот вид коррозии обусловлен структурными превращениями в металле, которые происходят при нагреве в интервале 500–700°C. Известно, что коррозионное растворение металла в средах нефтепереработки маловероятно, если металл содержит в своем твердом растворе не менее 13% хрома. При меньшем содержании хрома в твердом растворе коррозия возможна. При нагреве металл в указанном температурном интервале (500–700°C) в металле происходит интенсивное образование стойких химических соединений находящихся в металле атомов углерода с атомами хрома — образование карбидов хрома. Это процесс наиболее интенсивно проходит на границах зерен, где сравнительно большие атомы хрома имеют большую диффузионную подвижность и способность к образованию карбидов. Таким образом, границы и приграничные участки зерен оказываются обедненными атомами хрома, находящимися в твердом растворе, т.е. этих атомов становится меньше 13%. Именно эти участки и проявляют склонность к коррозии. А поскольку эти участки металла находятся на границах зерен, то данный вид коррозии получил название межкристаллитной коррозии.

Эффективным для предупреждения МКК является проведение специального вида термической обработки сварных соединений — стабилизирующего отжига. Для исключения МКК стабилизирующий отжиг необходим не только для металла шва, но и для высокотемпературных участков околошовной зоны, нагреваемых до температуры 950°C и выше, при которых растворяются карбиды ниобия, ванадия и т.д. В этих условиях специальный по-

вторный нагрев в процессе термообработки при температуре 850–900°C приводит к образованию и коагуляции карбидов ниобия, ванадия и т.д., что приводит к связыванию в этих карбидах атомов углерода. Эти карбиды остаются стойкими при последующем охлаждении в области температур 500–700°C, при которых наиболее интенсивно происходит образование карбидов хрома ($Cr_{23}C_6$ и т.д.), вследствие чего из-за отсутствия атомов углерода, уже связанного в карбиды Nb, V, Ti и т.д., атомы хрома остаются в свободном состоянии в твердом растворе, обеспечивая необходимую коррозионную стойкость не только в теле зерна, но и на границах зерен. Этим и обеспечивается стойкость против межкристаллитной коррозии.

Указанное обстоятельство необходимо учитывать при разработке технологий и технологических карт на ремонт или реконструкцию. Если собственно металл шва может обеспечивать стойкость против МКК применением электродов, содержащих необходимое количество ниобия даже без специальной термообработки — стабилизирующего отжига при 850–900°C, то околошовная зона, не содержащая этого элемента, а содержащая титан в незначительном количестве оказывается с нарушенной стойкостью против МКК — так называемая ножевая коррозия. Для исключения этого вида коррозионного разрушения необходим стабилизирующий отжиг околошовной зоны.

Как показали обстоятельные исследования, выполненные в последние десятилетия специалистами различных промышленно развитых стран, при содержании в металле сварного шва никеля менее 28%, стойкость металла против КР в различных средах, характерных для нефтехимпереработки, не гарантируется. И это подтверждается прямыми электронномикроскопическими исследованиями методом просвечивания тонких фольг, приготовленных из исследуемого сплава. В исследуемых участках металла выявлено различное взаимное расположение дислокаций на участках металла с различным количеством присутствующего в сплаве никеля.

Особенности движения дислокаций к своим стокам при воздействии напряжений обуславливают различную стойкость металла шва против КР.

При содержании Ni в металле шва до 28% (электроды Э 10X25H13Г2 — ОЗЛ-6) дислокации располагаются в виде лесенки с параллельными ступенями. Каждая такая ступенька при выходе на поверхность разрывает поверхностную окисную пленку и обеспечивает доступ к оголившейся поверхности новых порций агрессивной среды, в результате чего образуется новая защитная пленка из продуктов коррозии поверхности металла. Но вслед за этим подходит следующая дислокация в виде ступеньки лестницы. Эта дислокация снова разрывает окисную пленку, вследствие чего на этом участке поверхности образуется коррозионная микротрещина, которая увеличивает свою глубину поступлением новых дислокаций в виде ступеньки лестницы.

При содержании никеля в металле шва более 28% (электроды Э-06X25H40M7Г2 — АНЖР-2) дисло-

кации в виде петель и хаотично разбросанных по телу зерна скругленных образований, которые при приложении механических нагрузок не имеют преимущественного скольжения в одном направлении с образованием и ростом ступенек при выходе на поверхность кристалла, вследствие чего коррозионных трещин на поверхности не образуется.

Выбор электродов для сварки в этих случаях определяется не только содержанием никеля, но также наличием и содержанием карбидообразующего ниобия, предотвращающего склонность металла шва против межкристаллитной коррозии, а также обеспечивающего более высокую стойкость в средах нефтепереработки молибдена.

Кроме КР под напряжением и МКК для высоколегированных сварных соединений на хромоникелевых аустенитных сталях существует еще одна опасность, которую необходимо учитывать. Это — охрупчивание металла шва и околошовной зоны при высокотемпературной эксплуатации вследствие образования сигма-фазы. Дело

в том, что эффективным способом борьбы с горячими трещинами при сварке является легирование металла шва и околошовной зоны элементами-ферритизаторами. В этом случае центрами кристаллизации при остывании расплавленной сварочной ванны является α -фаза (т.е. ферритная фаза), которая подавляет развитие ликвационных процессов и скопление легкоплавкой жидкой фазы в межзеренных участках шва и образование в этих участках микронадрывов под действием сварочных напряжений. Вместе с тем избыточное количество ферритной фазы при высокотемпературной эксплуатации трансформируется (т.е. превращается) в хрупкую сигма-фазу, которая и приводит к охрупчиванию аустенитного металла шва и околошовной зоны.

По этой причине установлено допустимое количество ферритной фазы в аустенитном металле шва для различных температурных интервалов эксплуатации (таблица 1). Превышение ферритной фазы установленных пределов приводит к охрупчиванию металла шва.

Таблица 1

Температура эксплуатации сварного соединения, °С	Допустимое содержание ферритной фазы, балл
До плюс 350	Не ограничено
350–450	10
450–550	8
550–700	6
700–900	3

Литература:

1. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.mspsbng.org/stat_accident.
2. Л. С. Лившиц, А. Н. Хакимов. Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений. М, Машиностроение, 1989.

Влияние применения метанола на показатели процесса сгорания в цилиндре и сажесодержания в ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения

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

На рис. 1 представлено влияние применения метанола на показатели процесса сгорания в цилиндре и показатели сажесодержания в ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения.

При увеличении частоты вращения происходит увеличение максимального давления сгорания $p_{z \max}$, максимальной осредненной температуры цикла T_{\max} и массовой концентрации сажи в цилиндре в момент открытия выпускного клапана $C_{\text{вых}}$. При низкой частоте вращения уве-

личивается время, отводимое на окисление частиц сажи, и, как следствие, $C_{\text{вых}}$ уменьшается.

Из анализа графиков видно, что максимальное давление сгорания при работе на ДТ уменьшается с 7,16 МПа при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ до 6,90 МПа при $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$. Снижение составляет 0,26 МПа, или 2,3%. Максимальная осредненная температура газов в цилиндре возрастает с 1830 К при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ до 2020 К при $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$. Рост температуры составляет 190 К, или 10,4%. Массовая концентрация сажи

в цилиндре в момент открытия выпускного клапана, полученная опытным путем, $C_{дт\text{ опыт}}$ возрастает с 0,27 г/м³ при $n = 1200$ мин⁻¹ до 0,71 г/м³ при $n = 2000$ мин⁻¹. Увеличение составляет 0,44 г/м³, или в 2,6 раза. Расчетная массовая концентрация сажи в цилиндре в момент открытия выпускного клапана $C_{дт\text{ расч.}}$ возрастает с 0,24 г/м³ при $n = 1200$ мин⁻¹ до 0,64 г/м³ при $n = 2000$ мин⁻¹. Увеличение составляет 0,40 г/м³, или в 2,6 раза. Расчетная относительная концентрация сажи в цилиндре в момент открытия выпускного клапана $\gamma_{дт\text{ расч.}}$ увеличивается с 0,194 г/кг при $n = 1200$ мин⁻¹ до 0,50 г/кг при $n = 2000$ мин⁻¹. Относительная концентрация сажи увеличивается в 2,57 раза.

При работе на метаноле с ДСТ $p_{z\text{ max}}$ уменьшается с 7,6 МПа при $n = 1200$ мин⁻¹ до 7,0 МПа при $n = 2000$ мин⁻¹. Снижение составляет 0,6 МПа, или 7,0%. T_{max} увеличивается с 1880 К при $n = 1200$ мин⁻¹ до 2050 К при $n = 2000$ мин⁻¹, т.е. на 9%. Массовая концентрация сажи в цилиндре в момент открытия выпускного клапана, полученная опытным путем, $C_{м\text{ опыт}}$ возрастает с 0,017 г/м³ при $n = 1200$ мин⁻¹ до 0,039 г/м³ при $n = 2000$ мин⁻¹. Увеличение составляет 0,022 г/м³, или в 1,72 раза. Расчетная массовая концентрация сажи в цилиндре в момент открытия выпускного клапана $C_{м\text{ расч.}}$ возрастает с 0,014 г/м³ при $n = 1200$ мин⁻¹ до 0,032 г/м³ при $n = 2000$ мин⁻¹.

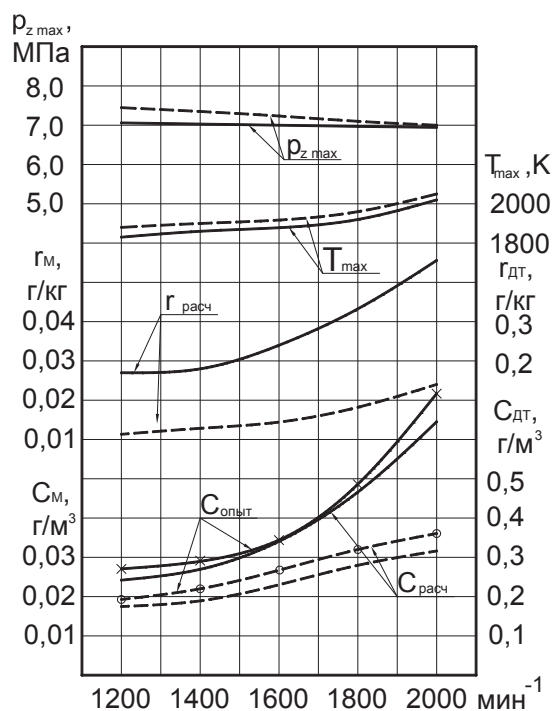


Рис. 1. Влияние применения метанола на показатели процесса сгорания в цилиндре и показатели сажесодержания в ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 с ДСТ при $\Theta_{дт} = 34^\circ$ и $\Theta_{м} = 34^\circ$ в зависимости от изменения частоты вращения: $\frac{3}{4}$ дизельный процесс; $\frac{3}{4}$ метанол с запальным ДТ

Увеличение составляет 0,018 г/м³, или в 1,3 раза. Расчетная относительная концентрация сажи в цилиндре в момент открытия выпускного клапана $\gamma_{м\text{ расч.}}$ увеличивается с 0,012 г/кг при $n = 1200$ мин⁻¹ до 0,030 г/кг при $n = 2000$ мин⁻¹. Относительная концентрация сажи увеличивается на 0,18 г/кг, или в 1,5 раза.

Максимальное давление цикла при работе дизеля на метаноле с ДСТ при $n = 1200$ мин⁻¹ больше, чем при работе дизеля на ДТ. Так, при $n = 1200$ мин⁻¹ максимальное давление цикла увеличивается с $p_{z\text{ max}} = 7,16$ МПа при работе дизеля на ДТ до $p_{z\text{ max}} = 7,6$ МПа при работе дизеля на метаноле с ДСТ (на 6,5%).

С увеличением частоты вращения происходит увеличение максимального давления сгорания: при $n = 2000$ мин⁻¹ значение $p_{z\text{ max}} = 6,90$ МПа при работе дизеля на ДТ, $p_{z\text{ max}} = 7,0$ МПа при работе дизеля на метаноле с ДСТ

(на 1,5%). Максимальная осреднённая температура цикла при работе дизеля на метаноле с ДСТ при $n = 1200$ мин⁻¹ составляет 1880 К, а при работе дизеля на ДТ T_{max} составляет 1830 К, т.е. на 2,7%. При увеличении частоты вращения до $n = 2000$ мин⁻¹ максимальная осреднённая температура цикла при работе дизеля на метаноле с ДСТ возрастает до 2050 К по сравнению с T_{max} при работе дизеля на ДТ, которая равна 2020 К. Массовая концентрация сажи в цилиндре в момент открытия выпускного клапана, полученная опытным путем, при работе на метаноле с ДСТ снижается на всех скоростных режимах по сравнению с работой на ДТ. Так, при $n = 1200$ мин⁻¹ массовая концентрация сажи $C_{опыт}$ снижается с 0,28 г/м³ при работе на ДТ до 0,017 г/м³ при работе на метаноле с ДСТ. Концентрация сажи уменьшается в 16,4 раза. При $n = 2000$ мин⁻¹ массовая концентрация сажи $C_{опыт}$ снижается

с 0,72 г/м³ при работе на ДТ до 0,039 г/м³ при работе на метаноле с ДСТ, т.е. в 17,4 раза. При $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ относительная концентрация сажи $g_{\text{расч.}}$ снижается с 0,194 г/м³ при работе на ДТ до 0,012 г/кг при работе на метаноле с ДСТ. Концентрация сажи уменьшается в 16,6 раза. При $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ относительная концентрация сажи $g_{\text{расч.}}$

снижается с 0,61 г/кг при работе на ДТ до 0,030 г/кг при работе на метаноле с ДСТ, т.е. в 20 раз.

На основании полученных данных можно сделать вывод, что применение метанола с ДСТ позволяет обеспечить значительное снижение показателей сажесодержания при работе на всех нагрязочных и скоростных режимах.

Литература:

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. Анфилатов, А.А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый_. 2015. № 11 (91). с. 226–229.
7. Анфилатов, А.А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый_. 2015. № 11 (91). с. 229–232.
8. Анфилатов, А.А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый_. 2015. № 11 (91). с. 232–235.
9. 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.
10. Анфилатов, А.А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый_. 2015. № 11 (91). с. 238–241.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. 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.

20. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Чупраков А. И. Особенности работы автотранспортного дизеля на этанолю-топливной эмульсии // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 9. с. 16–19.
21. 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.
22. 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.
23. 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.
24. 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.

Влияние применения метанола на показатели процессов сгорания и сажеобразования в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0

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

На рис. 1а 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 ($n = 1800 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,585 \text{ МПа}$) при $\Theta_{\text{ДТ}} = 38^\circ$.

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 $\varphi_{\text{Т}_{\text{зmax}}} = 18^\circ$ п.к.в. после ВМТ и равна 1920 К.

При работе дизеля на метаноле с ДСТ при установочных УОВТ ДТ $\Theta_{\text{ДТ}} = 38^\circ$ и метанола $\Theta_{\text{М}} = 30^\circ$ массовая и относительная концентрации сажи достигают своего максимального значения через $\varphi_{\text{С}_{\text{тmax м расч}}} = 10^\circ$ п.к.в. после ВМТ. $\text{С}_{\text{тmax м расч}}$ имеет значение $0,55 \text{ г/м}^3$, а $\text{г}_{\text{тmax м расч}} = 0,38 \text{ г/кг}$. Далее процесс выгорания сажевых частиц начинает преобладать над процессом образования сажи, и концентрация сажи снижается до $\text{С}_{\text{вых м расч}} = 0,0485 \text{ г/м}^3$ и $\text{г}_{\text{вых м расч}} = 0,034 \text{ г/кг}$ ($\varphi_{\text{С}_{\text{вых}}} = 140,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ). Концентрации снижаются на 91,2%. Максимальная осредненная температура цикла достигает своего максимального значения при $\varphi_{\text{Т}_{\text{зmax}}} = 22,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ и равна 1940 К.

При работе дизеля на метаноле с ДСТ при установочных УОВТ ДТ $\Theta_{\text{ДТ}} = 38^\circ$ и метанола $\Theta_{\text{М}} = 34^\circ$ массовая и относительная концентрации достигают своего макси-

мального значения через $\varphi_{\text{С}_{\text{тmax м расч}}} = 9^\circ$ п.к.в. после ВМТ. $\text{С}_{\text{тmax м расч}}$ имеет значение $0,464 \text{ г/м}^3$, а $\text{г}_{\text{тmax м расч}} = 0,322 \text{ г/кг}$. 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 93,9%. Максимальная осредненная температура цикла достигает своего максимального значения при $\varphi_{\text{Т}_{\text{зmax}}} = 20,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ и равна 2000 К.

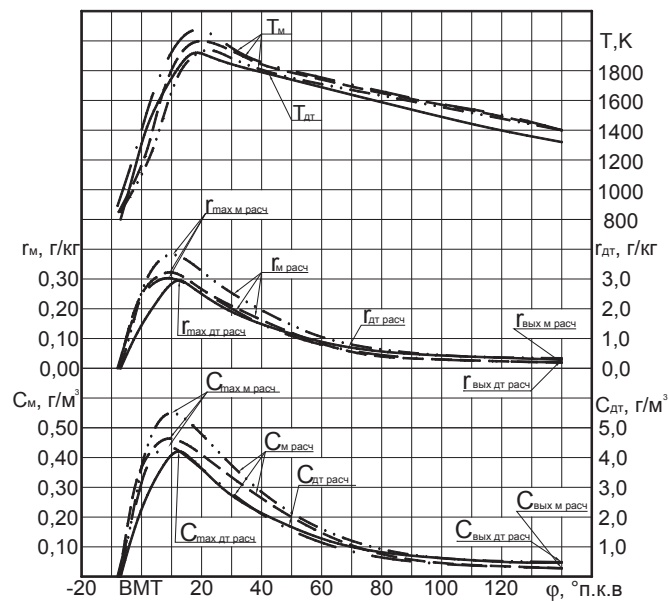
При работе дизеля на метаноле с ДСТ при установочных УОВТ ДТ $\Theta_{\text{ДТ}} = 38^\circ$ и метанола $\Theta_{\text{М}} = 38^\circ$ массовая и относительная концентрации достигают своего максимального значения через $\varphi_{\text{С}_{\text{тmax м расч}}} = 8,5^\circ$ п.к.в. после ВМТ. $\text{С}_{\text{тmax м расч}}$ имеет значение $0,435 \text{ г/м}^3$, а $\text{г}_{\text{тmax м расч}} = 0,30 \text{ г/кг}$. 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 $\varphi_{\text{Т}_{\text{зmax}}} = 18,5^\circ$ п.к.в. после ВМТ и равна 2070 К.

Как видно из графиков, установочный УОВТ оказывает существенное влияние на показатели сажесодержания. При увеличении установочного УОВТ максимальная массовая концентрация сажи уменьшается с $\text{С}_{\text{тmax м расч}} = 0,55 \text{ г/м}^3$ при установочном УОВТ метанола $\Theta_{\text{М}} = 30^\circ$ до $\text{С}_{\text{тmax м расч}} = 0,435 \text{ г/м}^3$ при установочном УОВТ метанола $\Theta_{\text{М}} = 38^\circ$. Снижение составляет 21,0%. Относительная концентрация снижается с $\text{г}_{\text{тmax м расч}} = 0,38 \text{ г/кг}$ при $\Theta_{\text{М}} = 30^\circ$ до $\text{г}_{\text{тmax м расч}} = 0,30 \text{ г/кг}$ при $\Theta_{\text{М}} = 38^\circ$. Концентрация сажи в момент открытия выпускного клапана при увеличении установочного УОВТ тоже снижается. Массовая концентрация снижается с $\text{С}_{\text{вых м расч}} = 0,0485 \text{ г/м}^3$ при $\Theta_{\text{М}} = 30^\circ$

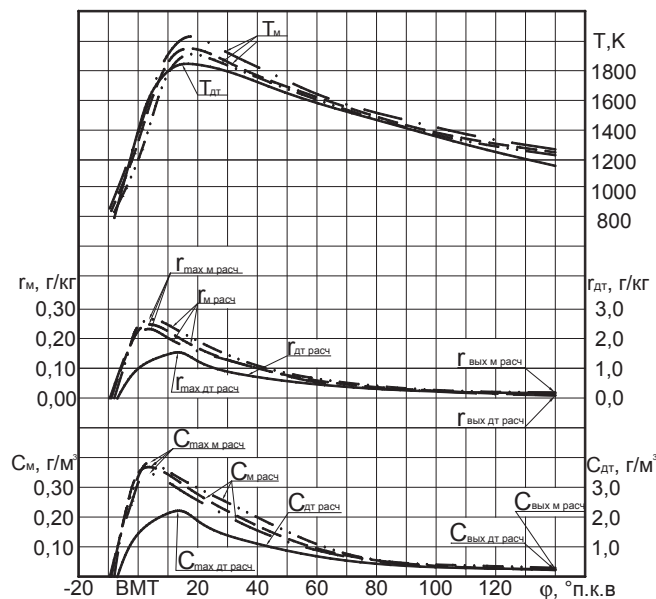
до $C_{\text{вых м расч.}} = 0,028 \text{ г/м}^3$ при $\Theta_M = 38^\circ$. Снижение равно 42,2%. Относительная концентрация снижается с $\gamma_{\text{вых м расч.}} = 0,034 \text{ г/кг}$ при установочном УОВТ метанола $\Theta_M = 30^\circ$ до $\gamma_{\text{вых м расч.}} = 0,019 \text{ г/кг}$ при установочном 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 ($n = 1400 \text{ мин}^{-1}$, $p_c = 0,594 \text{ МПа}$) при $\Theta_{\text{ДТ}} = 38^\circ$.

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 средненная температура цикла достигает своего максимального значения при $\varphi_{\text{Ттах}} = 16^\circ$ п.к.в. после ВМТ и равна 1850 К.



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 $\Theta_{\text{ДТ}} = 38^\circ$: а) при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$; б) при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$; $\frac{3}{4}$ — 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 метаноле с ДСТ при установочных УОВТ ДТ $\Theta_{ДТ} = 38^\circ$ и метанола $\Theta_{М} = 30^\circ$ массовая и относительная концентрации сажи достигают своего максимального значения через $\varphi_{С_{\max \text{ м расч.}}} = 4^\circ$ п.к.в. после ВМТ. $C_{\max \text{ м расч.}}$ имеет значение $0,385 \text{ г/м}^3$, а $\gamma_{\max \text{ м расч.}} = 0,265 \text{ г/кг}$. Далее процесс выгорания сажевых частиц начинает преобладать над процессом образования сажи, и концентрация сажи снижается до $C_{\text{вых м расч.}} = 0,029 \text{ г/м}^3$ и $\gamma_{\text{вых м расч.}} = 0,019 \text{ г/кг}$ ($\varphi_{С_{\text{вых}}} = 140,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ).

Концентрации снижаются на 92,5%. Максимальная осредненная температура цикла достигает своего максимального значения при $\varphi_{Т_{\max}} = 18,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ и равна 1910К.

При работе дизеля на метаноле с ДСТ при установочных УОВТ ДТ $\Theta_{ДТ} = 38^\circ$ и метанола $\Theta_{М} = 34^\circ$ массовая и относительная концентрации сажи достигают своего максимального значения через $\varphi_{С_{\max \text{ м расч.}}} = 3,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ. $C_{\max \text{ м расч.}}$ имеет значение $0,37 \text{ г/м}^3$, а $\gamma_{\max \text{ м расч.}} = 0,247 \text{ г/кг}$. Далее процесс выгорания сажевых частиц начинает преобладать над процессом образования сажи, и концентрация сажи снижается до $C_{\text{вых м расч.}} = 0,022 \text{ г/м}^3$ и $\gamma_{\text{вых м расч.}} = 0,014 \text{ г/кг}$ ($\varphi_{С_{\text{вых}}} = 140,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ). Концентрации снижаются на 94,0%. Максимальная осредненная температура цикла достигает своего максимального значения при $\varphi_{Т_{\max}} = 17,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ и равна 1960 К.

При работе дизеля на метаноле с ДСТ при установочных УОВТ ДТ $\Theta_{ДТ} = 38^\circ$ и метанола $\Theta_{М} = 38^\circ$ массовая

и относительная концентрации достигают своего максимального значения через $\varphi_{С_{\max \text{ м расч.}}} = 3^\circ$ п.к.в. после ВМТ. $C_{\max \text{ м расч.}}$ имеет значение $0,346 \text{ г/м}^3$, а $\gamma_{\max \text{ м расч.}} = 0,232 \text{ г/кг}$. Далее процесс выгорания сажевых частиц начинает преобладать над процессом образования сажи, и концентрация сажи снижается до $C_{\text{вых м расч.}} = 0,022 \text{ г/м}^3$ и $\gamma_{\text{вых м расч.}} = 0,014 \text{ г/кг}$ ($\varphi_{С_{\text{вых}}} = 140,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ). Концентрации снижаются на 93,6%. Максимальная осредненная температура цикла достигает своего максимального значения при $\varphi_{Т_{\max}} = 16,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ и равна 2030К.

Как видно из графиков, установочный УОВТ оказывает существенное влияние на показатели сажеосодержания. При увеличении установочного УОВТ максимальная массовая концентрация сажи уменьшается с $C_{\max \text{ м расч.}} = 0,385 \text{ г/м}^3$ при установочном УОВТ метанола $\Theta_{М} = 30^\circ$ до $C_{\max \text{ м расч.}} = 0,346 \text{ г/м}^3$ при установочном УОВТ метанола $\Theta_{М} = 38^\circ$. Снижение составляет 10,1%. Относительная концентрация снижается с $\gamma_{\max \text{ м расч.}} = 0,265 \text{ г/кг}$ при $\Theta_{М} = 30^\circ$ до $\gamma_{\max \text{ м расч.}} = 0,232 \text{ г/кг}$ $\Theta_{М} = 38^\circ$. Концентрация сажи в момент открытия выпускного клапана при увеличении установочного УОВТ тоже снижается. Массовая концентрация снижается с $C_{\text{вых м расч.}} = 0,029 \text{ г/м}^3$ при $\Theta_{М} = 30^\circ$ до $C_{\text{вых м расч.}} = 0,022 \text{ г/м}^3$ $\Theta_{М} = 38^\circ$. Снижение равно 24,1%. Относительная концентрация снижается с $\gamma_{\text{вых м расч.}} = 0,019 \text{ г/кг}$ при установочном УОВТ метанола $\Theta_{М} = 30^\circ$ до $\gamma_{\text{вых м расч.}} = 0,014 \text{ г/кг}$ при установочном УОВТ метанола $\Theta_{М} = 38^\circ$.

Литература:

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Анфилатов, А.А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 238–241.
8. 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.
9. 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.
10. 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.

Влияние применения метанола на показатели процесса сгорания в цилиндре и сажесодержания в ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки

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

На рис. 1, а) представлено влияние применения метанола на показатели процесса сгорания в цилиндре и сажесодержания в ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ в зависимости от нагрузки на номинальном режиме работы при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$.

Из графиков видно, что при работе дизеля на ДТ при увеличении нагрузки увеличивается максимальное давление сгорания $p_{z \text{ max}}$ от 5,8 МПа при $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ до 7,2 МПа при $p_e = 0,65 \text{ МПа}$. Увеличение $p_{z \text{ max}}$ составляет 1,4 МПа, или 24,1%. Максимальная осреднённая температура цикла в цилиндре дизеля $T_{z \text{ max}}$ возрастает с 1540 К при $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ до 2020 К при $p_e = 0,65 \text{ МПа}$. Рост значения температуры составляет 480 К, или 31,2%. Относительная концентрация увеличивается с $\gamma_{\text{дт расч}} = 0,0673 \text{ г/кг}$ при $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ до $\gamma_{\text{дт расч}} = 0,416 \text{ г/кг}$ при $p_e = 0,65 \text{ МПа}$. Происходит увеличение относительной концентрации в 6,2 раза. Массовая концентрация сажи в цилиндре в момент открытия выпускного клапана, полученная опытным путем, $C_{\text{дт опыт}}$ возрастает с 0,097 г/м³ при $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ до 0,60 г/м³ при $p_e = 0,65 \text{ МПа}$. Увеличение составляет 0,503 г/м³, или в 6,2 раза. Проведенные теоретические расчеты показывают, что расчетная массовая концентрация сажи в цилиндре в момент открытия выпускного клапана $C_{\text{дт расч}}$ возрастает с 0,095 г/м³ при $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ до 0,54 г/м³ при $p_e = 0,65 \text{ МПа}$, т.е. увеличивается в 5,7 раза. Разница между теоретическим и экспериментальным значениями массовой концентрации сажи составляет от 5% при $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ до 10% при $p_e = 0,65 \text{ МПа}$. Из графиков видно, что при работе на метаноле с ДСТ при увеличении нагрузки максимальное давление сгорания $p_{z \text{ max}}$ возрастает с 5,2 МПа при $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ до 7,3 МПа при $p_e = 0,65 \text{ МПа}$. Увеличение составляет 2,1 МПа, или 40,4%. Максимальная осреднённая температура цикла при работе дизеля на метаноле увеличивается от 1360 К при $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ до 2040 К при $p_e = 0,65 \text{ МПа}$. Рост температуры при изменении нагрузки составляет 680 К, или 50%. Относительная концентрация увеличивается с $\gamma_{\text{м расч}} = 0,0029 \text{ г/кг}$ при $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ до $\gamma_{\text{м расч}} = 0,039 \text{ г/кг}$ при $p_e = 0,65 \text{ МПа}$. Происходит увеличение относительной концентрации в 13 раз. Содержание сажи в цилиндре на момент открытия выпускного клапана определяет дымность ОГ. Массовая концентрация сажи в цилиндре в момент открытия выпускного клапана, полученная опытным путем, $C_{\text{м опыт}}$ возрастает с 0,005 г/м³ при $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ до 0,055 г/м³ при $p_e = 0,65 \text{ МПа}$. Увеличение составляет 0,05 г/м³, или в 11 раз. Расчетная массовая концентрация сажи в цилиндре в момент открытия

выпускного клапана $C_{\text{м расч}}$ возрастает с 0,005 г/м³ при $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ до 0,047 г/м³ при $p_e = 0,65 \text{ МПа}$. Разница между теоретическим и экспериментальными значениями массовой концентрации сажи составляет от 1% при $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ до 11% при $p_e = 0,65 \text{ МПа}$.

Максимальное давление сгорания снижается при $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ с 5,8 МПа при работе на ДТ до 5,2 МПа при работе дизеля на метаноле с ДСТ. Снижение составляет 0,6 МПа, или 10,3%. При $p_e = 0,65 \text{ МПа}$ $p_{z \text{ max}}$ увеличивается с $p_{z \text{ max}} = 7,2 \text{ МПа}$ при работе на ДТ до $p_{z \text{ max}} = 7,3 \text{ МПа}$ при работе на метаноле с ДСТ. Увеличение составляет 1,37%. Максимальная осреднённая температура цикла при работе дизеля на метаноле с ДСТ при $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ снижается с 1540 К до 1360 К. Снижение равно 180 К, или 11,7%. При $p_e = 0,65 \text{ МПа}$ максимальная осреднённая температура цикла при работе на метаноле выше, чем при работе на ДТ: 2040 К и 2020 К соответственно. При $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ относительная концентрация снижается с $\gamma_{\text{дт расч}} = 0,0673 \text{ г/кг}$ при работе на ДТ до значения $\gamma_{\text{м расч}} = 0,0029 \text{ г/кг}$ при работе на метаноле с ДСТ. Снижение составляет 0,0644 г/кг, или 95,7%. При увеличении нагрузки до $p_e = 0,65 \text{ МПа}$ относительная концентрация уменьшается с $\gamma_{\text{дт расч}} = 0,416 \text{ г/кг}$ при работе на ДТ до значения $\gamma_{\text{м расч}} = 0,039 \text{ г/кг}$ при работе на метаноле с ДСТ. Уменьшение равно 0,377 г/кг, или 90,6%. Массовая концентрация сажи в цилиндре в момент открытия выпускного клапана при работе на метаноле с ДСТ значительно снижается по сравнению при работе на ДТ.

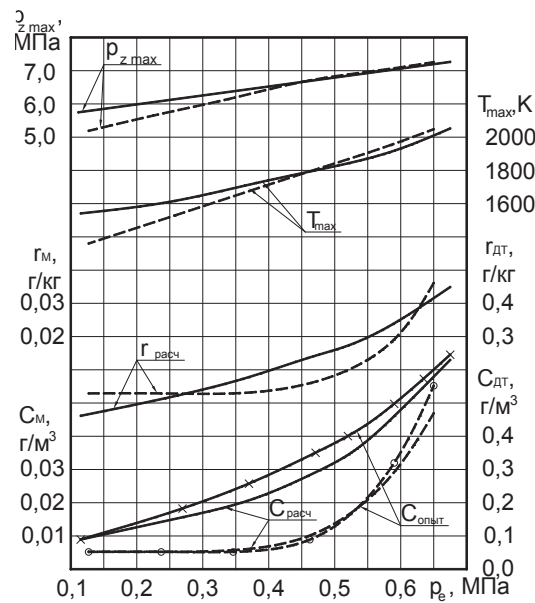
На рис. 1, б) представлено влияние применения метанола на показатели процесса сгорания в цилиндре и сажесодержания в ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 с ДСТ в зависимости от нагрузки на режиме максимального крутящего момента при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$.

Из графиков видно, что при работе дизеля на ДТ при увеличении нагрузки увеличивается максимальное давление сгорания от $p_{z \text{ max}} = 5,46 \text{ МПа}$ при $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ до 7,10 МПа при $p_e = 0,635 \text{ МПа}$. Увеличение составляет 1,64 МПа, или 30%. Максимальная осреднённая температура газов в цилиндре возрастает с 1400 К при $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ до 1920 К при $p_e = 0,635 \text{ МПа}$. Рост температуры составляет 520 К, или 37,1%. Относительная концентрация увеличивается с $\gamma_{\text{дт расч}} = 0,09 \text{ г/кг}$ при $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ до $\gamma_{\text{дт расч}} = 0,252 \text{ г/кг}$ при $p_e = 0,635 \text{ МПа}$. Происходит увеличение относительной концентрации в 2,8 раза. Массовая концентрация сажи в цилиндре в момент открытия выпускного клапана, полученная опытным путем, $C_{\text{дт опыт}}$ возрастает с 0,11 г/м³ при $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ до 0,37 г/м³ при

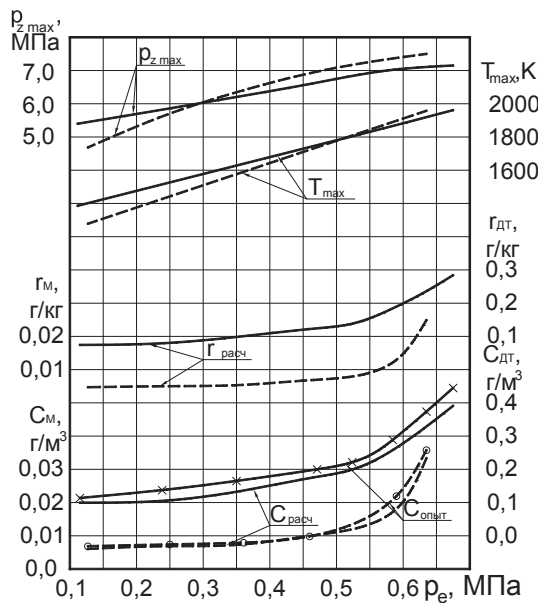
$p_e = 0,635$ МПа. Увеличение составляет $0,26 \text{ г/м}^3$, или в 3,36 раза. Проведенные теоретические расчеты показывают, что расчетная массовая концентрация сажи в цилиндре в момент открытия выпускного клапана $C_{дт \text{ расч.}}$ возрастает с $0,1 \text{ г/м}^3$ при $p_e = 0,127$ МПа до $0,32 \text{ г/м}^3$ при $p_e = 0,635$ МПа. Разница между теоретическим и экспериментальными значениями массовой концентрации сажи составляет от 9% при $p_e = 0,127$ МПа до 13% при $p_e = 0,635$ МПа.

Из кривых видно, что при работе дизеля 2Ч 10,5/12,0 на метаноле с ДСТ показатели процесса сгорания изме-

няются во всём диапазоне изменения нагрузки. Из графиков видно, что при увеличении нагрузки максимальное давление сгорания $p_{z \text{ max}}$ возрастает с 4,7 МПа при $p_e = 0,127$ МПа до 7,5 МПа при $p_e = 0,635$ МПа. Увеличение составляет 2,8 МПа, или 57,6%. Максимальная осреднённая температура цикла при работе дизеля на метаноле с ДСТ увеличивается от 1280 К при $p_e = 0,127$ МПа до 1960 К при $p_e = 0,635$ МПа. Рост температуры составляет 680 К, или 53,1%. Относительная концентрация увеличивается с $\gamma_{\text{м расч.}} = 0,0048 \text{ г/кг}$ при $p_e = 0,127$ МПа до $\gamma_{\text{м расч.}} = 0,025 \text{ г/кг}$ при $p_e = 0,635$ МПа. Происходит увеличение



а)



б)

Рис. 1. Влияние применения метанола на показатели процесса сгорания в цилиндре и показатели сажесодержания 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 $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$; б) при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$; --- — дизельный процесс; --- — метанол с запальным ДТ

относительной концентрации в 5,2 раза. Массовая концентрация сажи в цилиндре в момент открытия выпускного клапана, полученная опытным путем, $C_{\text{м опыт}}$ возрастает с 0,007 г/м³ при $p_e = 0,127$ МПа до 0,030 г/м³ при $p_e = 0,635$ МПа. Увеличение составляет 0,023 г/м³, или в 4,3 раза. Расчетная массовая концентрация сажи в цилиндре в момент открытия выпускного клапана $C_{\text{м расч}}$ возрастает с 0,006 г/м³ при $p_e = 0,127$ МПа до 0,026 г/м³ при $p_e = 0,635$ МПа. Разница между теоретическим и экспериментальными значениями массовой концентрации сажи составляет от 14% при $p_e = 0,127$ МПа до 13,3% при $p_e = 0,635$ МПа.

При увеличении нагрузки до $p_e = 0,635$ МПа относительная концентрация уменьшается с $g_{\text{дт расч}} = 0,252$ г/кг при работе на ДТ до значения $g_{\text{м расч}} = 0,025$ г/кг при работе на метаноле с ДСТ. Уменьшение равно 0,227 г/кг,

или 90%. Массовая концентрация сажи в цилиндре, полученная опытным путем, в момент открытия выпускного клапана при работе на метаноле с ДСТ значительно снижается по сравнению при работе на ДТ. Так, при $p_e = 0,127$ МПа массовая концентрация $C_{\text{м опыт}}$ снижается с 0,116 г/м³ до 0,007 г/м³, т.е. в 16 раз. С увеличением нагрузки массовая концентрация сажи, полученная опытным путем, в цилиндре в момент открытия выпускного клапана увеличивается, и снижение становится менее значительным. При $p_e = 0,635$ МПа $C_{\text{м опыт}}$ снижается с 0,37 г/м³ при работе на ДТ до 0,030 г/м³ при работе на метаноле с ДСТ. Концентрация сажи $C_{\text{м опыт}}$ снижается в 12 раз.

На основании полученных данных можно сделать вывод, что применение метанола с ДСТ позволяет обеспечить значительное снижение показателей сажеосодержания во всем диапазоне изменения нагрузки.

Литература:

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. Анфилатов, А.А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226–229.
7. 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.
8. Анфилатов, А.А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 238–241.
9. 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.
10. 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. — 167 с.

Влияние применения природного газа на показатели процесса сгорания дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения установочного УОВТ

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

В соответствии с методикой стендовых испытаний нами были проведены испытания дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 по исследованию влияния приме-

нения природного газа на показатели процесса сгорания при различных значениях установочного УОВТ. Необходимо отметить, что заводом-изготовителем для двигателя

установлен оптимальный установочный УОВТ равный 11° п.к.в.

Показатели процесса сгорания дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения значения установочного УОВТ при номинальной частоте вращения $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ и нагрузке $p_e = 0,84 \text{ МПа}$ представлены на рис. 1, а.

На основании анализа полученных данных можно сделать следующие выводы. При изменении значения установочного УОВТ с 5 до 17° п.к.в. при работе по дизельному процессу максимальная температура T_{max} цикла возрастает с 1730 до 2250 К, т.е. на 30,1%. При этом максимальное давление $p_{z \text{ max}}$ цикла возрастает от 9,2 до 11,8 МПа, т.е. на 28,3%. Соответственно возрастает и максимальная скорость нарастания давления $(dp/d\varphi)_{\text{max}}$ в цилиндре. Если при $\Theta_{\text{впр}} = 5^\circ \text{ п.к.в.}$ $(dp/d\varphi)_{\text{max}} = 0,65 \text{ МПа/град}$, то при $\Theta_{\text{впр}} = 17^\circ \text{ п.к.в.}$ $(dp/d\varphi)_{\text{max}}$ составляет уже 1,25 МПа/градус, т.е. возрастает в 1,9 раза. Угол φ_i , соответствующий ПЗВ, при этом снижается с 16 до 14 градусов, т.е. на 12,5%.

При работе по газодизельному процессу показатели процесса сгорания рассматривались нами при изменении

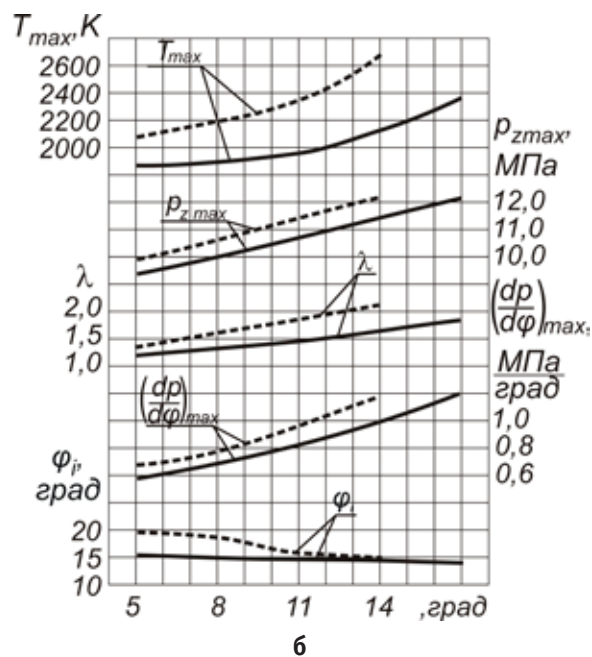
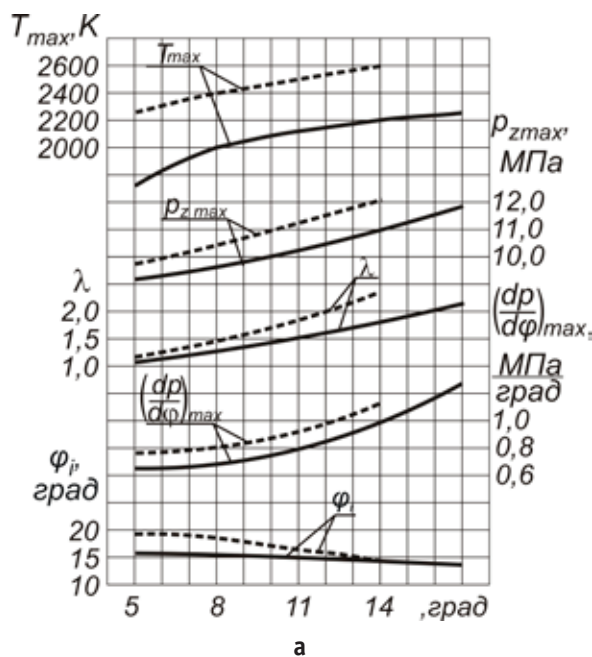


Рис. 1. Изменение показателей процесса сгорания дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от установочного УОВТ: а — $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$; б — $n = 1900 \text{ мин}^{-1}$; — — — — — дизельный процесс; — — — — — газодизельный процесс

$\Theta_{\text{впр}}$ от 5 до 14° п.к.в. При больших значениях $\Theta_{\text{впр}}$ недопустимо возрастает $(dp/d\varphi)_{\text{max}}$, что делает работу двигателя невозможной. При изменении $\Theta_{\text{впр}}$ от 5 до 14° п.к.в. максимальная температура T_{max} цикла возрастает с 2270 до 2600 К, т.е. на 14,5%, $p_{z \text{ max}}$ возрастает от 9,8 до 12,0 МПа, т.е. на 22,4%, $(dp/d\varphi)_{\text{max}}$ возрастает с 0,76 до 1,12 МПа/градус, т.е. в 1,5 раза. При этом угол φ_i снижается с 19 до 14 градусов, т.е. на 26,3%.

Заводом-изготовителем установлено, что максимальная жесткость процесса сгорания не должна превышать 0,95 МПа/градус. Таким образом, установочный УОВТ 11° п.к.в. является оптимальным для дизельного и газодизельного процессов при частоте вращения $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$. При этом значении установочного УОВТ максимальная жесткость процесса сгорания при работе по газодизельному процессу составляет 0,9 МПа/градус, что находится в допустимых пределах для данного двигателя.

При переходе с дизельного на газодизельный процесс при значении установочного УОВТ $\Theta_{\text{впр}} = 11^\circ$ п.к.в. и $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$, при $p_e = 0,84 \text{ МПа}$ максимальная температура T_{max} цикла возрастает с 2100 до 2500 К (на 19%), максимальное давление $p_{z \text{ max}}$ газов в цилиндре повышается с 10,2 до 11,2 МПа, т.е. рост составляет 9,8%, максимальная жесткость $(dp/d\varphi)_{\text{max}}$ процесса сгорания при этом возрастает с 0,8 до 0,9 МПа/градус (на 12,5%), угол φ_i , соответствующий ПЗВ возрастает с 15 до 17 градусов (на 13,3%).

Такое изменение показателей процесса сгорания связано с тем, что природный газ имеет более высокую теплоту сгорания, чем ДТ, а также более высокую скорость сгорания в связи с тем, что в цилиндре газодизеля сгорает более однородная смесь, чем при сжигании ДТ.

На рис. 1, б представлены показатели процесса сгорания дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 при частоте вращения $n = 1900 \text{ мин}^{-1}$ и $p_e = 0,92 \text{ МПа}$ для дизельного процесса и $p_e = 0,84 \text{ МПа}$ для газодизельного, соответствующей режиму максимального крутящего момента при работе на ДТ и при работе на природном газе.

На основании анализа полученных данных можно сделать следующие выводы. При изменении значения установочного УОВТ с 5 до 17° п.к.в. при работе по дизельному процессу максимальная температура T_{max} цикла возрастает с 1880 до 2360 К, т.е. на 25,5%.

При этом максимальное давление $p_{z \text{ max}}$ газов в цилиндре возрастает от 9,4 до 12,1 МПа, т.е. на 28,7%. Соответственно возрастает и $(dp/d\varphi)_{\text{max}}$. Если при $\Theta_{\text{впр}} = 5^\circ$ п.к.в. значение $(dp/d\varphi)_{\text{max}} = 0,59 \text{ МПа/градус}$, то при $\Theta_{\text{впр}} = 17^\circ$ п.к.в. значение $(dp/d\varphi)_{\text{max}}$ равняется уже 1,2 МПа/градус, т.е. возрастает в 2,03 раза. Угол φ_i , соответствующий ПЗВ при этом снижается с 16 до 14 градусов, т.е. на 12,5%.

При работе по газодизельному процессу показатели процесса сгорания рассматривались нами при изменении $\Theta_{\text{впр}}$ от 5 до 14° п.к.в. При больших значениях $\Theta_{\text{впр}}$ $(dp/d\varphi)_{\text{max}}$ превышает допустимые значения, что делает работу двигателя невозможной. При изменении значения $\Theta_{\text{впр}}$ от 5 до 14° п.к.в. максимальная температура T_{max} цикла возрастает с 2090 до 2690 К, т.е. на 28,7%, $p_{z \text{ max}}$ возрастает от 9,9 до 12,2 МПа, т.е. на 23,2%, $(dp/d\varphi)_{\text{max}}$ возрастает с 0,7 до 1,2 МПа/градус, т.е. на 71,4%. При этом угол φ_i снижается с 20 до 15 градусов, т.е. на 25%.

Таким образом, исходя из полученных результатов, нами в качестве установочного УОВТ для работы по дизельному и газодизельному процессам на режиме максимального крутящего момента при $n = 1900 \text{ мин}^{-1}$ был выбран установочный $\Theta_{\text{впр}} = 11^\circ$ п.к.в. При этом значении установочного УОВТ при переходе с дизельного на газодизельный процесс максимальная температура T_{max} цикла возрастает с 1960 до 2350 К, т.е. на 19,9%, максимальное давление $p_{z \text{ max}}$ цикла возрастает от 10,8 до 11,5 МПа, т.е. на 6,5%, $(dp/d\varphi)_{\text{max}}$ возрастает с 0,82 до 0,95 МПа/градус, т.е. на 15,9%, угол φ_i возрастает с 15 до 16 градусов, т.е. на 6,7%.

То есть сжигание в цилиндре дизеля с турбонаддувом природного газа позволяет повысить теплотворную способность топлива и скорость сгорания топливовоздушной смеси, а следовательно и максимальную температуру T_{max} цикла и максимальное давление $p_{z \text{ max}}$ газов в цилиндре. Однако, с другой стороны, это приводит к возрастанию жесткости процесса сгорания и нагрузки на детали ЦПГ. Поэтому установка более раннего УОВТ не рекомендуется из-за чрезмерно жесткой работы двигателя. Установка более позднего по сравнению с оптимальным УОВТ приводит к смещению процесса сгорания вправо от ВМТ и дефорсированию двигателя.

Литература:

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.

5. Скрябин, М.Л. Влияние угла опережения впрыскивания топлива на экологические показатели газодизеля с промежуточным охлаждением надвучного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 62–65.
6. Анфилатов, А.А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226–229.
7. Анфилатов, А.А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229–232.
8. Анфилатов, А.А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 238–241.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. Россохин, А.В. Показатели процесса сгорания и сажеобразования 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. 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.

Показатели процессов сгорания и сажеобразования в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ в зависимости от угла поворота коленчатого вала

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

На рис. 1, а представлено изменение показателей сажеобразования и процесса сгорания в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от угла поворота коленчатого вала на номинальном режиме работы ($n = 1800 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,585 \text{ МПа}$).

При работе дизеля на ДТ массовая и относительная концентрации сажи достигают своего максимального значения через $\varphi_{C_{\text{стак дт расч}}} = 12^\circ$ п.к.в. после ВМТ. $C_{\text{стак дт расч}}$ имеет значение $4,2 \text{ г/м}^3$, а $\gamma_{\text{стак дт расч}} = 2,95 \text{ г/кг}$. Далее про-

цесс выгорания сажевых частиц начинает преобладать над процессом образования сажи, и концентрация сажи снижается до $C_{\text{вых дт расч}} = 0,471 \text{ г/м}^3$ и $\gamma_{\text{вых дт расч}} = 0,287 \text{ г/кг}$.

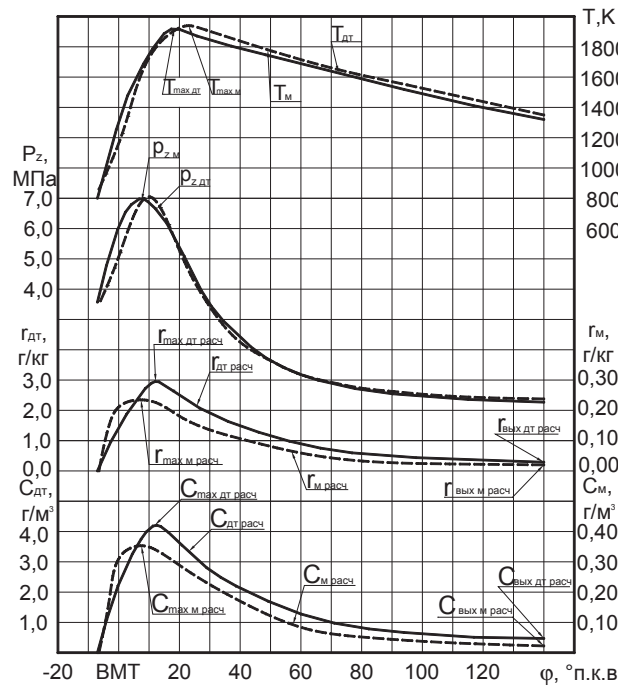
При работе дизеля на метаноле с ДСТ массовая и относительная концентрации достигают своего максимального значения через $\varphi_{C_{\text{стак м расч}}} = 10^\circ$ п.к.в. после ВМТ. $C_{\text{стак м расч}}$ имеет значение $0,356 \text{ г/м}^3$, а $\gamma_{\text{стак м расч}} = 0,235 \text{ г/кг}$. Далее процесс выгорания сажевых частиц начинает преобладать над процессом образования сажи, и концен-

трация сажи снижается до $C_{\text{вых м расч.}} = 0,028 \text{ г/м}^3$ и $g_{\text{вых м расч.}} = 0,019 \text{ г/кг}$ ($\varphi_{\text{Свых}} = 140,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ). Концентрации снижаются на 93,0%.

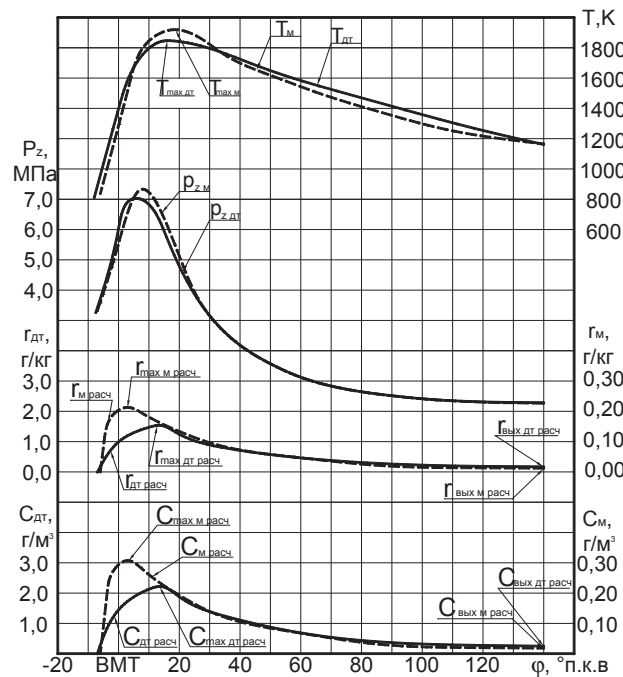
Максимальная осредненная температура цикла $T_{\text{зmax}}$ при работе дизеля на ДТ составляет 1920 К и наблюда-

ется при угле $\varphi_{\text{Tзmax}} = 18,5^\circ$ п.к.в. после ВМТ, при работе дизеля на метаноле с ДСТ значение $T_{\text{зmax}} = 1960 \text{ К}$ достигается при угле $\varphi_{\text{Tзmax}} = 21^\circ$ п.к.в. после ВМТ.

Максимальное значение давления сгорания увеличивается с $p_z = 6,97 \text{ МПа}$ при работе на ДТ до $p_z = 7,09 \text{ МПа}$



а)



б)

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

при работе на метаноле с ДСТ. При этом следует отметить, что процесс сгорания при работе дизеля на метаноле с ДСТ несколько сдвигается на линию расширения. Максимальное значение давления сгорания при работе на ДТ достигается при значении угла $\varphi_{Pz \max} = 7,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ. При работе на метаноле с ДСТ максимальное значение давления сгорания достигается при значении угла $\varphi_{Pz \max} = 10,1^\circ$ п.к.в. после ВМТ.

Результирующее сажесодержание складывается из трех этапов процесса сажеобразования.

На первом этапе идет интенсивное возрастание массовой концентрации в цилиндре дизеля, поскольку образование сажи происходит в ядре струи запального ДТ в результате термического и окислительного пиролиза топлива в условиях окислителя. Поэтому можно предположить, что на первом этапе основное влияние на результирующее сажесодержание оказывает запальная порция ДТ. На данном этапе преобладающим механизмом образования является НТФМ. Отсутствие окислителя и низкая температура приводят к тому, что процессы окисления сажи идут медленнее, чем процессы образования сажи.

На втором этапе процесса сажеобразования температура достигает своего максимального значения, общий коэффициент избытка воздуха увеличивается из-за того, что молекула метанола содержит 50% кислорода.

Эти условия приводят к тому, что процесс выгорания частиц сажи начинает преобладать над процессом образования частиц сажи.

На третьем этапе процесс выгорания преобладает над процессом сажеобразования, поскольку сгорание основного заряда уже завершилось и происходит лишь догорание локальных объемов смеси и частиц сажи. Процесс выгорания длится до открытия выпускного клапана, и содержание сажи снижается до значения, определяющего дымность ОГ.

На рис. 1, б представлено изменение показателей сажесодержания и процесса сгорания в цилиндре дизеля

2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле 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 работе дизеля на ДТ массовая и относительная концентрации сажи достигают своего максимального значения через $\varphi_{C_{\max \text{ дт расч}}} = 13,6^\circ$ п.к.в. после ВМТ. $C_{\max \text{ дт расч}}$ имеет значение $2,2 \text{ г/м}^3$, а $\gamma_{\max \text{ дт расч}} = 1,50 \text{ г/кг}$. 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 $\gamma_{\text{вых дт расч}} = 0,180 \text{ г/кг}$ ($\varphi_{C_{\text{вых}}} = 140,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ). Концентрации снижаются на 88,2%.

При работе дизеля на метаноле с ДСТ при установившихся УОВТ ДТ $\Theta_{\text{ДТ}} = 34^\circ$ и метанола $\Theta_{\text{М}} = 34^\circ$ массовая и относительная концентрации достигают своего максимального значения через $\varphi_{C_{\max \text{ м расч}}} = 3,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ. $C_{\max \text{ м расч}}$ имеет значение $0,307 \text{ г/м}^3$, а $\gamma_{\max \text{ м расч}} = 0,213 \text{ г/кг}$. 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 $\gamma_{\text{вых м расч}} = 0,012 \text{ г/кг}$ ($\varphi_{C_{\text{вых}}} = 140,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ). Концентрации снижаются на 93,0%.

Максимальная осредненная температура цикла $T_{z_{\max}}$ при работе дизеля на ДТ составляет 1850 К и наблюдается при угле $\varphi_{Tz_{\max}} = 16,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ, при работе дизеля на метаноле с ДСТ значение $T_{z_{\max}} = 1900 \text{ К}$ достигается при угле $\varphi_{Tz_{\max}} = 18^\circ$ п.к.в. после ВМТ.

Максимальное значение давления сгорания увеличивается с $p_z = 7,03 \text{ МПа}$ при работе на ДТ до $p_z = 7,42 \text{ МПа}$ при работе на метаноле с ДСТ. Максимальное значение давления сгорания при работе на ДТ достигается при значении угла $\varphi_{Pz \max} = 6,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ. При работе на метаноле с ДСТ максимальное значение давления сгорания достигается при значении угла $\varphi_{Pz \max} = 7,8^\circ$ п.к.в. после ВМТ.

Литература:

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226–229.

7. Анфилатов, А. А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229–232.
8. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 232–235.
9. 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.
10. 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.

Теоретические исследования процесса охлаждения и сушки топливных брикетов из соломенной биомассы

Семирненко Светлана Леонидовна, кандидат технических наук, старший преподаватель
Сумский национальный аграрный университет (Украина)

В статье представлены теоретические исследования энергосберегающей технологии получения топливных брикетов из соломенной биомассы.

Ключевые слова: соломенная биомасса, топливные брикеты, сушка, расчет, сырье, прессование, влага, воздух.

Биомасса — четвертый по значимости источник энергии во всем мире после угля, нефти и природного газа. Одна из ее составляющих — соломенная биомасса сельскохозяйственных культур.

Соломенная биомасса может быть использована в ближайшем будущем как источник энергии для сельскохозяйственных предприятий в достаточно крупных масштабах в виде брикетов и пеллет. Ее использование вместо ископаемого топлива способно уменьшить как энергетические затраты, так и концентрацию вредных выбросов в атмосферу.

Но, несмотря на перспективность этого вида топлива, до настоящего времени отсутствуют масштабные примеры применения энергосберегающих технологий изготовления топливных брикетов из соломенной биомассы как в целом в мире, так и в Украине. Причин неостребованности таких технологий в современных условиях может быть много, но главная состоит в недостаточной научной проработке проблемы. Так, например, пока нет научного обоснования энергоэффективности сушки соломы при изготовлении брикетов из самой доступной и широко распространенной в агропромышленном комплексе Украины соломенной биомассы.

Для уменьшения затрат на изготовление брикетов из соломенной биомассы нами предлагается использование собственного тепла брикетов для их сушки.

С целью более детального анализа процесса уплотнения большое значение имеет рассмотрение балансов влаги и теплоты при брикетировании соломы. Общий баланс влаги при брикетировании запишется в виде уравнения

$$V_c = V_6 + C_n + V_{ox}, \quad (1)$$

где V_c — количество влаги в соломе, что попадает на прессование, кг

V_6 — количество влаги в конечном продукте (брикете), кг;

C_n — потери влаги от нагрева в процессе прессования, кг

V_{ox} — потери влаги при охлаждении брикетов, кг.

Левая часть уравнения представляет количество влаги в сырье, попадает на прессование, а правая — распределение влаги после прессования (в брикете). Из общего баланса влаги количество, которое будет в образованном брикете

$$V_6 = V_c - V_n - V_{ox}. \quad (2)$$

Общий баланс теплоты при брикетировании соломы записывается в виде

$$Q_t - Q_n = Q_6 + Q_{ox}, \quad (3)$$

где Q_t — количество теплоты, выделяющейся при прессовании, Дж;

Q_n — потери теплоты в процессе прессования, Дж;

Q_6 — количество теплоты, выносятся образованными брикетами, Дж;

Q_{ox} — количество тепла, теряется при перемещении брикетов из пресса на сушильную установку, Дж.

Разница в левой части уравнения $Q_t - Q_n$ в представляет количество теплоты, которая идет на нагрев соломы в процессе прессования, а правая часть уравнения представляет распределение тепла после прессования. Соотношения, составляющие баланс влаги и тепла должны быть оптимальными, поскольку они дают существенное влияние на качественные, энергетические и экономические показатели процессов брикетирования соломы.

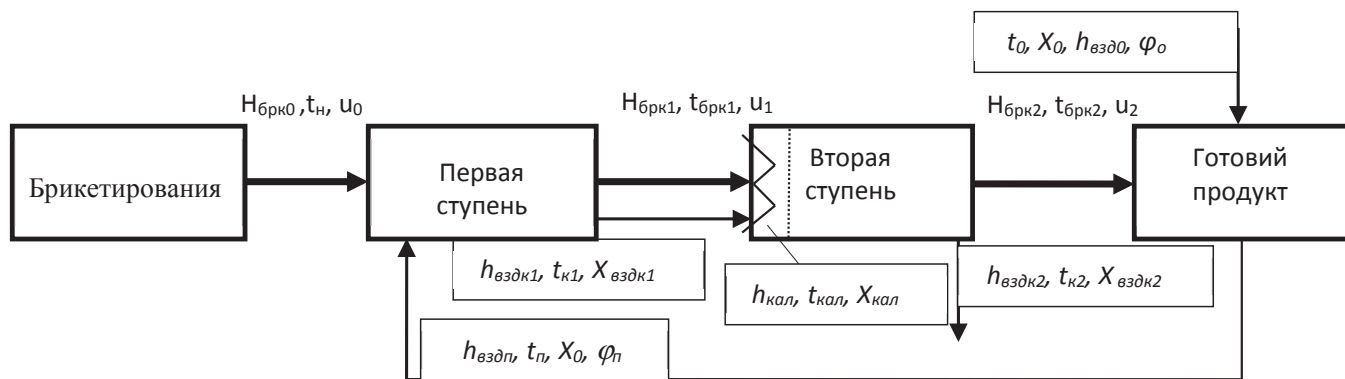


Рис. 1. Схема процесса сушки топливных брикетов

Исследование процессов тепло- и массообмена влажных материалов с внешней средой представляет собой сложную теплофизическую задачу.

На основе анализа литературных источников по тепломассообмену [1, 3], сушке [2, 4] и экспериментальных исследованиях были сделаны следующие расчеты и обобщения. Основной принцип предлагаемой схемы процесса сушки может быть представлен в следующем виде (рис. 1).

Принимаем, что входящий воздух соответствует характеристикам атмосферного воздуха: средняя температура $t_0, ^\circ\text{C}$, относительная влажность $\varphi_0, \%$.

Влагосодержание входящего атмосферного воздуха, кг/кг

$$X_0 = 0,622 \cdot \varphi_0 \cdot P_{\text{нвп}} / (P_{\text{атм}} - \varphi_0 \cdot P_{\text{нвп}}), \quad (4)$$

где $P_{\text{нвп}}$ — давление насыщенного водяного пара при $t_0, \text{Па}$;

$P_{\text{атм}}$ — атмосферное давление, Па.

Удельная энтальпия входящего воздуха при принятых условиях, кДж/кг

$$h_{\text{взд0}} = (C_{\text{взд}} + x \cdot C_{\text{пв}}) \cdot t_0 + r_n \cdot X, \quad (5)$$

где $C_{\text{взд}}$ — теплоемкость воздуха, кДж/кг \times К;

$C_{\text{пв}}$ — теплоемкость паров воды, кДж/кг \times К;

r_n — удельная теплота парообразования при $t_0, \text{кДж/кг}$.

Температура брикетов, которые выходят из пресса $t_n, ^\circ\text{C}$.

Определяем энтальпию сырого брикета ($H_{\text{брк0}}$), равной количеству теплоты, что выносится образованными брикетами (Q_0) при $t_n, ^\circ\text{C}$, кДж

$$H_{\text{брк0}} = H_{\text{ссо}} + H_{\text{водж0}} + H_{\text{взд0}}, \quad (6)$$

где $H_{\text{ссо}}, H_{\text{водж0}}, H_{\text{взд0}}$ — соответственно энтальпия сухой соломы, свободной воды, влажного воздуха в сыром брикете, кДж.

Принимаем, что в воздушных порах относительная влажность воздуха соответствует атмосферной.

Энтальпия сухой соломы $H_{\text{ссо}}$ в брикете, кДж

$$H_{\text{ссо}} = m_{\text{сс}} \cdot C_{\text{сс}} \cdot t_n, \quad (7)$$

где $m_{\text{сс}}$ — масса сухой соломы в брикете, кг;

$C_{\text{сс}}$ — принята теплоемкость сухой соломы, кДж/кг \cdot К.

Энтальпия свободной воды $H_{\text{водж0}}$ в брикете, кДж

$$H_{\text{водж0}} = m_{\text{вод}} \cdot C_{\text{вж}} \cdot t_n, \quad (8)$$

где $m_{\text{вод}}$ — масса воды свободной в брикете, кг

$C_{\text{вж}}$ — теплоемкость воды в брикете, кДж/кг \cdot К.

Энтальпия влажного воздуха в исходном брикете,

$$H_{\text{взд0}} = m_{\text{взд}} \cdot h_{\text{взд0}}, \quad (9)$$

где $m_{\text{взд}}$ — масса сухого воздуха в порах брикета, кг

$h_{\text{взд0}}$ — удельная энтальпия влажного воздуха в брикете, кДж/кг.

Удельная энтальпия при принятых условиях влажного воздуха, находящегося в порах брикета при температуре брикета, кДж/кг

$$h_{\text{взд0}} = (C_{\text{взд}} + X_{\text{вздбр}} \cdot C_{\text{пв}}) \cdot t_n + r_n \cdot X_{\text{вздбр}}, \quad (10)$$

где $C_{\text{взд}}$ — теплоемкость воздуха, кДж/кг \cdot К;

$C_{\text{пв}}$ — теплоемкость паров воды, кДж/кг \cdot К;

$X_{\text{вздбр}}$ — влагосодержание при условиях формирования брикета, кг/кг

$$X_{\text{вздбр}} = 0,622 \cdot \varphi_{\text{вздбр}} \cdot P_{\text{нвпбр}} / (P_{\text{атм}} - \varphi_{\text{вздбр}} \cdot P_{\text{нвпбр}}), \quad (11)$$

где $P_{\text{нвпбр}}$ — давление насыщенного водяного пара в воздухе пор брикета при принятых условиях формирования брикета, Па;

r_n — удельная теплота парообразования при соответствующей температуре брикета, кДж/кг;

$\varphi_{\text{вздбр}}$ — относительная влажность воздуха в порах сырого брикета, дол. ед.

На входе в 1 ступень аппарата.

Атмосферный воздух перед подачей в аппарат охлаждает брикеты, которые кулачковым транспортером направляются после сушки и охлаждения в накопитель (тару), подогревается до температуры $t_n, ^\circ\text{C}$, но сохраняет влагосодержание атмосферного воздуха X_0 .

Удельная энтальпия входного подогретого атмосферного влажного воздуха, кДж/кг

$$h_{\text{вздп}} = (C_{\text{взд}} + x \cdot C_{\text{пв}}) \cdot t_n + r_n \cdot X, \quad (12)$$

где $C_{\text{взд}}$ — теплоемкость воздуха, кДж/кг \cdot К;

$C_{\text{пв}}$ — теплоемкость паров воды, кДж/г \cdot К;

r_n — удельная теплота парообразования, кДж/кг;

$X_n = X_0$ — влагосодержание атмосферного воздуха, кг/кг.

С формулы 4 для данных условий находим значение относительной влажности подогретого воздуха φ_n .

В высушенном брикете после 2 ступени аппарата содержится свободной воды, кг

$$m_{\text{вод2}} = u_k \times m_{\text{сс}}, \quad (13)$$

где U_k — влагосодержание, или абсолютная влажность высушенного брикета;

m_{cc} — масса сухой соломы в сыром брикете, кг.

Необходимо при сушке удалить из брикета воду, кг

$$\Delta M_{\text{вод}} = m_{\text{вод}} - m_{\text{вод}2}, \quad (14)$$

где $m_{\text{вод}}$ — масса свободной воды в сыром брикете, кг.

Энтальпия сухой соломы H_{cc} в брикете с конечной влажностью, кДж

$$H_{cc0} = m_{cc} \times C_{cc} \times t_{k2}, \quad (15)$$

где m_{cc} — масса сухой соломы в брикете, кг

C_{cc} — теплоемкость сухой соломы, кДж / кг · К;

t_{k2} — уточнена конечная температура готового брикета после 2 степени аппарата, °С.

Энтальпия свободной воды $H_{\text{вод}k2}$ в высушенном брикете, кДж

$$H_{\text{вод}k2} = M_{\text{вод}k2} \times C_{\text{вж}} \times t_{k2}, \quad (16)$$

где $M_{\text{вод}k2}$ — масса свободной воды в высушенном брикете, кг

$C_{\text{вж}}$ — теплоемкость жидкой воды, кДж/кг · К.

Удельная энтальпия влажного воздуха, находящегося в порах высушенного брикета, кДж/кг

$$h_{\text{взд}k2} = (C_{\text{взд}} + X_{\text{взд}k2} \times C_{\text{пв}}) \times t_{k2} + r_{k2} \times X_{\text{взд}k2}, \quad (17)$$

где $C_{\text{взд}}$ — теплоемкость воздуха, кДж / кг · К;

$C_{\text{пв}}$ — теплоемкость паров воды, кДж/кг · К;

$X_{\text{взд}k2}$ — влагосодержание воздуха в порах высушенного брикета, кг/кг

$$X_{\text{взд}k2} = 0,622 \times \varphi_{\text{взд}k2} \times P_{\text{взд}k2} / (P_{\text{атм}} - \varphi_{\text{взд}k2} \times P_{\text{взд}k2}), \quad (18)$$

где $P_{\text{взд}k2}$ — давление насыщенного водяного пара в воздухе пор высушенного брикета, Па;

r_{k2} — удельная теплота парообразования при конечной температуре готового брикета после 2 ступени аппарата, кДж/кг;

$\varphi_{\text{взд}k2}$ — относительная влажность воздуха в порах высушенного брикета после второй ступени аппарата, дол. ед.

Энтальпия влажного воздуха в высушенном брикете,

$$H_{\text{взд}k2} = m_{\text{взд}} \times h_{\text{взд}k2}, \quad (19)$$

где $m_{\text{взд}}$ — масса сухого воздуха в порах высушенного брикета, кг

$h_{\text{взд}0}$ — удельная энтальпия влажного воздуха при конечной температуре готового брикета после 2 степени аппарата, кДж/кг.

Полная энтальпия высушенного брикета, кДж

$$H_{\text{бр}k2} = H_{\text{сск}k2} + H_{\text{вод}k2} + H_{\text{взд}k2}. \quad (20)$$

Изменение энтальпии брикета в теплообменном аппарате, кДж

$$\Delta H_{\text{бр}} = H_{\text{бр}k0} - H_{\text{бр}k2}. \quad (21)$$

С целью корректного упрощения расчетов на первой ступени аппарата процесс сушки рассматривается как сочетание двух практически независимых процессов:

— на поверхности брикета идет нагрев потока воздуха конвективным путем с отбором части тепла от брикета;

— внутри горячего брикета идет испарение влаги и диффузия паров воды к поверхности теплообмена, так как давление паров воды в теплоносителе существенно ниже давления паров внутри горячего брикета. На по-

верхности брикета пары воды, выходящие из толщи брикета, смешиваются с подогретым воздухом и выводятся.

Расчет конвективного теплообмена между поверхностью брикета и потоком воздуха осуществляли, используя приемы теории подобия [2]. Учитывая малое число рядов брикетов на транспортере, для определения среднего по поверхности брикетов коэффициента теплоотдачи, используем критериальное уравнение Жукаускаса, предлагаемое для расчета теплообмена при омывания потоком теплоносителя одиночного цилиндра

$$Nu_{\text{жд}} = 0,25 Re_{\text{жд}}^{0,6} \times Pr_{\text{ж}}^{0,38} (Pr_{\text{ж}} / Pr_{\text{с}})^{0,25} \quad (22)$$

где $Nu_{\text{жд}}$ — число Нуссельта,

$Re_{\text{жд}}$ — число Рейнольдса,

$Pr_{\text{ж}}$ — число Прандтля.

Учитывая малую зависимость Pr для газов от температуры, формула может записываться

$$Nu_{\text{жд}} = 0,25 Re_{\text{жд}}^{0,6}.$$

При расчетах определяющей скоростью рекомендуется брать скорость в самом узком сечении потока. Определяющей температурой для выбора физических характеристик теплоносителя рекомендуется брать температуру потока.

Выполнен поливариантный расчет условий теплообмена в первом ряду брикетов. При расчетах варьировали скоростью потока воздуха, принимая ее дискретные значения 2; 1; 0,5 и 0,25 м/с. Указанные скорости, как показали расчеты, обеспечивали турбулентный режим течения воздуха и пригодность уравнения Жукаускаса.

Расчет числа Рейнольдса выполняется по формуле

$$Re_{\text{жд}} = w \times d_{\text{ор}} / \nu_{\text{ж}}, \quad (23)$$

где w — скорость линейная потока воздуха при температуре, м/с;

$\nu_{\text{ж}}$ — кинематическая вязкость воздуха при температуре, м²/с.

Значение чисел Рейнольдса для принятого интервала скоростей удовлетворяет требованию по использованию уравнения Жукаускаса

$$1 \times 10^3 < Re_{\text{жд}} < 2 \times 10^5. \quad (24)$$

Расчет размерного коэффициента теплоотдачи α вели исходя из формулы

$$Nu_{\text{жд}} = \alpha \times d_{\text{ор}} / \lambda, \quad (25)$$

λ — коэффициент теплопроводности;

при скорости потока воздуха w , м/с коэффициент теплоотдачи α находим как

$$\alpha = Nu_{\text{жд}} \times \lambda / d_{\text{ор}}. \quad (26)$$

Расчет первой ступени аппарата

Объектом поэтапных расчетов является определение средней температуры теплоносителя на выходе брикетов из первой ступени и массы воды, которая выпаривается. При расчетах принимается, что энергия брикетов, которая выделяется в ходе снижения их температуры, расходуется на подогрев воздуха, который его омывает и на испарение влаги брикета.

Поверхность теплоотдачи одиночного брикета F , м² определяется как

$$F = \pi \times d_{бр} \times L_{бр} + \pi \times d_{бр}^2 / 2, \quad (27)$$

где $L_{бр}$ — длина брикета, м.

Сушка ведется на подвижном кулачковом транспортере.

Уравнения передачи тепла Q , кДж одиночным брикетом

$$Q = F \times \alpha \times \Delta t_{cp} \times \tau, \quad (28)$$

где τ — экспериментальное время пребывания брикета в зоне первичной сушки, с;

Δt_{cp} — средняя разность температур между потоком воздуха и стенкой брикета,

$$\Delta t_{cp} = [(t_{c1} - t_0) + (t_{c1} - t_{к1})] / 2, \quad (29)$$

где t_{c1} — средняя температура поверхности брикетов на 1 степени аппарата, °С;

t_0 — температура воздуха на входе в первую ступень аппарата, °С;

$t_{к1}$ — температура воздуха, которая подлжет определению на выходе с 1 степени аппарата, °С.

Уравнение расчета количества тепла полученного потоком воздуха за время τ от одного брикета на первой ступени аппарата имеет вид, кДж

$$Q = M_{взд} \times C_{взд} (t_{к1} - t_0). \quad (30)$$

Масса воздуха, который подогревается омывая один брикет на первой ступени аппарата за время τ , кг

$$M_{взд} = s \times w \times \rho_{взд} \times \tau, \quad (31)$$

где s — площадь сечения потока воздуха при обтекании брикета в узком месте, м²;

$\rho_{взд}$ — плотность воздуха подогретого за счет охлаждения брикетов °С, кг/м³;

w — скорость потока воздуха в узком месте между брикетами, м/с.

Можно записать

$$Q = Q_{пвзд}, \quad (32)$$

где $Q_{пвзд}$ — количество тепла, затрачиваемое на подогрев конвекцией внешнего потока воздуха за время прохождения брикета через первую ступень аппарата, кДж;

$$Q_{пвзд} = \Delta H_{бр} - H_{пвод}, \quad (33)$$

где $\Delta H_{бр}$ — общее количество тепла, отданное брикетом на испарение внутренней воды и на подогрев конвекцией внешнего воздушного потока за время пребывания брикета на первой ступени аппарата, кДж.

$$\Delta H_{бр} = H_{брк0} - H_{брк1}. \quad (34)$$

Находим энтальпию подсушенного брикета на выходе из первой ступени аппарата, кДж

$$H_{брк1} = [m_{cc} \times C_{cc} + m_{вод1} \times C_{вж} + m_{взд1} \times C_{взд}] \times t_{брк1}, \quad (35)$$

где $t_{брк1}$ — средняя температура брикета после первой ступени аппарата.

Энтальпия паров воды диффундирует из брикета в воздушный поток, кДж

$$H_{пвод} = h_{tc} \times d_{мв1}, \quad (36)$$

где h_{tc} — удельная энтальпия паров воды диффундирует из подсушенного брикета при температуре стенки брикета после первой степени аппарата, кДж/кг;

$d_{мв1}$ — масса воды, удаляемой из брикета на первой ступени аппарата за счет тепловой энергии, которая вносится горячим брикетов, кг.

Наряду с испарением воды за счет тепла внесенного брикетом, видимо испарения осуществляется за счет потенциальной энергии, вносимой воздухом, сжимается в вентиляторе. В слое брикетов поток воздуха осуществляет работу трения в результате чего выделяется определенное количество тепла, которое расходуется на испарение влаги. Проявляется действие дополнительного источника тепла. Общую мощность дополнительного источника энергии, которая вносится воздухом в аппарат, рекомендуется рассчитывать по установочной мощности электродвигателя с поправкой на КПД двигателя и потерей тепловой энергии через корпус вентилятора в окружающую среду.

Тепловая мощность вентилятора $Q_{эд}$, кВт, передана потоку воздуха определяется

$$Q_{эд} = 0,8 \times W_{эд}, \quad (37)$$

где $W_{эд}$ — установочная мощность электродвигателя вентилятора, кВт;

0,8 — коэффициент, учитывающий эффективность работы электродвигателя и потери тепла через корпус вентилятора в атмосферу.

Преобразование потенциальной энергии потока в теплоту зависит от изменения скорости потока воздуха в квадрате, поэтому принимаем, что на первой ступени аппарата выделяется в форме тепла только 70% общей энергии потока.

Тепловая мощность дополнительного источника тепла $Q_{пв1}$, кДж/с, что действует в брикете за счет изменения параметров потока воздуха и которая влияет на процесс испарения,

$$Q_{пв1} = 0,7 \times Q_{эд}. \quad (38)$$

Дополнительное количество энергии $q_{пвбр}$, кДж, подводимой каждому брикету за счет изменения параметров потока воздуха

$$q_{пвбр} = Q_{пв1} \times \tau / n, \quad (39)$$

где n — количество брикетов, которые высушиваются за 1 час.

Оценка количества влаги $d_{пвв1}$, которая удаляется из брикета за счет действия дополнительного источника теплоты проводится по соотношению

$$d_{пвв1} = q_{пвбр} / h_{tc}, \quad (40)$$

Общее количество влаги удаляется из брикета на 1 ступени аппарата, кг

$$d_{пвобщ1} = d_{пв1} + d_{пвв1}. \quad (41)$$

Повышение влагосодержания воздуха Δx_1 на выходе из первой ступени аппарата, кг/кг сухого воздуха

$$\Delta x_1 = d_{пвобщ1} / M_{взд}. \quad (42)$$

Влагосодержание воздуха $X_{вздк1}$ на выходе из первой ступени аппарата, кг/кг

$$X_{вздк1} = X + \Delta x_1. \quad (43)$$

Удельная энтальпия влажного воздуха на выходе из 1 ступени аппарата, кДж/кг

$$h_{вздк1} = (C_{взд} + X_{вздк1} \times C_{пв}) \times t_{к1} + r_{к1} \times X_{вздк1}, \quad (44)$$

где $r_{к1}$ — удельная теплота парообразования при конечной температуре потока, кДж/кг.

Расчет второй ступени аппарата

Среднее содержание воды в брикетах $m_{\text{вод1}}$ на входе во вторую ступень аппарата, кг

$$m_{\text{вод1}} = m_{\text{вод}} - d_{\text{побоч1}} \quad (45)$$

Количество воды $\Delta m_{\text{пвод2}}$, которую необходимо удалить из каждого брикета на второй ступени аппарата

$$\Delta m_{\text{пвод2}} = m_{\text{вод1}} - m_{\text{водк2}} \quad (46)$$

Повышение влагосодержания воздуха, выходящего из второй степени при движении брикетов в один слой

$$\Delta x_2 = \Delta m_{\text{пвод2}} / M_{\text{взд}} \quad (47)$$

Конечное влагосодержание воздуха на выходе из второй ступени аппарата, кг/кг

$$X_{\text{вздк2}} = X_{\text{вздк1}} + \Delta x_2 \quad (48)$$

Согласно экспериментальным данным задаемся температурой брикетов на входе во вторую ступень и температурой потока воздуха. Предварительные расчеты показали, что при максимальной влажности брикетов 20% в системе недостаточно собственной тепловой энергии для сушки брикетов с проектными 14%. Поэтому перед подачей воздуха с первой степени аппарата на вторую вводят дополнительный его подогрев от внешнего источника, например в электрокалорифере. При влажности брикетов ниже максимальной определяется требуемая мощность электрокалорифера, а при необходимости, он может быть отключенным.

Таким образом, для процесса досушивания брикетов на второй ступени расходуется тепло от трех источников. Первый источник тепла функционирует за счет охлаждения брикетов (от остаточного тепла брикетов после 1 ступени). Второй источник тепла проявляется за счет подвода тепла брикетам от подогретого воздуха. Третий источник тепла является следствием деградации механической энергии потоком воздуха, которая через работу трения превращается в тепловую энергию. Этот дополнительный источник тепла сравнительно маломощный.

Чтобы обеспечить на второй ступени аппарата направленность вектора потока тепла от воздуха к брикетам, принято, что конечная температура отработанного воздуха будет выше конечной температуры брикетов на 3 градуса.

После принятия указанных предположений проводим расчеты, которые позволят определить температуру, до которой необходимо подогреть воздух после 1 ступени перед подачей на 2 ступень аппарата.

Удельная энтальпия влажного воздуха на выходе из второй ступени аппарата, кДж/кг

$$h_{\text{вздк2}} = (C_{\text{взд}} + X_{\text{вздк2}} \times C_{\text{пв}}) \times t_{\text{к2}} + r_{\text{к2}} \times X_{\text{вздк2}}, \quad (49)$$

где $t_{\text{к2}}$ — температура отработанного воздуха на выходе из 2 ступени аппарата, °C;

$r_{\text{к2}}$ — удельная теплота парообразования при соответствующей температуре (°C) брикетов на выходе из второй ступени, кДж/кг.

Энтальпия высушенного брикета при соответствующей температуре (°C) брикетов на выходе из 2 степени аппарата, кДж

$$H_{\text{орк2}} = [m_{\text{св}} \times C_{\text{св}} + m_{\text{вод2}} \times C_{\text{вж}} + m_{\text{взд2}} \times C_{\text{взд}}] \times t_{\text{орк2}} \quad (50)$$

Составляем тепловой баланс для процесса сушки одного брикета на 2 ступени аппарата.

Приход тепла

$$Q_{\text{прих}} = Q_{\text{вздк1}} + Q_{\text{брк1}} + Q_{\text{пвм2}} + Q_{\text{подог}}, \quad (51)$$

где $Q_{\text{вздк1}}$ — теплота, поступающая с воздухом, омывает брикет на выходе с 1 ступени аппарата, кДж

$$Q_{\text{вздк1}} = M_{\text{взд}} \times h_{\text{вздк1}}, \quad (52)$$

где $Q_{\text{брк1}}$ — теплота, поступающая из брикетов с 1 ступени при соответствующей его температуре на выходе с 1 ступени (°C), кДж

$$Q_{\text{брк1}} = H_{\text{брк1}}, \quad (53)$$

где $Q_{\text{пвм2}}$ — теплота превращения механической энергии потока воздуха в тепловую энергию на 2 ступени аппарата

$$Q_{\text{пвм2}} = Q_{\text{пв2}} \times \tau / 120, \quad (54)$$

где $Q_{\text{подог}}$ — теплота, которую необходимо подвести от внешних подогревателей воздуха перед подачей его на 2 ступень аппарата для реализации процесса досушки одиночного брикета, кДж;

τ — экспериментальное время пребывания брикета в зоне вторичной сушки (равное времени пребывания в зоне первичной сушки), с;

Расходы тепла

$$Q_{\text{расх}} = Q_{\text{вздк2}} + Q_{\text{брк2}}, \quad (55)$$

где $Q_{\text{вздк2}}$ — тепло, выводится из 2 степени аппарата с отработанным воздухом, кДж

$$Q_{\text{вздк2}} = M_{\text{взд}} \times h_{\text{вздк2}}, \quad (56)$$

где $Q_{\text{брк2}}$ — тепло выведено сухими брикетами из 2 ступени аппарата при соответствующей температуре брикетов, °C

$$Q_{\text{брк2}} = H_{\text{брк2}} \quad (57)$$

Удельная энтальпия подогретого воздуха на входе во 2 ступень аппарата

$$h_{\text{вздн2}} = Q_{\text{вздк2}} / M_{\text{взд}} \quad (58)$$

Расчет удельной энтальпии воздуха после подогревателя, кДж/кг

$$h_{\text{кал}} = (C_{\text{взд}} + X_{\text{вздк1}} \times C_{\text{пв}}) \times t_{\text{кал}} + r_{\text{н2}} \times X_{\text{кал}}, \quad (59)$$

где $t_{\text{кал}}$ — температура подогретого воздуха на входе во вторую ступень аппарата, °C;

$r_{\text{н2}}$ — удельная теплота парообразования при $t_{\text{кал}}$, кДж/кг;

$X_{\text{кал}} = X_{\text{вздк1}}$ — влагосодержание воздуха $X_{\text{вздк1}}$ на выходе из первой ступени аппарата.

Определение общей мощности дополнительного нагревателя, кВт

$$W_{\text{под}} = Q_{\text{подог}} \times n / 3600, \quad (60)$$

где n — число брикетов, что высушиваются за 1 час.

Выводы

В результате расчетов при максимально возможной входной влажности брикетов 20% для достижения исходной влажности 14%, которая обеспечивает эффективность сжигания и долговременное хранение брикетов, было определено, что на выходе из первой ступени сушки и охлаждения температура брикетов будет составлять

60°C, влажность 16%. Для обеспечения досушивания брикетов была установлена необходимость подогрева воздуха на входе во вторую ступень до 73°C. Установленная мощность подогревателя (электрокалорифера) 2,6 кВт, при фактической производительности пресса 90 кг/ч. За

счет этого обеспечивается досушивание брикетов до необходимой влажности — 14%, при этом их температура на выходе из второй ступени составит 55°C, а температура воздуха, который оставляет аппарат будет составлять 58°C.

Литература:

1. Кутателадзе, С. С. Основы теории теплообмена / С. С. Кутателадзе. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Атомиздат, 1979. — 416 с.
2. Лыков, М. В. Сушка в химической промышленности / М. В. Лыков. — М.: Химия, 1970. — 432 с.
3. Лыков, А. В. Тепломассообмен: справочник / А. В. Лыков. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергия, 1978. — 480 с.
4. Сажин, Б. С. Основы техники сушки / Б. С. Сажин. — М.: Химия, 1984. — 320 с.

Влияние метанола-топливных эмульсий на показатели работы дизеля Д-240 при $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$ до ВМТ

Скрябин Максим Леонидович, кандидат технических наук, доцент
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

В данной статье рассмотрено влияние метанола-топливных эмульсий на показатели работы дизеля Д-240 при $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$ до ВМТ

Ключевые слова: *отработавшие газы, загрязнение воздуха, токсичные компоненты, оксиды азота.*

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

На рисунке 1 представлено влияние применения МТЭ на показатели сажесодержания, осредненную температуру газов и давление в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от угла поворота коленчатого вала на режиме максимального крутящего момента ($n = 1700 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,82 \text{ МПа}$) при $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$ [1–13].

При работе на ДТ расчетная максимальная осредненная температура цикла $T_{z \text{ max}}$ достигает своего максимального значения при $\varphi_{Tz \text{ max}} = 6,5^\circ$ п.к.в. после ВМТ и равна 2220 К. Максимальное давление сгорания $p_{z \text{ max}}$ достигает своего максимального значения при $\varphi_{pz \text{ max}} = 5,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ и равно 8,46 МПа. Максимальное расчетное значение объемного содержания оксидов азота $\gamma_{\text{NOx max расч}}$ в цилиндре при работе дизеля на ДТ составляет

832 ppm, максимальная массовая концентрация $C_{\text{NOx max расч}}$ составляет 1,20 г/м³, при $\varphi_{\text{NOx max расч}} = 9,5^\circ$ п.к.в. после в.м.т. Объемное содержание оксидов азота $\gamma_{\text{NOx вых расч}}$ в цилиндре в момент открытия выпускного клапана $\varphi_{\text{NOx вых расч}} = 124,0^\circ$ п.к.в. после в.м.т составляет 640 ppm, при массовой концентрации $C_{\text{NOx вых расч}} = 0,92 \text{ г/м}^3$ [14–22].

При работе на МТЭ расчетная максимальная осредненная температура цикла $T_{z \text{ max}}$ достигает своего максимального значения при $\varphi_{Tz \text{ max}} = 8,5^\circ$ п.к.в. после ВМТ и равна 2390 К. Максимальное давление сгорания $p_{z \text{ max}}$ достигает своего максимального значения при $\varphi_{pz \text{ max}} = 7,5^\circ$ п.к.в. после ВМТ и равно 8,85 МПа. Увеличение максимальных значений объемного содержания $\gamma_{\text{NOx max расч}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx max расч}}$ оксидов азота в цилиндре составляет 345 ppm и 0,49 г/м³, или на 41,4%. Увеличение значений объемного содержания $\gamma_{\text{NOx вых расч}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx вых расч}}$ оксидов азота в цилиндре при работе на МТЭ в момент открытия выпускного клапана составляет 266 ppm или 0,38 г/м³ или 49,3% [18–23].

Максимальное значение объемного содержания оксидов азота $\gamma_{\text{NOx max расч}}$ в цилиндре составляет 1177 ppm, максимальное значение массовой концентрации $C_{\text{NOx max расч}}$ составляет 1,69 г/м³, при $\varphi_{\text{NOx max расч}} = 11,5^\circ$ п.к.в. после в.м.т. Объемное содержание оксидов азота в цилиндре $\gamma_{\text{NOx вых расч}}$ в момент открытия выпускного клапана $\varphi_{\text{NOx вых расч}} = 124,0^\circ$ п.к.в. после в.м.т составляет 906 ppm, при массовой концентрации оксидов азота $C_{\text{NOx вых расч}} 1,30 \text{ г/м}^3$ [24–26].

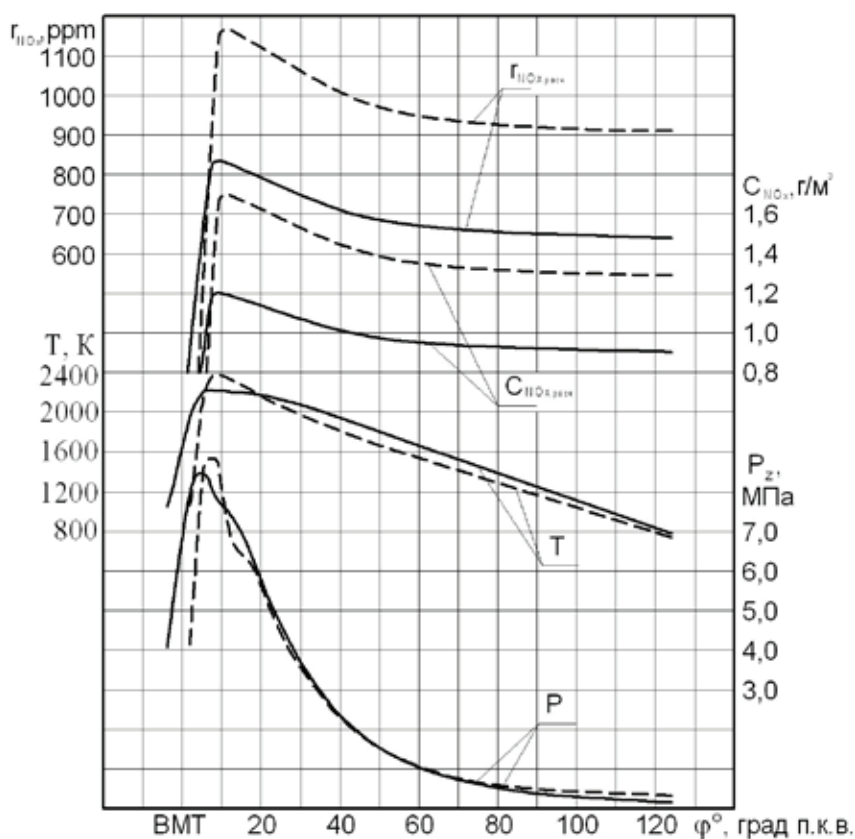


Рис. 1. Влияние применения МТЭ на показатели процесса сгорания, объемное содержание $\gamma_{NOx,расч}$ и массовую концентрацию $C_{NOx,расч}$ оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла п.к.в двигателя при $\Theta_{впр} = 23^\circ$ до ВМТ: $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,82 \text{ МПа}$; $\frac{3}{4}$ — ДТ; — — — МТЭ

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. 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.
4. 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.
5. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Чупраков А. И. Особенности работы автотранспортного дизеля на этано-топливной эмульсии // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 9. с. 16–19.
6. 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 этано-топливной эмульсии // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 106–109.
7. 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.
8. 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.
9. 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.

10. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей тракторного дизеля путем применения природного газа и рециркуляции отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсий // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 3. с. 3–6.
11. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 2. с. 6–7.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на оксиды азота при сгорании в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 151–154.
19. 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.
20. 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.
21. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11. с. 235–238.
22. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
23. Анфилатов, А. А. Исследование дымности в отработавших газах дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 50–53.
24. Анфилатов, А. А. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 45–47.
25. 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.
26. 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.

Нагрузочные характеристики работы дизеля Д-240 при работе на частоте вращения максимального крутящего момента

Скрябин Максим Леонидович, кандидат технических наук, доцент
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

В данной статье рассмотрены нагрузочные характеристики работы дизеля Д-240 при работе на частоте вращения максимального крутящего момента.

Ключевые слова: *отработавшие газы, загрязнение воздуха, токсичные компоненты, оксиды азота.*

Образование токсичных веществ — продуктов неполного сгорания и оксидов азота (NOx) в цилиндре двигателя в процессе сгорания происходит принципно-

ально различными путями. Первая группа токсичных веществ связана с химическими реакциями окисления топлива, протекающими как в предпламенный период, так

и в процессе сгорания — расширения. Вторая группа токсичных веществ образуется при соединении азота и избыточного кислорода в продуктах сгорания. Реакция образования оксидов азота носит термический характер и не связана непосредственно с реакциями окисления топлива (при условии отсутствия в топливе химически связанного азота).

В Вятской ГСХА на кафедре ДВС были проведены исследования влияния применения метанола-топливной эмульсии (МТЭ) на эффективные и экологические показатели дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на различных скоростных и нагрузочных режимах [1–14].

На рисунке 1 представлено влияние применения МТЭ на показатели процесса сгорания в цилиндре, показатели объемного содержания $\gamma_{\text{NO}_x \text{ опыт}}$, массовой концентрации $C_{\text{NO}_x \text{ опыт}}$ оксидов азота в отработавших газах (ОГ) дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ [15–19].

Из графиков видно, что при работе на ДТ при увеличении нагрузки увеличивается максимальное давление сгорания $p_{z \text{ max}}$ от 6,45 МПа при $p_e = 0,13 \text{ МПа}$ до 9,29 МПа при $p_e = 0,82 \text{ МПа}$. Увеличение максимального давления сгорания $p_{z \text{ max}}$ составляет 2,84 МПа, или 30,5%.

Максимальная осреднённая температура T_{max} в цилиндре возрастает с 1620 К при $p_e = 0,13 \text{ МПа}$ до 2400 К при $p_e = 0,82 \text{ МПа}$. Рост максимальной температуры составляет 780 К, или 32,5%. Объемное содержание $\gamma_{\text{NO}_x \text{ опыт}}$ и массовая концентрация $C_{\text{NO}_x \text{ опыт}}$ оксидов азота NO_x при работе дизеля на ДТ с возрастанием нагрузки увеличиваются, соответственно, с 465 ppm и 0,67 г/м³ на минимальной нагрузке при $p_e = 0,13 \text{ МПа}$, до 671 ppm и 0,96 г/м³ при $p_e = 0,70 \text{ МПа}$ [20–22].

При работе дизеля 4Ч 11,0/12,5 на МТЭ показатели процесса сгорания изменяются во всём диапазоне изменения нагрузки. Из графиков видно, что при увеличении нагрузки максимальное давление сгорания $p_{z \text{ max}}$ возрастает с 5,2 МПа при $p_e = 0,26 \text{ МПа}$, до 9,72 МПа при $p_e = 0,82 \text{ МПа}$. Увеличение максимального давления сгорания $p_{z \text{ max}}$ составляет 4,52 МПа, или 46,6%. Максимальная осредненная температура T_{max} при работе на МТЭ увеличивается от 1690 К при $p_e = 0,26 \text{ МПа}$, до 2590 К при $p_e = 0,82 \text{ МПа}$. Рост максимальной осредненной температуры T_{max} составляет 900 К, или 53,2%. Объемное содержание $\gamma_{\text{NO}_x \text{ опыт}}$ и массовая концентрация $C_{\text{NO}_x \text{ опыт}}$ оксидов азота NO_x при работе дизеля на МТЭ с возрастанием нагрузки увеличиваются, соответственно, с 441 ppm и 0,63

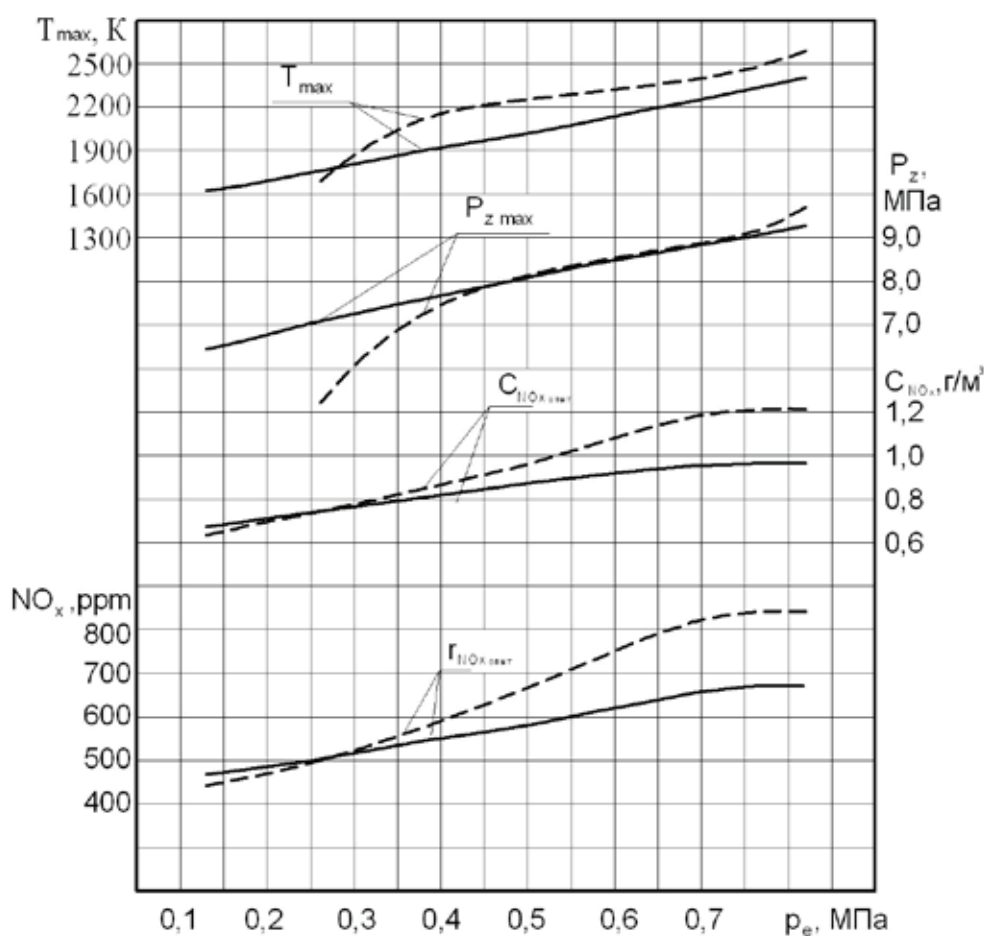


Рис. 1. Влияние применения МТЭ на показатели процесса сгорания в цилиндре и показатели объемного содержания $\gamma_{\text{NO}_x \text{ опыт}}$ массовой концентрации $C_{\text{NO}_x \text{ опыт}}$ оксидов азота в отработавших газах дизеля 4Ч 11,0/12,5 на оптимальных углах в зависимости от изменения нагрузки: $n = 1700 \text{ мин}^{-1} \frac{3}{4}$ — ДТ; — — — МТЭ

г/м³ на минимальной нагрузке при $p_e = 0,13$ МПа, до 839 ррт и 1,21 г/м³ при $p_e = 0,70$ МПа.

При переходе с ДТ на МТЭ при частоте вращения максимального крутящего момента $n = 1700$ мин⁻¹ и $p_e = 0,82$ МПа происходит увеличение максимальной осредненной температуры T_{max} с 2400 до 2590 К, т.е. максимальная осредненная температура увеличивается на 7,9%. Максимальное давления сгорания $p_{z\ max}$ увеличивается с 9,29 до 9,72 МПа, увеличение максимального давления сгорания $p_{z\ max}$ составляет 4,3%. Таким образом, увеличение

объемного содержания $\gamma_{NOx\ опыт}$ и массовой концентрации $C_{NOx\ опыт}$ оксидов азота при работе дизеля на МТЭ на оптимальных установочных УОВТ при $n = 1700$ мин⁻¹ и $p_e = 0,82$ МПа составляет, соответственно, 168 ррт и 0,24 г/м³, или 25,0%.

На основании полученных данных можно сделать вывод, что применение МТЭ не позволяет обеспечить снижение объемного содержания $\gamma_{NOx\ опыт}$ и массовой концентрации $C_{NOx\ опыт}$ оксидов азота во всем диапазоне изменения нагрузки [23–26].

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. 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.
4. 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.
5. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Чупраков А. И. Особенности работы автотранспортного дизеля на этано-топливной эмульсии // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 9. с. 16–19.
6. 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 этано-топливной эмульсии // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). с. 106–109.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 2. с. 6–7.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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.

18. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на оксиды азота при сгорании в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 151–154.
19. 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.
20. 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.
21. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11. с. 235–238.
22. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
23. Анфилатов, А. А. Исследование дымности в отработавших газах дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 50–53.
24. Анфилатов, А. А. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 45–47.
25. 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.
26. 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.

Теоретические расчеты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля Д-245.7 в зависимости от угла поворота коленчатого вала

Скрябин Максим Леонидович, кандидат технических наук, доцент
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

В работе приводятся результаты теоретических расчетов объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля Д-245.7 в зависимости от угла поворота коленчатого вала.

Ключевые слова: дизель, альтернативное топливо, природный газ, оксиды азота, объемное содержание и массовая концентрация оксидов азота, промежуточное охлаждение надувочного воздуха.

На основании модели воспламенения метановоздушной смеси были проведены теоретические расчеты объемного содержания и массовой концентрации оксидов азота в цилиндре дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на природном газе (ПГ) на всех скоростных и нагрузочных режимах работы [1–11].

Результаты теоретических расчетов по изменению объемного содержания $\gamma_{\text{NOx теор}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx теор}}$ оксидов азота в цилиндре дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на ДТ и ПГ в зависимости от угла п.к.в. для номинальной частоты вращения $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,947 \text{ МПа}$ и частоты вращения максимального крутящего момента $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 1,036 \text{ МПа}$ при установочном УОВТ $\Theta_{\text{впр}} = 7^\circ$ до в.м.т. представлены на рисунке 1.

Максимальное теоретическое значение объемного содержания оксидов азота $\gamma_{\text{NOx max теор}}$ в цилиндре при работе дизеля на ДТ при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,947 \text{ МПа}$ составляет 892 ppm, максимальная массовая концентрация $C_{\text{NOx max теор}}$ составляет $1,284 \text{ г/м}^3$, при $\varphi_{\text{NOx max теор}} = 14,5^\circ$ п.к.в. после в.м.т. Объемное содержание оксидов азота $\gamma_{\text{NOx вых теор}}$ в цилиндре в момент открытия выпускного клапана $\varphi_{\text{NOx вых теор}} = 130,0^\circ$ п.к.в. после в.м.т. со-

ставляет 684 ppm, при массовой концентрации $C_{\text{NOx вых теор}} = 0,984 \text{ г/м}^3$.

Максимальное теоретическое значение объемного содержания оксидов азота $\gamma_{\text{NOx max теор}}$ в цилиндре при работе дизеля на ПГ при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,947 \text{ МПа}$ составляет 941 ppm, максимальная массовая концентрация $C_{\text{NOx max теор}}$ составляет $1,355 \text{ г/м}^3$, при $\varphi_{\text{NOx max теор}} = 15,5^\circ$ п.к.в. после в.м.т. Объемное содержание оксидов азота $\gamma_{\text{NOx вых теор}}$ в цилиндре в момент открытия выпускного клапана $\varphi_{\text{NOx вых теор}} = 130,0^\circ$ п.к.в. после в.м.т. составляет 570 ppm, при массовой концентрации $C_{\text{NOx вых теор}} = 0,820 \text{ г/м}^3$. Снижение теоретического объемного содержания $\gamma_{\text{NOx вых теор}}$ и теоретической массовой концентрации $C_{\text{NOx вых теор}}$ оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на ПГ при $\varphi_{\text{NOx вых теор}} = 130,0^\circ$ п.к.в. после в.м.т. составляет 17% [11–21].

Максимальное теоретическое значение объемного содержания оксидов азота $\gamma_{\text{NOx max теор}}$ в цилиндре при работе дизеля на ДТ при $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 1,036 \text{ МПа}$ составляет 913 ppm, максимальная массовая концентрация $C_{\text{NOx max теор}}$ составляет $1,314 \text{ г/м}^3$, при $\varphi_{\text{NOx max теор}} = 8,0^\circ$ п.к.в. после в.м.т. Объемное содержание оксидов азота $\gamma_{\text{NOx вых}}$

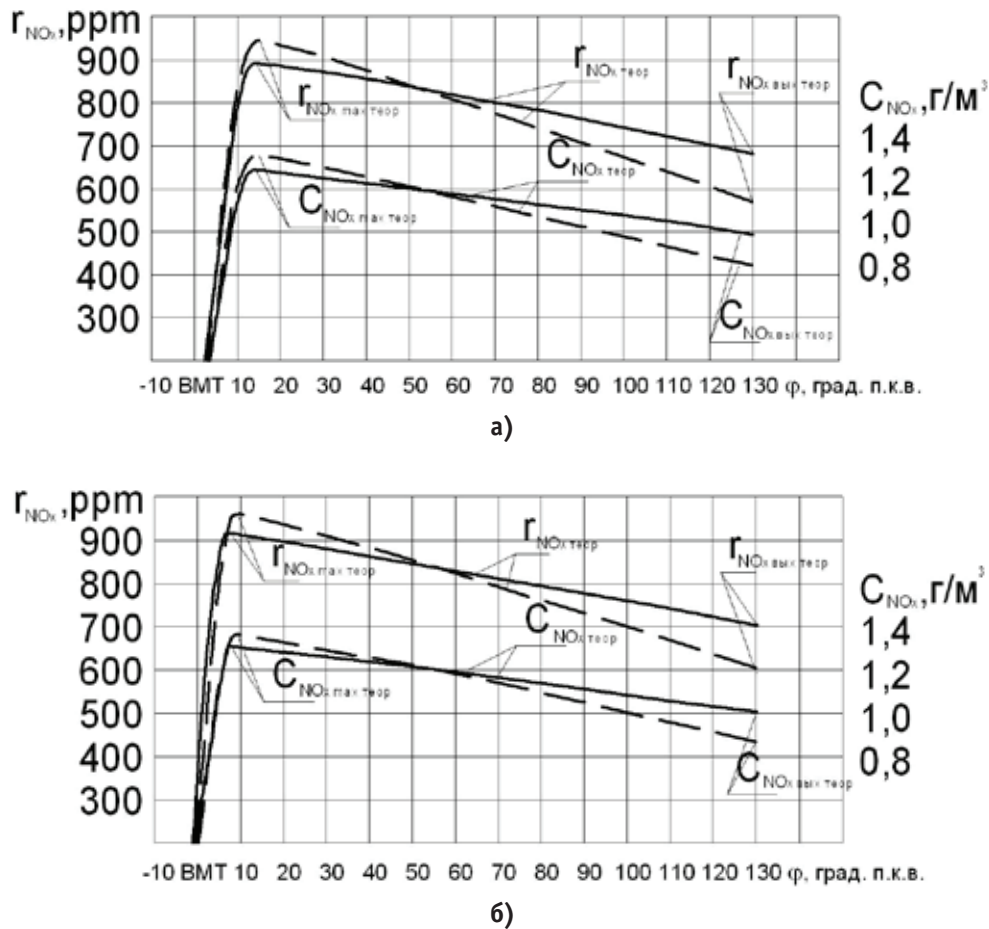


Рис. 1. Результаты теоретических расчетов по изменению объемного содержания $r_{NOx теор}$ и массовой концентрации $C_{NOx теор}$ оксидов азота в цилиндре дизеля Д-245.7 при работе на ДТ и ПГ в зависимости от изменения угла п.к.в. двигателя при $\Theta_{впр} = 7^\circ$ до в.м.т.: а — $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,947 \text{ МПа}$; б — $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 1,036 \text{ МПа}$; — — — дизельный процесс, — — — — газодизельный процесс

теор в цилиндре в момент открытия выпускного клапана $\varphi_{NOx \text{ вых теор}} = 130,0^\circ$ п.к.в. после в.м.т. составляет 703 ppm, при массовой концентрации $C_{NOx \text{ вых теор}} = 1,012 \text{ г/м}^3$.

Максимальное теоретическое значение объемного содержания оксидов азота $r_{NOx \text{ макс теор}}$ в цилиндре при работе дизеля на ПГ при $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 1,036 \text{ МПа}$ составляет 957 ppm, максимальная массовая концентрация $C_{NOx \text{ макс теор}}$ составляет $1,378 \text{ г/м}^3$, при $\varphi_{NOx \text{ макс теор}} = 9,5^\circ$ п.к.в. после в.м.т. Объемное содержание оксидов азота $r_{NOx \text{ вых теор}}$ в цилиндре в момент открытия выпускного клапана $\varphi_{NOx \text{ вых теор}} = 130,0^\circ$ п.к.в. (выходное теоретическое значение в момент открытия выпускного клапана) составляет 603 ppm, при массовой концентрации $C_{NOx \text{ вых теор}}$

теор $0,868 \text{ г/м}^3$. Снижение теоретического объемного содержания $r_{NOx \text{ вых теор}}$ оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на ПГ при $\varphi_{NOx \text{ вых теор}} = 130,0^\circ$ п.к.в. после в.м.т. составляет 14,0% [21–23].

По результатам экспериментальных исследований расчетами объемного содержания $r_{NOx \text{ расч}}$ и массовой концентрации $C_{NOx \text{ расч}}$ оксидов азота в цилиндре дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на ПГ подтверждена высокая сходимость полученных теоретических расчетов объемного содержания $r_{NOx \text{ теор}}$ и массовой концентрации $C_{NOx \text{ теор}}$ оксидов азота. Разница между теоретическими и расчетными данными не превышает 4%. [24–26].

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. 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.
4. 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.
5. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Чупраков А. И. Особенности работы автотранспортного дизеля на этанола-топливной эмульсии // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 9. с. 16–19.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей тракторного дизеля путем применения природного газа и рециркуляции отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсий // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 3. с. 3–6.
11. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 2. с. 6–7.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на оксиды азота при сгорании в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 151–154.
19. 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.
20. 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.
21. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11. с. 235–238.
22. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
23. Анфилатов, А. А. Исследование дымности в отработавших газах дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 50–53.
24. Анфилатов, А. А. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 45–47.
25. 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.
26. 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.

Исследование дымности отработавших газов дизелей при работе на альтернативном топливе

Скрябин Максим Леонидович, кандидат технических наук, доцент
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

В работе приводятся результаты изменения дымности отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 выполненных по результатам экспериментальных данных при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи.

Ключевые слова: дизель, альтернативное топливо, метанол, сажа, двойная система топливоподачи.

Целью наших исследований является — улучшение эффективных и экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с использованием двойной системы топливоподачи (ДСТ). Результаты стендовых испытаний по влиянию применения метанола с ДСТ на дымность ОГ представлены ниже [1–11].

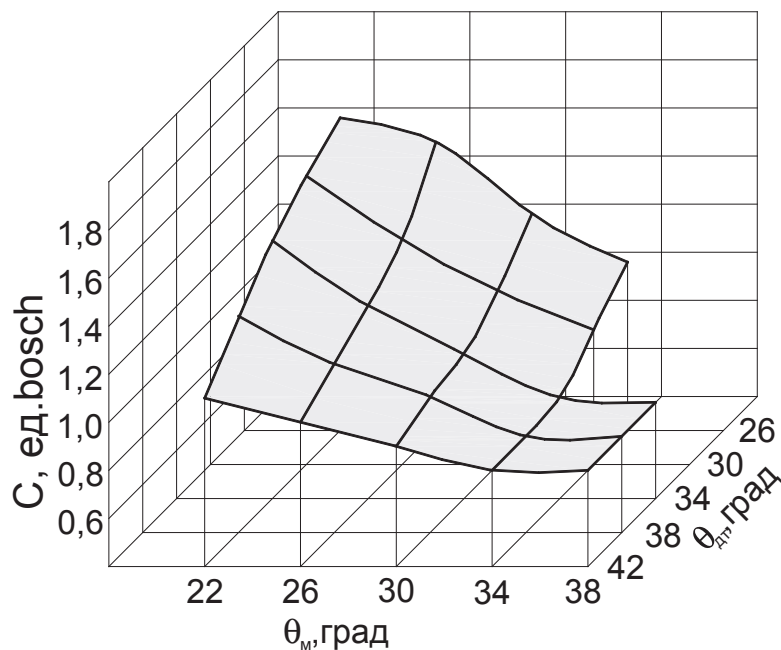
На рисунке 1 представлена зависимость изменения дымности ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 при различных установочных углах опережения впрыскивания топлива (УОВТ) ДТ и метанола на номинальном режиме работы при $n=1800 \text{ мин}^{-1}$ и режиме максимального крутящего момента при $n=1400 \text{ мин}^{-1}$. Из графиков видно, что при увеличении углов впрыскивания метанола и ДТ дымность ОГ снижается из-за повышения максимальной температуры сгорания и времени, отводимого на процессы окисления продуктов сгорания.

Рассматривая дымность ОГ при работе на метаноле с ДСТ $n=1800 \text{ мин}^{-1}$ при установочном УОВТ ДТ $\Theta_{\text{ДТ}}=26^\circ$ можно отметить следующее. При увеличении угла впрыскивания метанола дымность ОГ снижается с 1,7 ед. при

$\Theta_{\text{М}} = 22^\circ$ до 1,1 ед. по шкале Bosch при $\Theta_{\text{М}} = 34^\circ$. Снижение составляет 0,6 ед. по шкале Bosch или 35,3%. При увеличении угла впрыскивания ДТ до $\Theta_{\text{ДТ}}=30^\circ$ дымность ОГ изменяется с 1,6 ед. при $\Theta_{\text{М}} = 22^\circ$ до 0,95 ед. по шкале Bosch при $\Theta_{\text{М}} = 34^\circ$, т.е. снижается на 40,6% [12–22].

Рассматривая дымность ОГ при работе на метаноле с ДСТ при угле впрыскивания ДТ $\Theta_{\text{ДТ}}=34^\circ$ видно, что дымность ОГ изменяется с 1,45 ед. при $\Theta_{\text{М}} = 22^\circ$ до 0,8 ед. по шкале Bosch при $\Theta_{\text{М}} = 38^\circ$. Снижение составляет 0,65 ед. по шкале Bosch или 31,0%. При увеличении угла впрыскивания ДТ до $\Theta_{\text{ДТ}}=38^\circ$ дымность ОГ снижается с 1,3 ед. при $\Theta_{\text{М}} = 22^\circ$ до 0,8 ед. по шкале Bosch при $\Theta_{\text{М}} = 38^\circ$, т.е. 0,5 ед. по шкале Bosch или на 38,4%. При изменении угла впрыскивания ДТ до $\Theta_{\text{ДТ}}=42^\circ$ дымность ОГ снижается с 1,1 ед. при $\Theta_{\text{М}} = 22^\circ$ до 0,8 ед. по шкале Bosch при $\Theta_{\text{М}} = 38^\circ$, т.е. на 27,3%.

Рассматривая дымность ОГ при работе на метаноле с ДСТ при установочном УОВТ $\Theta_{\text{М}} = 22^\circ$ можно сделать следующее выводы. При увеличении угла впрыскивания метанола $\Theta_{\text{М}} = 26^\circ$ дымность ОГ изменяется с 1,6 ед. при



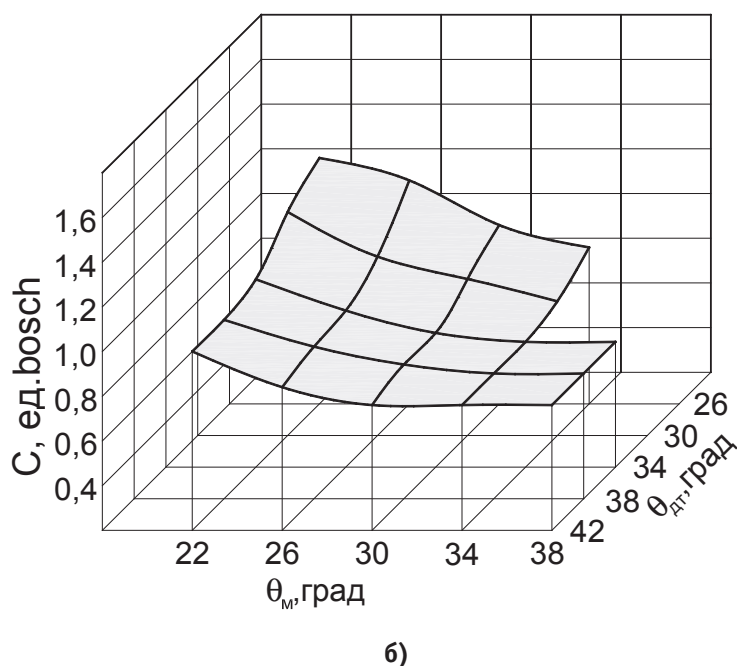


Рис. 1. Влияние применение метанола с ДСТ на дымность ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 при различных установочных УОВТ: а — при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ и $p_e = 0,585 \text{ МПа}$, $q_{\text{цдт}} = 6,6 \text{ мг/цикл}$; б — при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ и $p_e = 0,594 \text{ МПа}$, $q_{\text{цд}} = 6,0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

$\Theta_{\text{дт}} = 26^\circ$ до 1,0 ед. по шкале Bosch при $\Theta_{\text{дт}} = 42^\circ$, т.е. снижается на 0,6 ед. по шкале Bosch. При установочном УОВТ метанола $\Theta_{\text{м}} = 30^\circ$ дымность ОГ снижается с 1,5 ед. при $\Theta_{\text{дт}} = 26^\circ$ до 0,9 ед. по шкале Bosch при $\Theta_{\text{дт}} = 42^\circ$, т.е. на 40,0%.

При увеличении угла впрыскивания метанола $\Theta_{\text{м}} = 34^\circ$ дымность ОГ снижается с 1,1 ед. при $\Theta_{\text{дт}} = 26^\circ$ до 0,8 ед. по шкале Bosch при $\Theta_{\text{дт}} = 42^\circ$, при этом минимальное значение достигается уже при угле впрыскивания ДТ $\Theta_{\text{дт}} = 34^\circ$. Снижение составляет 0,3 ед. по шкале Bosch или

27,3%. При установочном угле впрыскивания метанола $\Theta_{\text{м}} = 38^\circ$ видно, что дымность ОГ не меняется и равна 0,8 ед. по шкале Bosch на всех углах впрыскивания ДТ.

Изменение дымности ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 при различных установочных УОВТ ДТ и метанола на режиме максимального крутящего момента при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ имеет тот же самый характер кривых, что и при работе на номинальном режиме работы $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$. Минимальное значение дымности ОГ достигается на тех же сочетаниях углов впрыскивания топлива [23–26].

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. 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.
4. 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.
5. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Чупраков А. И. Особенности работы автотранспортного дизеля на этанола-топливной эмульсии // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 9. с. 16–19.
6. 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.
7. 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.

8. 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.
9. 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.
10. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей тракторного дизеля путем применения природного газа и рециркуляции отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсий // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 3. с. 3–6.
11. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 2. с. 6–7.
12. Анфилатов, А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподдачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 184с.
13. 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 топливоподдачи: Монография. — Киров, 2008. — 156 с.
14. 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.
15. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Анфилатов А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путём применения метанола с использованием двойной системы топливоподдачи // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 5. с. 5–8.
16. 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.
17. 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.
18. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на оксиды азота при сгорании в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 151–154.
19. 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.
20. 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.
21. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11. с. 235–238.
22. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
23. Анфилатов, А. А. Исследование дымности в отработавших газах дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 50–53.
24. Анфилатов, А. А. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 45–47.
25. 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.
26. 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.

Нагрузочный режим удвоителя частоты со стабилизацией выходного напряжения на базе магнитного усилителя

Файзиев Махманазар Мансурович, кандидат технических наук, доцент;
 Каримов Илхом Нормаматович, соискатель, ассистент
 Каршинский инженерно-экономический институт (Узбекистан)

Повышение частоты источников питания всё время привлекало внимание многих исследователей, и этот вопрос до сих пор является одним из важных проблем электротехники.

Удвоитель частоты состоит из двух идентичных нелинейных ферромагнитных элементов. Первичные обмотки соединены согласно-последовательно и подключены к источнику переменного тока, а вторичные обмотки включены встречно-последовательно. При таком соединении индуцируемые во вторичных обмотках э.д.с основной частоты взаимно вычитаются, и их сумма равняется нулю. Нелинейные ферромагнитные элементы оснащены третьей обмотками, включенными встречно-последовательно, служащими для создания постоянного подмагничивающего поля, способствующего появлению в сердечниках чётных гармоник индукции.

Для индуктивной нагрузки схемы устройства, показанный на рис. 1, имеем следующие уравнение:

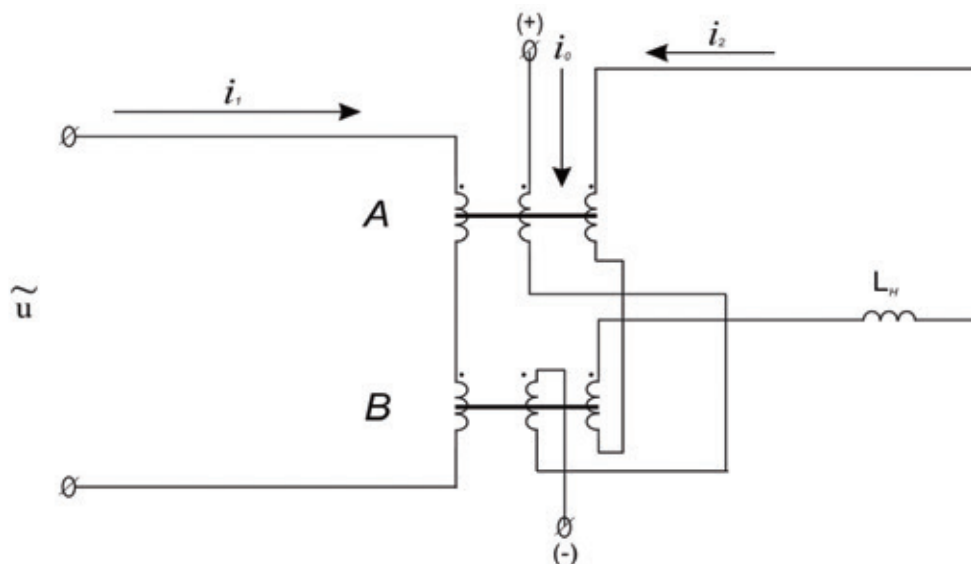


Рис. 1. Схема удвоителя частоты при индуктивной нагрузке

$$u = W \frac{d}{dt} (\Phi_A + \Phi_B), \tag{1}$$

$$W \frac{d}{dt} (\Phi_A - \Phi_B) + L \frac{di_2}{dt} = 0, \tag{2}$$

$$i_1 W_1 + i_2 W_2 + i_0 W_0 = k_1 \Phi_A + k_3 \Phi_B^3, \tag{3}$$

$$i_1 W_1 - i_2 W_2 - i_0 W_0 = k_1 \Phi_A + k_3 \Phi_B^3, \tag{4}$$

Здесь,

u — напряжение источника;

Φ_A, Φ_B — магнитные потоки в сердечниках ферромагнитных элементов;

k_1, k_3 — коэффициенты аппроксимирующей функции;

W_1, W_2, W_0 — число витков первичных, вторичных обмоток и обмотки подмагничивания;

i_1, i_2 — токи первичной, вторичной обмотки;

i_0 — тока подмагничивания;

L_H — параметры нагрузки.

Допустим, что

$$\Phi_A = \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_0, \tag{5}$$

$$\Phi_B = \Phi_1 - \Phi_2 - \Phi_0, \tag{6}$$

где

Φ_0 – постоянная составляющая магнитного потока;

Φ_1 – переменная составляющая магнитного потока с частотой f ;

Φ_2 – переменная составляющая магнитного потока с частотой $2f$.

Для случая $w_1 = w_2 = w_0$

$$i_2 = \frac{k_1}{2W}(\Phi_A - \Phi_B) + \frac{k_3}{2W}(\Phi_A^3 - \Phi_B^3) - i_0, \tag{7}$$

Подставляя (7) в (2) получим следующее выражение:

$$W \frac{d}{dt}(\Phi_A - \Phi_B) - i_0 + L \frac{k_1}{2W} \frac{d}{dt}(\Phi_A - \Phi_B) + L \frac{k_3}{2W} \frac{d}{dt}(\Phi_A^3 - \Phi_B^3) = 0 \tag{8}$$

Вводя базисных величины и приведя уравнение (8) к безразмерному виду, после некоторых математических преобразований.

Имеем:

$$\begin{aligned} &\frac{dx_2}{d\tau} + (x_2 + x_0) - i_0 + \beta \frac{dx_2}{d\tau} + 3\beta x_1^2 \frac{dx_2}{d\tau} + \\ &+ 6\beta x_1 x_2 \frac{dx_1}{d\tau} + 6\beta x_1 x_0 \frac{dx_1}{d\tau} + 3\beta x_2^2 \frac{dx_2}{d\tau} + 6\beta x_2 x_0 \frac{dx_2}{d\tau} + 3\beta x_0^2 \frac{dx_2}{d\tau} = 0 \end{aligned} \tag{9}$$

Здесь,

$$\begin{aligned} x_1 &= \Phi_1 / \Phi_\delta; x_2 = \Phi_2 / \Phi_\delta; x_0 = \Phi_0 / \Phi_\delta; i_0 = i_0 / i_\delta; \Phi_\delta = \sqrt{k_1 / k_3}; i_\delta = 2W\omega 2\Phi_\delta \\ \beta &= Lk_1 / 2W^2; \tau = \omega t. \end{aligned}$$

Дифференциальное уравнение цепи (9) решаем, учитывая основную и удвоенную гармоники индукции ферромагнитных элементов.

Пусть,

$$x_1 = X_{1m} \sin \frac{\tau}{2}, \tag{10}$$

$$x_2 = X_{2m} \sin(\tau + \psi), \tag{11}$$

Тогда из (9) после некоторых математических преобразований и применяя метода, гармонического баланса имеем:

$$\frac{3}{2} X_{1m}^2 x_0 \cos \psi + \frac{3}{2} \beta X_{1m}^2 x_0 \sin \psi = X_{2m} + \beta \alpha + \frac{3}{2} \beta X_{1m}^2 X_{2m} \tag{12}$$

$$\frac{3}{2} X_{1m}^2 x_0 \sin \psi - \frac{3}{2} \beta X_{1m}^2 x_0 \cos \psi = \alpha + \frac{3}{2} X_{1m}^2 X_{2m} \tag{13}$$

$$i_0 = x_0 + x_0^3 + \frac{3}{2} X_{1m}^2 x_0 + \frac{3}{2} X_{2m}^2 x_0 - \frac{3}{4} X_{1m}^2 X_{2m} \sin \psi, \tag{14}$$

Возводя в квадрат зависимости (12), (13) и сложив их получим уравнение, которое имеет следующее решение:

$$X_{1m}^2 = \frac{2G \pm 2\sqrt{G^2 + [F + (x_0^2 - X_{2m}^2)(\alpha^2 + (X_{2m} + \beta\alpha)^2]}}{3[F + (x_0^2 - X_{2m}^2)]}, \tag{15}$$

здесь;

$$\alpha = \frac{3}{4} X_{2m}^3 + 3X_{2m}x_0^2 + X_{2m},$$

$$G = X_{2m}(X_{2m}\beta + \beta^2\alpha + \alpha),$$

$$F = \beta(x_0^2 - X_{2m}^2).$$

Из (12,13) получим следующее:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{\beta^2 \left[M + \frac{3}{2} X_{1m}^2 (\beta^2 + X_{2m}) \right]}{X_{2m} \beta^2}, \quad (16)$$

где,

$$M = \beta X_{2m} + \beta^2 \alpha + \alpha.$$

На основе уравнения (15) задавая значение x_0 и определяя из (14) величину i_0 строим характеристики $X_{2m} = f(X_{1m})$ для различных токов подмагничивания. Проведем линию, параллельную оси абсцисс определяем в точках пересечения значения i_0 , X_{1m} и строим зависимость $i_0 = f(X_{1m})$ необходимый для стабилизации выходного напряжения [1]. Затем можно строить регулировочную характеристику удвоителя частоты. Таким образом, соответствующим выбором необходимой закономерности тока подмагничивания обмотки управления в зависимости от приложенного напряжения источника, можно обеспечить стабилизацию выходного напряжения ферромагнитного удвоителя частоты.

Произведен анализ предложенного схемы исследуемого устройства для случая индуктивной нагрузки при учете основной и удвоенной гармоник магнитного потока значения коэффициента сердечников. Установлено, что предложенное устройство имеет коэффициент стабилизации по нагрузке K_H лежит в пределах от 30 до 70.

Литература:

1. Кадилов, Т. М., Алимов Х. А., Файзиев М. М. Установившийся режим ферромагнитного удвоителя частоты. Узбекский журнал Проблемы информатики и энергетика 1997. № 3. С.29–33.
2. Бессонов, Л. А. Нелинейные электрические цепи. М: Высшая школа, 1964, 430с.

Обзор и перспективы развития мобильных шагающих робототехнических систем

Фокин Виктор Геннадьевич, аспирант

Московский государственный университет информационных технологий, радиотехники и электроники

Шаныгин Сергей Витальевич, кандидат технических наук

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Проведен обзор конструкций шагающих роботов. Отмечены отличительные особенности шагающих машин и их преимущество перед колесными и гусеничными машинами. Рассмотрена область применения и функциональные возможности представленных конструкций. Отмечена главенствующая роль системы управления, определяющей возможности шагающих машин. Предложена децентрализация системы обеспечения устойчивости и движения.

Ключевые слова: *мобильные роботы, шагающие роботы, система управления шагающего робота.*

В настоящее время практически во всех промышленно развитых странах интенсивно ведутся работы по созданию и исследованию шагающих роботов. Это вызвано тем, что шагающие машины по сравнению с традиционными колесными и гусеничными машинами имеют ряд преимуществ перед традиционными транспортными средствами при движении по поверхности со сложным рельефом, такими как пресеченная местность, завалы, а также внутри зданий и сооружений, где необходимо перемещаться по лестницам и узким коридорам и шахтам.

В случаях, когда желательно или необходимо, чтобы след от опор целевой мобильной платформы имел дис-

кретный характер, достойную замену шагающей машине найти невозможно. В ней используются, заложенные в принципе шагания, возможности развязки движения корпуса машины от опорной поверхности, что уменьшает губительное воздействие на плодородный слой земли при движении. Эти особенности машины с шаговым двигателем могут быть востребованы при создании сельскохозяйственных роботов.

Такие страны как США, Голландия, Швеция и другие начинают полностью переходить к безлюдному автоматизированному сельскохозяйственному производству. Внедрение роботов в эту индустрию позволит существенно

повысить продуктивность и рентабельность сельского хозяйства, поэтому необходимость исследования в этой области, разработка методик построения универсальных робототехнических систем очевидны.

Современный уровень технологии и вычислительной техники позволяет строить не только лабораторные макеты, но и крупномасштабные машины, которые могут служить прототипами шагающих машин для выполнения конкретных действий на сложной местности. Ниже рассмотрены некоторые существующие разработки шагающих машин.

Обзор шагающих роботов

Особенности конструкции HexCrawler (рис.1), позволяют ему передвигаться по неровной поверхности. Корпус робота выполнен из алюминия. Привод осуществляется с помощью 12 сервомоторов, позволяющих ему развивать большую скорость. Имеет 3 группы конечностей. Каждая группа состоит из 2-х конечностей. Одна группа выполняет

только опорную функцию. Две остальные используют для обеспечения движения. Каждая из этих групп приводится в движения одним сервоприводом. Кинематика робота сильно упрощена, так же как и система управления, обеспечения движения. Вследствие чего снижена маневренность, требования к качеству поверхности, наоборот, повышены.

Mini Hexapod — автономный робот (рис.2) движется прямолинейно, до тех пор, пока не сталкивается с каким-либо препятствием. Он оборудован двумя датчиками — “усами”. Если один из усов соприкасается с препятствием, робот поворачивается.

Walking forest machine (рис.3) разрабатывалась как средство передвижения по пересеченной местности с минимальным пагубным влиянием на опорную поверхность (по сравнению с колесным и гусеничным транспортом). WFM обладает высокой маневренностью. В зависимости от неровностей ландшафта, оператор может изменить высоту машины и высоту каждого шага, однако решения по выбору маршрута, регулировке высоты шага принимает оператор-водитель.

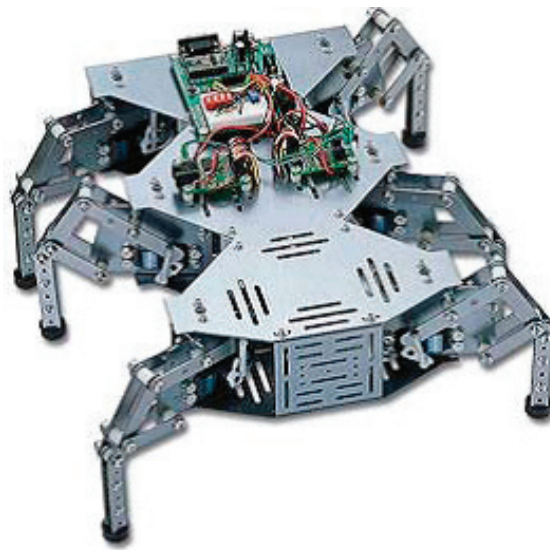


Рис. 1. HexCrawler

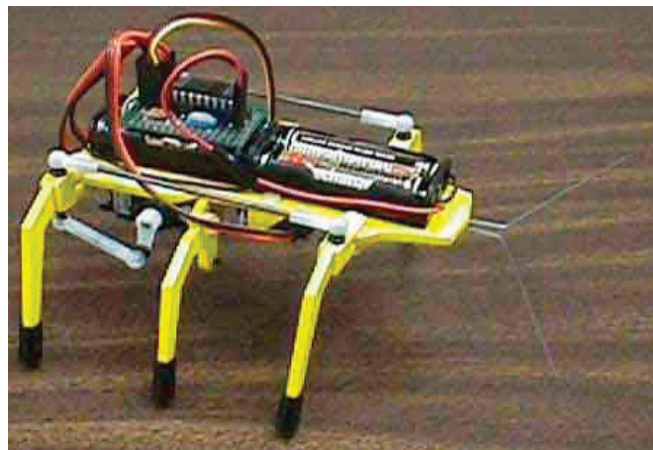


Рис.2. Mini Hexapod

Многие изобретения в области робототехники находят свое применение в медицине. В Японии создан Medical robot (рис.4) — двуногий шагающий робот, специально приспособленный к переноске людей. Его создатели утверждают, что с помощью робота инвалиды смогут передвигаться по лестницам или по неровной поверхности.

Фирма Boston Dynamics разработала четвероногого робота Big Dog (рис.5), который должен стать спутником солдата в самых сложных природно-климатических условиях. Благодаря разработанной системе управления, обладает высокой устойчивостью при движении по неровной, скользкой поверхностям и способен удерживать равновесие даже при внешнем механическом воздействии. Робот может работать в нескольких режимах: перемещение по координатам, следовании за лидером. Может передвигаться галопом, бегом, ползком. Он снабжен двигателем и спецсредствами, обеспечивающими её управ-

ление, передвижение, ориентацию на местности и связь. В качестве источника энергии для Big Dog используется двухтактный двигатель внутреннего сгорания с водяным охлаждением мощностью в 15 л.с. Силовую установку, разработчики планируют заменить на менее шумную.

Ranger — шагающий робот-марафонец (рис.6), сделанный в Корнельском университете (Cornell University). На сегодняшний день он поставил рекорд по работе на дистанции без перезарядки и ремонта. Обогнал своего конкурента робота BigDog.

Известная американская робототехническая компания Boston Dynamics представила робота Cheetah («Гепард») (рис.7), установившего новый рекорд скорости для шагающих роботов. Четырехногий робот Cheetah смог разогнаться до 28,9 километров в час. Механика робота инспирирована самым быстрым животным на планете. Также как и гепард, робот развивает скорость за счет сги-



Рис. 3. Walking forest machine



Рис. 4. Medical robot



Рис. 5. Робот Big Dog



Рис. 6. Ranger

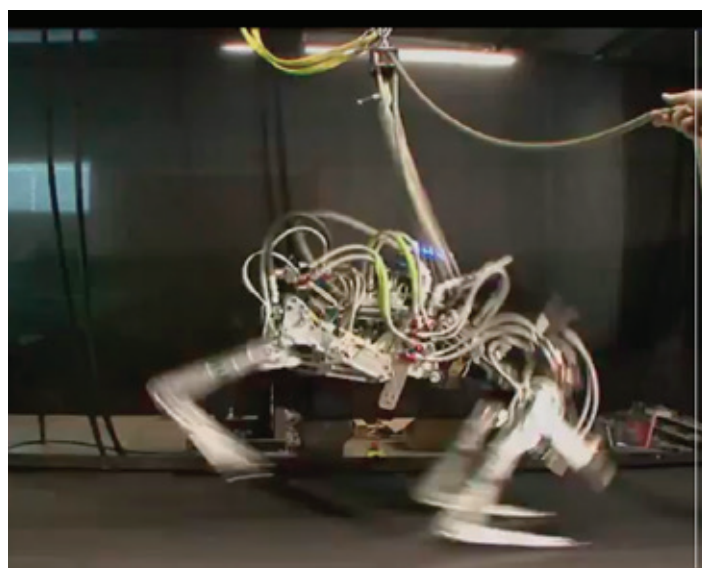


Рис. 7. Cheetah

бания и разгибания «спины», что обеспечивает увеличение силы толчка конечностями.

В департаменте биологической кибернетики Бильфельдского университета был разработан новый робот-насекомое «Nector» (рис.8).

«Nector» будет использоваться в CITEC и лабораториях Дании, Германии и Италии, как часть Европейского проекта EMICAB (Embodied Motion Intelligence for Cognitive, Autonomous Robots) — воплощение в движения интеллекта когнитивных автономных роботов. Робот будет учиться перемещаться автономно и подражать походке настоящих насекомых.

Платформа X-RHex (рис.9) схожа с Mini Mechadon. Однако у нее есть ощутимые преимущества в проходимости. Шесть «лап» робота синхронно вращаются «по три», примерно копируя методику перемещения прочих хексоподов. Только сами ноги представляют собой полукруглые упругие пластины с резиновым покрытием.

Такая конструкция позволяет роботу довольно успешно двигаться и по траве, песку, щебенке, грязи и многим другим типам поверхности, которые могут затруднять движение как колесных, так и шагающих роботов. При этом конструкция способна преодолевать до-

статочно заметные относительно собственных размеров препятствия.

Робот iC Hexapod (рис.10) оборудован ПЗС-камерой и, работающем на 16-ти битном процессоре PIC. Зафиксировав лицо, робот начинает снимать.

Норвежский специалист робототехники Каре Халворсен (Kare Halvorsen) воплотил в реальность мечты всех любителей фантастики. Он создал трансформирующегося робота MopHex (рис.11), который может не только двигаться, но и катиться самостоятельно.

Для обеспечения большей безопасности при проведении поиска мин компанией CSIC был разработан робот SIL06 (рис.12), имеющий шесть конечностей для передвижения. Двигательная система нового робота действует таким образом, что всегда три конечности находятся в устойчивом контакте с поверхностью, обеспечивая, таким образом, достаточную устойчивость всей конструкции в целом. Благодаря этой устойчивости и большому количеству конечностей, этот робот обладает хорошей маневренностью, скоростью передвижения и точностью движений, что является необходимым при проведении такого опасного мероприятия как разминирование местности.



Рис. 8. Робот-насекомое «Nector»

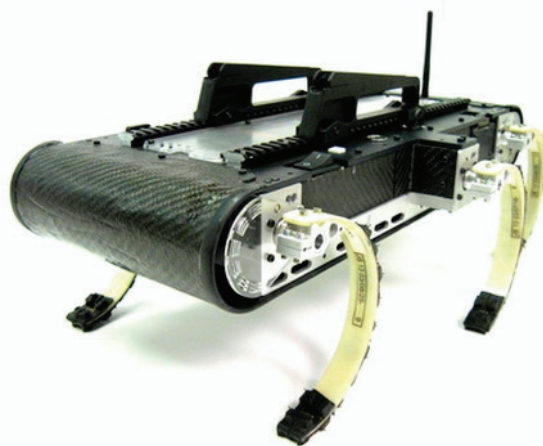


Рис. 9. X-RHex

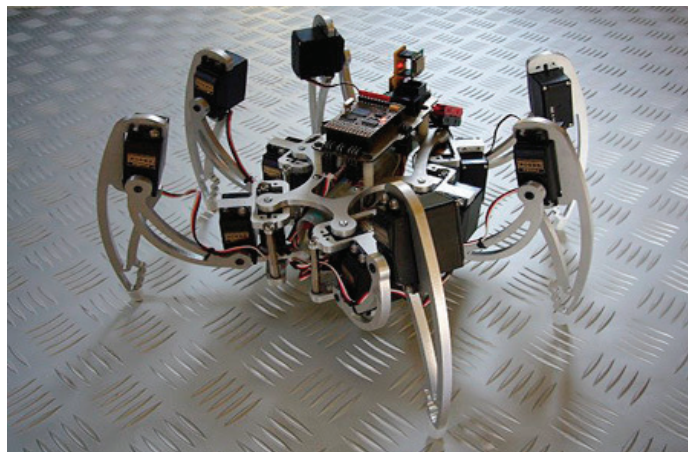


Рис. 10. iC Hexapod

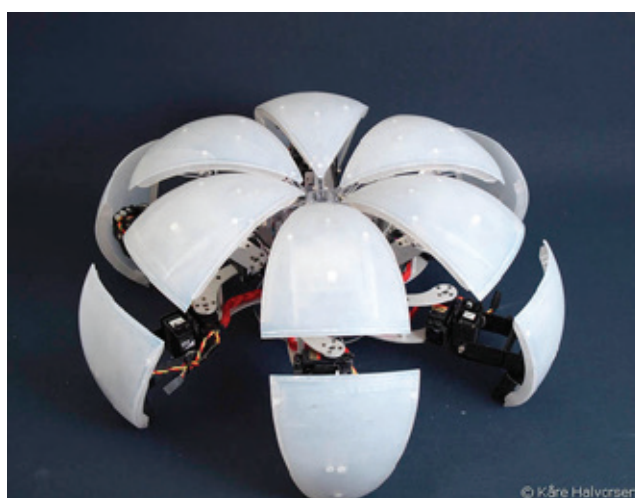


Рис. 11. MorphHex



Рис. 12. SIL06

Проживающий в штате Айова, американский изобретатель Дэвид Дорхаут (David Doughout) разработал робота-фермера Prospero (рис.13). Робот, основываясь на командах программного обеспечения, может сеять семена определенных растений в определенных местах огорода и запоминать их местоположение. Изобретатель провел

несколько успешных тестирований Prospero. В нем предусмотрена возможность взаимодействия с другими роботами-фермерами. Дэвид Дорхаут намерен в дальнейшем модернизировать своего робота, расширив его функциональность для выполнения различных работ, таких как, обработка грядок, устранение сорняков, поливка и другое.



Рис. 13. Prospero

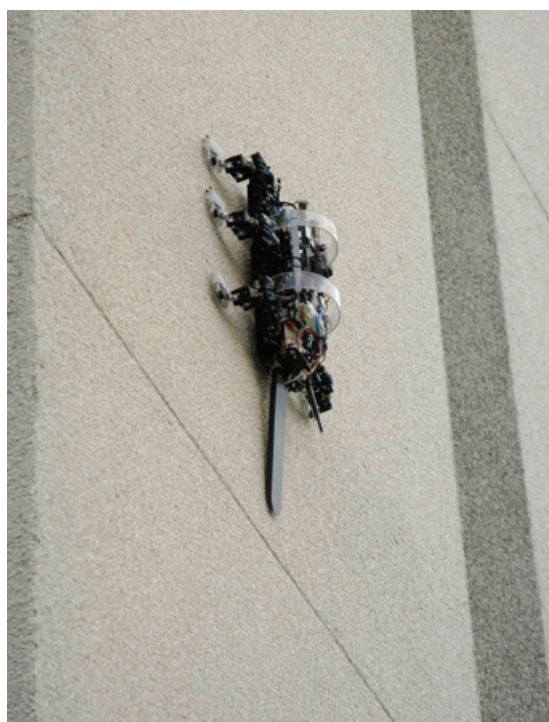


Рис. 14. RiSE

Создатель Prospero считает, что роботы-фермеры смогут значительно повысить производительность сельского труда.

RiSE — это робот, который способен подниматься по вертикальным поверхностям (рис.14), таким как стены, деревья и заборы. Робот использует микро когти на конечностях, чтобы подниматься по текстурированным поверхностям. Подстраивает подвижный позвоночник, чтобы соответствовать кривизне поверхности и использует хвост как дополнительную опору на крутых подъемах. Размер робота 0.25 м, вес около 2 кг, скорость передвижения 0,3 м / с. Каждый из шести ног приводятся в движение парой электродвигателей. Бортовой компьютер

управляет движением ног, опрашивает и анализирует данные с различных датчиков, в том числе датчиков положения, тензодатчиков и контактных датчиков.

Рассмотрим недостатки и достоинства представленных конструкций. Использование меньшего количества сервоприводов у шагающих роботов HexCrawler и Mini Hexapod уменьшает вес, упрощает систему обеспечения движения, но вместе с тем уменьшает маневренность, проходимость робота по местности со сложным рельефом.

Робот X-RHex не имеет возможности полной развязки конечностей от опорной поверхности, траектория движений конечностей не меняется, и нет возможности выбора произвольных точек опор для конечностей.

Шагающие машины Walking forest machine и SIL06 благодаря своей конструкции имеют высокую маневренность и проходимость, но не обладают автономностью и управляются водителем в первом случае и удаленным оператором — во втором.

Перспективными можно признать разработки фирмы Boston Dynamics — роботы BigDog, Cheetah, WildCat. Они прошли успешные испытания и благодаря применению современных технологий и усовершенствования алгоритмов систем управления, достигли результатов, ранее не доступных шагающим роботам. Область применения этих роботов — военные операции, а проект финансируется DARPA. Алгоритмы систем управления и их реализация является коммерческой тайной Boston Dynamics и не подлежат размещению в открытых источниках.

Робот-насекомое «Nector» был разработан в рамках проекта EMICAB для изучения продвинутых автономных движений. Алгоритмы и траектория движения конечностей строились на основе наблюдений за передвижением насекомых. В настоящее время робот Nector имеет на вооружении датчики и камеры малого радиуса действия, которые предоставляют информацию о положении робота и дают ему некоторое представление об окружающей среде.

Общие требования при построении шагающих робототехнических систем

В целом идея использования шагающих роботов рассматривается многими исследователями. Выбор конструкций зависит от задач, поставленных перед шагающей машиной. Возможность применения упрощенной конструкции, сокращения подвижности конечностей, упрощения систем управления, обеспечения движения возникает в случаях, когда к роботу не предъявлены требования перемещения по сложным поверхностям, в случаях, когда часть управления берет на себя оператор. В более жестких условиях, при необходимости действовать полностью или частично автономно и при заранее неизвестном состоянии опорной поверхностью, робот должен иметь конструкцию с большей степенью подвижности конечностей. Это приводит к необходимости построения сложной системы управления.

Конкретный уровень автоматизации управления движением шагающей машины зависит, от назначения машины и условий ее применения. Так информационные роботы, работающие в экстремальных условиях, при заранее неизвестном рельефом местности должны исполь-

зовать сложные бортовые вычислительные комплексы, а для технологических шагающих машин применение таких систем не целесообразно.

Задачами системы управления становится управление большим числом степеней свободы, обеспечение требуемых кинематических и динамических параметров шагающих аппаратов, а в случае автономных роботов добавляются задачи навигации и ориентации в пространстве.

Программное обеспечение систем управления определяет свойства и характеристики шагающих роботов. Высокая неопределенность окружающей обстановки ограничивает возможность использования жестких алгоритмов управления конечностями. Очевидно, что в состав системы управления должны входить устройства определения положения корпуса робота и его конечностей в пространстве, контроля опорной поверхности, оценки и выбора маршрута движения, устройства для расширения функциональности робота, выполнения каких-либо сервисных функций.

Наиболее перспективным решением является взаимодействие алгоритмов перемещения конечностей у представителей живой природы (насекомых, млекопитающих, членистоногих). Однако простое копирование алгоритмов и траекторий движения конечностей недостаточно для того чтобы обеспечить движение робота по сложному рельефу. Необходимо построить систему очувствления робота и разработать алгоритмы корректировки движения каждой конечности, представляющую собой отдельный объект управления с одной стороны и часть системы обеспечения устойчивости — с другой. Управление каждой конечностью может осуществляться отдельным автономным модулем, который взаимодействует с другими такими же модулями.

Взаимодействие между частями (модулями) системы обеспечения устойчивости и движения представляет собой отдельный объект исследования. Алгоритмы их взаимодействия должны учитывать состояние каждого из них и вносить необходимые изменения в процессе шагания.

Заключение

Система управления является неотъемлемой частью систем шагающих машин, определяющая их возможности в целом. Применение алгоритмов, «подсмотренных» у живой природы вкпе с интеллектуальной системой корректировки движения позволит эффективно использовать все преимущества такого способа передвижения. И вопрос разработки таких систем управления в настоящее время чрезвычайно актуален.

Литература:

1. Nonami, K. et al., *Hydraulically Actuated Hexapod Robots: Design, Implementation and Control*, Intelligent Systems, Control and Automation: Science and Engineering 66, Springer Japan 2014. 277 p.
2. Голубев, Ю. Ф., Охоцимский Д. Е. *Механика и управление движением автоматического шагающего аппарата*. — М.: Наука, 1984. 312 с.

3. RHex — Devours Rough Terrain. [Электронный ресурс] — режим доступа: http://www.bostondynamics.com/robot_rhex.html
4. Walking Tractor Timberjack by John Deere. [Электронный ресурс] — режим доступа: <http://www.theoldrobots.com/Walking-Robot2.html>
5. SIL06 — шестиногий робот-миноискатель. [Электронный ресурс] — режим доступа: <http://www.dailytechinfo.org/military/589-sil06-shestinogij-robot-minoiskatel.html>
6. I. C. Hexapod. [Электронный ресурс] — режим доступа: <http://www.micromagicsystems.com/#/ic-hexapod/4525033632>
7. Робот-насекомое по имени Hector делает свои первые шаги. [Электронный ресурс] — режим доступа: <http://www.dailytechinfo.org/robots/6573-robot-nasekomoe-po-imeni-hector-delaet-svoi-pervye-shagi.html>
8. CHEETAH — Fastest Legged Robot. [Электронный ресурс] — режим доступа: http://www.bostondynamics.com/robot_cheetah.html
9. BigDog — The Most Advanced Rough-Terrain Robot on Earth. [Электронный ресурс] — режим доступа: http://www.bostondynamics.com/robot_bigdog.html
10. RiSE: The Amazing Climbing Robot. [Электронный ресурс] — режим доступа: http://www.bostondynamics.com/robot_rise.html
11. Meet Prospero: Robo-Farmer on Six Legs. [Электронный ресурс] — режим доступа: <http://news.discovery.com/tech/robotics/swarm-bots-111221.htm>
12. HexCrawler Robot. [Электронный ресурс] — режим доступа: <http://www.robotbooks.com/hexcrawler.htm>
13. Morphing DIY robot looks like a Portal ‘bot for real. [Электронный ресурс] — режим доступа: <http://www.slashgear.com/morphing-diy-robot-looks-like-a-portal-bot-for-real-18325731/>

Применение информационных технологий при анализе многофазных параметров гидродинамики процесса бурения нефтяных скважин

Хожиева Мухлиса Султоновна, магистрант
 Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)
 Эсанов Элшод Толибович, преподаватель
 Бухарский политехнический колледж (Узбекистан)
 Бахранова Дилноза Ахмедовна, студент
 Бухарский государственный университет (Узбекистан)

В настоящее время информационные технологии внедряются во все области производства, в том числе и в область нефтепереработок. Процесс бурения нефтяных и газовых скважин требует особого внимания, особенно при освоении и введении в разработку новых нефтегазовых месторождений.

Информационное обеспечение строительства нефтегазовых скважин означает применение информационных технологий для сбора необходимой информации, т.е. параметров, связанных с производством, обработкой большого объема информации и принятия стратегического решения, которое дало бы эффект экономического, технологического или иного характера. Применение информационной технологии подразумевает следующие работы:

- применяя информационные технологии, выполняется контроль технологических многофазных параметров гидродинамики и выбор оптимального режима бурения;
- выполняются измерения в процессе;
- одновременное измерение и сбор информации, сопровождаемые управлением технологического процесса

и анализом многофазных параметров гидродинамики бурения.

В информационных технологиях, применяемых в процессе строительства скважин, особенно важную роль играет информационное обеспечение, основной задачей которого является изучение параметров гидродинамики процесса бурения, месторождение скважин, определение продуктивности и качественное строительство скважин на основе собранной информации о процессе бурения. К ним относятся: геолого-геохимическая, геофизическая и технологическая информация о скважине, кроме этого выявляется оперативная информация, которая имеет большое значение для определения местонахождений скважин в малоизученных регионах. Эта информация нужна тогда, когда изучаются месторождения со сложными горно-геологическими условиями, а также при проводке наклонно направленных и горизонтальных скважин. Новые информационные технологии с расширенными требованиями к информационному обеспечению процесса бурения смогут решить задачи расширенного характера. Полученный опыт бурения нефтяных и газовых скважин уделяет

высокое внимание гидродинамическим задачам бурения. Моделирование информационных технологий многофазных течений является одним из современных направлений, которому в последнее время уделяется большое внимание. Этот подход позволяет на современном уровне изучать двухфазные течения в различных технологических устройствах, используемых не только в бурении. Большинство технологических операций бурения нефтяных и газовых скважин основываются на гидродинамических процессах. Следовательно, развитие этих процессов бурения привело к созданию и использованию двухфазных технологических жидкостей, которые отличаются своими характеристиками, сжимаемостью и концентрациями фаз. Свойства таких смесей влияют на гидродинамические процессы в скважинах, при бурении и добыче. Как при проектировании технологических процессов бурения и их оперативном контроле, так и при взаимодействии с горными породами необходим расчёт характеристик движения двухфазных жидкостей в элементах циркуляционной системы скважины. Гидродинамика двухфазных жидкостей в бурении большей частью изучается и рассматривается в разделе механики. Такая информация как течение промысловых и тампонажных растворов в элементах циркуляционной системы скважины, поведение скелета и флюида пластов при бурении скважин — очень важна, без этих знаний невозможно проектирование, оптимизация и осуществление гидроаэромеханической программы бурения, которая определяет эффективность строительства нефтяных и газовых скважин.

Построение обобщенной одномерной гидродинамической модели движения двухфазных смесей в различных элементах циркуляционной системы скважины при бурении и с учетом взаимодействия с пластами в репрессивном и депрессионном режимах является насущной задачей. Поэтому дальнейшее развитие двухфазной гидродинамики бурения и ее анализ информационными технологиями, программным обеспечением анализа параметров является одной из важнейших задач нефтегазодобывающей отрасли.

Несоответствие между концепцией абсолютного порового пространства и реальными условиями фильтрации флюидов в пласте сопровождаются:

- ошибками при нормировании и использовании кривых относительных фазовых проницаемостей;
- затруднениями при учете данных гидродинамических исследований скважин и их эксплуатации в процессе

адаптации гидродинамической модели пласта применением информационных технологий;

- некорректным определением граничных значений параметров при выделении неколлекторов и, как следствие, ошибкам при подсчете запасов нефти и газа;
- искажениям методологии исследовательских работ на кернах или моделях пластов.

Соответствующий переход в гидродинамическом моделировании с помощью информационных технологий сопровождается небольшими изменениями в постановке задач. При этом ход решения не изменяется. Требуются другие методы проведения и интерпретации результатов лабораторных исследований скважин, анализа параметров.

Пространственное моделирование с применением информационной технологии в эффективном поровом пространстве:

- улучшает корреляционные связи между $m_{эф}$ и $k_{эф}$, которые затем используются при создании геологических и гидродинамических моделей пласта;
- делает корректным использование результатов гидродинамических исследований скважин и данных их эксплуатации в процедуре адаптации 3D гидродинамической модели пласта;
- дает возможность осуществлять такие гидродинамические исследования скважин, когда в пластовых условиях определяются необходимые для моделирования относительные фазовые проницаемости для нефти, газа и воды именно в эффективном поровом пространстве;
- позволяет строить реалистичные модели пластов, осуществлять более достоверный прогноз показателей процесса разработки месторождений нефти и газа, точнее оценивать запасы природных углеводородов;
- дает возможность выбора более эффективного метода работы и получения более точного результата;
- научного развития и открытий по направлению технологий бурения нефтяных скважин

Реализация созданных инновационных технологий, и в первую очередь — технологий, резко снижающих вынос песка, обеспечит эффективную добычу гигантских запасов низконапорного газа. Исследования, выполняемые в этой сфере продолжается, поставлены новые задачи, основная цель которых — эффективное внедрение инновационных технологий для изучения месторождений нефтяных скважин, увеличение объема и улучшение качества нефтегазовой продукции.

Литература:

1. <http://energyfuture.ru/ob-informacionnom-obespechenii-processa-bureniya-skvazhin>
2. <http://leuza.ru/science/article21.htm>
3. <http://www.lib.ua-ru.net/diss/cont/401335.html>

Индикаторные показатели дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на ЭТЭ

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 этанолю-топливной эмульсии. В работе приводится анализ полученных результатов.

Ключевые слова: дизель, эмульсия.

На рисунке 1 приведены совмещенные индикаторные диаграммы дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на ДТ и на ЭТЭ при номинальной частоте вращения $n = 2200$ мин⁻¹ и установленным среднем эффективном давлении $p_e = 0,64$ МПа. На данном рисунке рассмотрены индикаторные диаграммы на оптимальных установочных УОВТ, которые для дизеля работающего на ДТ установлены заводом изготовителем и составляет $\Theta_{впр ДТ} = 23^\circ$, для дизеля работающего на ЭТЭ был принят $\Theta_{впр ЭТЭ} = 23^\circ$. Результаты индицирования показывают некоторое увеличение давления сгорания $p_{z \max}$. Так, при работе на ДТ значение $p_{z \max ДТ} = 8,4$ МПа, а при работе дизеля на ЭТЭ значение возрастает до $p_{z \max ЭТЭ} = 8,4$ МПа, т.е. увеличение составляет 0,5 МПа, или 6,0%. Точка начала видимого сгорания при работе на ДТ при значении угла j с ДТ = 1° п.к.в., располагается до ВМТ на индикаторной диаграмме, а при работе на ЭТЭ при j с ЭТЭ = $5,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ. Таким образом, с учетом устано-

вочного УОВТ, ПЗВ при работе на ДТ составляет j и ДТ = $22,0^\circ$, а при работе на ЭТЭ — j и ЭТЭ = $28,0^\circ$. Следует отметить, что процесс сгорания при работе дизеля на ЭТЭ несколько сдвигается вправо от ВМТ.

Таким образом закономерности изменения давления газов в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на ЭТЭ сохраняются. При увеличении установочного угла происходит увеличение $p_{z \max}$ [1–15].

На рисунке 2 изображены совмещенные индикаторные диаграммы снятые на частоте вращения $n = 1700$ мин⁻¹ и $p_e = 0,69$ МПа. При анализе данных диаграмм можно сделать вывод о сохранении закономерностей наблюдаемых при номинальной частоте вращения. Значение $p_{z \max}$ при переходе дизеля на работу на ЭТЭ повышается. При работе дизеля на ДТ $p_{z \max ДТ} = 8,7$ МПа, а при работе дизеля на ЭТЭ $p_{z \max ЭТЭ} = 9,2$ МПа, при этом увеличение составляет 0,5 МПа или 5,7%. Точка начала видимого сгорания лежит на линии сжатия индикаторной диаграммы

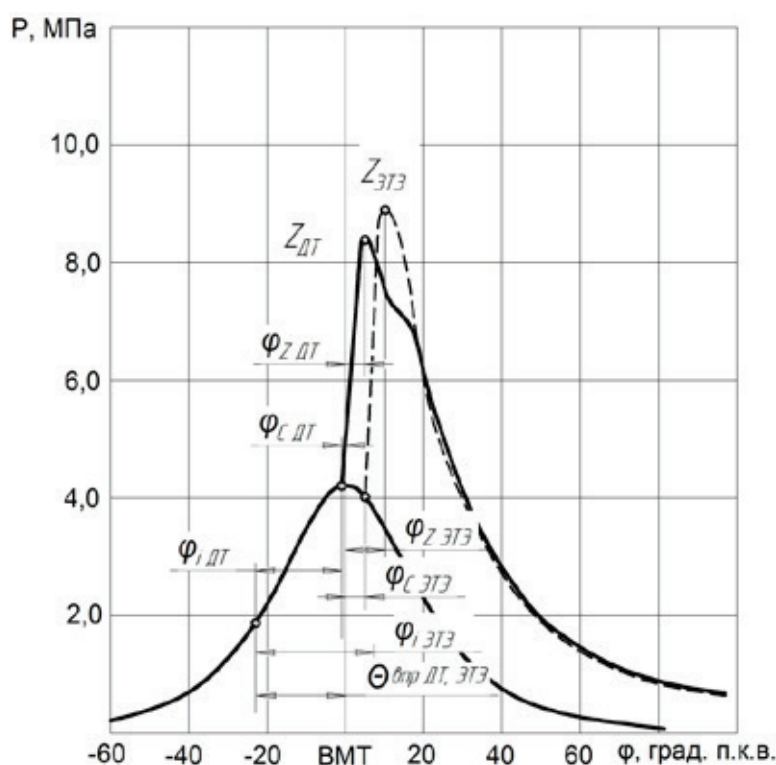


Рис. 1. Индикаторные показатели дизеля 4Ч 11,0/12,5 при $\Theta_{впр ДТ, ЭТЭ} = 23^\circ$ и работе на ЭТЭ при $n = 2200$ мин⁻¹, $p_e = 0,64$ МПа; — — — — ДТ; — — — — ЭТЭ

угол $j_{с_{ДТ}} = 5,5^\circ$ п.к.в. до ВМТ, а при работе на ЭТЭ при $j_{с_{ЭТЭ}} = 2,4^\circ$ п.к.в. после ВМТ. На основании вышеизло-

женного ПЗВ при работе на ДТ составляет $j_{i_{ДТ}} = 17,5^\circ$, а при работе на ЭТЭ — $j_{i_{ЭТЭ}} = 25,4^\circ$.

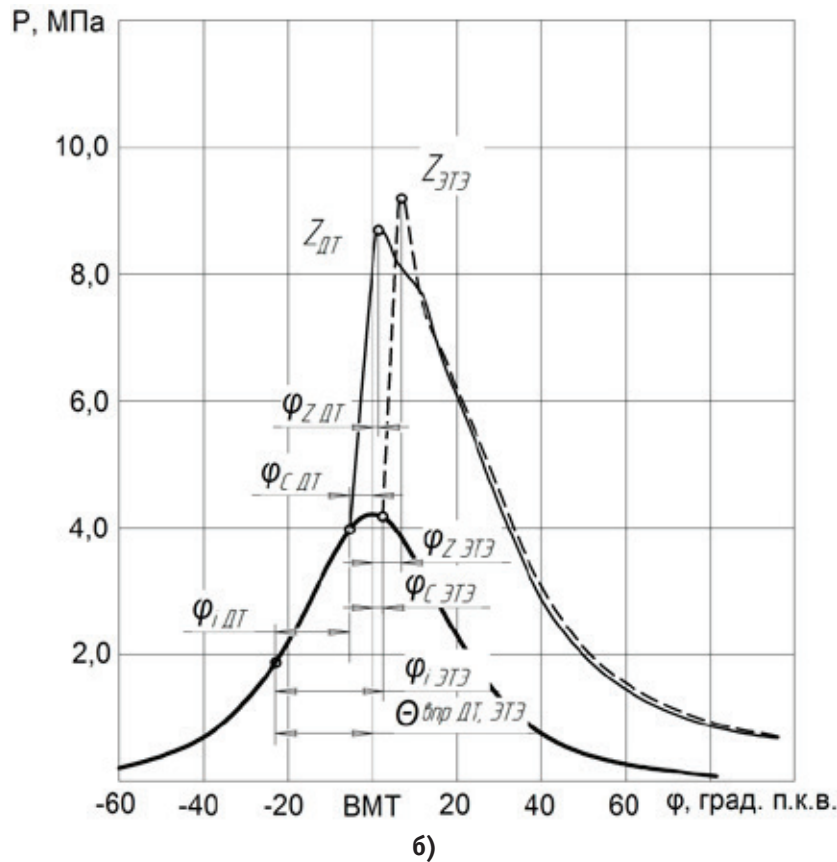


Рис. 2. Индикаторные показатели дизеля 4Ч 11,0/12,5 при $\Theta_{впр_{ДТ, ЭТЭ}} = 23^\circ$ и работе на ЭТЭ при $n = 1700$ мин⁻¹, $p_e = 0,69$ Мпа; — — — — ДТ; — — — — ЭТЭ

Таким образом, при переходе дизеля на работу на ЭТЭ наблюдается некоторое увеличение значений $p_{z_{max}}$, а также увеличение ПЗВ, что приводит к увеличению времени нахождения топлива в камере сгорания до момента

воспламенения, увеличению активных радикалов и очагов воспламенения. Это способствует увеличению скорости нарастания давления, а, следовательно, и увеличению жесткости работы дизеля [16–27].

Литература:

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.

6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. 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.
24. 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.
25. 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.
26. 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.

27. 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.

Характеристики тепловыделения дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на ЭТЭ

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 этаноле-топливной эмульсии. В работе приводится анализ полученных результатов.

Ключевые слова: дизель, эмульсия.

На рисунке 1 представлены характеристики тепловыделения и осреднённая температура газов в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5, которые были получены в результате обработки индикаторных диаграмм [1–15].

Эти данные были получены при частоте вращения $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ и $p_c = 0,64 \text{ МПа}$, максимальная осредненная температура цикла T_{max} при работе дизеля на ДТ составляет 2115 К и наблюдается при угле $j_{T_{\text{max}}} = 7,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ. При работе дизеля на ЭТЭ значение $T_{\text{max}} =$

2511 К достигается при угле $j_{T_{\text{max}}} = 11,5^\circ$ п.к.в. после ВМТ. Увеличение максимальной осредненной температуры составляет 396 К, или 15,8%.

Анализируя графики тепловыделения, можно сделать вывод, что при переходе дизеля на работу на ЭТЭ характерно увеличение скорости тепловыделения $d\chi/dj$ и сдвиг максимума скорости вправо от ВМТ. При работе на ДТ максимальное значение скорости тепловыделения $(d\chi/dj)_{\text{max}} = 0,097$ и наблюдается при угле $j = 2,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ, а при работе дизеля на ЭТЭ значение $(d\chi/dj)_{\text{max}} =$

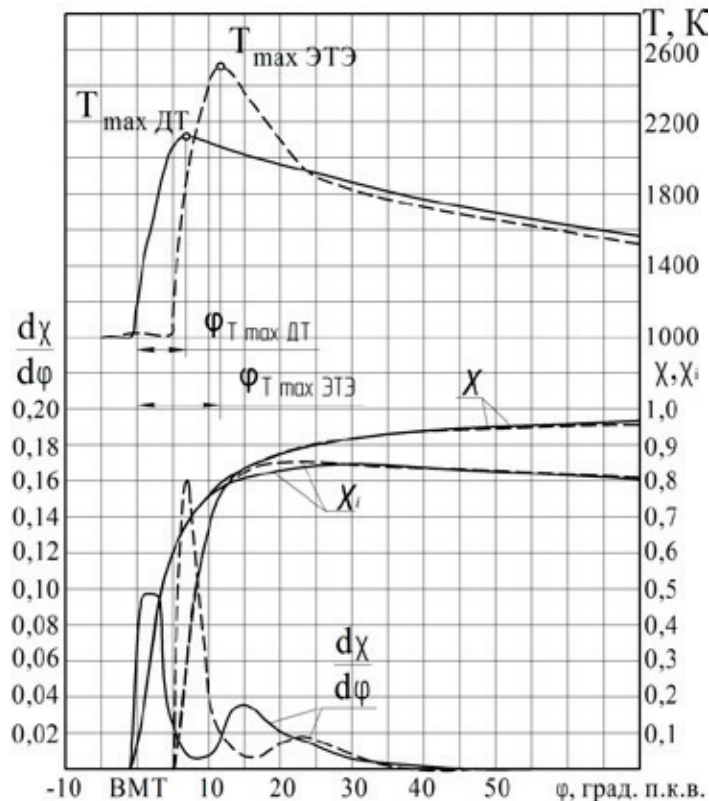


Рис. 1. Характеристики тепловыделения дизеля 4Ч 11,0/12,5 при $\Theta_{\text{впр ДТ, ЭТЭ}} = 23^\circ$ и работе на ЭТЭ в зависимости от угла п.к.в. при $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$, $p_c = 0,64 \text{ МПа}$; — ДТ, — — — ЭТЭ

0,161 и достигается при угле $j = 7,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ. Значение $(d\chi/dj)_{\max}$ повышается на 0,064, или на 39,8%. Следует отметить, что при работе дизеля, как на ДТ, так и на ЭТЭ, на кривой скорости тепловыделения $d\chi/dj$ наблюдается появление второго пика, вызванного дополнительной турбулизацией рабочего заряда в цилиндре дизеля, в момент перемещения поршня от ВМТ к НМТ. В этот момент между поршнем и головкой цилиндров двигателя образуется зазор, в который засасывается рабочий заряд из КС, находящейся в поршне. При работе дизеля на ДТ второй максимум скорости тепловыделения $(d\chi/dj)_{\max 2} = 0,034$ и наблюдается при угле $j = 14,5^\circ$ п.к.в. после ВМТ, а при работе на ЭТЭ значение $(d\chi/dj)_{\max 2} = 0,018$ и достигается при угле $j = 23,5^\circ$ п.к.в. после ВМТ. При анализе графиков относительного выделения теплоты χ и активного тепловыделения χ_i можно сделать следующие выводы, что при работе дизеля на ЭТЭ наблюдается более активное тепловыделение в фазе быстрого и основного горения, с большей скоростью тепловыделения. Основная часть топлива сгорает при постоянном объеме. Это приводит к повышению «жесткости» процесса сгорания, росту максимального давления сгорания и макси-

мальной осредненной температуры газов в цилиндре дизеля.

Кривые χ и χ_i при работе дизеля на ЭТЭ быстрее достигают своего максимума, чем при работе на ДТ. Следовательно, тепловыделение при работе дизеля на ЭТЭ идет более быстро. Величина активного тепловыделения, соответствующая максимальному давлению сгорания $P_{z \max}$ при работе дизеля на ДТ, составляет $\chi_{i Pz \max} = 0,60$, а при работе на ЭТЭ $\chi_{i Pz \max} = 0,68$. Увеличение составляет 0,08, или 11,8%. Величина активного тепловыделения, соответствующая максимальной осредненной температуре сгорания T_{\max} при работе дизеля на ДТ, составляет $\chi_{i T \max} = 0,70$, а при работе на ЭТЭ $\chi_{i T \max} = 0,76$. Возрастание составляет 0,06 или 7,9%.

В результате перевода дизеля на работу на ЭТЭ происходит увеличение скорости тепловыделения, что объясняется преобладающим объемным механизмом воспламенения. Основная часть топлива сгорает при постоянном объеме, что приводит к повышению «жесткости» процесса сгорания, росту максимального давления сгорания и максимальной осредненной температуры газов в цилиндре дизеля [16–28].

Литература:

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.

11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. 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.
24. 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.
25. 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.
26. 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.
27. 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.
28. 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.

Показатели процесса сгорания дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки

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 этаноле-топливной эмульсии. В работе приводится анализ полученных результатов.

Ключевые слова: дизель, эмульсия.

На основании проведенных экспериментальных исследований и расчетов были построены графики влияния применения ЭТЭ на показатели процесса сгорания дизеля 4Ч 11,0/12,5 на оптимальном установочном УОВТ при двух основных частотах вращения коленчатого вала: частоте, соответствующей максимальному крутящему моменту и номинальному режиму в зависимости от изменения нагрузки. Эти данные представлены на рисунке 1 [1–15].

При анализе нагрузочных характеристик, соответствующих работе дизеля на ДТ на номинальной частоте вращения и при оптимальном установочном УОВТ, выявляется ряд закономерностей. С увеличением значения среднего эффективного давления от $p_e = 0,13$ МПа до $p_e = 0,69$ МПа происходит линейное увеличение максимальной осредненной температуры от 1485 К до 2180 К соответственно. Увеличение составляет 695 К или 46,8%. Также происходит увеличение максимального давления цикла $p_{z\max}$ от 7,2 МПа при $p_e = 0,13$ МПа до 8,5 МПа при $p_e = 0,69$ МПа, увеличение составляет 1,3 МПа или 18,1%. Также линейно увеличивается степень повышения давления λ от 1,8 при $p_e = 0,13$ МПа до 2,1 при $p_e = 0,69$ МПа. Увеличение λ составляет 0,3 или 16,7%. Также происходит увеличение скорости нарастания давления газов в цилиндре дизеля $(dp/dj)_{\max}$ от 0,54 МПа/град при $p_e = 0,13$ МПа до 0,74 МПа/град при $p_e = 0,69$ МПа. Также с увеличением нагрузки происходит снижение значения φ_i , который соответствует ПЗВ, от 26,0° п.к.в. при $p_e = 0,13$ МПа до 22,0° п.к.в. Разница значений составляет 4,0° п.к.в.

При анализе нагрузочных характеристик, соответствующих работе дизеля на ЭТЭ на номинальной частоте вращения и при оптимальном установочном УОВТ, значения основных характеристик изменяются по схожим закономерностям, как при работе дизеля на ДТ. Из графиков видно, что устойчивое горение, бес пропусков воспламенения горючей смеси при работе дизеля на ЭТЭ начинается при нагрузке соответствующей $p_e = 0,38$ МПа. При увеличении нагрузки от $p_e = 0,38$ МПа до $p_e = 0,69$ МПа происходит увеличение максимальной осредненной температуры от 2233 К до 2530 К соответственно. Увеличение составляет 297 К или 13,3%. Также происходит увеличение максимального давления цикла $p_{z\max}$ от 6,3 МПа

при $p_e = 0,38$ МПа до 9,1 МПа при $p_e = 0,69$ МПа, увеличение составляет 2,8 МПа или 44,4%. Также при увеличении нагрузки происходит увеличение степени повышения давления λ от 1,91 при $p_e = 0,38$ МПа до 2,30 при $p_e = 0,69$ МПа. Увеличение λ составляет 0,39 или 20,4%. Также происходит увеличение скорости нарастания давления газов в цилиндре дизеля $(dp/dj)_{\max}$ от 0,71 МПа/град при $p_e = 0,38$ МПа до 1,06 МПа/град при $p_e = 0,69$ МПа. Рост $(dp/dj)_{\max}$ составляет 0,35%. Также, с увеличением нагрузки происходит снижение значения φ_i , который соответствует ПЗВ, от 35,0° п.к.в. при $p_e = 0,38$ МПа до 28,0° п.к.в. Разница значений составляет 7,0° п.к.в. или 20,0%.

Сравнивая работу дизеля 4Ч 11,0/12,5 на ДТ и ЭТЭ на оптимальном установочном УОВТ и номинальной частоте вращения ($n = 2200$ мин⁻¹) при варьировании нагрузкой можно отметить следующие особенности. При нагрузке соответствующей $p_e = 0,38$ МПа происходит увеличение максимальной осредненной температуры цикла от 1897 К при работе на ДТ до 2233 К при работе на ЭТЭ. С увеличением нагрузки до $p_e = 0,69$ МПа также прослеживается увеличение T_{\max} от 2180 К при работе на ДТ до 2530 К при работе на ЭТЭ. Увеличение составляет 350 К или 16,1%. Максимальное давление цикла $p_{z\max}$ при нагрузке $p_e = 0,38$ МПа ниже при работе на ЭТЭ. При работе на ЭТЭ $p_{z\max} = 6,30$ МПа, а при работе на ДТ $p_{z\max} = 7,88$ МПа. Снижение составляет 1,58 МПа. При нагрузке $p_e = 0,38$ МПа $\lambda = 1,88$ при работе на ДТ и вырастает до $\lambda = 1,91$ при работе на ЭТЭ. С повышением нагрузки до $p_e = 0,69$ МПа λ вырастает от 2,05 при работе на ДТ до 2,30 при работе на ЭТЭ. Сравнивая работу дизеля на ДТ и ЭТЭ можно отметить, что происходит рост скорости нарастания давления газов во всем диапазоне изменения нагрузки. Так при $p_e = 0,38$ МПа $(dp/dj)_{\max}$ вырастает от 0,60 МПа/град при работе на ДТ до 0,71 МПа/град при работе на ЭТЭ. Увеличение составляет 0,11 МПа/град или 18,3%. При максимальной нагрузке соответствующей $p_e = 0,69$ МПа разница в значениях жесткости вырастает. Так при $p_e = 0,69$ МПа $(dp/dj)_{\max} = 0,73$ МПа/град при работе дизеля на ДТ, а при переводе на ЭТЭ вырастает до $(dp/dj)_{\max} = 1,07$ МПа/град. Увеличение на режиме максимальной нагрузки составляет 0,34 МПа/град или 46,6%. Также выявляется увеличение φ_i . На режиме средних нагрузок при $p_e = 0,38$

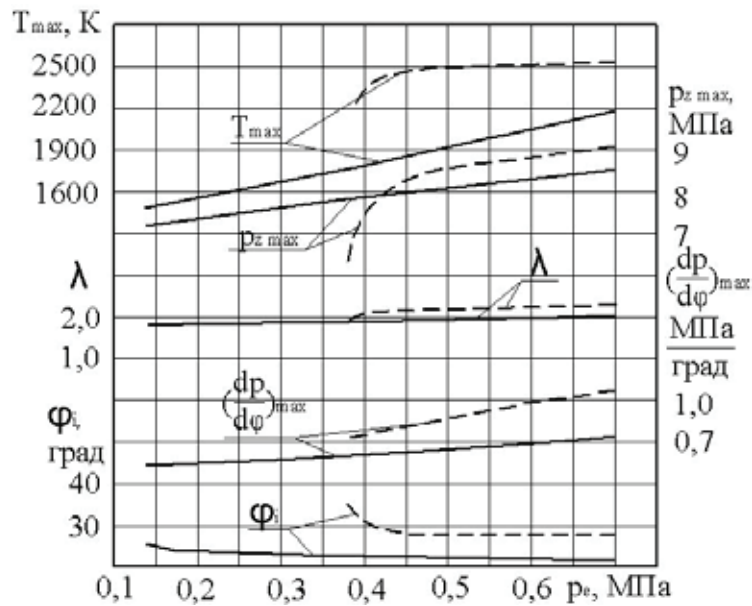


Рис. 1. Показатели процесса сгорания дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на ЭТЭ в зависимости от изменения нагрузки при $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$; — — — ДТ; — — — — ЭТЭ

МПа $\varphi_i = 23,0$ п.к.в. при работе на ДТ и $\varphi_i = 35,0$ п.к.в. при работе на ЭТЭ. С увеличением нагрузки до $p_e = 0,69$ МПа $\varphi_i = 21,5$ п.к.в. при работе на ДТ, а при работе на ЭТЭ $\varphi_i = 28,0$ п.к.в. Увеличение составляет 6,5 п.к.в. При анализе нагрузочных характеристик (рисунок 4.19, б), соответствующих работе дизеля на ДТ, на частоте вращения соответствующей максимальному крутящему моменту

($n = 1700 \text{ мин}^{-1}$) и на оптимальном установочном УОВТ выявляется ряд закономерностей. С увеличением значения среднего эффективного давления от $p_e = 0,13$ МПа до $p_e = 0,76$ МПа происходит увеличение максимальной осредненной температуры от 1720 К до 2194 К соответственно. Увеличение составляет 474 К или 27,6%. Также происходит увеличение максимального [16–23].

Литература:

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.

9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. 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.

Показатели процесса сгорания дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки на режиме максимального крутящего момента

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.

При анализе нагрузочных характеристик, соответствующих работе дизеля на ДТ, на частоте вращения соответствующей максимальному крутящему моменту ($n = 1700$ мин⁻¹) и на оптимальном установочном УОВТ выявляется ряд закономерностей.

С увеличением значения среднего эффективного давления от $p_e = 0,13$ МПа до $p_e = 0,76$ МПа происходит увеличение максимальной осредненной температуры от 1720 К до 2194 К соответственно. Увеличение составляет 474 К или 27,6%. Также происходит увеличение максималь-

ного давления цикла $p_{z\max}$ от 7,0 МПа при $p_e = 0,13$ МПа до 8,8 МПа при $p_e = 0,76$ МПа, увеличение составляет 1,8 МПа или 25,7%. Также увеличивается степень повышения давления λ от 1,67 при $p_e = 0,13$ МПа до 2,34 при $p_e = 0,76$ МПа. Увеличение λ составляет 0,67 или 40,1%. Также происходит увеличение скорости нарастания давления газов в цилиндре дизеля $(dp/dj)_{\max}$ от 0,59 МПа/град при $p_e = 0,13$ МПа до 0,73 МПа/град при $p_e = 0,76$ МПа. С увеличением нагрузки происходит снижение значения φ_i , которое соответствует ПЗВ, от 22,3° п.к.в. при $p_e = 0,13$ МПа до 16,7° п.к.в. при $p_e = 0,76$ МПа. Разница значений составляет 5,6° п.к.в.

При анализе нагрузочных характеристик, соответствующих работе дизеля на ЭТЭ на частоте вращения $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ и при оптимальном установочном УОВТ, значения основных характеристик изменяются по схожим закономерностям, как при работе дизеля на ДТ. Из графиков

видно, что при увеличении нагрузки от $p_e = 0,13$ МПа до $p_e = 0,76$ МПа происходит увеличение максимальной осредненной температуры от 1384 К до 2581 К соответственно. Увеличение составляет 1197 К или 86,5%. Также происходит увеличение максимального давления цикла $p_{z\max}$ от 4,3 МПа при $p_e = 0,13$ МПа до 9,43 МПа при $p_e = 0,76$ МПа, увеличение составляет 5,1 МПа или в 2,2 раза. Также при увеличении нагрузки происходит увеличение степени повышения давления λ от 1,16 при $p_e = 0,13$ МПа до 2,40 при $p_e = 0,76$ МПа. Увеличение λ составляет 1,24 или в 2,1 раза. Также происходит увеличение скорости нарастания давления газов в цилиндре дизеля $(dp/dj)_{\max}$ от 0,12 МПа/град при $p_e = 0,13$ МПа до 1,22 МПа/град при $p_e = 0,76$ МПа. Также, с увеличением нагрузки происходит снижение значения φ_i , который соответствует ПЗВ, от 31,5° п.к.в. при $p_e = 0,13$ МПа до 25,0° п.к.в. Разница значений составляет 6,5° п.к.в. или 20,6%.

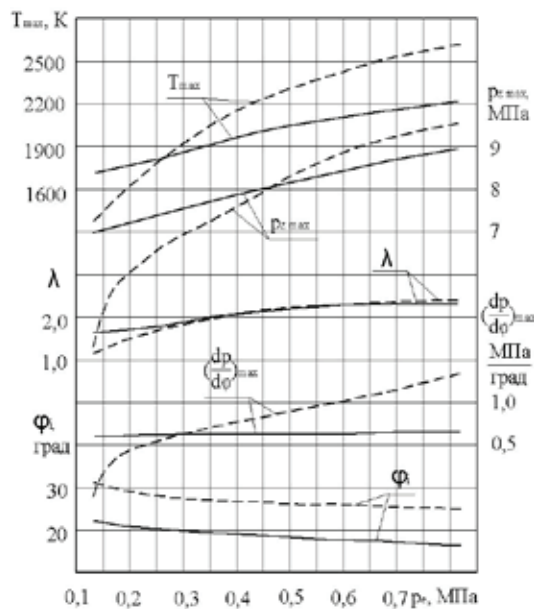


Рис. 1. Показатели процесса сгорания дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на ЭТЭ в зависимости от изменения нагрузки при $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$; — — — ДТ; - - - - ЭТЭ

Сравнивая работу дизеля 4Ч 11,0/12,5 на ДТ и ЭТЭ на оптимальном установочном УОВТ и частоте вращения соответствующей максимальному крутящему моменту ($n = 1700 \text{ мин}^{-1}$) при варьировании нагрузкой можно отметить следующие особенности. При нагрузке соответствующей $p_e = 0,13$ МПа происходит увеличение максимальной осредненной температуры цикла от 1720 К при работе на ДТ до 1384 К при работе на ЭТЭ. С увеличением нагрузки до $p_e = 0,76$ МПа также прослеживается увеличение T_{\max} от 2194 К при работе на ДТ до 2581 К при работе на ЭТЭ. Увеличение составляет 387 К или 17,6%. Максимальное давление цикла $p_{z\max}$ при нагрузке $p_e = 0,13$ МПа ниже при работе на ЭТЭ. При работе на ЭТЭ $p_{z\max} = 4,30$ МПа, а при работе на ДТ $p_{z\max} = 7,0$ МПа. Снижение составляет 2,7 МПа. При нагрузке $p_e = 0,13$ МПа

$\lambda = 1,63$ при работе на ДТ и снижается до $\lambda = 1,16$ при работе на ЭТЭ. С повышением нагрузки до $p_e = 0,76$ МПа λ вырастает от 2,34 при работе на ДТ до 2,40 при работе на ЭТЭ. Сравнивая работу дизеля на ДТ и ЭТЭ можно отметить, что происходит рост скорости нарастания давления газов во всем диапазоне изменения нагрузки. Так при $p_e = 0,13$ МПа $(dp/dj)_{\max}$ снижается от 0,59 МПа/град при работе на ДТ до 0,12 МПа/град при работе на ЭТЭ. Снижение составляет 0,47 МПа/град или 79,7%. При максимальной нагрузке соответствующей $p_e = 0,76$ МПа разница в значениях жесткости вырастает. Так при $p_e = 0,76$ МПа $(dp/dj)_{\max} = 0,73$ МПа/град при работе дизеля на ДТ, а при переводе на ЭТЭ вырастает до $(dp/dj)_{\max} = 1,22$ МПа/град. Увеличение на режиме максимальной нагрузки составляет 0,49 МПа/град или 67,1%. Также вы-

является увеличение φ_i . На режиме малых нагрузок при $p_e = 0,13$ МПа $\varphi_i = 23,0$ п.к.в. при работе на ДТ и $\varphi_i = 31,5$ п.к.в. при работе на ЭТЭ. С увеличением нагрузки до $p_e = 0,76$ МПа $\varphi_i = 16,7$ п.к.в. при работе на ДТ, а при работе на ЭТЭ $\varphi_i = 25,0$ п.к.в. Увеличение составляет 8,3 п.к.в. [16–27].

Литература:

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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.

18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. 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.
24. 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.
25. 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.
26. 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.
27. 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.

Характеристики тепловыделения дизеля 4Ч 11,0/12,5

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.

Основные характеристики тепловыделения при работе дизеля 4Ч 11,0/12,5 на ДТ и ЭТЭ при предустановленном оптимальном установочном УОВТ, номинальной частоте вращения представлено на рисунке 1 [1–15].

При анализе характеристик тепловыделения дизеля, при работе на ДТ выявляются некоторые закономерности. При увеличении нагрузки от $p_e = 0,13$ МПа до $p_e = 0,69$ МПа происходит понижение значений угла, показывающего положение коленчатого вала при достижении в цилиндре максимальной осредненной температуры газов, от $\varphi_{T_{max}} = 9,0^\circ$ до $\varphi_{T_{max}} = 7,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ соответственно. Также с увеличением нагрузки наблюдается понижение активного выделения теплоты, соответствующих максимальному давлению сгорания $\chi_{i Pz}$ и максимальной температуре $\chi_{i T_{max}}$. На малой нагрузке при $p_e = 0,13$ МПа $\chi_{i Pz_{max}} = 0,91$, $\chi_{i T_{max}} = 0,90$, при уве-

личении нагрузки до максимального значения $p_e = 0,69$ МПа $\chi_{i Pz_{max}} = 0,55$, $\chi_{i T_{max}} = 0,68$. Происходит снижение скорости тепловыделения $(d\chi/d\varphi)_{max}$ от 0,23 при $p_e = 0,13$ МПа до 0,09 при $p_e = 0,69$ МПа.

На рисунке также представлены кривые характеристик тепловыделения при работе дизеля на ЭТЭ. По которым с увеличением нагрузки от $p_e = 0,38$ МПа до $p_e = 0,69$ МПа происходит понижение значений угла, показывающего положение коленчатого вала при достижении в цилиндре максимальной осредненной температуры газов, от $\varphi_{T_{max}} = 18,0^\circ$ до $\varphi_{T_{max}} = 11,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ соответственно. Также с увеличением нагрузки наблюдается понижение активного выделения теплоты, соответствующих максимальному давлению сгорания $\chi_{i Pz_{max}}$ и максимальной температуре $\chi_{i T_{max}}$. На режиме средней нагрузки при $p_e = 0,38$ МПа $\chi_{i Pz_{max}} = 0,89$, $\chi_{i T_{max}} = 0,90$, при увеличении на-

грузки до максимального значения $p_e = 0,69$ МПа $\chi_{i Pz \max} = 0,62$, $\chi_{i T \max} = 0,73$. Происходит снижение скорости тепловыделения $(d\chi/d\varphi)_{\max}$ от 0,21 при $p_e = 0,38$ МПа до 0,15 при $p_e = 0,69$ МПа.

Сравнивая характеристики тепловыделения дизеля 4Ч 11,0/12,5 на номинальном режиме в зависимости от изме-

нения нагрузки при работе дизеля на ДТ и ЭТЭ можно сделать следующие заключения. Ввиду отсутствия характеристик ниже значения $p_e = 0,38$ МПа при работе на ЭТЭ, что связано с неустойчивостью горения и пропусками воспламенения, сравнение будет проводиться от $p_e = 0,38$ МПа до максимального значения нагрузки $p_e = 0,69$ МПа.

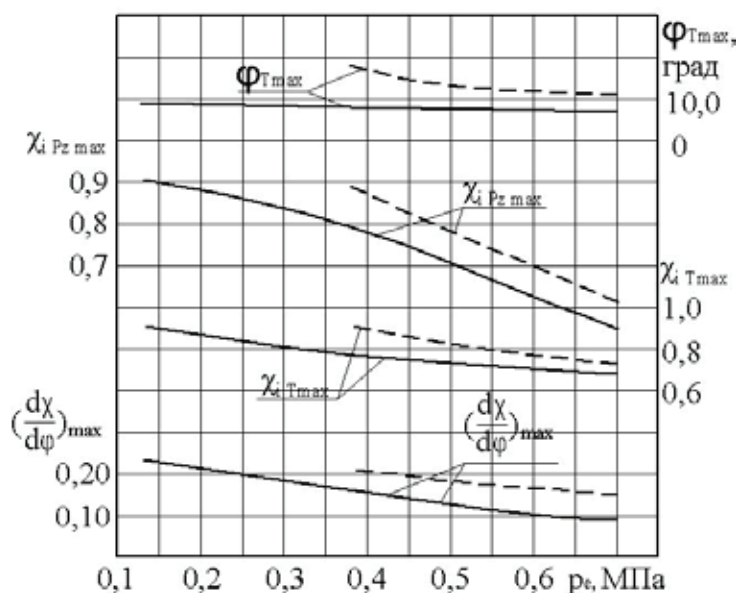


Рис. 1. Характеристики тепловыделения дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на ЭТЭ в зависимости от изменения нагрузки при $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$; — — — ДТ; — — — — ЭТЭ

Значение $\varphi_{T \max}$ при нагрузке $p_e = 0,38$ МПа составляет $8,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ при работе на ДТ и увеличивается до $18,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ при работе на ЭТЭ. Увеличение составляет $10,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ. При увеличении нагрузки до $p_e = 0,69$ МПа $\varphi_{T \max}$ увеличивается от $7,0^\circ$ при работе на ДТ до $11,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ при работе на ЭТЭ. Разница составляет 4° . При $p_e = 0,38$ МПа происходит увеличение значения $\chi_{i Pz \max}$ от 0,77 при работе на ДТ до 0,89 при работе на ЭТЭ, а также значения $\chi_{i T \max}$ от 0,78 при работе на ДТ до 0,90 при работе на ЭТЭ. Также при повышении нагрузки до максимума и переводе дизеля на работу на ЭТЭ происходит увели-

чение значений $\chi_{i Pz \max}$ и $\chi_{i T \max}$. Так при $p_e = 0,69$ МПа $\chi_{i Pz \max}$ увеличивается от 0,56 при работе на ДТ до 0,62 при работе дизеля на ЭТЭ, а $\chi_{i T \max}$ увеличивается от 0,78 при работе на ДТ до 0,90 при работе на ЭТЭ. При переходе дизеля на работу на ЭТЭ также наблюдается увеличение скорости тепловыделения. При $p_e = 0,38$ МПа $(d\chi/d\varphi)_{\max}$ составляет 0,16 при работе на ДТ и вырастает до 0,21 при работе на ЭТЭ. Разница составляет 0,05 или 31,3%. С увеличением нагрузки до $p_e = 0,69$ МПа $(d\chi/d\varphi)_{\max} = 0,09$ при работе на ДТ и увеличивается до $(d\chi/d\varphi)_{\max} = 0,15$ при работе на ЭТЭ. Увеличение составляет 66,7% [16–28].

Литература:

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
 6. 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.
 7. 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.
 8. 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.
 9. 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.
 10. 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.
 11. 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.
 12. 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.
 13. 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.
 14. 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.
 15. 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.
 16. 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.
 17. 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.
 18. 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.
 19. 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.
 20. 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.
 21. 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.
 22. 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.
 23. 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.
 24. 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.

25. 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.
26. 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.
27. 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.
28. 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.

Подгибка кромок стального листа по эвольвенте

Шинкин Владимир Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор
 Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (г. Москва)

Рассмотрен процесс подгибки кромок толстого стального листа по эвольвенте на кромкогибочном прессе фирмы SMS Meer при производстве сварных толстостенных одношовных прямошовных стальных труб большого диаметра.

Ключевые слова: стальные трубы большого диаметра, кромкогибочный пресс.

Производство сварных труб большого диаметра. Для обеспечения высоких требований к эксплуатации магистральных газонефтепроводов на рынке производства сварных труб большого диаметра утвердился процесс формовки трубной заготовки по схеме JCOE, разработанный фирмой SMS Meer [1–47]. Процесс включает на первой стадии подгибку кромок листовой заготовки на кромкогибочном прессе (КГП) пошаговым способом одновременно с двух сторон (рис. 1).



Рис. 1. Вид КГП SMS Meer перед формовкой заготовки

Формовка основной части листовой заготовки осуществляется на трубоформовочном прессе пошаговым способом от подогнутых кромок к середине заготовки одновременно по всей длине заготовки и обеспечивает получение заготовок незамкнутого O-профиля. Далее осуществляется сборка трубы с помощью газовой сварки наружного шва трубы и четырех дуговой сварки внутреннего и внешнего швов трубы. После сварки необходимые диаметр и поперечная окружность трубы достигаются с помощью экспандирования. Потом следуют процессы гидроиспытания трубы и нанесения изоляции на поверхность трубы.

Таблица 1. Характеристики сварных труб большого диаметра

Характеристики	АО «ВМЗ»	ЗАО «ИжТЗ»	ОАО «ЧТПЗ»
Диаметр, мм	508–1422	630–1420	508–1422
Толщина стенки, мм	8,0–50	8,0–37,9	9,5–48
Длина, м	10,5–12,4	10,5–18,3	12,7–18,3
Класс прочности	K34-K65	K52-K65	≤ K80
	X42-X80	X56-X70	≤ X100

Производство сварных прямошовных одношовных труб по схеме JSOE для магистральных газопроводов диаметром ≥1220 мм осуществляется в России на АО «Выксунский металлургический завод» (АО «ВМЗ»), ЗАО «Ижорский трубный завод» (ЗАО «ИжТЗ») и ОАО «Челябинский трубопрокатный завод» (ОАО «ЧТПЗ»), а также на зарубежных трубных заводах Германии, Китая и Индии (таблица 1).

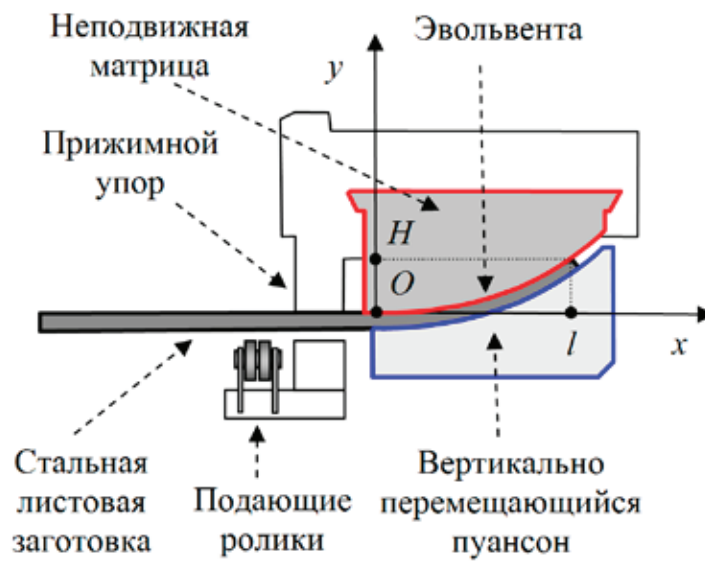


Рис. 2. Система координат рабочего профиля матрицы КГП SMS Meer

Расчет профиля матрицы кромкогибочного пресса. Введем прямоугольную систему координат Oxy , начало которой расположено в точке контакта листовой заготовки с матрицей (рис. 2). Пусть H и l — высота подъема и «длина» кромки деформируемой части заготовки при формовке, H_1 и l_1 — после формовки (распружинивания).

Контактный профиль матрицы задан в кромкогибочном прессе SMS Meer с помощью уравнения эвольвенты окружности (рис. 3):

$$b(\varphi) = r \cos \varphi + r\varphi \sin \varphi, \quad a(\varphi) = r \sin \varphi - r\varphi \cos \varphi, \quad \frac{da(b)}{db} = g \varphi,$$

где φ — «угол» эвольвенты, $r = \text{const}$.

Длина дуги и радиус кривизны эвольвенты равны $S(\varphi) = r\varphi^2/2$ и $\rho_{эв}(\varphi) = r\varphi$.

Обозначим через φ_0 — угол, соответствующий началу эвольвентной поверхности матрицы, а через φ_k — угол, соответствующий концу этой поверхности. Тогда зависимость реальных координат $x(\varphi)$ и $y(\varphi)$ эвольвентной поверхности матрицы (верхней поверхности нераспружиненной заготовки) от координат $a(\varphi)$ и $b(\varphi)$ имеет вид

$$b_0 = r \cos \varphi_0 + r\varphi_0 \sin \varphi_0, \quad a_0 = r \sin \varphi_0 - r\varphi_0 \cos \varphi_0, \quad \rho_{\text{эв}}(\varphi) = r\varphi,$$

$$x(\varphi) = -(a(\varphi) - a_0) \sin \varphi_0 - (b(\varphi) - b_0) \cos \varphi_0, \quad x(\varphi_k) = l,$$

$$y(\varphi) = (a(\varphi) - a_0) \cos \varphi_0 - (b(\varphi) - b_0) \sin \varphi_0, \quad y(\varphi_k) = H.$$

Введем угол наклона профиля поверхности матрицы к горизонтали $\alpha(j) = j_0 - j$, $a(j_k) = a_k$. Тогда $dy(j)/dx(j) = \text{tg } \alpha(j)$.

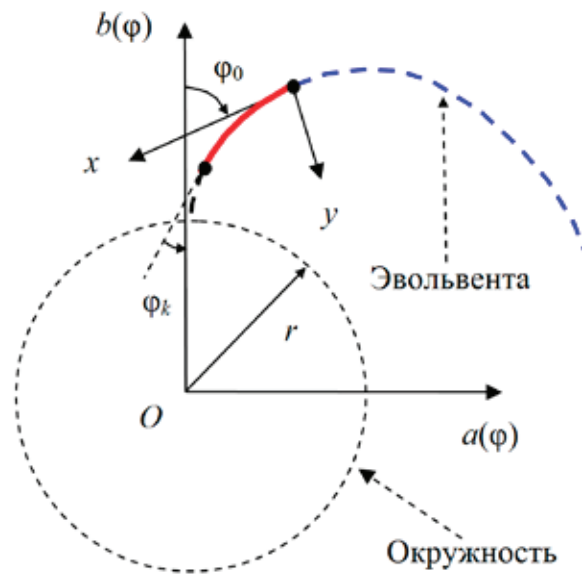


Рис. 3. Эвольвента рабочего профиля матрицы КГП SMS Meer

Таблица 2. Расчет профиля поверхности матрицы КГП SMS Meer

x , мм	0	100	200	300	400	462,03
y , мм	0	5,98	24,94	59,49	115,39	167,24
ρ , мм	861,6	793,7	718,1	629,9	517,8	421,0
S , мм	0	100,2	202,1	308,0	422,8	503,7
a , град	0	6,94	14,66	23,66	35,12	45,00

В таблице 2 приведены результаты расчета параметров эвольвентной поверхности матрицы при подгибке кромки стальной листовой заготовки для трубы диаметром $D = 1420$ мм ($r = 561,0$ мм, $\varphi_0 = 88^\circ$, $j_k = 43^\circ$).

Коэффициент пружинения. Радиус кривизны нейтральной плоскости стальной заготовки при формовке на КГП равен $r = r_j + h/2$. Сопrotивление деформации стали $s_{т*} = m_{кпп} s_{т}$, где $\sigma_{т}$ — предел текучести стали, $m_{кпп} = \text{const} \gg 1$ — безразмерный коэффициент, учитывающий скорость деформации заготовки.

После деформации на КГП кромки стальной листовой заготовки распружиниваются. Остаточный радиус кривизны нейтральной плоскости заготовки после распружинивания ρ_0 и коэффициент пружинения заготовки β равны

$$\rho_0 = \beta(\rho)\rho, \quad \beta(\rho) = \left[\left(1 - \frac{\Pi_p + \Pi_c}{2E} \right) \left(1 - 2 \frac{\rho \sigma_{т*}}{hE} \right) \left(1 + \frac{\rho \sigma_{т*}}{hE} \right) \right]^{-1},$$

где h и r — толщина и радиус кривизны нейтральной плоскости стальной листовой заготовки; E — модуль Юнга; Π_p и Π_c — модули упрочнения при растяжении и сжатии; $s_{т*}$ — сопротивление деформации стали.

Подгибка кромок листовой заготовки происходит одновременно и симметрично относительно центральной продольной оси листа, а величина φ_0 всегда задана. Пусть $DL_{кпп}$ — длина подгибаемой кромки по эвольвенте с одной стороны заготовки. Тогда

$$\varphi_k = \frac{-\frac{h}{r} + \sqrt{\left(\frac{h}{r}\right)^2 + 4\left(\varphi_0^2 + \frac{h}{r}\varphi_0 - 2\frac{\Delta L_{кпп}}{r}\right)}}{2} \approx \sqrt{\varphi_0^2 - 2\frac{\Delta L_{кпп}}{r}}, \quad \frac{h}{r} \ll 1.$$

Многорациусная схема расчета. Получить точное значение профиля нейтральной плоскости заготовки ($x\beta$, $y\beta$), H_1 и l_1 после распружинивания стальной листовой заготовки можно с помощью численной *многорациусной схемы расчета Шинкина для кромкогибочного прессы* (рис. 4):

$$j = 1 \dots N \quad (N = 1000), \quad \varphi_j = \varphi_0 - \frac{(\varphi_0 - \varphi_k)j}{N}, \quad \rho_{0j} = \rho_0(\varphi_j),$$

$$\Delta S_0 = 0, \quad \Delta S_j = \frac{r\varphi_j^2 + h\varphi_j}{2} - \frac{r\varphi_{j+1}^2 + h\varphi_{j+1}}{2},$$

$$\psi_0 = 0, \quad \Delta\psi_j = \frac{\Delta S_j}{\rho_{0j}}, \quad \psi_j = \Delta\psi_0 + \dots + \Delta\psi_j,$$

$$y\beta_0 = 0, \quad y\beta_j = y\beta_{j-1} + \rho_{0j-1}(\cos\psi_{j-1} - \cos\psi_j), \quad y\beta_N + \frac{h}{2}(\cos\psi_N - 1) = H_1,$$

$$x\beta_0 = 0, \quad x\beta_j = x\beta_{j-1} + \rho_{0j-1}(\sin\psi_j - \sin\psi_{j-1}), \quad x\beta_N - \frac{h}{2}\sin\psi_N = l_1.$$

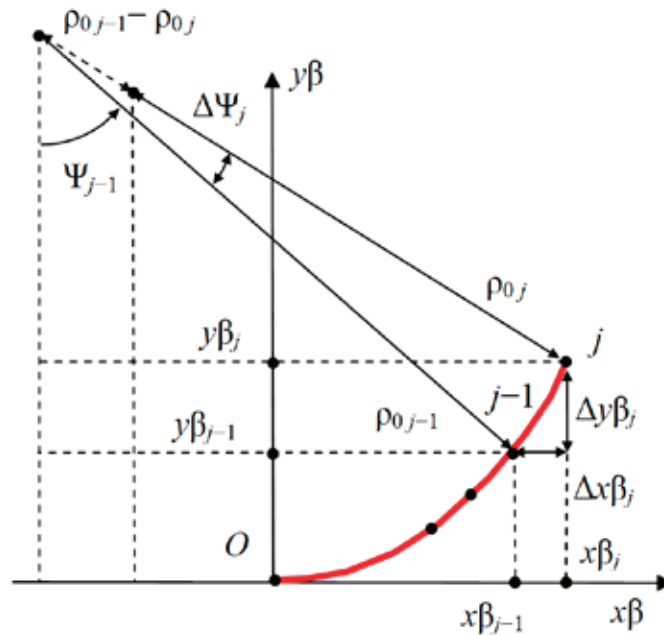


Рис. 4. Много радиусная схема расчета формы заготовки после формовки

Для трубы диаметром $D = 1420$ мм результаты расчета высоты кромки стальной заготовки ($r = 561,0$ мм, $\varphi_0 = 88^\circ$, $E = 2 \times 10^{11}$ МПа) после распружинивания приведены в таблице 3.

Таблица 3. Высота кромки заготовки после распружинивания

Марка стали	ст, Н/мм ²	h, мм	DL _{кгр} , мм	H ₁ + h, мм	
				Нормативная	Расчетная
14ХГС	350	25	430	120±5	120,03
16Г2САФ	420	24	442	120±5	119,93

Производственные дефекты стальных труб. Новейшими технологиями производства прямошовных одношовных труб большого диаметра являются процессы по схеме JCOE [1–47]. Перед формовкой труб стальной лист правят на листопрямляющих машинах [1, 2, 6–12]. Дефект образования гофра продольной кромки стального листа на кромкогибочном прессе изучался в работах [1, 2, 16–27], дефект несплавления сварного продольного шва при сборке трубы — в [1, 2, 13], дефект остаточных напряжений стального листа после трубоформовочного пресса — в [1, 2, 29], дефект стального листа раскатной пригар с риской — в [1, 2, 14], процессы прокатки стального листа для производства труб — в [48–58].

Литература:

1. Шинкин, В. Н. Сопротивление материалов для металлургов. — М: Изд. Дом МИСиС, 2013. — 655 с.
2. Шинкин, В. Н. Механика сплошных сред для металлургов. — М: Изд. Дом МИСиС, 2014. — 628 с.

3. Шинкин, В. Н. Сопротивление материалов. Простые и сложные виды деформаций в металлургии. — М: Изд. Дом МИСиС, 2008. — 307 с.
4. Шинкин, В. Н. Теоретическая механика для металлургов. — М: Изд. Дом МИСиС, 2012. — 679 с.
5. Буланов, Э. А., Шинкин В. Н. Механика. Вводный курс. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. — 172 с.
6. Шинкин, В. Н. Математическая модель правки стальной полосы на пятироликовой листопрямильной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 8 (88). с. 344–349.
7. Шинкин, В. Н. Правка толстой стальной полосы на одиннадцатироликовой листопрямильной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 359–365.
8. Шинкин, В. Н. Расчет технологических параметров правки тонкой стальной полосы на пятнадцатироликовой листопрямильной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 361–366.
9. 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.
10. Шинкин, В. Н. Четырехроликовый режим холодной правки толстого стального листа на пятироликовой листопрямильной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 356–361.
11. Шинкин, В. Н. Упругопластическая деформация металлического листа на трехвалковых вальцах // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 225–229.
12. Шинкин, В. Н. Шестироликовый режим предварительной правки стальной полосы на листопрямильной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 14 (94). с. 205–211.
13. 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.
14. Шинкин, В. Н. Критерий разрушения труб при дефекте раскатной пригар // Молодой ученый. 2015. № 16 (96). с. 261–265.
15. Шинкин, В. Н. Дефект перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе // Молодой ученый. 2015. № 17 (97).
16. Шинкин, В. Н. Гофр продольной кромки листа при его формовке на кромкогибочном прессе // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2009. Вып. 6. с. 171–174.
17. 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.
18. Шинкин, В. Н., Коликов А. П. Моделирование процесса формовки заготовки для труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 1. с. 54–58.
19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. Шинкин, В. Н., Коликов А. П. Упругопластическое формоизменение металла на кромкогибочном прессе при формовке труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 6. с. 53–56.
23. 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.
24. Шинкин, В. Н., Коликов А. П. Моделирование процессов экспандирования и гидротестирования труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 10. с. 12–19.
25. 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.
26. 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.
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., 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.
29. 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.

30. 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.
31. Шинкин, В. Н., Мокроусов В. И. Критерий разрыва труб газонефтепроводов при дефекте раскатной пригар с риской // Производство проката. 2012. № 12. с. 19–24.
32. 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.
33. Шинкин, В. Н., Федотов О. В. Расчет технологических параметров правки стальной горячекатаной рулонной полосы на пятироlikовой машине линии поперечной резки фирмы Fagor Agrasate // Производство проката. 2013. № 9. с. 43–48.
34. Шинкин, В. Н., Барыков А. М. Расчет технологических параметров холодной правки стального листа на девятироlikовой машине SMS Siemag металлургического комплекса стан 5000 // Производство проката. 2014. № 5. с. 7–15.
35. Шинкин, В. Н. Расчет технологических параметров правки стального листа на одиннадцатироlikовой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Agrasate // Производство проката. 2014. № 8. с. 26–34.
36. 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.
37. Шинкин, В. Н., Борисевич В. Г., Федотов О. В. Холодная правка стального листа в четырехроlikовой листопрямительной машине // В сборнике: Глобализация науки: проблемы и перспективы. Том 2. — Уфа: Башкирский государственный университет, 2014. — с. 119–121.
38. Шинкин, В. Н. Математическая модель правки тонкого стального листа на пятнадцатироlikовой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Agrasate // Производство проката. 2015. № 1. с. 42–48.
39. Шинкин, В. Н., Барыков А. М. Гибка стального листа на трубоформовочном прессе при производстве труб большого диаметра // Сталь. 2015. № 4. с. 38–42.
40. 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.
41. Шинкин, В. Н. Расчет технологических параметров кромкогибочного пресса фирмы SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 4–1. с. 114–119.
42. 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.
43. 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.
44. 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.
45. 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.
46. 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.
47. Пермичев, Н. Ф., Барыков А. М., Палева О. А. Управление инновационным потенциалом предприятия. — Нижний Новгород: Изд. ВВАГС, 2008. — 83 с.
48. Скороходов, В. Н., Чернов П. П., Мухин Ю. А., Бельский С. М. Математическая модель процесса свободного уширения при прокатке полос // Сталь. 2001. № 3. с. 38–40.
49. Скороходов, В. Н., Мухин Ю. А., Бельский С. М. Нейтральные углы при прокатке в валках неравных диаметров, вращающихся с одинаковой угловой скоростью // Производство проката. 2006. № 5. с. 2–6.
50. Скороходов, В. Н., Мухин Ю. А., Бельский С. М. Контактное давление при тонколистовой прокатке в валках неравных диаметров, вращающихся с одинаковой угловой скоростью // Производство проката. 2007. № 2. с. 15–20.
51. Мухин, Ю. А., Бельский С. М. О допустимости одного упрощения при анализе процесса несимметричной тонколистовой прокатки // Производство проката. 2007. № 7. с. 11–13.
52. Скороходов, В. Н., Мухин Ю. А., Бельский С. М. Энергетический баланс и величина нейтральных углов при прокатке в валках неравных диаметров // Производство проката. 2007. № 9. с. 15–18.

53. Бельский, С. М., Мухин Ю. А. Нейтральные углы и контактное давление при тонколистовой прокатке со скоростной асимметрией // Производство проката. 2007. № 11. с. 13–17.
54. Скороходов, В. Н., Мухин Ю. А., Бельский С. М., Мазур С. И. Особенности профилировок рабочих валков для клетей с осевой сдвижкой. Сообщение 1 // Производство проката. 2007. № 12. с. 17–19.
55. Бельский, С. М. Влияние формы эпюры переднего удельного натяжения на распределение давления прокатки и выходных напряжений по ширине полосы // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2008. № 1. с. 43–46.
56. Скороходов, В. Н., Мухин Ю. А., Бельский С. М., Мазур С. И. Особенности профилировок рабочих валков для клетей с осевой сдвижкой. Сообщение 2 // Производство проката. 2008. № 1. с. 21–24.
57. Бельский, С. М. О некоторых эффектах применения осевой сдвижки рабочих валков // Производство проката. 2008. № 7. с. 21–24.
58. Бельский, С. М., Мухин Ю. А., Мазур И. П. Теоретический анализ влияния натяжений на уширение металла при тонколистовой прокатке // Производство проката. 2008. № 11. с. 13–17.

Молодой ученый

Научный журнал
Выходит два раза в месяц

№ 18 (98) / 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