

# УЧЁНЫЙ

ежемесячный научный журнал

We shall use the suffixes  $i, j, k$  for players and  $\alpha, \beta, \gamma$  to indicate various pure strategies.

Payoff

The payoff matrix for a two-player game is a square array of numbers. Each number is the payoff to the first player if he chooses the strategy indicated by the row and the second player chooses the strategy indicated by the column.

unique extension to the  $n$ -tuples of mixed strategies which is linear in the mixed strategy of each player [ $n$ -linear]. This extension is called the expected payoff function. We write  $p_i(s_1, s_2, \dots, s_n)$ .

We shall write  $s$  to denote an  $n$ -tuple of strategies  $(s_1, s_2, \dots, s_n)$ . Then  $p_i(s)$  will also be regarded as a point in a vector space, the product of the simplices containing the simplex of strategies. And the set of all such  $n$ -tuples is called the set of alternatives.

For convenience we introduce the substitution notation  $(s; t_i, t_j)$  where  $s = (s_1, s_2, \dots, s_{i-1}, s_{i+1}, \dots, s_{j-1}, s_{j+1}, \dots, s_n)$ . The successive substitutions  $(s; t_i; r_j)$  we indicate by  $(s; t_i; r_j)$ , etc.

**Equilibrium Point:**  
An  $n$ -tuple  $s$  is an equilibrium point if and only if for

(1) 
$$p_i(s) = \max_{\text{all } r_i's} [p_i(s; r_i)]$$

Thus an equilibrium point is an  $n$ -tuple strategy maximizes his payoff if the strategy of each player's strategy is optimal against the strategy of the other players. We abbreviate equilibrium point by eq. pt.

We say that a mixed strategy  $s_i$  used by player  $i$  is a best response to  $s_{-i}$  if  $c_{i\alpha} > 0$ . If  $s = (s_1, s_2, \dots, s_n)$  and  $c_{i\alpha} > 0$ .

From the linearity of  $p_i(s_1, \dots, s_n)$

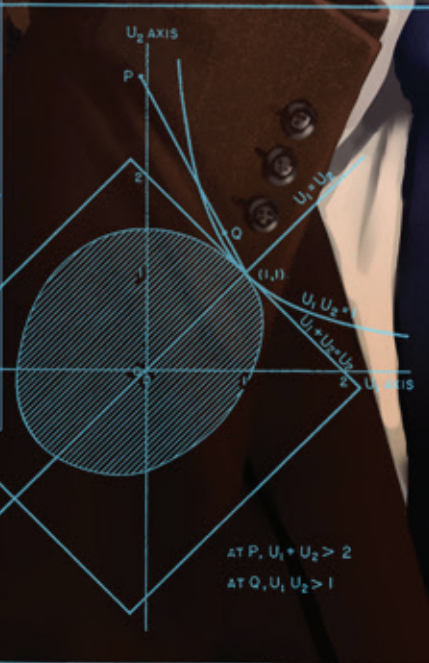
(2) 
$$\max_{\text{all } r_i's} [p_i(s; r_i)] = p_i(s; s_i)$$

We define  $p_{i\alpha}(s) = p_i(s; \alpha)$  and sufficient condition

(3) If  $s = (s_1, s_2, \dots, s_n)$  and  $t = (t_1, \dots, t_n)$  are symmetric then  $p_i(s; t) = p_i(t; s)$  and  $t = (t_1, \dots, t_n)$  is also symmetric because  $s = s \leftrightarrow s_j = (s_j)^*$ , where  $j = 1, 2, \dots, n$ .

hence 
$$\left(\frac{s+t}{2}\right)^* = \frac{s+t}{2}$$

	Drive on the Left	Drive on the Right
Drive on the Left	10, 10	0, 0
Drive on the Right	0, 0	10, 10



- Ex. 1 
$$\begin{matrix} 5 & a\alpha & -3 \\ -4 & a\beta & 4 \\ -5 & b\alpha & 5 \\ 3 & b\beta & -4 \end{matrix}$$
 Solution  $\left(\frac{9}{16}a + \frac{7}{16}b, \frac{7}{17}a + \frac{10}{17}b\right)$   

$$v_1 = \frac{-5}{17}, v_2 = \frac{1}{2}$$
- Ex. 2 
$$\begin{matrix} 1 & a\alpha & 1 \\ -10 & a\beta & 10 \\ 10 & b\alpha & -10 \\ -1 & b\beta & -1 \end{matrix}$$
 Strong Solution  $(b, \beta)$   

$$v_1 = v_2 = -1$$
- Ex. 3 
$$\begin{matrix} 1 & a\alpha & 1 \\ -10 & a\beta & -10 \\ -10 & b\alpha & -10 \\ 1 & b\beta & 1 \end{matrix}$$
 Unsolvable; equilibrium point and  $\left(\frac{a}{2} + \frac{b}{2}, \frac{\alpha}{2} + \frac{\beta}{2}\right)$ . The solution has maxi-min and mini-max.
- Ex. 4 
$$\begin{matrix} 1 & a\alpha & 1 \\ 0 & a\beta & 1 \\ 1 & b\alpha & 0 \\ 0 & b\beta & 0 \end{matrix}$$
 Strong Solution: all pairs of  $(\alpha, \beta)$   

$$v_1^+ = v_2^+ = 1, v_1^- = v_2^- = 0.$$

algebraic manifolds equilibrium points

16  
2015  
Часть II

case

ISSN 2072-0297

# Молодой учёный

Научный журнал

Выходит два раза в месяц

№ 16 (96) / 2015

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

**Члены редакционной коллегии:**

Ахметова Мария Николаевна, *доктор педагогических наук*

Иванова Юлия Валентиновна, *доктор философских наук*

Каленский Александр Васильевич, *доктор физико-математических наук*

Куташов Вячеслав Анатольевич, *доктор медицинских наук*

Лактионов Константин Станиславович, *доктор биологических наук*

Сараева Надежда Михайловна, *доктор психологических наук*

Авдеюк Оксана Алексеевна, *кандидат технических наук*

Айдаров Оразхан Турсункожаевич, *кандидат географических наук*

Алиева Тарана Ибрагим кызы, *кандидат химических наук*

Ахметова Валерия Валерьевна, *кандидат медицинских наук*

Брезгин Вячеслав Сергеевич, *кандидат экономических наук*

Данилов Олег Евгеньевич, *кандидат педагогических наук*

Дёмин Александр Викторович, *кандидат биологических наук*

Дядюн Кристина Владимировна, *кандидат юридических наук*

Желнова Кристина Владимировна, *кандидат экономических наук*

Жуйкова Тамара Павловна, *кандидат педагогических наук*

Жураев Хусниддин Олтинбоевич, *кандидат педагогических наук*

Игнатова Мария Александровна, *кандидат искусствоведения*

Коварда Владимир Васильевич, *кандидат физико-математических наук*

Комогорцев Максим Геннадьевич, *кандидат технических наук*

Котляров Алексей Васильевич, *кандидат геолого-минералогических наук*

Кузьмина Виолетта Михайловна, *кандидат исторических наук, кандидат психологических наук*

Кучерявенко Светлана Алексеевна, *кандидат экономических наук*

Лескова Екатерина Викторовна, *кандидат физико-математических наук*

Макеева Ирина Александровна, *кандидат педагогических наук*

Матроскина Татьяна Викторовна, *кандидат экономических наук*

Матусевич Марина Степановна, *кандидат педагогических наук*

Мусаева Ума Алиевна, *кандидат технических наук*

Насимов Мурат Орленбаевич, *кандидат политических наук*

Прончев Геннадий Борисович, *кандидат физико-математических наук*

Семахин Андрей Михайлович, *кандидат технических наук*

Сенцов Аркадий Эдуардович, *кандидат политических наук*

Сенюшкин Николай Сергеевич, *кандидат технических наук*

Титова Елена Ивановна, *кандидат педагогических наук*

Ткаченко Ирина Георгиевна, *кандидат филологических наук*

Фозилов Садриддин Файзуллаевич, *кандидат химических наук*

Яхина Асия Сергеевна, *кандидат технических наук*

Ячинова Светлана Николаевна, *кандидат педагогических наук*

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

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

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

Тираж 1000 экз.

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



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

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

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

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

**Ответственные редакторы:**

Кайнова Галина Анатольевна

Осянина Екатерина Игоревна

**Международный редакционный совет:**

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

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

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

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

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

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

Гайич Тамара, *доктор экономических наук (Сербия)*

Данатаров Агахан, *кандидат технических наук (Туркменистан)*

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Хоссейни Амир, *доктор филологических наук (Иран)*

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

**Художник:** Шишков Евгений Анатольевич

**Верстка:** Голубцов Максим Владимирович

*На обложке изображен Джон Форбс Нэш-младший (1928—2015) — американский математик, работавший в области теории игр и дифференциальной геометрии. Лауреат Нобелевской премии по экономике 1994 года.*

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

**Анфилатов А. А.**

Влияние применения метанола на дымность отработавших газов в дизеле при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$  ..... 131

**Анфилатов А. А.**

Влияние применения метанола на дымность отработавших газов в дизеле при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  ..... 134

**Анфилатов А. А.**

Влияние применения метанола на относительную концентрацию сажи в отработавших газах дизеля при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  ..... 136

**Анфилатов А. А.**

Теория процесса сажевыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле ..... 139

**Анфилатов А. А.**

Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на альтернативном топливе ..... 142

**Гаевская З. А., Лазарева Ю. С., Лазарев А. Н.**

Проблемы внедрения системы «зеленых» стандартов ..... 145

**Динмухаметов А. М., Бутяков Н. А.,****Ахметшин Р. С.**

Котел-печь, преимущественно для сельских домов ..... 152

**Динмухаметов А. М., Бутяков Н. А.,****Галиакбаров А. Т.**

Энергоэффективная эксплуатация градилен в зимний период ..... 155

**Лиханов В. А., Анфилатов А. А.**

Влияние применения метанола на массовую концентрацию сажи в отработавших газах дизеля при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$  ..... 157

**Лиханов В. А.**

Влияние применения метанола на массовую концентрацию сажи в отработавших газах дизеля при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  ..... 160

**Лиханов В. А., Анфилатов А. А.**

Влияние применения метанола на относительную концентрацию сажи в отработавших газах дизеля при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$  ..... 163

**Лиханов В. А., Лопатин О. П.**

Исследование содержания оксидов азота по скоростной характеристике газодизеля с турбонаддувом ..... 165

**Лиханов В. А., Лопатин О. П.**

Динамика образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом при УОВТ 11 градусов до ВМТ ..... 168

**Лиханов В. А., Лопатин О. П.**

Снижение содержания оксидов азота в ОГ дизеля с турбонаддувом путем применения природного газа ..... 171

**Лиханов В. А., Скрябин М. Л.**

Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением надувочного воздуха ..... 174

**Лиханов В. А., Скрябин М. Л.**

Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением надувочного воздуха в зависимости от изменения установочного УОВТ при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$  ..... 177

**Лиханов В. А., Скрябин М. Л.**

Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением надувочного воздуха в зависимости от изменения установочного УОВТ при  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$  ..... 180

**Лопатин О. П.**

Нагрузочные характеристики токсичности газодизеля при работе с рециркуляцией на УОВТ 26 градусов до ВМТ ..... 183

**Лопатин О. П.**

Регулировочные характеристики процесса сгорания газодизеля на номинальном режиме работы ..... 185

<b>Лопатин О. П.</b> Исследование характеристик тепловыделения и содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе с рециркуляцией.....	188	<b>Скрябин М. Л.</b> Влияние применение метанола-топливных эмульсий на дымность отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 при работе с двойной системой топливоподачи.....	230
<b>Лопатин О. П.</b> Эффективные нагрузочные характеристики газодизеля при работе с рециркуляцией на режиме максимального крутящего момента ...	191	<b>Скрябин М. Л.</b> Влияние применения метанола в дизеле 2Ч 10,5/12,0 на показатели процесса сгорания в зависимости от изменения частоты вращения.....	233
<b>Лопатин О. П.</b> Исследование динамики образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом при УОВТ 14 градусов до ВМТ.....	193	<b>Скрябин М. Л.</b> Скоростная характеристика дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением надувочного воздуха при работе на природном газе .....	235
<b>Мелихова О. А., Григораш А. С., Джамбинов С. В., Чумичев В. С., Гайдуков А. Б.</b> Некоторые аспекты теории нейронных систем .....	196	<b>Скрябин М. Л.</b> Токсичность отработавших газов дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением надувочного воздуха в зависимости от изменения частоты вращения .....	238
<b>Мельниченко М. А., Ершова О. В., Чупрова Л. В.</b> Влияние состава наполнителей на свойства полимерных композиционных материалов.....	199	<b>Тарабрина И. В.</b> Сохранность потребительских свойств винограда .....	241
<b>Мокроусов В. И.</b> К вопросу о гибке стальной цилиндрической заготовки.....	202	<b>Чувашев А. Н.</b> Совмещённые индикаторные диаграммы дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ при установочном угле впрыскивания дизтоплива 34° .....	244
<b>Нгуен Тхе Мань, Май Туан Ань, Чйнь Куок Фонг, Дйнь Ван Кйен, Нгуен Ба Зуй</b> Метод повышения запаса плавучести легких плавающих танков ПТ-76 во вьетнамских условиях эксплуатации .....	206	<b>Чувашев А. Н.</b> Совмещённые индикаторные диаграммы дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ при установочных углах впрыскивания дизтоплива 26° и 30° .....	247
<b>Орешкин А. Ю., Шлячков Д. А., Юшков А. Б.</b> Основные факторы изменения структуры и свойств материалов технологического оборудования химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств в процессе эксплуатации .....	211	<b>Чувашев А. Н.</b> Совмещённые индикаторные диаграммы дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ при установочных углах впрыскивания дизтоплива 38° и 42° .....	249
<b>Поезжаева Е. В., Сергеев А. А., Мисюров М. Н.</b> Разработка концепции адаптивного отслеживания шва в реальном времени для роботизированной сварки.....	214	<b>Чувашев А. Н.</b> Экономические показатели дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ .....	252
<b>Поезжаева Е. В., Федотов А. Г., Заглядов П. В.</b> Разработка робота для контроля трубопроводов .....	218	<b>Чувашев А. Н.</b> Влияние применения метанола с ДСТ на характеристики тепловыделения.....	255
<b>Поезжаева Е. В., Федотов А. Г., Заглядов П. В.</b> Универсальная роботизированная платформа для скалывания льда .....	222	<b>Чувашев А. Н.</b> Влияние применения метанола с ДСТ на характеристики тепловыделения на режиме максимального крутящего момента.....	258
<b>Поезжаева Е. В., Федотов А. Г., Заглядов П. В.</b> Охрана труда при использовании промышленных роботов .....	225	<b>Шинкин В. Н.</b> Критерий разрушения труб при дефекте раскатной пригар.....	261
<b>Скрябин М. Л.</b> Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля Д-245.7 в зависимости от изменения нагрузки.....	228		



## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

### Влияние применения метанола на дымность отработавших газов в дизеле при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$

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

В работе приводятся результаты влияния применения метанола на дымность отработавших газов в дизеле 2Ч 10,5/12,0 при работе с двойной системой топливоподачи в зависимости от различных установочных углов опережения впрыскивания топлива при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ .

**Ключевые слова:** дизель, метанол, двойная система топливоподачи, дымность отработавших газов.

Изменения дымности отработавших газов (ОГ) дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с двойной системой топливоподачи (ДСТ) при различных установочных углах опережения впрыскивания топлива (УОВТ) дизельного топлива (ДТ) и метанола на номинальном режиме работы при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ . Из графика видно, что при увеличении установочного УОВТ метанола от  $\Theta_M = 22^\circ$  до  $\Theta_M = 38^\circ$  дымность ОГ снижается во всем диапазоне изменения установочного УОВТ ДТ рисунок 1 [1–9].

Рассматривая дымность ОГ при работе на метаноле с ДСТ при установочном УОВТ ДТ  $\Theta_{ДТ} = 26^\circ$  можно отметить следующее. При увеличении установочного УОВТ метанола дымность ОГ снижается с 1,7 ед. по шкале

Bosch при  $\Theta_M = 22^\circ$  до 1,1 ед. по шкале Bosch при  $\Theta_M = 34^\circ$ . Снижение составляет 0,6 ед. по шкале Bosch или 35,3%. При увеличении установочного УОВТ ДТ до  $\Theta_{ДТ} = 30^\circ$  дымность ОГ изменяется с 1,6 ед. при  $\Theta_M = 22^\circ$  до 0,95 ед. по шкале Bosch при  $\Theta_M = 34^\circ$ , т.е. снижается на 40,6% [10–21].

Рассматривая дымность ОГ при работе на метаноле с ДСТ при установочном УОВТ ДТ  $\Theta_{ДТ} = 34^\circ$  видно, что дымность ОГ изменяется с 1,45 ед. по шкале Bosch при  $\Theta_M = 22^\circ$  до 0,8 ед. по шкале Bosch при  $\Theta_M = 38^\circ$ . Снижение составляет 0,65 ед по шкале Bosch или 31,0%. При увеличении установочного УОВТ ДТ до  $\Theta_{ДТ} = 38^\circ$  дымность ОГ снижается с 1,3 ед. по шкале Bosch при  $\Theta_M =$

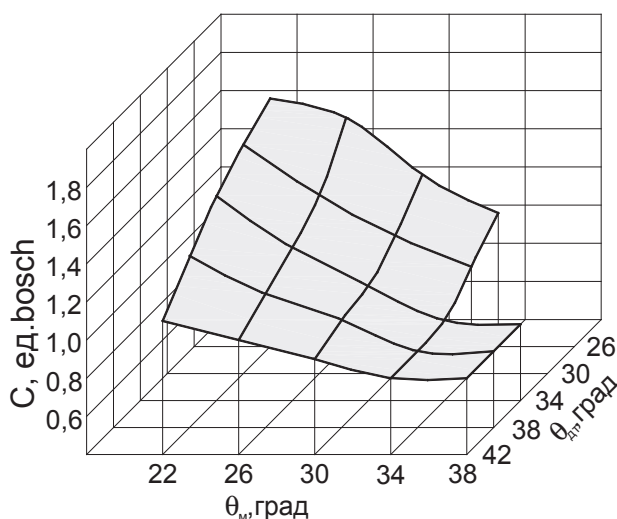


Рис. 1. Влияние применения метанола на дымность ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ при различных установочных УОВТ при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$  и  $p_e = 0,585 \text{ МПа}$ ,  $q_{цдт} = 6,6 \text{ мг/цикл}$

22° до 0,8 ед. по шкале Bosch при  $\Theta_M = 38^\circ$ , т.е. 0,5 ед. по шкале Bosch или на 38,4%. При изменении установочного УОВТ ДТ до  $\Theta_{ДТ} = 42^\circ$  дымность ОГ снижается с 1,1 ед. по шкале Bosch при  $\Theta_M = 22^\circ$  до 0,8 ед. по шкале Bosch при  $\Theta_M = 38^\circ$ , т.е. на 27,3%.

Рассматривая дымность ОГ при работе на метаноле с ДСТ при установочном УОВТ метанола  $\Theta_M = 22^\circ$  можно отметить следующее. При увеличении установочного УОВТ ДТ дымность ОГ изменяется с 1,7 ед. по

шкале Bosch при  $\Theta_{ДТ} = 26^\circ$  до 1,1 ед. по шкале Bosch при  $\Theta_{ДТ} = 42^\circ$ . Снижение составляет 0,6 ед. по шкале Bosch или 35,3%. При увеличении установочного УОВТ метанола  $\Theta_M = 26^\circ$  дымность ОГ изменяется с 1,6 ед. при  $\Theta_{ДТ} = 26^\circ$  до 1,0 ед. по шкале Bosch при  $\Theta_{ДТ} = 42^\circ$ , т.е. снижается на 0,6 ед. по шкале Bosch. При установочном УОВТ метанола  $\Theta_M = 30^\circ$  дымность ОГ снижается с 1,5 ед. при  $\Theta_{ДТ} = 26^\circ$  до 0,9 ед. по шкале Bosch при  $\Theta_{ДТ} = 42^\circ$ , т.е. на 40,0% [22–37].

#### Литература:

1. 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.
2. 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.
3. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследования эффективных и экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на природном газе с рециркуляцией отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсиях // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 5–1. с. 22–25.
4. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. 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.
5. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Влияние рециркуляции отработавших газов на индикаторные показатели газодизеля // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 31–33.
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. 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.
8. 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.
9. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование скоростного режима 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. 24–26.
10. 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.
11. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля Д-240 путем применения этанола-топливной эмульсии // Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник: 2013. № 1 (1). с. 29–32.
12. 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.
13. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Шишканов Е. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путем их рециркуляции // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 9. с. 8–9.
14. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этанола-топливной эмульсии // Транспорт на альтернативном топливе. 2012. № 4 (28). с. 70–73.
15. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на содержание оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 439–442.
16. Скрябин, М. Л. Влияние применение метанола на дымность отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 445–448.



17. Скрябин, М.Л. Влияние применения метанола с двойной системой топливopодачи в дизеле 2Ч 10,5/12,0 на показатели процесса сгорания и показатели сажеcодержания // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 442–445.
18. Скрябин, М.Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на массовую концентрацию оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от нагрузки на номинальной частоте вращения // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 301–303.
19. Методика исследований дизеля 2Ч 10,5/12,0 по снижению содержания оксидов азота при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 131–134.
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. 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.
22. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 317–320.
23. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 320–323.
24. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения нагрузки // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 314–317.
25. Скрябин, М.Л. Математическая модель расчета содержания оксидов азота в цилиндре дизеля 4 ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 309–312.
26. Скрябин, М.Л. Особенности методики стендовых исследований работы дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 306–309.
27. Скрябин, М.Л. Особенности расчета констант скорости реакций термической диссоциации в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 303–306.
28. Скрябин, М.Л. Исследование эффективных показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 312–315.
29. Скрябин, М.Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.
30. Чувашев, А.Н. Мощностные и экономические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 199–202.
31. Чувашев, А.Н. Мощностные и экономические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на режиме максимального крутящего момента. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 202–205.
32. Чувашев, А.Н. Мощностные и экономические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 205–207.
33. Чувашев, А.Н. Экологические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 208–210.
34. Чувашев, А.Н. Экологические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на режиме максимального крутящего момента. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 211–213.
35. Чувашев, А.Н. Экологические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 214–216.
36. Чувашев, А.Н. Выводы и рекомендации по поводу использования метанола с ДСТ в качестве моторного топлива в дизеле 2Ч 10,5 / 12,0. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 217–219.
37. Чувашев, А.Н. Методика исследования рабочего процесса дизеля воздушного охлаждения при работе на метаноле с использованием ДСТ. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 219–222.

## Влияние применения метанола на дымность отработавших газов в дизеле при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$

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

В работе приводятся результаты влияния применения метанола на дымность отработавших газов в дизеле 2Ч 10,5/12,0 при работе с двойной системой топливоподачи в зависимости от различных установочных углов опережения впрыскивания топлива при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ .

**Ключевые слова:** дизель, метанол, двойная система топливоподачи, дымность отработавших газов.

Зависимость изменения дымности отработавших газов (ОГ) дизеля 2Ч 10,5/12,0 при различных установочных углах опережения впрыскивания топлива (УОВТ) дизельного топлива (ДТ) и метанола на режиме максимального крутящего момента при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ . Из графика видно, что увеличение установочных УОВТ ДТ и метанола ведет к снижению дымности ОГ рисунок 1.

Рассматривая дымность ОГ при работе на метаноле с ДСТ при установочном УОВТ  $\Theta_M = 22^\circ$  можно отметить следующее. При увеличении установочного УОВТ ДТ значение дымности ОГ уменьшается с 1,3 ед. по шкале Bosch при  $\Theta_{ДТ} = 26^\circ$  до 1,0 ед. по шкале Bosch при  $\Theta_{ДТ} = 42^\circ$ , т.е. на 30%. При установочном УОВТ метанола  $\Theta_M = 26^\circ$  дымность ОГ изменяется с 1,2 ед. по шкале Bosch при  $\Theta_{ДТ} = 26^\circ$  до 0,8 ед. по шкале Bosch при  $\Theta_{ДТ} = 42^\circ$ . При увеличении установочного УОВТ метанола до  $\Theta_M = 30^\circ$  дымность ОГ снижается с 1,0 ед. по шкале Bosch при  $\Theta_{ДТ} = 26^\circ$  до 0,8 ед. по шкале Bosch при  $\Theta_{ДТ} = 42^\circ$ . При увеличении установочного УОВТ метанола  $\Theta_M = 34^\circ$  дымность ОГ изменяется с 0,9 по шкале Bosch ед. при  $\Theta_{ДТ} = 26^\circ$  до 0,8 ед. по шкале Bosch при  $\Theta_{ДТ} = 42^\circ$ . при этом минимальное значение достигается при  $\Theta_{ДТ} = 34^\circ$ ., снижение дымности

составляет 0,1 ед. по шкале Bosch или 11%. При установочном УОВТ метанола  $\Theta_M = 38^\circ$  дымность практически не меняется и равна 0,8 ед. по шкале Bosch [1–9].

Рассматривая дымность ОГ при работе на метаноле с ДСТ при установочном УОВТ ДТ  $\Theta_{ДТ} = 26^\circ$  видно, что при увеличении установочного УОВТ метанола значение дымности ОГ снижается с 1,3 ед. по шкале Bosch при  $\Theta_M = 22^\circ$  до 0,9 ед. по шкале Bosch при  $\Theta_M = 34^\circ$ . При изменении установочного УОВТ ДТ  $\Theta_{ДТ} = 30^\circ$  дымность ОГ снижается с 1,2 ед по шкале Bosch при  $\Theta_M = 22^\circ$  до 0,8 ед. по шкале Bosch при  $\Theta_M = 34^\circ$ . При увеличении установочного УОВТ ДТ  $\Theta_{ДТ} = 34^\circ$  дымность ОГ снижается с 1,05 ед. при  $\Theta_M = 22^\circ$  до 0,8 ед. по шкале Bosch при  $\Theta_M = 38^\circ$ . При этом минимальное значение достигается при  $\Theta_M = 34^\circ$ . При установочном УОВТ ДТ  $\Theta_{ДТ} = 38^\circ$  дымность ОГ снижается с 1,0 ед. при  $\Theta_M = 22^\circ$  до 0,8 ед. по шкале Bosch при  $\Theta_M = 38^\circ$ . При увеличении установочного УОВТ до ДТ  $\Theta_{ДТ} = 42^\circ$  дымность изменяется с 1 ед. по шкале Bosch при  $\Theta_M = 22^\circ$  до 0,8 ед. по шкале Bosch при  $\Theta_M = 38^\circ$  [10–19].

Такие низкие значения дымности ОГ объясняются тем, что метанол имеет меньшую склонность к дымообразованию, чем ДТ. Величина дымности ОГ при работе на ме-

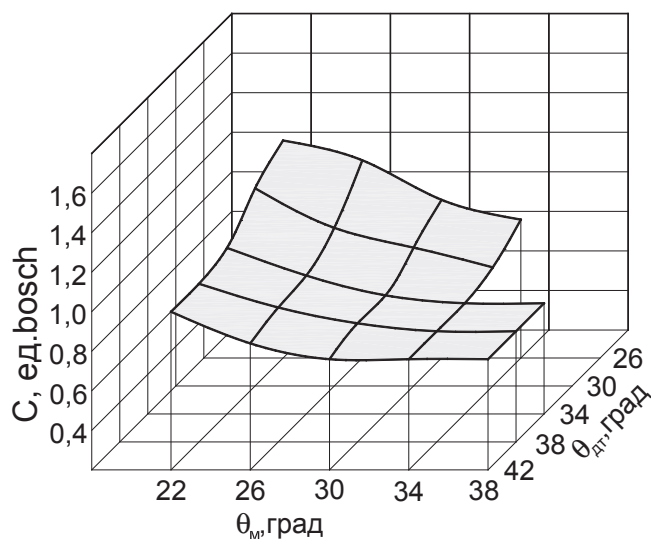


Рис. 1. Влияние применения метанола на дымность ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ при различных установочных УОВТ при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  и  $p_e = 0,594 \text{ МПа}$ ,  $q_{цд} = 6,0 \text{ мг/цикл}$

танолу с ДСТ обусловлена наличием запальной порции ДТ. Таким образом, на основании полученных данных, минимальное значение дымности ОГ наблюдается при установочных УОВТ метанола  $\Theta_M = 34^\circ$  и  $\Theta_M = 38^\circ$ . Анали-

зируя полученные данные, сочетание установочных УОВТ ДТ  $\Theta_{ДТ} = 34^\circ$  и метанола  $\Theta_M = 34^\circ$  принято за оптимальное на номинальном режиме и режиме максимального крутящего момента [20–36].

#### Литература:

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Влияние рециркуляции отработавших газов на индикаторные показатели газодизеля // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 31–33.
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. 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.
7. 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.
8. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование скоростного режима 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. 24–26.
9. 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.
10. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля Д-240 путем применения этанола-топливной эмульсии // Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник. 2013. № 1 (1). с. 29–32.
11. 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.
12. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Шишканов Е. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путем их рециркуляции // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 9. с. 8–9.
13. 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.
14. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на содержание оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 439–442.
15. Скрябин, М. Л. Влияние применение метанола на дымность отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 445–448.
16. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола с двойной системой топливоподачи в дизеле 2Ч 10,5/12,0 на показатели процесса сгорания и показатели сажесодержания // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 442–445.
17. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на массовую концентрацию оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от нагрузки на номинальной частоте вращения // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 301–303.
18. Методика исследований дизеля 2Ч 10,5/12,0 по снижению содержания оксидов азота при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 131–134.
19. 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.
20. 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.

21. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 317–320.
22. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 320–323.
23. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения нагрузки // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 314–317.
24. Скрябин, М.Л. Математическая модель расчета содержания оксидов азота в цилиндре дизеля 4 ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 309–312.
25. Скрябин, М.Л. Особенности методики стендовых исследований работы дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 306–309.
26. Скрябин, М.Л. Особенности расчета констант скорости реакций термической диссоциации в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 303–306.
27. Скрябин, М.Л. Исследование эффективных показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 312–315.
28. Скрябин, М.Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.
29. Чувашев, А.Н. Мощностные и экономические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 199–202.
30. Чувашев, А.Н. Мощностные и экономические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на режиме максимального крутящего момента. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 202–205.
31. Чувашев, А.Н. Мощностные и экономические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 205–207.
32. Чувашев, А.Н. Экологические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 208–210.
33. Чувашев, А.Н. Экологические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на режиме максимального крутящего момента. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 211–213.
34. Чувашев, А.Н. Экологические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 214–216.
35. Чувашев, А.Н. Выводы и рекомендации по поводу использования метанола с ДСТ в качестве моторного топлива в дизеле 2Ч 10,5 / 12,0. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 217–219.
36. Чувашев, А.Н. Методика исследования рабочего процесса дизеля воздушного охлаждения при работе на метаноле с использованием ДСТ. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 219–222.

## **Влияние применения метанола на относительную концентрацию сажи в отработавших газах дизеля при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$**

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

*В работе приводятся результаты влияния применения метанола на относительную концентрацию г сажи в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с двойной системой топливоподачи в зависимости от различных установочных углов опережения впрыскивания топлива при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ .*

**Ключевые слова:** дизель, метанол, двойная система топливоподачи, относительная концентрация сажи в отработавших газах.

**В**лияния применения метанола на относительную концентрацию г сажи в отработавших газах (ОГ) дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с двойной системой топливоподачи (ДСТ) при различных установочных углах



опережения впрыскивания топлива (УОВТ) на режиме максимального крутящего момента при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  представлено на рисунке 1. [1–11].

Кривые изменения относительной концентрации  $\gamma$  сажи в цилиндре дизеля показывают, что при увеличении установочных УОВТ ДТ и метанола значение относительной концентрации  $\gamma$  снижается во всем диапазоне изменения установочных УОВТ [12–19].

При установочных УОВТ ДТ  $\Theta_{\text{ДТ}} = 34^\circ$  и метанола  $\Theta_{\text{М}} = 34^\circ$  значение относительной концентрации сажи  $\gamma_{\text{м}} = 0,012 \text{ г/кг}$  на режиме максимального крутящего момента при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ . При увеличении установочного УОВТ метанола до  $\Theta_{\text{М}} = 38^\circ$  и  $\Theta_{\text{ДТ}} = 34^\circ$  значение относительной концентрации сажи изменяется до  $\gamma_{\text{м}} = 0,012 \text{ г/кг}$  при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ . При увеличении установочного УОВТ ДТ до  $\Theta_{\text{ДТ}} = 38^\circ$  и  $\Theta_{\text{М}} = 38^\circ$  значение концентрации сажи увеличивается до  $\gamma_{\text{м}} = 0,01 \text{ г/кг}$  при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  [20–27].

При уменьшении установочного УОВТ метанола до  $\Theta_{\text{М}} = 34^\circ$  и  $\Theta_{\text{ДТ}} = 38^\circ$  значение относительной концентрации сажи не изменяется, и равно  $\gamma_{\text{м}} = 0,010 \text{ г/м}^3$  при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ .

При дальнейшем уменьшении установочного УОВТ метанола до  $\Theta_{\text{М}} = 30^\circ$  и  $\Theta_{\text{ДТ}} = 38^\circ$  значение относительной концентрации сажи увеличивается до  $\gamma_{\text{м}} = 0,019 \text{ г/м}^3$  при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ .

При изменении установочного УОВТ ДТ до  $\Theta_{\text{ДТ}} = 34^\circ$  и  $\Theta_{\text{М}} = 30^\circ$  значение относительной концентрации сажи изменяется до  $\gamma_{\text{м}} = 0,019 \text{ г/кг}$  при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ . При дальнейшем уменьшении установочного УОВТ ДТ до  $\Theta_{\text{ДТ}} = 30^\circ$  и  $\Theta_{\text{М}} = 30^\circ$  значение относительной концентрации сажи увеличивается до  $\gamma_{\text{м}} = 0,023 \text{ г/кг}$  при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ . При увеличении установочного УОВТ метанола до  $\Theta_{\text{М}} = 34^\circ$  и  $\Theta_{\text{ДТ}} = 30^\circ$  значение относительной концентрации сажи изменяется до  $\gamma_{\text{м}} = 0,019 \text{ г/кг}$  при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  [28–38].

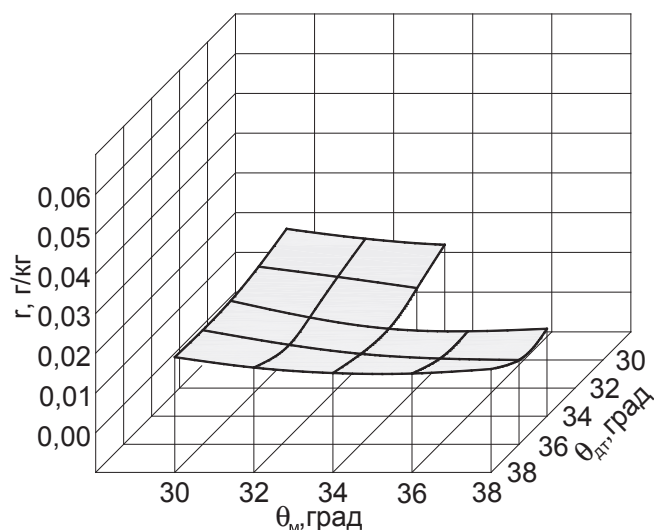


Рис. 1. Влияние применения метанола на относительную концентрацию  $\gamma$  сажи в ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ при различных установочных УОВТ при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  и  $p_e = 0,594 \text{ МПа}$ ,  $q_{\text{цд}} = 6,0 \text{ мг/цикл}$

Литература:

1. 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.
2. 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.
3. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследования эффективных и экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на природном газе с рециркуляцией отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсиях // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 5–1. с. 22–25.
4. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. 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.
5. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Влияние рециркуляции отработавших газов на индикаторные показатели газодизеля // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 31–33.
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. Исследование эффективных показателей дизеля при работе на природном газе, метанолю- и этанолю-топливных эмульсиях // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 4–1 (35). с. 79–81.
8. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этанолю-топливной эмульсии // Известия Международной академии аграрного образования. 2013. Т. 4. № 16. с. 170–173.
9. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование скоростного режима дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метанолю- и этанолю топливных эмульсиях // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 3 (16). с. 24–26.
10. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование нагрузочного режима дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метанолю- и этанолю топливных эмульсиях // Потенциал современной науки. 2015. № 3 (11). с. 40–44.
11. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля Д-240 путем применения этанолю-топливной эмульсии // Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник: 2013. № 1 (1). с. 29–32.
12. 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.
13. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Шишканов Е. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путем их рециркуляции // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 9. с. 8–9.
14. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этанолю-топливной эмульсии // Транспорт на альтернативном топливе. 2012. № 4 (28). с. 70–73.
15. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанолю-топливной эмульсии на содержание оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 439–442.
16. Скрябин, М. Л. Влияние применение метанола на дымность отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 445–448.
17. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола с двойной системой топливоподачи в дизеле 2Ч 10,5/12,0 на показатели процесса сгорания и показатели сажесодержания // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 442–445.
18. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанолю-топливной эмульсии на массовую концентрацию оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от нагрузки на номинальной частоте вращения // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 301–303.
19. Методика исследований дизеля 2Ч 10,5/12,0 по снижению содержания оксидов азота при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 131–134.
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. 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.
22. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 317–320.
23. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 320–323.
24. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения нагрузки // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 314–317.
25. Скрябин, М. Л. Математическая модель расчета содержания оксидов азота в цилиндре дизеля 4 ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 309–312.
26. Скрябин, М. Л. Особенности методики стендовых исследований работы дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением надвучного воздуха при работе на природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 306–309.
27. Скрябин, М. Л. Особенности расчета констант скорости реакций термической диссоциации в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 303–306.
28. Скрябин, М. Л. Исследование эффективных показателей газодизеля с промежуточным охлаждением надвучного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 312–315.

29. Скрыбин, М.Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.
30. Чувашев, А.Н. Мощностные и экономические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 199–202.
31. Чувашев, А.Н. Мощностные и экономические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на режиме максимального крутящего момента. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 202–205.
32. Чувашев, А.Н. Мощностные и экономические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 205–207.
33. Чувашев, А.Н. Экологические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 208–210.
34. Чувашев, А.Н. Экологические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на режиме максимального крутящего момента. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 211–213.
35. Чувашев, А.Н. Экологические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 214–216.
36. Чувашев, А.Н. Выводы и рекомендации по поводу использования метанола с ДСТ в качестве моторного топлива в дизеле 2Ч 10,5 / 12,0. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 217–219.
37. Чувашев, А.Н. Методика исследования рабочего процесса дизеля воздушного охлаждения при работе на метаноле с использованием ДСТ. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 219–222.
38. Чувашев, А.Н. Показатели процесса сгорания дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на частоте вращения коленчатого вала при максимальном крутящем моменте. Молодой ученый. 2015. № 12 (92) часть III. с. 347–348.

## Теория процесса сажевыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле

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

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

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

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

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

$M$  — число Бугера,

$M = \text{const}$  для эксперимента.

К моменту открытия выпускного клапана величина ослабления проходящего света в цилиндре дизеля, как правило, невелика. Поэтому массовую концентрацию  $C$  сажи в цилиндре дизеля на момент открытия выпускного клапана необходимо сопоставлять с уровнем дымности ОГ [1–10].

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

– Начало активного сажевыделения всегда совпадает с началом видимого сгорания и активного тепловыделения;

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

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

Дымность ОГ зависит от интенсивности процесса выгорания массы сажи после достижения максимального значения  $C_{\text{max}}$ . Выгорание сажи в свою очередь зависит от скорости процесса окисления сажевых частиц и от времени, отводимого на этот процесс [11–18].

Таким образом, процесс развития сажевыделения можно условно разбить на 3 характерных участка. Выделение участков в процессе сажевыделения основывается на предположении об относительной роли конку-

рирующих процессов образования и выгорания сажи. Процесс сгорания в целом обусловлен множеством различных физических явлений. Поэтому, границы участков будут иметь условный характер:

I — участок преимущественного образования сажи

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

Для дизеля при работе на метаноле с ДСТ этот участок имеет свои особенности, на которые влияют характеристики топлива и процесса впрыскивания. На основании теоретических и экспериментальных исследований известно, что сажа образуется в ядре факела ДТ. Таким образом, можно предположить, что массовая концентрация достигает значений близких к максимальному после впрыскивания запальной порции ДТ. Это подтверждается замедлением активного тепловыделения, что связано в свою очередь с тем, что метанол обладает высокой теплотой парообразования. При взаимодействии с факелом ДТ метанолу необходимо некоторое время для достижения необходимой температуры воспламенения [19–26].

Так же это предположение подтверждается тем, что запальная порция ДТ мала по сравнению с зарядом впрыскиваемого метанола, время его впрыскивания заканчивается значительно раньше, чем впрыскивание метанола. Это явление снижает скорость процесса сгорания, а следовательно, и процессов образования и выгорания сажи.

При взаимодействии факелов ДТ и метанола образуется большое количество микро и макрозон, характеризующиеся химической и физической неоднородностью. При сгорании метанола образуются активные радикалы ОН, которые вступают в химические реакции с углеводородами топлива и образовавшейся сажой, тем самым увели-

чивая интенсивность процесса окисления сажи. Пересекающиеся струи ДТ и метанола выносят основную массу образовавшейся сажи за пределы пламенной зоны, и, основываясь на физических свойствах метанола можно сделать предположение, что частицы сажи находятся в облаке испарившегося метанола.

II — участок одновременного образования и выгорания сажи

От угла  $\varphi$  п.к.в. когда достигается максимальное давление — до значения угла  $\varphi$  п.к.в. когда достигается максимальное значение температуры Ттах. В этот промежуток времени в цилиндре идет процесс развитого диффузионного горения основной части топлива. Диффузионным пламенем охвачена большая часть объема, а температура газов достигает своего максимального значения. Процессы образования и выгорания сажи идут с соизмеримыми скоростями, но количество образовавшейся сажи незначительно превосходит количество выгорающей сажи, что обуславливает рост сажесодержания до максимального значения [27–33].

III — участок преимущественного выгорания сажи

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

Наиболее эффективным представляется снижение дымности воздействием на выгорание сажи в цилиндре до открытия выпускных клапанов. С этой целью желательно смещение максимума сажевыделения в сторону ВМТ [34–38].

#### Литература:

1. 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.
2. 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.
3. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследования эффективных и экологических показателей дизеля 4С11,0/12,5 при работе на природном газе с рециркуляцией отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсиях // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 5–1. с. 22–25.
4. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. 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.
5. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Влияние рециркуляции отработавших газов на индикаторные показатели газодизеля // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 31–33.
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. Исследование эффективных показателей дизеля при работе на природном газе, метанолю- и этанолю-топливных эмульсиях // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 4–1 (35). с. 79–81.
8. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этанолю-топливной эмульсии // Известия Международной академии аграрного образования. 2013. Т. 4. № 16. с. 170–173.
9. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование скоростного режима дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метанолю- и этанолю топливных эмульсиях // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 3 (16). с. 24–26.
10. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование нагрузочного режима дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метанолю- и этанолю топливных эмульсиях // Потенциал современной науки. 2015. № 3 (11). с. 40–44.
11. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля Д-240 путем применения этанолю-топливной эмульсии // Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник: 2013. № 1 (1). с. 29–32.
12. 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.
13. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Шишканов Е. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путем их рециркуляции // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 9. с. 8–9.
14. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этанолю-топливной эмульсии // Транспорт на альтернативном топливе. 2012. № 4 (28). с. 70–73.
15. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанолю-топливной эмульсии на содержание оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 439–442.
16. Скрябин, М. Л. Влияние применение метанола на дымность отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 445–448.
17. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола с двойной системой топливоподачи в дизеле 2Ч 10,5/12,0 на показатели процесса сгорания и показатели сажесодержания // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 442–445.
18. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанолю-топливной эмульсии на массовую концентрацию оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от нагрузки на номинальной частоте вращения // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 301–303.
19. Методика исследований дизеля 2Ч 10,5/12,0 по снижению содержания оксидов азота при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 131–134.
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. 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.
22. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 317–320.
23. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 320–323.
24. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения нагрузки // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 314–317.
25. Скрябин, М. Л. Математическая модель расчета содержания оксидов азота в цилиндре дизеля 4 ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 309–312.
26. Скрябин, М. Л. Особенности методики стендовых исследований работы дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением надвучного воздуха при работе на природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 306–309.
27. Скрябин, М. Л. Особенности расчета констант скорости реакций термической диссоциации в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 303–306.
28. Скрябин, М. Л. Исследование эффективных показателей газодизеля с промежуточным охлаждением надвучного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 312–315.

29. Скрябин, М.Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.
30. Чувашев, А.Н. Мощностные и экономические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 199–202.
31. Чувашев, А.Н. Мощностные и экономические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на режиме максимального крутящего момента. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 202–205.
32. Чувашев, А.Н. Мощностные и экономические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 205–207.
33. Чувашев, А.Н. Экологические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 208–210.
34. Чувашев, А.Н. Экологические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на режиме максимального крутящего момента. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 211–213.
35. Чувашев, А.Н. Экологические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 214–216.
36. Чувашев, А.Н. Выводы и рекомендации по поводу использования метанола с ДСТ в качестве моторного топлива в дизеле 2Ч 10,5 / 12,0. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 217–219.
37. Чувашев, А.Н. Методика исследования рабочего процесса дизеля воздушного охлаждения при работе на метаноле с использованием ДСТ. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 219–222.
38. Чувашев, А.Н. Показатели процесса сгорания дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на частоте вращения коленчатого вала при максимальном крутящем моменте. Молодой ученый. 2015. № 12 (92) часть III. с. 347–348.

## Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на альтернативном топливе

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

Период задержки воспламенения (ПЗВ) в дизеле имеет большое значение для последующего сгорания топлива, особенно при объёмном смесеобразовании. Приближенно принято считать началом процесса сгорания в дизеле момент отрыва линии нарастания давления от линии сжатия-расширения на индикаторной диаграмме.

Работа дизеля на альтернативном топливе имеет ряд отличий, которые необходимо учесть при математическом расчете основных параметров рабочего процесса, причем следует учесть, что использование топлив с сильно различающимися физико-химическими свойствами будет значительно изменять параметры рабочего процесса дизеля. Наиболее сильно это будет проявляться в период протекания предпламенных реакций (в период задержки воспламенения) и сгорания [1–9].

Основными факторами, определяющими продолжительность ПЗВ, являются химический состав топлива и термодинамические параметры воздушного заряда. Продолжительность ПЗВ мало зависит от параметров процесса впрыскивания, так как в струе топлива всегда

будут находиться капли различных размеров, в том числе капли оптимального размера для данных условий смесеобразования. В большей степени на ПЗВ могут влиять структура и дальнобойность струй топлива, которые определяются процессом впрыскивания топлива [10–21].

Впрыскивание запальной порции ДТ и этанола в сжатую воздушную среду будет сопровождаться нагреванием и испарением частиц ДТ и этанола, взаимной диффузией паров. Однако вследствие большей теплоты парообразования этанола, чем ДТ (841 и 251 кДж/кг соответственно), а также низким значением ЦЧ и более высокой температурой самовоспламенения и высоким значением энергии активации. Для разрыва химических связей в молекуле этанола требуется энергия в 1,5...2 раза большая, чем для ДТ. Поэтому при испарении частиц этанола будет происходить понижение температуры заряда. Воспламенение может быть достигнуто только тепловым потоком и только за счет воспламенения частиц ДТ [22–31].

Данная методика позволяет наиболее полно провести анализ изменения периода задержки воспламенения, максимальных давления, скорости нарастания давления

и температур в зависимости от состава применяемых топлив, а также в зависимости от изменения условий топливоподачи. Дополнительно данный расчет позволяет

учесть охлаждение рабочего тела, связанное с испарением топлива. В основу методики положено следующее уравнение расчета периода задержки:

$$\varphi_i = \varphi_{впр} \sqrt{6 \cdot n \cdot 10^{-4}} \cdot \left[ \frac{\ln \left[ \sqrt{\rho_m} \left( \frac{\theta_{впр}}{K_T} - \theta_{нв} \right) \right]}{a} \right] + \left[ \frac{A}{2} \sqrt{\rho_T} - \frac{\left( 1 - \frac{\varphi_{впр}}{\theta_{впр}} \right)}{K_T} \right] \cdot \frac{\sqrt{a_1 - 1}}{\psi \cdot \theta_{впр}^p}, \quad (1)$$

где  $j_i$  — ПЗВ, градус п.к.в.;  
 $j_{впр}$  — продолжительность впрыскивания, градус п.к.в.;  
 $n$  — частота вращения коленчатого вала, мин<sup>-1</sup>;  
 $\rho_T$  — плотность топлива, г/см<sup>3</sup>;  
 $q_{впр}$ ,  $q_{впр}^p$  — угол опережения впрыскивания топлива в градусах п.к.в. и радианах соответственно;  
 $q_{нв}$  — безразмерная температура в момент начала впрыскивания;

$A$ ,  $K_T$  — факторы, учитывающие физические свойства топлива;  
 $u$  — отношение характеристик выделения и стока теплоты;  
 $a$ ,  $a_1$  — коэффициенты, зависящие от конструктивных параметров дизеля и параметров топливоподачи [32–38].

Литература:

1. 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.
2. 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.
3. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследования эффективных и экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на природном газе с рециркуляцией отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсиях // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 5–1. с. 22–25.
4. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. 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.
5. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Влияние рециркуляции отработавших газов на индикаторные показатели газодизеля // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 31–33.
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. 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.
8. 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.
9. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование скоростного режима 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. 24–26.
10. 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.
11. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля Д-240 путем применения этанола-топливной эмульсии // Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник: 2013. № 1 (1). с. 29–32.
12. 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.
13. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Шишканов Е. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путем их рециркуляции // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 9. с. 8–9.

14. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этанола-топливной эмульсии // Транспорт на альтернативном топливе. 2012. № 4 (28). с. 70–73.
15. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на содержание оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 439–442.
16. Скрябин, М. Л. Влияние применение метанола на дымность отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 445–448.
17. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола с двойной системой топливоподачи в дизеле 2Ч 10,5/12,0 на показатели процесса сгорания и показатели сажеосодержания // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 442–445.
18. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на массовую концентрацию оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от нагрузки на номинальной частоте вращения // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 301–303.
19. Методика исследований дизеля 2Ч 10,5/12,0 по снижению содержания оксидов азота при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 131–134.
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. 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.
22. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 317–320.
23. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 320–323.
24. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения нагрузки // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 314–317.
25. Скрябин, М. Л. Математическая модель расчета содержания оксидов азота в цилиндре дизеля 4 ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 309–312.
26. Скрябин, М. Л. Особенности методики стендовых исследований работы дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 306–309.
27. Скрябин, М. Л. Особенности расчета констант скорости реакций термической диссоциации в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 303–306.
28. Скрябин, М. Л. Исследование эффективных показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 312–315.
29. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.
30. Чувашев, А. Н. Мощностные и экономические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 199–202.
31. Чувашев, А. Н. Мощностные и экономические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на режиме максимального крутящего момента. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 202–205.
32. Чувашев, А. Н. Мощностные и экономические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 205–207.
33. Чувашев, А. Н. Экологические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 208–210.
34. Чувашев, А. Н. Экологические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на режиме максимального крутящего момента. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 211–213.
35. Чувашев, А. Н. Экологические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 214–216.
36. Чувашев, А. Н. Выводы и рекомендации по поводу использования метанола с ДСТ в качестве моторного топлива в дизеле 2Ч 10,5 / 12,0. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 217–219.



37. Чувашев, А. Н. Методика исследования рабочего процесса дизеля воздушного охлаждения при работе на метаноле с использованием ДСТ. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 219–222.
38. Чувашев, А. Н. Показатели процесса сгорания дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на частоте вращения коленчатого вала при максимальном крутящем моменте. Молодой ученый. 2015. № 12 (92) часть III. с. 347–348.

## Проблемы внедрения системы «зеленых» стандартов

Гаевская Злата Анатольевна, кандидат архитектуры, доцент;  
 Лазарева Юлия Сергеевна, магистрант;  
 Лазарев Алексей Николаевич, магистрант  
 Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

*В статье рассмотрен зарубежный опыт сертификации в области «зелёного» строительства, выделены главные достоинства и недостатки наиболее используемых в мире стандартов. Изучено состояние вопроса «зелёных» стандартов на сегодняшний день в России, выявлен ряд недоработок и внесены предложения по их устранению.*

**Ключевые слова:** зеленые стандарты, рейтинговые системы оценки, зеленое строительство.

В настоящее время под термином «Зеленое строительство» понимается практика строительства и эксплуатации зданий, целью которой является снижение уровня потребления энергетических и материальных ресурсов при одновременном сохранении или повышении качества зданий и комфорта их внутренней среды.

Нынешний темп технологического развития создал для человека агрессивные условия, существенно отличающиеся от естественных природных, в которых происходила его эволюция. «Многие исследования современной медицины свидетельствуют, что человеческий организм не может за столь короткое, по сравнению с периодом эволюции, время адаптироваться к новым условиям существования и выработать защитные механизмы на новые вредные воздействия» [1].

Снятие этих агрессивных условий представляется возможным в комплексном знании, структурируемом стандартами проектирования и строительства, направленными на устойчивое развитие. Регламентировать устойчивый подход в строительстве призваны Зеленые стандарты.

В то время, как уровень жизни в городах ухудшается, во всем мире цены на энергоресурсы возрастают. Мировая проблема энергетического кризиса тесно связана со строительством. «Строительная индустрия и ЖКХ потребляют до 40% всей первичной энергии в экономике развитых стран» [2].

Также следует отметить, что строительство оказывает существенное воздействие на экологию, расходуются невозобновляемые природные ресурсы.

В связи с вышесказанным, очевидно, что настало время для пересмотра всего процесса проектирования и строительства. Решение перечисленных проблем является целью зеленого строительства.

### Постановка задачи

Целью исследования является выявление препятствий на пути внедрения «Зеленых» стандартов в России и внесение предложений по их преодолению.

Основными задачами исследования, исходя из вышеуказанной цели, являются:

1. Исследование зарубежного и отечественного опыта разработки и внедрения «зеленых» стандартов;
2. Рассмотрение научных препятствий внедрения системы зеленых стандартов.

### Часть 1. Зарубежный опыт

Проектирование устойчивой среды обитания важно рассматривать комплексно. «Зелёное» здание — это не только снижение затрат на отопление и вентиляцию, но гораздо более широкое понятие. Сюда входит и повышения уровня комфортности, и снижение наносимого окружающей среде и здоровью людей вреда. Именно поэтому в мировой практике наибольшего успеха в зеленом строительстве достигли при помощи стандартов, задающих рейтинговые системы оценки — таких, как экологические системы LEED и BREEAM, позволяющих оценить разносторонние аспекты здания. В отличие от привычных нам нормативных документов, эти стандарты не вводят строгих рамок и не предписывают применять какие-либо конкретные материалы и решения, а позволяют оценить каждый проект индивидуально.

Общий принцип работы для всех рейтинговых систем оценки зеленых зданий следующий:

- производится оценка проекта или здания отдельно по каждой категории;
- выставляется единая оценка;

– на основе единой оценки присваивается уровень ответственности и выдаётся сертификат.

Рассмотрим наиболее известные и успешно применимые в мире системы «зеленых» стандартов.

1) В Великобритании в 1990 г. принята система добровольной сертификации энергоэффективных зданий BREEAM, являющаяся наиболее применимой в мире — на сегодняшний день по ней сертифицировано более 116 тыс. объектов. Характерной особенностью системы является наличие собственной программы обучения независимых оценщиков, которые проводят оценку по всем категориям и подают отчет для получения сертификата. Также клиент имеет возможность привлечь эксперта уже на стадии проектирования. Особенностью перечня критериев оценки является наличие категории «транспорт», также больше внимания уделяется оценке факторов, влияющих на здоровье и комфорт человека.

2) В США с 1993 г. действует система LEED, по которой на сегодняшний день в мире сертифицировано более 11 тыс. объектов. Существенным отличием от системы BREEAM является принцип работы экспертов — в системе LEED аккредитованные специалисты консультируют клиента, самостоятельно собирающего исходную информацию для оценки. В перечне критериев также есть отличия. К примеру, присутствует категория «региональная специфика», не рассматриваемая системой BREEAM. Больше внимания уделено развитию территории и водозащитности.

3) В Германии с 2009 г. принята система DGNB, по которой сертифицировано чуть более 200 зданий. Важным отличием от других систем сертификации является оценка жизненного цикла, позволяющая рассмо-

треть с помощью утилит расчета LCA и LCC 50 лет функционирования здания. Данная методика дает возможность ещё при проектировании принять решения, которые обеспечат наибольшую экономию при эксплуатации здания.

4) Во Франции в 1992 году на Саммите Земли принят стандарт Haute Qualité Environnementale (HQE), название которого дословно переводится как «высокое качество окружающей среды». В основе данного документа лежит концепция о том, что устойчивое развитие является совокупностью экологических, экономических и социальных аспектов, которые следует анализировать в течение всего жизненного цикла здания. Перечисленные аспекты отражены в 14 критериях оценки, установленных в HQE. В документе приводится руководство по применению этих критериев в сертификации, однако данный стандарт часто подвергается критике за отсутствие ясности в изложении требований к сертификации.

**Часть 2. Состояние вопроса «зеленого» строительства в России**

В то время как в Европе и США стандарты экоустойчивого строительства существуют с начала 90-х гг., успешно реализуются программы энергосбережения и выдаются гранты на исследования в данной области, в России этот вопрос долгое время оставался недостаточно изученным.

Полная адаптация зарубежных рейтинговых систем оценки для отечественных условий не представляется возможной из-за их существенного несоответствия нашим нормативным документам. К примеру, ряд требований систем LEED и BREEAM лояльнее, чем требования действующих в России норм. Поэтому в наши дни

Таблица 1. Основные плюсы и минусы вышеперечисленных систем.

Стандарт	Положительные особенности	Отрицательные особенности
	Собственная система обучения оценщиков	Не рассматривается региональная специфика
	Возможность привлечения эксперта на стадии проектирования	
	Больше внимания уделено заботе о здоровье и благополучии людей	Мало внимания уделено устойчивому развитию территории
	Оценка транспортной системы	
	Учитывается региональная специфика	Клиент сам собирает исходную информацию
	Методика оценки жизненного цикла	Не рассматривается пассивный метод энергосбережения
	Всего два требования системы являются обязательными, что обеспечивает её гибкость	
	Категория «Выбор способов строительства и материалов»	Отсутствие прозрачности изложения требований, что приводит к их неоднозначной трактовке
	Категория «Визуальная привлекательность здания»	

ведется разработка собственных «зеленых» стандартов, основывающихся на сложившихся у нас принципах проектирования.

### Существующие стандарты

Разработкой и внедрением «зелёных» стандартов в России занимается ряд организаций:

- НП «АВОК»;
- ГК «Олимпстрой»;
- Совет по экологическому строительству (RuGBC);
- ФГУ «Центральное бюро информации Минприроды России»;
- НП «Совет по «зеленому» строительству» при Союзе Архитекторов России.

Стандарты, разрабатываемые вышеперечисленными организациями, носят добровольный характер применения, аналогично зарубежной практике. Помимо этого, в 2013 году в нашей стране принят обязательный к применению нормативный документ, регламентирующий экологические требования к зданиям — ГОСТ Р 54964–2012.

Рассмотрим основные существующие на сегодняшний день системы сертификации «зелёного» строительства в России Олимпийский «зеленый» стандарт и СТО НОСТРОЙ 2.35.4–2011.

**Система добровольной сертификации соответствия требованиям корпоративного олимпийского «зеленого» стандарта** — документ разработан департаментом экологической сертификации и методического сопровождения «ГК Олимпстрой», введен в действие в 2010 году и применен для сертификации двенадцати олимпийских объектов в г. Сочи — спортивных арен, коттеджного поселка, офисных зданий и др.

Олимпийский «зеленый» стандарт является рейтинговой системой оценки, его критерии разработаны на основе системы LEED. Итоговый балл назначается путем суммирования баллов по каждой из шести групп критериев. Группа критериев включает в себя ряд оценочных параметров. В примечаниях к каждому параметру указана группа объектов, к которым он применим, и характер действия — «требование» или «рекомендация». К примеру, группа критериев «Энергоэффективность и энергосбережение» включает в себя следующие параметры:

- использование возобновляемых источников энергии;
- вовлечение в энергетический баланс вторичных энергетических ресурсов;
- использование высокоэффективного оборудования и технологий;
- энергосбережение в системах теплоснабжения;
- энергоэффективные фасады;
- освещенность;
- требования по энергетической эффективности зданий, строений, сооружений.

Олимпийский стандарт по составу оценочных категорий существенно отличается от других отечественных

систем сертификации в области «зеленого» строительства. В нём учитываются такие уникальные аспекты, как энергоэффективность фасадов, применение наилучших из существующих в России строительных технологий, шумозащитные мероприятия для инженерных систем и технологического оборудования и др.

**СТО НОСТРОЙ 2.35.4–2011 «Здания жилые и общественные. Рейтинговая система оценки устойчивости среды обитания»** — документ разработан НП «АВОК» в соответствии с международными стандартами, вводит понятие «устойчивая среда обитания» и устанавливает рейтинговую систему его оценки. Приводится перечень категорий для оценки и долевая значимость каждой из них. К примеру, самой значимой (18,5%) является категория «Энергосбережение и энергоэффективность». Её определяют 4 критерия:

- расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания;
- расход тепловой энергии на горячее водоснабжение;
- расход электроэнергии;
- удельный суммарный расход первичной энергии на системы инженерного обеспечения.

Для каждого критерия даётся максимальный оценочный балл — 25, 20, 55 и 20 в данном случае; т.е. в данном документе расход электроэнергии оказывает наибольшее влияние в оценке по критерию «энергоэффективность».

Помимо перечня критериев и баллов, в документе приведена методика оценки — при помощи анализа проектной документации, энергетического паспорта здания или эксплуатационных данных даются способы определения балльных эквивалентов параметров, источники и методы получения исходных данных, а также ссылки на соответствующие нормативно-правовые акты. К примеру, количество баллов по критерию «расход электроэнергии» вычисляется исходя из значений базового удельного расхода электроэнергии на освещение, на системы инженерного обеспечения и на кондиционирование (в процентах), а также учитывается факт установки светодиодных источников освещения и оборудования, имеющего маркировку не ниже двух высших классов энергоэффективности.

СТО НОСТРОЙ 2.35.4–2011 разработан для условий Москвы и Московской области. Для учета региональных особенностей был разработан документ СТО НОСТРОЙ 2.35.68–2012. Категории и критерии оценки из СТО НОСТРОЙ 2.35.4–2011 в нем разделяются на две группы — зависимые и независимые от региональных особенностей. К зависимым относятся:

- рациональное водопользование;
- энергосбережение и энергоэффективность;
- применение альтернативной и возобновляемой энергии;
- экономическая эффективность.

Баллы, полученные по этим критериям, умножаются на корректирующие региональные коэффициенты, устанавли-

ливаемые документом СТО НОСТРОЙ 2.35.4–2011. Таким образом, обеспечивается возможность учесть различия в ситуации с водными и энергетическими ресурсами в каждом регионе.

Кроме систем сертификации «зеленого» строительства в России принят государственный стандарт, который устанавливает требования к среде обитания, предписывая оценивать ее в совокупности с окружающей средой.

**ГОСТ Р 54964–2012 «Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости»** — документ разработан Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии, введен 1 марта 2013 года. Требования документа представлены девятью категориями и определяющими их критериями. Оценка «экоустойчивости» здания осуществляется с помощью сравнения показателей проекта с нормативными значениями. Документ признан национальным стандартом зеленого строительства на государственном уровне и носит обязательный характер.

В сравнении с СТО НОСТРОЙ 2.35.4–11 здесь указано больше категорий — учитывается экономическая эффективность, использование альтернативной и возобновляемой энергии, качество подготовки и управления проектом. Критерии оценки каждой категории также более широкие, чем в СТО НОСТРОЙ 2.35.4–11. К примеру, здесь категория «Энергосбережение и энергоэффективность» определяется уже не 4, а 7 критериями:

- снижение расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания;
- снижение расхода тепловой энергии на горячее водоснабжение;
- снижение расхода электроэнергии;
- удельный суммарный расход первичной энергии на системы инженерного обеспечения;
- использование вторичных энергоресурсов;

- использование возобновляемых энергоресурсов;
- повышение эффективности энергетической инфраструктуры.

Последние три критерия не учитываются в СТО НОСТРОЙ 2.35.4–2011.

В отличие от СТО НОСТРОЙ 2.35.4–2011, региональные особенности в данном документе не учитываются — значения оценочных параметров общие для всех регионов России.

Сравним состав оценочных категорий вышеперечисленных отечественных стандартов в табл. 3.

Из таблицы видно, что состав категорий СТО НОСТРОЙ 2.35.4–2011 и ГОСТ Р 54964–2012 во многом аналогичен, принципиальная разница лишь в учете безопасности жизнедеятельности в первом документе и оценки управления проектом и наличия альтернативной и возобновляемой энергетики во втором. Олимпийский «зеленый» стандарт существенно отличается по составу категорий — это связано с тем, что он разрабатывался на основе британской системы BREEAM.

### Часть 3. Научные препятствия внедрения системы зеленых стандартов

Требования, предъявляемые действующими в России нормативными документами, зачастую недостаточны для соответствия критериям оценки «зеленых» стандартов. «Сейчас все технические условия застройщики получают по СНиПам, то есть расчеты делаются по некому усредненному водо- и теплотреблению — независимо от того, насколько энергоэффективным можно спроектировать здание» [3]. Эти несоответствия затрудняют применение подобных документов в российских условиях и мешают внедрению инновационных технологий, поэтому очевидна необходимость увязки их существующими СП, ГОСТами и пр.

Таблица 2. Основные отличия отечественных зеленых стандартов

Система оценки	Характер применения	Преимущества	Недостатки
Олимпийский «зеленый» стандарт	Добровольный	Учитывает критерии, отсутствующие в других отечественных стандартах	Не учитывает региональные особенности
СТО НОСТРОЙ 2.35.4-2011	Добровольный	Вводит систему корректирующих региональных коэффициентов *	Учитывает меньше оценочных критериев
ГОСТ Р 54964-2012	Обязательный	Учитывает больше оценочных критериев, чем СТО НОСТРОЙ 2.35.4-2011	Не учитывает региональные особенности
* – учет региональных особенностей в системе оценки обеспечивается стандартом СТО НОСТРОЙ 2.35.68-2012			



Таблица 3. Сравнение состава оценочных категорий отечественных стандартов

Стандарт Категория	Олимпийский «зеленый» стандарт	СТО НОСТРОЙ 2.35.4-2011	ГОСТ Р 54964-2012
Энергоэффективность и энергосбережение	+	+	+
Рациональное водопользование	+	+	+
Качество архитектуры и планировки объекта	—	+	+
Комфорт и экология внутренней среды	+	+	+
Утилизация отходов	+	+	+
Строительные материалы	+	—	—
Инфраструктура и качество внешней среды	—	+	+
Экология создания, эксплуатации и утилизации объекта	—	+	+
Качество подготовки управления проектом	—	—	+
Экологический менеджмент	+	+	—
Экономическая эффективность	—	—	+
Иновационные технологии	+	—	—
Применение альтернативной и возобновляемой энергии	—	—	+
Безопасность жизнедеятельности	—	+	—

Нормативы, на которые ссылаются существующие на сегодняшний день российские «зеленые» стандарты, разрознены, нет единой методической базы, обеспечивающей формирование комплексного подхода к проектированию устойчивой среды, развитие архитектуры и инженерных сетей как единого организма. По некоторым критериям оценки (например, критерий СТО НОСТРОЙ 2.35.4–2011 «качество архитектурного облика здания») и вовсе отсутствует нормативная база. В связи с этим усложняется система верификации — доказательства соответствия здания заявленному стандарту.





Опыт разработчиков системы BREEAM по обучению собственных экспертов дает положительные результаты — ведь их задача заключается не только в со-

проведении в процессе сертификации, но и проведении необходимых обследований и моделирований, что обеспечивает точность и достоверность результатов. Организация НОСТРОЙ по примеру британских коллег занимается созданием системы организаций, которые могут быть допущены к проведению сертификации. На сегодняшний день примером такой организации служит «Научно-методический центр по развитию и реализации стандарта СТО НОСТРОЙ 2.35.4–2011». «... центр должен организовать обучение специалистов проектированию, реконструкции и эксплуатации зданий с высоким рейтингом, а также обучение специалистов-оценщиков по проведению этой рейтинговой оценки» [4]. На данный момент обучение этих специалистов затруднено неполнотой и разрозненностью методической базы.

В России к изучению вопроса «зеленого» строительства приступили значительно позже, чем за рубежом. Поэтому целесообразно перенять положительный опыт разработки

рейтинговых систем оценки устойчивой среды обитания в мире. Сравним состав оценочных категорий наиболее активно применяемых международных стандартов.

Таблица 4. Сравнение состава оценочных категорий зарубежных стандартов

LEED 	BREEAM 	DGNB 	HQE 
Энергия и атмосфера	Энергия	Техническое качество	Управление энергопотреблением
Водоэффективность	Водоэффективность		Управление водопотреблением
			Качество воды
Прилегающая территория			Здания и окрестности
	Утилизация отходов		Отходы и ремонт
Материалы и ресурсы	Материалы		Выбор стройматериалов и методов
	Здоровье и экологическое благополучие	Экология	
	Управление	Управление процессом	
Качество внутреннего воздуха			Качество внутреннего воздуха
			Контроль запахов
			Влажность
	Загрязнение окружающей среды		Санитарная обработка
	Эффективное использование площадки под застройку и экология		Бережные строительные методы
	Транспорт		
Инновации и дизайн	Инновации	Функциональное и социально-культурное качество	Визуальный комфорт
		Экономика	
			Акустика

Из таблицы 4 видно, насколько отличается состав оценочных категорий каждого из рассмотренных стандартов. Каждая из систем содержит какие-либо уникальные оценочные критерии, обусловленные социально-культурными, экономическими и другими особенностями. Это доказывает невозможность перенять целиком какую-либо зарубежную систему оценки для отечественных условий и необходимость разработки собственного стандарта, адаптированного для наших условий. Однако при сравнении табл. 3 и табл. 4 становится очевидно, что отечественные стандарты не учитывают ряд существенных критериев, таких как «транспортная система», «здоровье и экологическое благополучие» и др.

Также из опыта немецкого стандарта DGNB, к примеру, следует перенять идею оценки жизненного цикла здания. Специальное программное обеспечение дает возможность проанализировать здание с точки зрения эко-

номичности и воздействия на окружающую среду на протяжении всего срока эксплуатации. Защита окружающей среды и снижение затрат на эксплуатацию здания являются одними из основополагающих принципов экоустойчивой архитектуры, следовательно целесообразна разработка и применение подобного программного обеспечения для отечественных условий. Сегодня в нашей стране изучением вопроса оценки жизненного цикла здания занимается лаборатория «Разработки и внедрения национального стандарта зелёного строительства» МГСУ. Разрабатываемая методика основывается на формуле, которая должна отразить снижение затрат на эксплуатацию здания. Актуальность разработки данной методики обусловлена тем, что она обеспечит возможность на этапе проектирования оптимизировать конструкцию и максимально возможно уменьшить затраты на эксплуатацию здания.

Рассмотрим область применения наиболее распространенных отечественных стандартов:

Таблица 5. Область применения отечественных «зеленых» стандартов

Олимпийский «зеленый» стандарт	СТО НОСТРОЙ 2.35.4-2011	ГОСТ Р 54964-2012
- спортивные и туристические, жилые, гостиничные и общественные здания; - транспортная инфраструктура; - инженерная инфраструктура природоохранного назначения; - объекты электроснабжения и генерации.	- жилые и административные здания; - офисы, бизнес-центры; - гостиницы и общежития; - образовательные учреждения; - спортивно-зрелищные и торгово-развлекательные здания; - больницы, госпитали, поликлиники.	Все категории проектируемых, построенных, реконструируемых и сданных в эксплуатацию объектов недвижимости.

Таким образом, область применения Олимпийского «зеленого» стандарта и СТО НОСТРОЙ 2.35.4–2011 не включает промышленные здания. В Олимпийском «зеленом» стандарте также не учтены образовательные учреждения, а в СТО НОСТРОЙ 2.35.4–2011 — инженерные и транспортные сооружения. В ГОСТ Р 54964–2012 указано, что документ действует на все категории объектов недвижимости. Однако в наиболее успешных системах оценки в мировой практике, как правило, не производится такое обобщение. Это обусловлено существенными различиями зданий разных категорий и необходимостью сформировать для них приоритеты оценки в зависимости от функционального назначения.

### Заключение

В данной работе проведён анализ зарубежного и отечественного опыта разработки и внедрения «зелёных» стандартов, рассмотрены научные препятствия на пути их внедрения и внесены следующие предложения по их преодолению:

1) Требуется привести к соответствию действующие в России нормативные документы в области строительства и «зеленые» стандарты — исключить все несоответствия и противоречия в их требованиях.

2) Следует доработать нормативную и методическую базу таким образом, чтобы по каждому критерию оценки «зеленых» стандартов существовало четкое понимание методики оценки.

3) Для внедрения практики подготовки экспертов-оценщиков в России необходимо разработать соответствующую методическую документацию.

4) Исходя из положительного зарубежного опыта наиболее применимых в мире систем оценки (LEED, BREEAM, DGNB, HQE), следует добавить к списку критериев оценки такие категории, как «транспортная система», «здоровье и экологическое благополучие» и др.

5) По примеру стандарта DGNB следует разработать методику оценки жизненного цикла здания, позволяющую ещё на стадии проектирования оптимизировать добиться наилучших результатов с точки зрения экономичности и экологичности.

6) Следует расширить область применения отечественных стандартов. В частности, олимпийский «зеленый» стандарт и система СТО НОСТРОЙ 2.35.4–2011 нуждаются в адаптации для производственных зданий, а ГОСТ Р 54964–2012 — в разделении требований для разных типов зданий.

### Литература:

1. МГСУ, Дудинов А. Н. «Системы солнечного горячего водоснабжения, как элемент экологического жилища, их интеграция в объемно-планировочные и конструктивные решения зданий» Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук
2. А. Ремизов, статья «Устойчивая архитектура» в журнале «Архитектурный Петербург» № 2 (9) 2011
3. Е. Денисенко, Эксперт Северо-Запад № 39 (585)
4. Статья «Зелёный» стандарт. Отвечают эксперты» в журнале «АВОК» № 1'2012
5. СТО НОСТРОЙ 2.35.4–2011 «Зеленое строительство. Здания жилые и общественные. Рейтинговая система оценки устойчивости среды обитания».
6. ГОСТ Р 54964–2012 «Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости».
7. Система добровольной сертификации соответствия требованиям корпоративного олимпийского «зеленого» стандарта, ГК «Олимпстрой», Москва, 2010

8. «LEED — рейтинговая система для энергоэффективных и экологически чистых зданий», статья опубликована в журнале «АВОК» № 6'2008
9. «Зеленые» стандарты — теперь и в России!», статья опубликована в журнале “Энергосбережение”, № 7'2012
10. «Рынок зеленого строительства в России», статья опубликована в журнале “Здания высоких технологий”, зима 2013
11. «Экоустойчивая архитектура», А. Ремизов, статья опубликована в журнале «Архитектурный Петербург», № 2 (9) 2011.
12. «Зеленое строительство в Санкт-Петербурге, мода на «зеленое», статья опубликована на сайте <http://www.confident.ru/> (Инженерные системы Конфидент)
13. «Системы сертификации зеленого строительства», статья опубликована в журнале «Commercial Property», № 2 (91) 2011
14. Сидоренко, В. Ф., Научно-методологические основы теории и практики экологического строительства. Автореф. дисс. канд. т.н. М., 2000.257
15. Истомин, Б. С., Гаряев Н. А., Барабанова Т. А. Экология в строительстве: монография / ГОУ ВПО Моск. гос. строит. ун-т. М.: МГСУ, 2010. — 154 с.
16. Архитектурно-строительная экология: учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений / А.Н. Тетиор. — М.: Издательский центр «Академия», 2008. — 368 с.
17. Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций зданий: сборник трудов III Всероссийской научно-технической конференции / Под научной редакцией Н.И. Ватина. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. 88 с.
18. Ю.А. Табунщиков, М. М. Бродач, Н. В. Шилкин «Энергоэффективные здания». — М.: АВОК-ПРЕСС, 2003, 200 с.
19. Беляев, В. С., Хохлова Л. П. «Проектирование энергоэкономичных и энергоактивных гражданских зданий: Учеб. пособие для студентов вузов по спец. «Промышленное и гражданское строительство». — М.: Высш. шк., 1991. — 255 с.: ил.

## Котел-печь, преимущественно для сельских домов

Динмухаметов Айдар Марселевич, студент;

Бутяков Николай Анатольевич, студент;

Ахметшин Роберт Султанович, доцент, кандидат технических наук  
Набережночелнинский филиал Казанского (Приволжского) государственного университета

*В данной статье рассмотрен котел-печь, преимущественно для сельских домов.*

Установка относится к области теплотехники, в частности к отопительным котлам, печам твердотопливным.

Известный (1) котел отопительный водогрейный с отбором горячей воды, содержащий корпус в виде водяной рубашки, обрамляющее топочное и газоходное пространство, однако это техническое решение обладает рядом недостатков. Например, не может быть использован для пищи приготовления и не может использовать пиролизных газогенераторных процессов.

Наиболее близким заявляемому техническому решению является (2) пиролизный твердотопливный котел Буржуй К-Т 20, принцип которого заключается в том, что камера сгорания состоит из двух отсеков, в первом происходит горение топлива с выделением тепловой энергии и газов, эти газы, содержащие горючие и несгораемые газы остаются в котле, и перемещаются в другую камеру, где досжигаются, при этом выделяется дополнительная энергия.

Котел Буржуй К-Т 20 содержит первую камеру сгорания твердого топлива, где происходит горение твердого топлива и при котором выделяется горючий газ. Этот

газ переходит в дымоход и вторую камеру. Этот газ выделяется частично т.к. используется упрощенный процесс пиролиза, догорает во второй камере выделяя дополнительную тепловую энергию.

Котел также имеет во второй камере колосник, зольник с топочной и зольной дверцами, а также конвективная часть, представляющая собой газовойдяной теплоприемник горючие газы проходят через конвективные трубы отдают тепло воде, находящейся в межтрубном пространстве теплообменника.

Теплоноситель (вода) используется для отопления и хозяйственных нужд. Однако это техническое решение обладает рядом недостатков, например:

1. Во второй камере сгорания пламя горючего газа чревато гашением, нет надежности его сгорания, вследствие чего снижается коэффициент полезного действия (КПД) котла, а проникновение его в жилое помещение отрицательно воздействует на здоровье человека.

2. Котел не приспособлен для приготовления пищи или для сушки влажных предметов, т.е. не может выделять



емая тепловая энергия использоваться и для иных хозяйственных целей.

3. Котел не имеет системы подготовки воды и вследствие дополнительного увеличения температуры воды.

Целью предлагаемой установки является увеличение надежности процесса горения в обеих камерах сгорания, а также увеличение функции использования тепловой энергии котла.

Цель достигается тем что:

Котел-печь, преимущественно для сельских домов, состоящий из первой и второй камер сгораний, соответственно имеющие топочные и зольные дверцы из жаропрочного стекла, колосниками и зольными камерами, а также газовой трубчатый теплообменником, при этом первая и вторая камера сгораний расположены смежно, разделенные стенкой из защитного огнеупорного кирпича, а дверца топочные, камер сгорания и зольников расположены на противоположенных сторонах котла-печи, при этом колосник в первой камере сгорания имеет форму конус и в середине вертикально расположен вращающийся стальной стержень с горизонтальными стальными прутьями, а колосник во второй камере сгорания имеет форму овального корыта, в тракте дымохода на первой камеры сгорания вертикально расположен трубчатый газовой теплообменник, а также над ней размещен дополнительный барабан подготовки подпиточной воды, причем направление продуктов сгорания через теплообменник и направления воды в ней противоположены друг другу, предусмотрен далее газозаход продуктов сгорания первой камеры сгорания, в котором продукты сгорания попадают во вторую камеру сгорания;

При этом во второй камере сгорания предусмотрен дополнительно жарочный шкаф из жаропрочного материала, при чем на днище с внешней стороны предусмотрены стальные опорные «косынки» — радиаторы и экран, направляющей потока продуктов сгорания, ускоряющий его проток на выходе упомянутого газозахода первой камеры сгорания, а дверца выполнена из жаропрочного стекла; протоки газа ускоряются за счет конфигурации экрана, предусмотрен так же участок газозахода во второй камере сгорания и над жарочным шкафом предусмотрены два коллектора, соединенных между собой группой трубок, причем нижний приемный коллектор соединен с выходом упомянутого газовой теплообменника, расположенного с первой камерой сгорания, а верхний отводящий коллектор имеет выходной патрубок в теплосеть отопления теплопользователя, при этом на наружной поверхности котла-печи над газовой теплообменником первой камеры сгорания и теплообменников из экранных труб во второй камере сгорания расположена сушильная полка, а упомянутый барабан, имеющий на своей верхней отметке патрубок впуска подпиточной воды, а в нижней своей части имеет патрубок выпуска во вход межтрубного пространства газовой теплообменника над первой камерой сго-

рания, а выходной патрубок с межтрубного пространства присоединен с входным патрубком нижней части упомянутого коллектора, котел печь так же дополнительно снабжен приборами измерения и подсветки жарочного шкафа, и с наружной стороны в верхней части топочных дверец первой и второй камер сгорания предусмотрен газосигнализатор на метан газ.

На рисунке 1 изображен: Котел-печь, преимущественно для сельских домов

Котел-печь преимущественно для сельского дома, работает следующим образом: загружают деревянной щепой первую камеру сгорания (1), топочную дверцу (2) плотно закрывают, а через зольник (3) дверцы разжигают топливо на днище колосника (4), при устойчивом горении дверцу (3) зольника прикрывают, в этой камере происходит прямой процесс газогенерации с выделением тепловой энергии. При этом дверца (6) второй камеры сгорания плотно закрыта, а дверца (7) зольника открыта.

Далее загружают древесной щепой вторую камеру сгорания (5) и разжигают топливо со стороны зольной дверцы (7), при устойчивом горении топлива, топочную дверцу (6) плотно закрывают, а зольник (7) дверцы прикрывают, при этом заблокировав барабан (9) и вся водяная система заполняется и эта система «дымит» за счет расширителя который находится в трубопроводе подпитки и на фигуре 1 условно показан, т.к. в заявке на полезный патент не включен очевидный элемент.

Топочный режим в первой (1) и второй (5) камере сгорания отрегулированы полуоткрытым состоянии зольных дверей (3), (4), (7) с учетом высоты дымохода (10) котла-печи над крышей сельского дома, при этом можно обойтись без вентилятора для создания тяги продуктов сгорания.

А счет высоты барабана над потреблением тепловой энергии, носителем которой является вода в замкнутой не разборной системе отопления, обходится без сетевого насоса, для целей водоиспользования предусматривает дополнительные водоводяные теплообменники в трассе водовода со стороны патрубка (11) верхнего коллектора (12), со стороны второй камеры сгорания (5). Дополнительные водоводяные теплообменники условно на фигуре 1 не показаны, так как в заявку на полезный патент не включен, как очевидный элемент.

Вода из барабана (9) под своим давлением опускается во второй газовой вертикальный трубчатый теплообменник (13), при этом днище барабана (9) и теплообменник подогревает воду, подступающую в первый газовой водяной вертикальный трубчатый теплообменник (14), при этом горючий газы и продукты сгорания проходят через вертикально расположенные трубы, а в межтрубном пространстве находится подогреваемая вода. Подогреваемая вода с первого теплообменника (14) по трубе соединяющие патрубки упомянутого теплообменника с патрубком нижнего коллектора (15), откуда более подогретая вода по группе труб, соединяющий оба коллектора

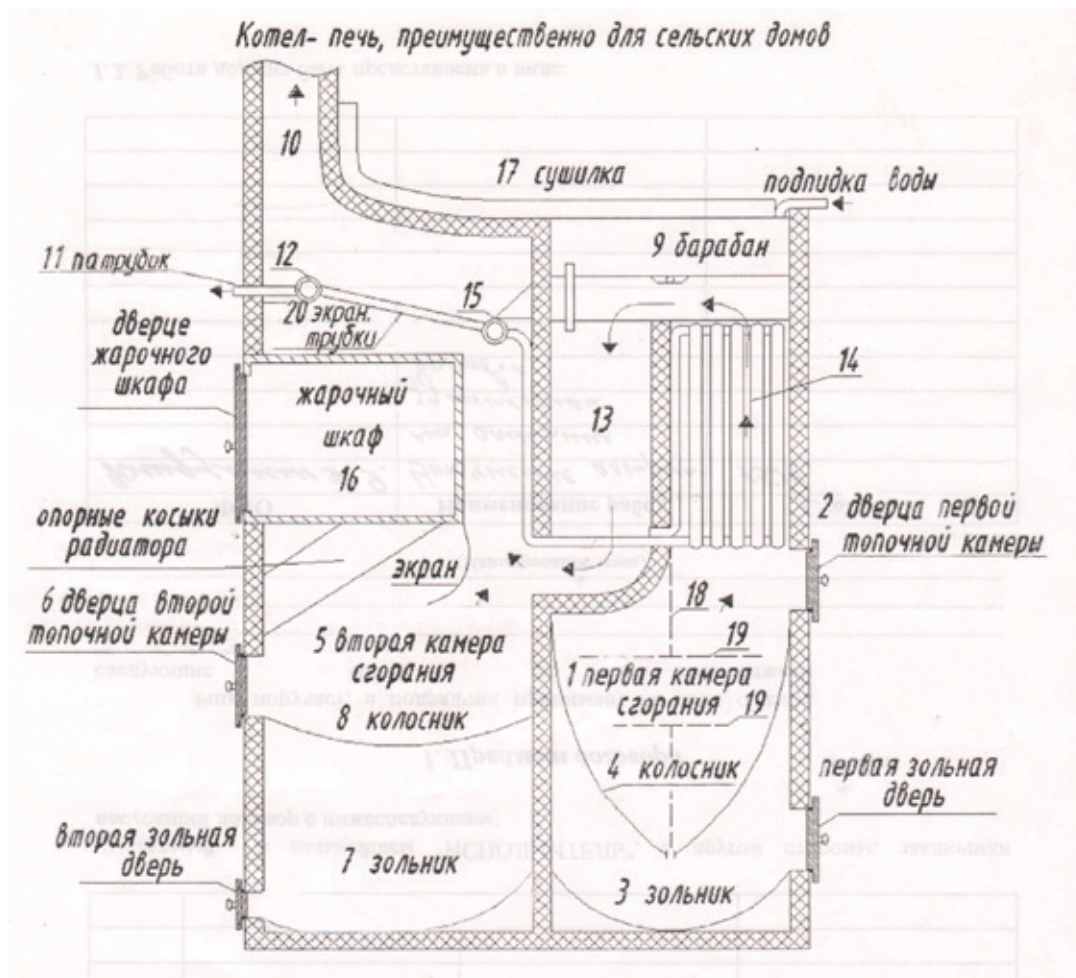


Рис. 1

1. Первая камера сгорания; 2. Топочная дверца первой камеры (1); 3. Зольник первой камеры (1); 4. Колосник первой камеры (1); 5. Вторая камера сгорания; 6. Топочная дверца второй камеры (5); 7. Зольник второй камеры (5); 8. Колосник второй камеры (5); 9. Барабан; 10. Дымоход; 11. Патрубок верхнего коллектора; 12. Верхний коллектор; 13. Газоход от первой камеры сгорания; 14. Теплообменник; 15. Нижний коллектор; 16. Жарочный шкаф; 17. Сушильная полка; 18. Стержень вертикальный подвижный во вращении; 19. Горизонтальные прутья на стержне (18)

(12) и (15) поднимется в верхний коллектор (12) и далее газы, выходящие через патрубок уходят в отопительную систему сельского дома, который находится ниже упомянутого барабана (9).

Перешедший в установившийся режим горения топливо в первой камере сгорания (1) образует горючий газ, горение которого поддерживается во второй камере сгорания (5) за счет тления или медленного горения своего топлива.

Для отопления воздуха дверцу жарочного шкафа (16), можно приоткрыть, при необходимости или можно использовать для приготовления пищи.

В части расширения функциональных возможностей котла-печи на верхней его отметке предусмотрена сушильная полка (17) для сушки различных материалов и веществ, а при необходимости можно обогревать организм.

Колосник (4) в первой камере сгорания (1) предусматривает конусообразную форму и предусматривает отдельно шарнирно закрепленный стержень (18), с поперечными прутьями (19) топливо, пригорая, опускается, приводя в движение стержень, форма колосника (4) не дает удерживаться продуктам сгорания. Колосник (8) во второй камере сгорания (5) выполнен корытообразным, чтобы наоборот удерживать продукты сгорания.

#### Литература:

1. Твердотопливные пиролизные котлы «Буржуй-К»-Т-20, <http://shop.teplagarant.ru/>.
2. Блох, А. Г. Теплообмен в топках паровых котлов. — Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 2008. — 240 с
3. Теплотехнические расчеты промышленных печей. Матрюков Б. С., 2010, с. 368.

## Энергоэффективная эксплуатация градирен в зимний период

Динмухаметов Айдар Марселевич, студент;

Бутяков Николай Анатольевич, студент;

Галиакбаров Азат Талгатович, кандидат технических наук, доцент, заместитель декана  
Казанский (Приволжский) федеральный университет, Набережночелнинский институт (филиал)

*В статье рассмотрены такие проблемы как образования льда во время эксплуатации градирен в зимний период, и пути решения их при минимальной затрате энергоресурсов.*

**Ключевые слова:** образования льда, энергия, вытяжка, теплоэнергетика, градирня, тепло, ТЭЦ.

Градирни — это специальные устройства для охлаждения большого количества воды посредством направленного потока воздуха. Также их называют охладительными башнями — это более понятно звучит. Башенная градирня — это одно из наиболее эффективных устройств для охлаждения воды в системах оборотного водоснабжения промышленных предприятий. Высокая башня создаёт ту самую тягу воздуха, которая необходима для эффективного охлаждения циркулирующей воды. Вытяжные башни служат для создания естественной тяги, благодаря разности удельных весов воздуха, поступающего в градирню, и нагретого воздуха, выходящего из градирни. Под оросителем располагается водосборный резервуар. Вода подаётся в водораспределительное устройство по размещаемым в центре градирни стоякам. Благодаря высокой башне, одна часть испарений возвращается в цикл, а другая — уносится ветром. Из-за этого в округе не образуется сырости, тумана и обледенений в зимнее время, хотя возможно появление льда вокруг оросительных устройств. Градирня — это устройство для незначительного охлаждения тёплой воды. «Незначительное» означает, что после градирни вода не становится ледяной. Температура поступающей воды в градирню летом — около **40–45** градусов, после градирни — **25–35** градусов (в лучшем случае), зимой на входе 18–20 градусов, на выходе 10–15 градусов. Принцип работы градирни достаточно прост. Процесс охлаждения в градирнях происходит за счёт частичного испарения воды и теплообмена с воздухом. Вода в градирне стекает по оросителю сбегает каплями или тонкой плёнкой. В это время вдоль оросителя проходят потоки воздуха. Существует такая закономерность: в градирнях при испарении 1% воды температура оставшейся понижается на 6 С. Потеря жидкости восполняется за счёт внешнего источника. Причём свежая вода при необходимости подвергается обработке (фильтрации). Башенную градирню целесообразно использовать на больших промышленных предприятиях. Площадь сечения башни должна занимать не менее 30–40% площади оросителя. Башни градирен средней и малой производительности могут иметь очень разнообразную форму: цилиндрическую, усечённого конуса или в виде усечённой многогранной пирамиды. Башенные градирни обычно выполняются в виде оболочек гиперболической формы, которая оптимальна по условиям внутренней аэродинамики

и устойчивости. Вытяжные башни работают в очень тяжёлых условиях: оболочка башен находится под воздействием влажного тёплого воздуха в градирне и холодного воздуха снаружи в зимний период, на внутренних поверхностях образуется конденсат. Таким образом, важен выбор материала. В башенных градирнях конвекция воздуха осуществляется за счёт естественной тяги или ветра. Высота градирен, изготовленных из бетона, может достигать 100 метров. Площадь орошения в таком случае будет достигать 3500 кв.м. В основном, башенные градирни используются для охлаждения больших объёмов воды ТЭС или АЭС. Плюсы башенных градирен: экономичность (не нужна электроэнергия), простота эксплуатации, размещение близко к промышленному объекту. Минусы: большая площадь для постройки, большая стоимость. Корпус таких водоохлаждающих сооружений представляет собой высокую вытяжную башню (отсюда и название этого типа градирен), в которой необходимая тяга воздуха создаётся естественным путём, без применения дополнительного энергоёмкого оборудования. Размеры, высота и форма башенных градирен могут быть разными: они подбираются в зависимости от климатических условий эксплуатации башни и её требующейся производительности. По материалам, из которых изготовлен корпус сооружения, охладительные башни делятся на: железобетонные — башенные градирни такого типа могут быть до сотни метров высотой, с площадью орошения до 10 тыс. кв.м., каркасно-обшивные — менее материалоемкие сборные конструкции, состоящие из прочного стального каркаса и листовых материалов (алюминиевых, оцинкованных, полимерных, стеклопластиковых). В силу конструктивных особенностей каркасно-обшивные башенные градирни отличаются от бетонных меньшим сроком эксплуатации и в обязательном порядке требуют оснащения надёжной гидроизоляции, включая стыки обшивочных материалов и сами листы обшивки. Железобетонные башни возводятся из высокопрочного водостойкого бетона. В этом случае конструкция покрывается проникающей гидроизоляцией. Для доступа воздуха внутрь башни обустраивается рамная колоннада, над которой располагаются ороситель и водораспределительные установки. Резервуар (бассейн нужного объёма), оснащённый дополнительно переливным трубопроводом (для полного слива содержимого или регулирования его

уровня), размещается в основании градирни. Именно в него поступает горячая вода, которая остужается до требуемой температуры. Поток воздуха в градирню регулируется с помощью зимних поворотных щитов 10 на рис 1. В летний период они обычно всегда открыты, а в зимний их приходится периодически открывать и закрывать в зависимости от температуры наружного воздуха, не допуская переохлаждения воды. Распределение воды в градирни осуществляется по всему диаметру. В связи с этим не избежать образования льда на щитах, воздухоходных окнах, воздухонаправляющих козырьках. Лёд образуется в виде шторок и создаёт дополнительное сопротивление для потока охлаждаемого воздуха. Обобщение методов предотвращения льдообразования в градирнях по опыту эксплуатации и литературным данным показывает, что эти методы сводятся в основном к следующему:

1. Перераспределение воды по площади градирни — повышение плотности орошения в центральной части оросителя за счёт полного прекращения подачи воды на его периферийную часть.

2. Установка разбрызгивающих устройств над верхней кромкой входных окон внутри градирни.

3. Установка защитного экрана входных окон на расстоянии примерно 2 м от градирни при размещении верхней кромки экрана на уровне или несколько ниже (на 0,5–1 м) верхней кромки входных окон и при установке разбрызгивающих устройств по п. 5.

4. Устройство обогревающего трубопровода по периметру входных окон и по стойкам несущего каркаса при подаче в него части нагретой воды, поступающей на градирню.

5. Расположение крайних стоек опорной конструкции оросительного устройства внутри градирни на расстоянии 1,5–2 м от вертикальной плоскости входных окон.

6. Устройство над входными окнами плотного козырька (навеса) для улавливания воды, стекающей по внутренней поверхности обшивки, и для отвода этой воды во внутрь градирни.

7. Подача всей охлаждаемой воды на часть секций градирен с полным отключением остальных, т.е. работа части секций с повышенными удельными гидравлическими нагрузками.

8. При остановке градирни — подача воды по байпасу в резервуар градирни.

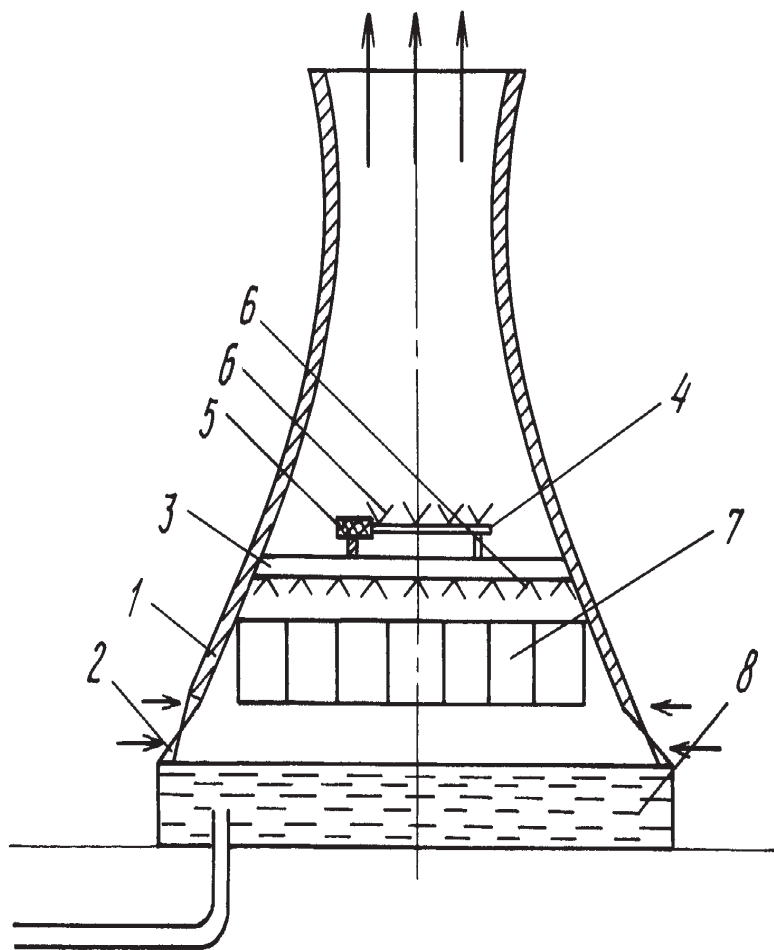


Рис.1. Башенная противоточная градирня. 1 — вытяжная башня; 2 — воздухоходные окна, зимние поворотные щиты; 3 — водораспределительный стояк; 4 — водораспределительная система; 5 — подводящие водоводы; 6 — разбрызгивающие устройства; 7 — оросительное устройство; 8 — водосборный бассейн



9. Установка специальных устройств для создания мощной струи воды для сбивания образовавшегося льда.

Все эти способы только частично позволяют избежать образования льда. Ни один из способов не даёт гарантию что при нулевой затрате энергии не будет образован лёд. А в случаях с обогревом или механических воздействий затрачивается некое количество энергии. Самым эконо-

мичным по энергозатратам является сбивание льда с помощью струйки воды. Но есть и плюсы того как можно использовать образовавшийся лёд. Он образуется как описывал выше в виде штор и этот лёд может выполнять функцию поворотных щитов для ограничения подачи проточного воздуха, что значительно упрощает эксплуатацию градирни, так как в зимний период замерзают поворотные механизмы щитов.

Литература:

1. Андреев, П. А., Гринман М. И., Смолкин Ю. В. Оптимизация теплоэнергетического оборудования АЭС Под общей ред. А. М. Петросьянца. — М.: Атомиздат, 1975. — 224 с
2. Буров, В. Д., Дорохов Е. В., Елизаров Д. П. и др. Тепловые электрические станции. Учебник для студ. вузов, обуч. по спец. «Тепловые электрические станции» напр. «Теплоэнергетика», для системы подгот., переподг. и повыш. квалиф. персонала энергетич. компаний, для вузов, осущ. подгот. энергетиков. — Под ред. В. М. Лавыгина, А. С. Седлова, С. В. Цанева. — 3-е изд., стереотип. — Москва: Издательский дом МЭИ, 2009. — 466 с
3. Воробьев, И. Е., Тодорович Е. Г. Реабилитация ТЭС и ТЭЦ: пути, эффективность. Пособие для теплоэнергетиков К.: Энергетика и электрификация, 2000. — Вып. 1—256 с.

## Влияние применения метанола на массовую концентрацию сажи в отработавших газах дизеля при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$

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

*В работе приводятся результаты влияния применения метанола на массовую концентрацию  $C$  сажи в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с двойной системой топливоподачи в зависимости от различных установочных углов опережения впрыскивания топлива при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ .*

**Ключевые слова:** дизель, метанол, двойная система топливоподачи, массовая концентрация сажи в отработавших газах.

Влияния применения метанола на массовую концентрацию  $C$  сажи в отработавших газах (ОГ) дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с двойной системой топливоподачи (ДСТ) при различных установочных углах опережения впрыскивания топлива (УОВТ) на номинальном режиме работы при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$  представлено на рисунке 1. [1–11].

Кривые изменения массовой концентрации  $C$  сажи в цилиндре дизеля показывают, что при увеличении установочных УОВ ДТ и метанола значение массовой концентрации  $C$  снижается во всем диапазоне изменения установочных УОВТ.

При установочных УОВТ ДТ  $\Theta_{\text{ДТ}} = 34^\circ$  и метанола  $\Theta_{\text{М}} = 34^\circ$  значение массовой концентрации сажи  $C_{\text{М}} = 0,028 \text{ г/м}^3$  на номинальном режиме работы при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ . При увеличении установочного УОВТ метанола до  $\Theta_{\text{М}} = 38^\circ$  и  $\Theta_{\text{ДТ}} = 34^\circ$  значение массовой концентрации сажи не изменяется, и равно  $C_{\text{М}} = 0,028 \text{ г/м}^3$  при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ . При увеличении установочного УОВ ДТ до  $\Theta_{\text{ДТ}} =$

$38^\circ$  и  $\Theta_{\text{М}} = 38^\circ$  значение массовой концентрации сажи увеличивается до  $C_{\text{М}} = 0,029 \text{ г/м}^3$  при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ . При уменьшении установочного УОВТ метанола до  $\Theta_{\text{М}} = 34^\circ$  и  $\Theta_{\text{ДТ}} = 38^\circ$  значение массовой концентрации сажи снижается до  $C_{\text{М}} = 0,027 \text{ г/м}^3$  при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ . При дальнейшем уменьшении установочного УОВТ метанола до  $\Theta_{\text{М}} = 30^\circ$  и  $\Theta_{\text{ДТ}} = 38^\circ$  значение массовой концентрации сажи увеличивается до  $C_{\text{М}} = 0,0485 \text{ г/м}^3$  при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$  [12–22].

При изменении установочного УОВТ ДТ до  $\Theta_{\text{ДТ}} = 34^\circ$  и  $\Theta_{\text{М}} = 30^\circ$  значение массовой концентрации сажи изменяется до  $C_{\text{М}} = 0,045 \text{ г/м}^3$  при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ . При дальнейшем уменьшении установочного УОВТ ДТ до  $\Theta_{\text{ДТ}} = 30^\circ$  и  $\Theta_{\text{М}} = 30^\circ$  значение массовой концентрации сажи увеличивается до  $C_{\text{М}} = 0,053 \text{ г/м}^3$  при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ . При увеличении установочного УОВТ метанола до  $\Theta_{\text{М}} = 34^\circ$  и  $\Theta_{\text{ДТ}} = 30^\circ$  значение массовой концентрации сажи изменяется до  $C_{\text{М}} = 0,045 \text{ г/м}^3$  при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$  [23–38].

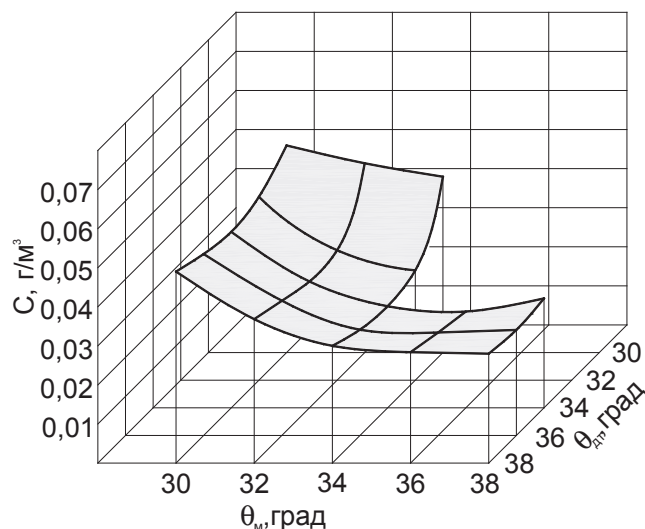


Рис. 1. Влияние применения метанола на массовую концентрацию  $C$  сажи в ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ при различных установочных УОВТ при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$  и  $p_e = 0,585 \text{ МПа}$ ,  $q_{\text{цвт}} = 6,6 \text{ мг/цикл}$

#### Литература:

1. 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.
2. 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.
3. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследования эффективных и экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на природном газе с рециркуляцией отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсиях // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 5–1. с. 22–25.
4. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. 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.
5. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Влияние рециркуляции отработавших газов на индикаторные показатели газодизеля // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 31–33.
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. 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.
8. 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.
9. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование скоростного режима 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. 24–26.
10. 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.
11. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля Д-240 путем применения этанола-топливной эмульсии // Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник: 2013. № 1 (1). с. 29–32.
12. 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.

13. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Шишканов Е. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путем их рециркуляции // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 9. с. 8–9.
14. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этанола-топливной эмульсии // Транспорт на альтернативном топливе. 2012. № 4 (28). с. 70–73.
15. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на содержание оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 439–442.
16. Скрябин, М. Л. Влияние применение метанола на дымность отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 445–448.
17. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола с двойной системой топливоподачи в дизеле 2Ч 10,5/12,0 на показатели процесса сгорания и показатели сажесодержания // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 442–445.
18. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на массовую концентрацию оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от нагрузки на номинальной частоте вращения // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 301–303.
19. Методика исследований дизеля 2Ч 10,5/12,0 по снижению содержания оксидов азота при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 131–134.
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. 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.
22. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 317–320.
23. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 320–323.
24. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения нагрузки // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 314–317.
25. Скрябин, М. Л. Математическая модель расчета содержания оксидов азота в цилиндре дизеля 4 ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 309–312.
26. Скрябин, М. Л. Особенности методики стендовых исследований работы дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 306–309.
27. Скрябин, М. Л. Особенности расчета констант скорости реакций термической диссоциации в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 303–306.
28. Скрябин, М. Л. Исследование эффективных показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 312–315.
29. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.
30. Чувашев, А. Н. Мощностные и экономические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 199–202.
31. Чувашев, А. Н. Мощностные и экономические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на режиме максимального крутящего момента. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 202–205.
32. Чувашев, А. Н. Мощностные и экономические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 205–207.
33. Чувашев, А. Н. Экологические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 208–210.
34. Чувашев, А. Н. Экологические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на режиме максимального крутящего момента. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 211–213.
35. Чувашев, А. Н. Экологические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 214–216.

36. Чувашев, А. Н. Выводы и рекомендации по поводу использования метанола с ДСТ в качестве моторного топлива в дизеле 2Ч 10,5 / 12,0. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 217–219.
37. Чувашев, А. Н. Методика исследования рабочего процесса дизеля воздушного охлаждения при работе на метаноле с использованием ДСТ. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 219–222.
38. Чувашев, А. Н. Показатели процесса сгорания дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на частоте вращения коленчатого вала при максимальном крутящем моменте. Молодой ученый. 2015. № 12 (92) часть III. с. 347–348.

## Влияние применения метанола на массовую концентрацию сажи в отработавших газах дизеля при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$

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

*В работе приводятся результаты влияния применения метанола на массовую концентрацию  $C$  сажи в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с двойной системой топливоподачи в зависимости от различных установочных углов опережения впрыскивания топлива при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ .*

**Ключевые слова:** дизель, метанол, двойная система топливоподачи, массовая концентрация сажи в отработавших газах.

Влияния применения метанола на массовую концентрацию  $C$  сажи в отработавших газах (ОГ) дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с двойной системой топливоподачи (ДСТ) при различных установочных углах опережения впрыскивания топлива (УОВТ) на режиме максимального крутящего момента при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  представлено на рисунке 1. [1–11].

Кривые изменения массовой концентрации  $C$  сажи в цилиндре дизеля показывают, что при увеличении уста-

новочных УОВТ ДТ и метанола значение массовой концентрации  $C$  снижается во всем диапазоне изменения установочных УОВТ [12–21].

При установочных УОВТ ДТ  $\Theta_{\text{ДТ}} = 34^\circ$  и метанола  $\Theta_{\text{М}} = 34^\circ$  значение массовой концентрации сажи  $C_{\text{М}} = 0,018 \text{ г/м}^3$  на режиме максимального крутящего момента при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ . При увеличении установочного УОВТ метанола до  $\Theta_{\text{М}} = 38^\circ$  и  $\Theta_{\text{ДТ}} = 34^\circ$  значение массовой концентрации сажи не изменяется, и равно  $C_{\text{М}} = 0,018 \text{ г/м}^3$

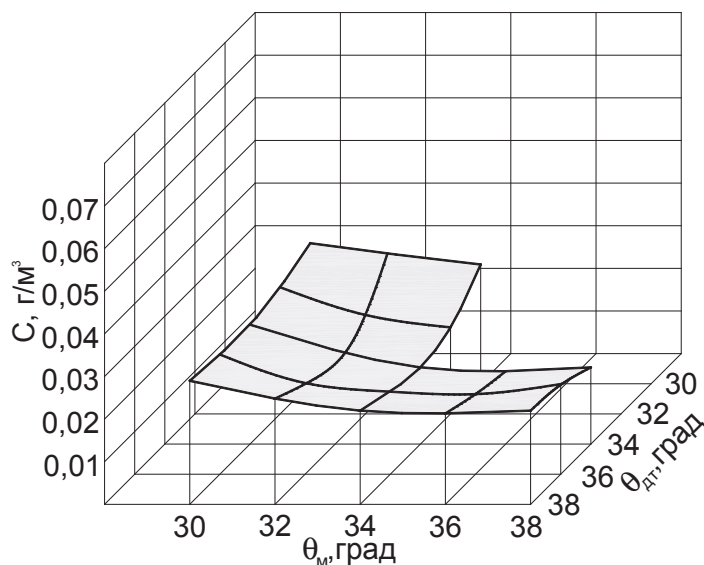


Рис. 1. Влияние применения метанола на массовую концентрацию  $C$  сажи в ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ при различных установочных УОВТ при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  и  $p_e = 0,594 \text{ МПа}$ ,  $q_{\text{цд}} = 6,0 \text{ мг/цикл}$



при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ . При увеличении установочного УОВ ДТ до  $\Theta_{\text{ДТ}} = 38^\circ$  и  $\Theta_{\text{М}} = 38^\circ$  значение массовой концентрации сажи увеличивается до  $C_{\text{м}} = 0,022 \text{ г/м}^3$  при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ . При уменьшении установочного УОВТ метанола до  $\Theta_{\text{М}} = 34^\circ$  и  $\Theta_{\text{ДТ}} = 38^\circ$  значение массовой концентрации сажи снижается до  $C_{\text{м}} = 0,018 \text{ г/м}^3$  при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ . При дальнейшем уменьшении установочного УОВТ метанола до  $\Theta_{\text{М}} = 30^\circ$  и  $\Theta_{\text{ДТ}} = 38^\circ$  значение массовой концентрации сажи увеличивается до  $C_{\text{м}} = 0,029 \text{ г/м}^3$  при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  [22–33].

При изменении установочного УОВТ ДТ до  $\Theta_{\text{ДТ}} = 34^\circ$  и  $\Theta_{\text{М}} = 30^\circ$  значение массовой концентрации сажи изменяется до  $C_{\text{м}} = 0,028 \text{ г/м}^3$  при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ . При дальнейшем уменьшении установочного УОВТ ДТ до  $\Theta_{\text{ДТ}} = 30^\circ$  и  $\Theta_{\text{М}} = 30^\circ$  значение массовой концентрации сажи увеличивается до  $C_{\text{м}} = 0,033 \text{ г/м}^3$  при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ . При увеличении установочного УОВТ метанола до  $\Theta_{\text{М}} = 34^\circ$  и  $\Theta_{\text{ДТ}} = 30^\circ$  значение массовой концентрации сажи изменяется до  $C_{\text{м}} = 0,028 \text{ г/м}^3$  при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  [34–39].

Литература:

1. 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.
2. 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.
3. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследования эффективных и экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на природном газе с рециркуляцией отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсиях // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 5–1. с. 22–25.
4. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. 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.
5. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Влияние рециркуляции отработавших газов на индикаторные показатели газодизеля // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 31–33.
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. 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.
8. 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.
9. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование скоростного режима 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. 24–26.
10. 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.
11. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля Д-240 путем применения этанола-топливной эмульсии // Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник: 2013. № 1 (1). с. 29–32.
12. 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.
13. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Шишканов Е. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путем их рециркуляции // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 9. с. 8–9.
14. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этанола-топливной эмульсии // Транспорт на альтернативном топливе. 2012. № 4 (28). с. 70–73.
15. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на содержание оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 439–442.
16. Скрябин, М. Л. Влияние применение метанола на дымность отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 445–448.

17. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола с двойной системой топливоподачи в дизеле 2Ч 10,5/12,0 на показатели процесса сгорания и показатели сажесодержания // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 442–445.
18. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на массовую концентрацию оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от нагрузки на номинальной частоте вращения // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 301–303.
19. Методика исследований дизеля 2Ч 10,5/12,0 по снижению содержания оксидов азота при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 131–134.
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. 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.
22. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 317–320.
23. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 320–323.
24. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения нагрузки // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 314–317.
25. Скрябин, М. Л. Математическая модель расчета содержания оксидов азота в цилиндре дизеля 4 ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 309–312.
26. Скрябин, М. Л. Особенности методики стендовых исследований работы дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 306–309.
27. Скрябин, М. Л. Особенности расчета констант скорости реакций термической диссоциации в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 303–306.
28. Скрябин, М. Л. Исследование эффективных показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 312–315.
29. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.
30. Чувашев, А. Н. Мощностные и экономические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 199–202.
31. Чувашев, А. Н. Мощностные и экономические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на режиме максимального крутящего момента. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 202–205.
32. Чувашев, А. Н. Мощностные и экономические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 205–207.
33. Чувашев, А. Н. Экологические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 208–210.
34. Чувашев, А. Н. Экологические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на режиме максимального крутящего момента. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 211–213.
35. Чувашев, А. Н. Экологические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 214–216.
36. Чувашев, А. Н. Выводы и рекомендации по поводу использования метанола с ДСТ в качестве моторного топлива в дизеле 2Ч 10,5 / 12,0. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 217–219.
37. Чувашев, А. Н. Методика исследования рабочего процесса дизеля воздушного охлаждения при работе на метаноле с использованием ДСТ. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 219–222.
38. Чувашев, А. Н. Показатели процесса сгорания дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на частоте вращения коленчатого вала при максимальном крутящем моменте. Молодой ученый. 2015. № 12 (92) часть III. с. 347–348.
39. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Показатели процесса сгорания дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть I. с. 109–111.

## Влияние применения метанола на относительную концентрацию сажи в отработавших газах дизеля при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$

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

В работе приводятся результаты влияния применения метанола на относительную концентрацию  $r$  сажи в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с двойной системой топливоподачи в зависимости от различных установочных углов опережения впрыскивания топлива при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ .

**Ключевые слова:** дизель, метанол, двойная система топливоподачи, относительная концентрация сажи в отработавших газах.

Влияния применения метанола на относительную концентрацию  $r$  сажи в отработавших газах (ОГ) дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с двойной системой топливоподачи (ДСТ) при различных установочных углах опережения впрыскивания топлива (УОВТ) на номинальном режиме работы при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$  представлено на рисунке 1. [1–11].

Кривые изменения относительной концентрации  $r$  сажи в цилиндре дизеля показывают, что при увеличении установочных УОВТ ДТ и метанола значение относительной концентрации  $r$  снижается во всем диапазоне изменения установочных УОВТ [12–19].

При установочных УОВТ ДТ  $\Theta_{\text{ДТ}} = 34^\circ$  и метанола  $\Theta_{\text{М}} = 34^\circ$  значение относительной концентрации сажи  $r_{\text{М}} = 0,019 \text{ г/кг}$  на номинальном режиме работы при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ . При увеличении установочного УОВТ метанола до  $\Theta_{\text{М}} = 38^\circ$  и  $\Theta_{\text{ДТ}} = 34^\circ$  значение относительной концентрации сажи изменяется до  $r_{\text{М}} = 0,018 \text{ г/кг}$  при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ . При увеличении установочного УОВТ ДТ до  $\Theta_{\text{ДТ}} =$

$38^\circ$  и  $\Theta_{\text{М}} = 38^\circ$  значение концентрации сажи увеличивается до  $r_{\text{М}} = 0,019 \text{ г/кг}$  при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$  [20–27].

При уменьшении установочного УОВТ метанола до  $\Theta_{\text{М}} = 34^\circ$  и  $\Theta_{\text{ДТ}} = 38^\circ$  значение относительной концентрации сажи не изменяется, и равно  $r_{\text{М}} = 0,019 \text{ г/кг}$  при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ .

При дальнейшем уменьшении установочного УОВТ метанола до  $\Theta_{\text{М}} = 30^\circ$  и  $\Theta_{\text{ДТ}} = 38^\circ$  значение относительной концентрации сажи увеличивается до  $r_{\text{М}} = 0,034 \text{ г/кг}$  при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ .

При изменении установочного УОВТ ДТ до  $\Theta_{\text{ДТ}} = 34^\circ$  и  $\Theta_{\text{М}} = 30^\circ$  значение относительной концентрации сажи изменяется до  $r_{\text{М}} = 0,031 \text{ г/кг}$  при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ . При дальнейшем уменьшении установочного УОВТ ДТ до  $\Theta_{\text{ДТ}} = 30^\circ$  и  $\Theta_{\text{М}} = 30^\circ$  значение относительной концентрации сажи увеличивается до  $r_{\text{М}} = 0,037 \text{ г/кг}$  при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ . При увеличении установочного УОВТ метанола до  $\Theta_{\text{М}} = 34^\circ$  и  $\Theta_{\text{ДТ}} = 30^\circ$  значение относительной концентрации сажи изменяется до  $r_{\text{М}} = 0,032 \text{ г/кг}$  при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$  [28–38].

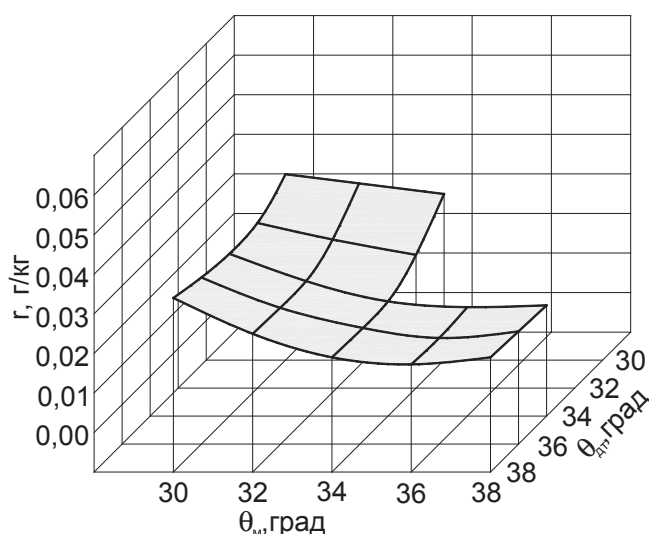


Рис. 1. Влияние применения метанола на относительную концентрацию  $r$  сажи в ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ при различных установочных УОВТ при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$  и  $p_e = 0,585 \text{ МПа}$ ,  $q_{\text{цдт}} = 6,6 \text{ мг/цикл}$

## Литература:

1. 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.
2. 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.
3. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследования эффективных и экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на природном газе с рециркуляцией отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсиях // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 5–1. с. 22–25.
4. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. 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.
5. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Влияние рециркуляции отработавших газов на индикаторные показатели газодизеля // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 31–33.
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. 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.
8. 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.
9. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование скоростного режима 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. 24–26.
10. 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.
11. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля Д-240 путем применения этанола-топливной эмульсии // Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник: 2013. № 1 (1). с. 29–32.
12. 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.
13. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Шишканов Е. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путем их рециркуляции // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 9. с. 8–9.
14. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этанола-топливной эмульсии // Транспорт на альтернативном топливе. 2012. № 4 (28). с. 70–73.
15. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на содержание оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 439–442.
16. Скрябин, М. Л. Влияние применение метанола на дымность отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 445–448.
17. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола с двойной системой топливоподачи в дизеле 2Ч 10,5/12,0 на показатели процесса сгорания и показатели сажевого содержания // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 442–445.
18. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на массовую концентрацию оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от нагрузки на номинальной частоте вращения // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 301–303.
19. Методика исследований дизеля 2Ч 10,5/12,0 по снижению содержания оксидов азота при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 131–134.
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. 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.
22. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 317–320.
23. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 320–323.
24. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения нагрузки // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 314–317.
25. Скрябин, М.Л. Математическая модель расчета содержания оксидов азота в цилиндре дизеля 4 ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 309–312.
26. Скрябин, М.Л. Особенности методики стендовых исследований работы дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 306–309.
27. Скрябин, М.Л. Особенности расчета констант скорости реакций термической диссоциации в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 303–306.
28. Скрябин, М.Л. Исследование эффективных показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 312–315.
29. Скрябин, М.Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.
30. Чувашев, А.Н. Мощностные и экономические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 199–202.
31. Чувашев, А.Н. Мощностные и экономические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на режиме максимального крутящего момента. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 202–205.
32. Чувашев, А.Н. Мощностные и экономические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 205–207.
33. Чувашев, А.Н. Экологические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 208–210.
34. Чувашев, А.Н. Экологические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на режиме максимального крутящего момента. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 211–213.
35. Чувашев, А.Н. Экологические показатели дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 214–216.
36. Чувашев, А.Н. Выводы и рекомендации по поводу использования метанола с ДСТ в качестве моторного топлива в дизеле 2Ч 10,5 / 12,0. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 217–219.
37. Чувашев, А.Н. Методика исследования рабочего процесса дизеля воздушного охлаждения при работе на метаноле с использованием ДСТ. Молодой ученый. 2015. № 15 (95) часть II. с. 219–222.
38. Чувашев, А.Н. Показатели процесса сгорания дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на частоте вращения коленчатого вала при максимальном крутящем моменте. Молодой ученый. 2015. № 12 (92) часть III. с. 347–348.

## **Исследование содержания оксидов азота по скоростной характеристике газодизеля с турбонаддувом**

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

Скоростные характеристики изменения содержания токсичных компонентов в ОГ дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 при работе по дизельному и газодизель-

ному процессам на установочных углах опережения впрыскивания топлива 8, 11 и 14 градусов в зависимости от изменения частоты вращения представлены на рис. 1 [1–7].

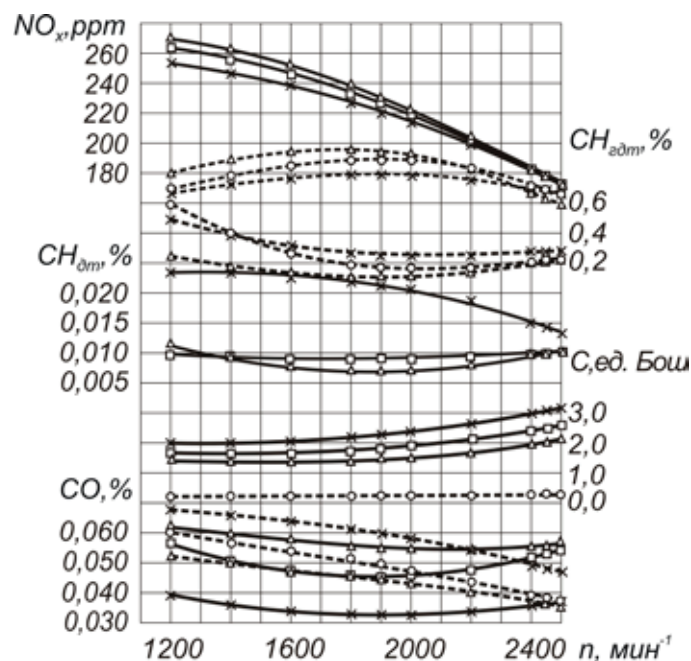


Рис. 1. Влияние применения природного газа на показатели токсичности ОГ дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала при  $\Theta_{\text{впр}} = 8^\circ$ ;  $\Theta_{\text{впр}} = 11^\circ$ ;  $\Theta_{\text{впр}} = 14^\circ$ ;  
 x-----x — дизельный процесс  $\Theta_{\text{впр}} = 8^\circ$ ; □-----□ — дизельный процесс  $\Theta_{\text{впр}} = 11^\circ$ ; Δ-----Δ — дизельный процесс  $\Theta_{\text{впр}} = 14^\circ$ ;  
 ○-----○ — газодизельный процесс  $\Theta_{\text{впр}} = 8^\circ$ ; ○-----○ — газодизельный процесс  $\Theta_{\text{впр}} = 11^\circ$ ;  
 Δ-----Δ — газодизельный процесс  $\Theta_{\text{впр}} = 14^\circ$ .

Из графиков видно, что при работе по дизельному процессу изменение значения установочного УОВТ от 8 до 14° п.к.в. приводит к возрастанию содержания в ОГ оксидов азота  $\text{NO}_x$  при частоте вращения  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  с 252 до 270 ppm, т.е. на 7,1%, при увеличении частоты вращения коленчатого вала до  $n = 2500 \text{ мин}^{-1}$  содержание оксидов азота на всех углах становится практически одинаковым и составляет 183 ppm [8–14]. При  $\Theta_{\text{впр}} = 11^\circ$  увеличение частоты вращения коленчатого вала от  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  до  $n = 2500 \text{ мин}^{-1}$  приводит снижению содержания в ОГ  $\text{NO}_x$  с 265 до 170 ppm, т.е. на 35,8%.

При уменьшении  $\Theta_{\text{впр}}$  от 14 до 8° содержание СН в ОГ возрастает во всем рассматриваемом диапазоне частот вращения [15–23]. Так, при  $\Theta_{\text{впр}} = 8^\circ$  содержание СН в ОГ меняется от 0,023% при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  до 0,013% при  $n = 2500 \text{ мин}^{-1}$ , т.е. снижается в 1,8 раза. А при  $\Theta_{\text{впр}} = 14^\circ$  содержание СН в ОГ снижается от 0,012 до 0,007% при увеличении частоты вращения от 1200 до 1900  $\text{мин}^{-1}$ , т.е. снижается в 1,7 раза, а затем возрастает до 0,010%, т.е. в 1,4 раза. При  $\Theta_{\text{впр}} = 11^\circ$  содержание СН в ОГ практически не зависит от частоты вращения и составляет порядка 0,010% [24–31].

Анализируя изменения значений показателей токсичности ОГ в зависимости от частоты вращения на различных установочных УОВТ можно отметить следующее. При работе по газодизельному процессу содержание  $\text{NO}_x$  в ОГ ниже, чем при работе по дизельному процессу, во всем диапазоне частот вращения. Так, при  $\Theta_{\text{впр}} = 11^\circ$  увеличение частоты вращения от  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  до  $n = 1800$

$\text{мин}^{-1}$  приводит к росту содержания  $\text{NO}_x$  в ОГ от 170 до 190 ppm, т.е. на 11,8%, а при повышении частоты вращения до 2500  $\text{мин}^{-1}$  содержание  $\text{NO}_x$  в ОГ снова снижается до 170 ppm, т.е. на 10,5%. Чем больше установочный УОВТ, то есть раньше подается топливо, тем меньше содержание сажи в ОГ дизеля [32–36]. При этом с увеличением частоты вращения содержание сажи в ОГ дизеля с турбонаддувом возрастает. Так, при  $\Theta_{\text{впр}} = 11^\circ$  при изменении частоты вращения от 1200 до 2500  $\text{мин}^{-1}$  содержание сажи в ОГ возрастает от 1,7 до 2,5 ед. по шкале Bosch, т.е. в 1,5 раза.

При переходе с дизельного на газодизельный процесс при  $\Theta_{\text{впр}} = 11^\circ$  и  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ , принятого нами за оптимальный, содержание  $\text{NO}_x$  в ОГ снижается со 183 до 172 ppm, т.е. на 6%. При  $\Theta_{\text{впр}} = 11^\circ$ ,  $n = 1900 \text{ мин}^{-1}$  и  $p_c = 0,84 \text{ МПа}$  содержание оксидов азота  $\text{NO}_x$  при переходе с дизельного на газодизельный процесс снижается с 225 до 190 ppm, то есть на 15,6%. Содержание сажи в ОГ снижается с 2,5 до 0,1 ед. по шкале Bosch, т.е. в 25 раз [37–40]. При  $\Theta_{\text{впр}} = 11^\circ$ ,  $n = 1900 \text{ мин}^{-1}$  и  $p_c = 0,84 \text{ МПа}$  содержание сажи в ОГ снижается с 2 до 0,1 ед. по шкале Bosch, т.е. на 95%. Содержание  $\text{CH}_x$  в ОГ при  $\Theta_{\text{впр}} = 11^\circ$  и  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$  возрастает 0,010 до 0,17%, т.е. в 17 раз. При уменьшении частоты вращения до  $n = 1900 \text{ мин}^{-1}$  содержание СН в ОГ возрастает от 0,01 до 0,20%, т.е. в 20 раз. Содержание СО при  $\Theta_{\text{впр}} = 11^\circ$  и  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$  снижается с 0,046 до 0,039%, т.е. в 1,2 раза, с уменьшением частоты до  $n = 1900 \text{ мин}^{-1}$  содержание СО возрастает с 0,042 до 0,050%, то есть на 19%.

## Литература:

1. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226–229.
2. Анфилатов, А. А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229–232.
3. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 232–235.
4. 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.
5. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 238–241.
6. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальное давление сгорания в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 117–120.
7. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальную осредненную температуру цикла в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 120–123.
8. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
9. Анфилатов, А. А. Изменение объемного содержания оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 125–128.
10. Анфилатов, А. А. Индексирование тепловыделения в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 128–131.
11. Анфилатов, А. А. Обработка полученных результатов исследований дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 134–136.
12. Анфилатов, А. А. Объемное содержание оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 136–139.
13. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на мощностные и экономические показатели дизеля // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 73–76.
14. Анфилатов, А. А. Изменение массовой концентрации оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 76–79.
15. Анфилатов, А. А. Изменение мощностных и экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 79–82.
16. Анфилатов, А. А. Массовая концентрация оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 82–85.
17. Анфилатов, А. А. Мощностные и экономические показатели дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 85–87.
18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. 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.
24. Скрябин, М. Л. Снижение дымности отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 430–433.
25. 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.

26. Скрябин, М.Л. Влияние установочного угла опережения впрыскивания топлива на токсичность отработавших газов дизеля 4ЧН 11,0/12,5 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 436–439.
27. Скрябин, М.Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на содержание оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 439–442.
28. Скрябин, М.Л. Влияние применение метанола на дымность отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 445–448.
29. Скрябин, М.Л. Влияние применения метанола с двойной системой топливоподачи в дизеле 2Ч 10,5/12,0 на показатели процесса сгорания и показатели сажеобразования // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 442–445.
30. 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.
31. 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.
32. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 320–323.
33. Скрябин, М.Л. Особенности расчета констант скорости реакций термической диссоциации в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 303–306.
34. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Санкт-Петербург, 1999.
35. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Киров, 1999.
36. Лиханов, В. А., Фоминых А. В., Копчиков В. Н. Работа дизеля на метаноле и рапсовом масле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 1. с. 3–5.
37. Лиханов, В. А., Копчиков В. Н., Фоминых А. В. Влияние углов опережения метанола и метилового эфира рапсового масла на образование оксидов азота в цилиндре дизеля // Транспорт на альтернативном топливе. 2015. № 3 (45). с. 51–54.
38. Лиханов, В. А., Полевщиков А. С. Определение оптимальных углов опережения впрыскивания топлив при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 5 (41). с. 62–64.
39. Лиханов, В. А., Полевщиков А. С. Особенности развития топливных факелов в цилиндре дизеля при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 1 (31). с. 62–65.
40. Исследование рабочих процессов в цилиндре газодизеля 4Ч 11,0/12,5. Монография / В. А. Лиханов [и др.]; под общ. ред. В. А. Лиханова. Киров, 2004.

## **Динамика образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом при УОВТ 11 градусов до ВМТ**

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

Графики объемного содержания, массовой концентрации оксидов азота, осредненной температуры и давления газов в цилиндре дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла поворота коленчатого вала при работе по дизельному и газодизельному процессам для номинальной частоты вращения (2400 мин<sup>-1</sup>) и частоты вращения при максимальном крутящем моменте (1900 мин<sup>-1</sup>) и установочном угле опережения впрыскивания топлива (УОВТ)  $\Theta_{\text{впр}} = 11^\circ$  представлены на рис. 1 [1–9].

Рассматривая номинальную частоту вращения ( $n=2400$  мин<sup>-1</sup>) можно отметить, что максимальные зна-

чения объемного содержания и массовой концентрации оксидов азота в цилиндре следуют сразу за максимальной температурой цикла, значительно превышают концентрацию оксидов азота в ОГ и увеличиваются с увеличением максимальной температуры цикла [10–17]. Так, при  $\Theta_{\text{впр}} = 11$  градусов и  $n = 2400$  мин<sup>-1</sup> при работе по газодизельному процессу максимальное объемное содержание оксидов азота в цилиндре составляет 272 ppm, что выше содержания оксидов азота в цилиндре при работе по дизельному процессу на 4% и на 37% выше содержания оксидов азота в ОГ газодизеля на этом же режиме. Максимальное значение объемного содержания



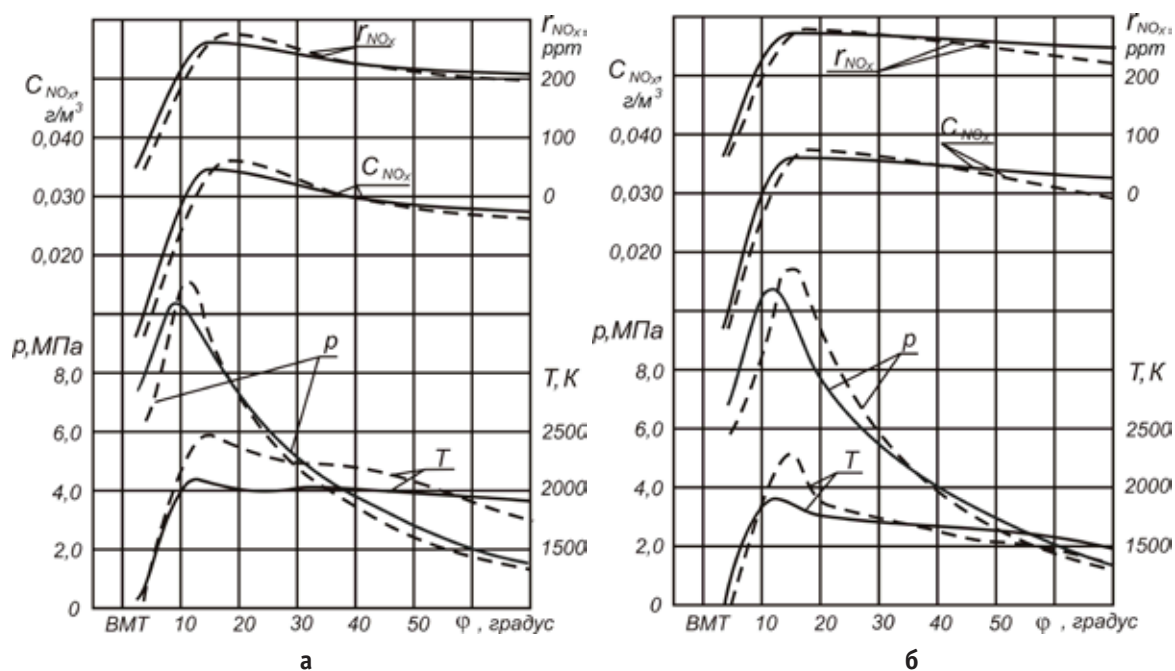


Рис. 1. Влияние применения природного газа на показатели процесса сгорания, объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в цилиндре дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла поворота коленчатого вала двигателя при  $\Theta_{впр} = 11^\circ$ : а —  $n = 2400 \text{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

оксидов азота при работе по дизельному процессу составляет 263 ppm; при этом же значении угла поворота коленчатого вала двигателя объемное содержание оксидов азота при работе по газодизельному процессу составляет 257 ppm, что ниже на 3% дизельного процесса [18–24]. Максимальное значение массовой концентрации оксидов азота при работе по дизельному процессу составляет 0,0350 г/м³; при этом же значении угла поворота коленчатого вала двигателя массовое содержание оксидов азота при работе по газодизельному процессу составляет 0,0344 г/м³, что ниже на 2% дизельного процесса [25–31].

Рассматривая частоту вращения при максимальном крутящем моменте ( $n=1900 \text{ мин}^{-1}$ ) можно отметить, что максимальные значения объемного содержания и массовой концентрации оксидов азота в цилиндре следуют

также сразу за максимальной температурой цикла, значительно превышают концентрацию оксидов азота в ОГ и увеличиваются с увеличением максимальной температуры цикла [32–37]. Так, при  $\Theta_{впр} = 11$  градусов и  $n = 1900 \text{ мин}^{-1}$  при работе по газодизельному процессу максимальное объемное содержание оксидов азота в цилиндре составляет 277 ppm, что выше содержания оксидов азота в цилиндре при работе по дизельному процессу на 4% и на 37% выше содержания оксидов азота в ОГ газодизеля на этом же режиме [38–40]. Максимальное значение объемного содержания оксидов азота при работе по дизельному процессу составляет 267 ppm; при этом же значении угла поворота коленчатого вала двигателя объемное содержание оксидов азота при работе по газодизельному процессу составляет 262 ppm, что ниже на 2% дизельного процесса.

Литература:

1. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226–229.
2. Анфилатов, А. А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229–232.
3. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 232–235.
4. 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.
5. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 238–241.
6. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальное давление сгорания в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 117–120.

7. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальную осредненную температуру цикла в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 120–123.
8. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
9. Анфилатов, А. А. Изменение объемного содержания оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 125–128.
10. Анфилатов, А. А. Индицирование тепловыделения в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 128–131.
11. Анфилатов, А. А. Обработка полученных результатов исследований дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 134–136.
12. Анфилатов, А. А. Объемное содержание оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 136–139.
13. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на мощностные и экономические показатели дизеля // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 73–76.
14. Анфилатов, А. А. Изменение массовой концентрации оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 76–79.
15. Анфилатов, А. А. Изменение мощностных и экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 79–82.
16. Анфилатов, А. А. Массовая концентрация оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 82–85.
17. Анфилатов, А. А. Мощностные и экономические показатели дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 85–87.
18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. 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.
24. Скрябин, М. Л. Снижение дымности отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 430–433.
25. 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.
26. Скрябин, М. Л. Влияние установочного угла опережения впрыскивания топлива на токсичность отработавших газов дизеля 4ЧН 11,0/12,5 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 436–439.
27. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на содержание оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 439–442.
28. Скрябин, М. Л. Влияние применение метанола на дымность отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 445–448.
29. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола с двойной системой топливopодачи в дизеле 2Ч 10,5/12,0 на показатели процесса сгорания и показатели сажесодержания // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 442–445.
30. 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.
31. 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.
32. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 320–323.

33. Скрыбин, М.Л. Особенности расчета констант скорости реакций термической диссоциации в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 303–306.
34. Лиханов, В.А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Санкт-Петербург, 1999.
35. Лиханов, В.А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Киров, 1999.
36. Лиханов, В.А., Фоминых А.В., Копчиков В.Н. Работа дизеля на метаноле и рапсовом масле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 1. с. 3–5.
37. Лиханов, В.А., Копчиков В.Н., Фоминых А.В. Влияние углов опережения метанола и метилового эфира рапсового масла на образование оксидов азота в цилиндре дизеля // Транспорт на альтернативном топливе. 2015. № 3 (45). с. 51–54.
38. Лиханов, В.А., Полевщиков А.С. Определение оптимальных углов опережения впрыскивания топлив при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 5 (41). с. 62–64.
39. Лиханов, В.А., Полевщиков А.С. Особенности развития топливных факелов в цилиндре дизеля при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 1 (31). с. 62–65.
40. Исследование рабочих процессов в цилиндре газодизеля 4Ч 11,0/12,5. Монография / В.А. Лиханов [и др.]; под общ. ред. В.А. Лиханова. Киров, 2004.

### Снижение содержания оксидов азота в ОГ дизеля с турбонаддувом путем применения природного газа

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

Содержание токсичных компонентов в ОГ дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 по результатам исследований в зависимости от изменения установочного

угла опережения впрыскивания топлива (УОВТ) для частоты вращения  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$  и  $n = 1900 \text{ мин}^{-1}$  представлено на рис. 1 [1–8].

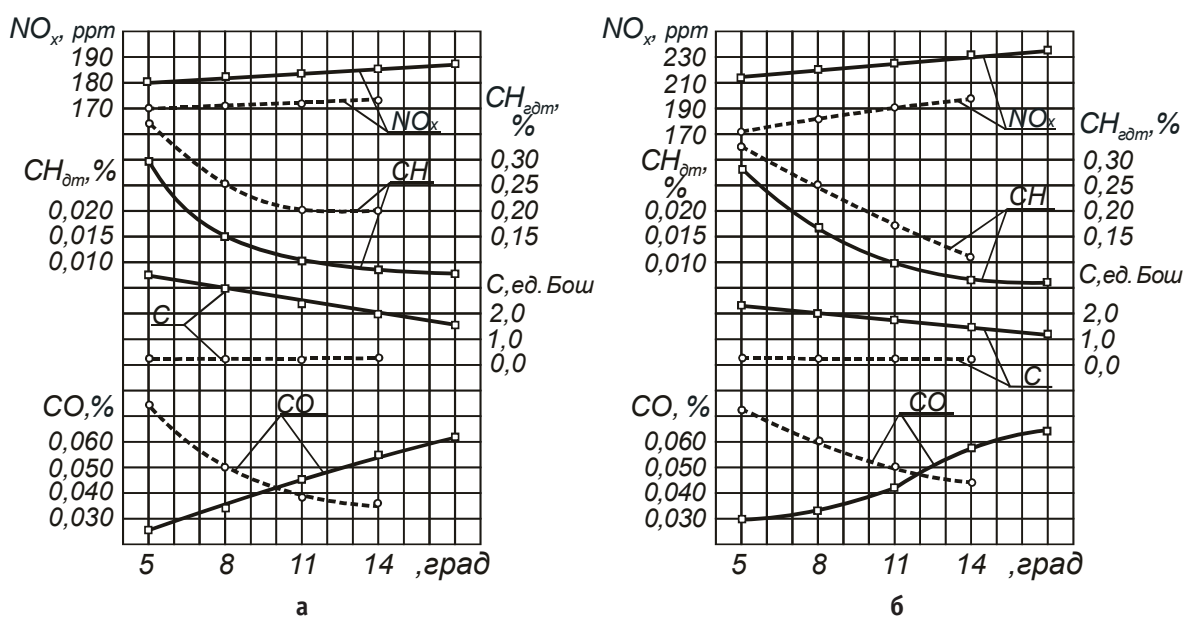


Рис. 1. Влияние применения природного газа на содержание токсичных компонентов в ОГ дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения установочного УОВТ: а —  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ ; б —  $n = 1900 \text{ мин}^{-1}$ ;  $\square$  — дизельный процесс;  $\circ$  — газодизельный процесс

Из графиков при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ , видно, что с увеличением установочного УОВТ содержание  $\text{NO}_x$  в ОГ при работе двигателя по дизельному процессу возрастает от 180 ppm при  $\Theta_{\text{впр}} = 5^\circ$  до 188 ppm при  $\Theta_{\text{впр}} = 17^\circ$ . При работе двигателя по газодизельному процессу содержание  $\text{NO}_x$  при  $\Theta_{\text{впр}} = 5^\circ$  составляет 170 ppm, а при  $\Theta_{\text{впр}} = 14^\circ$  уже 174 ppm. Во всем диапазоне изменения установочного УОВТ содержание оксидов азота в ОГ имеет меньшие на 6...8% значения для газодизеля [9–16]. Так, при  $\Theta_{\text{впр}} = 11^\circ$  содержание  $\text{NO}_x$  снижается на 6% (со 183 до 172 ppm). Это связано с уменьшением коэффициента избытка воздуха, приводящим к меньшему окислению азота кислородом [17–25].

Содержание  $\text{CH}_x$  с увеличением установочного УОВТ в целом снижается как у дизеля, так и у газодизеля, но при этом газодизельный процесс сопровождается увеличением в ОГ суммарных углеводородов — их содержание в 8...10 раз выше по сравнению с дизельным процессом. Так, при  $\Theta_{\text{впр}} = 11^\circ$  при работе по дизельному процессу содержание  $\text{CH}_x$  в ОГ составляет 0,01%, а при работе на природном газе содержание  $\text{CH}_x$  в ОГ составляет уже 0,2%, что выше в 20 раз. Это вызвано нарушением процесса сгорания при работе на КПП [26–33].

Содержание сажи по дизельному процессу с увеличением установочного УОВТ снижается с 3,5 ед. по шкале Bosch при  $\Theta_{\text{впр}} = 5^\circ$  до 1,5 ед. по шкале Bosch при  $\Theta_{\text{впр}} = 17^\circ$ . При работе по газодизельному процессу содержание сажи практически не зависит от установочного УОВТ и составляет 0,1 ед. по шкале Bosch. При  $\Theta_{\text{впр}} = 11^\circ$  при работе двигателя на природном газе содержание сажи в ОГ ниже в 25 раз по сравнению с дизелем на том

же установочном УОВТ. Это объясняется высокой турбулизацией заряда, приводящей к интенсификации процессов выгорания сажевых частиц в цилиндре газодизеля [34–37].

Содержание CO по дизельному процессу с увеличением установочного УОВТ возрастает с 0,026% при  $\Theta_{\text{впр}} = 5^\circ$  до 0,062% при  $\Theta_{\text{впр}} = 17^\circ$ . При работе двигателя на КПП содержание CO, наоборот, снижается. При  $\Theta_{\text{впр}} = 11^\circ$  содержание CO составляет 0,04%, что на 12,5% ниже показателей для дизеля при том же установочном УОВТ [38–40].

Закономерности изменения содержания токсичных компонентов при  $n = 1900 \text{ мин}^{-1}$  с увеличением установочного УОВТ аналогичны закономерностям изменения содержания при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ . Так, при  $\Theta_{\text{впр}} = 11^\circ$  содержание в ОГ дизеля  $\text{NO}_x$  составляет 225 ppm, а при работе двигателя на КПП содержание  $\text{NO}_x$  в ОГ составляет уже 190 ppm, что на 18,4% ниже. Содержание  $\text{CH}_x$  в ОГ дизеля составляет 0,01%, а при работе на КПП содержание  $\text{CH}_x$  в ОГ двигателя составляет уже 0,17%, что в 17 раз выше. При  $\Theta_{\text{впр}} = 11^\circ$  содержание сажи в ОГ двигателя при работе КПП ниже в 19 раз, чем при работе по дизельному процессу на том же установочном УОВТ. CO в ОГ газодизеля возрастает от 0,042 до 0,050%, что выше на 19% по сравнению с дизельным процессом.

На основании анализа полученных результатов можно сделать вывод, что с точки зрения снижения токсичности ОГ дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 при работе по дизельному и газодизельному процессам оптимальным является установочный УОВТ в  $11^\circ$  п.к.в., так как на этом угле суммарная токсичность ОГ минимальная.

#### Литература:

1. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226–229.
2. Анфилатов, А. А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229–232.
3. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 232–235.
4. 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.
5. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 238–241.
6. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальное давление сгорания в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 117–120.
7. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальную осредненную температуру цикла в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 120–123.
8. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
9. Анфилатов, А. А. Изменение объемного содержания оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 125–128.
10. Анфилатов, А. А. Индексирование тепловыделения в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 128–131.
11. Анфилатов, А. А. Обработка полученных результатов исследований дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 134–136.



12. Анфилатов, А. А. Объемное содержание оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 136–139.
13. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на мощностные и экономические показатели дизеля // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 73–76.
14. Анфилатов, А. А. Изменение массовой концентрации оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 76–79.
15. Анфилатов, А. А. Изменение мощностных и экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 79–82.
16. Анфилатов, А. А. Массовая концентрация оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 82–85.
17. Анфилатов, А. А. Мощностные и экономические показатели дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 85–87.
18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. 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.
24. Скрябин, М. Л. Снижение дымности отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 430–433.
25. 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.
26. Скрябин, М. Л. Влияние установочного угла опережения впрыскивания топлива на токсичность отработавших газов дизеля 4ЧН 11,0/12,5 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 436–439.
27. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на содержание оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 439–442.
28. Скрябин, М. Л. Влияние применение метанола на дымность отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 445–448.
29. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола с двойной системой топливоподачи в дизеле 2Ч 10,5/12,0 на показатели процесса сгорания и показатели сажеосодержания // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 442–445.
30. 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.
31. 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.
32. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 320–323.
33. Скрябин, М. Л. Особенности расчета констант скорости реакций термической диссоциации в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 303–306.
34. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Санкт-Петербург, 1999.
35. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Киров, 1999.
36. Лиханов, В. А., Фоминых А. В., Копчиков В. Н. Работа дизеля на метаноле и рапсовом масле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 1. с. 3–5.

37. Лиханов, В. А., Копчиков В. Н., Фоминых А. В. Влияние углов опережения метанола и метилового эфира рапсового масла на образование оксидов азота в цилиндре дизеля // Транспорт на альтернативном топливе. 2015. № 3 (45). с. 51–54.
38. Лиханов, В. А., Полевщиков А. С. Определение оптимальных углов опережения впрыскивания топлив при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 5 (41). с. 62–64.
39. Лиханов, В. А., Полевщиков А. С. Особенности развития топливных факелов в цилиндре дизеля при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 1 (31). с. 62–65.
40. Исследование рабочих процессов в цилиндре газодизеля 4Ч 11,0/12,5. Монография / В. А. Лиханов [и др.]; под общ. ред. В. А. Лиханова. Киров, 2004.

### Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением надвучного воздуха

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

В данной статье рассмотрено влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением надвучного воздуха.

**Ключевые слова:** отработавшие газы, загрязнение воздуха, токсичные компоненты, эффективные показатели.

Регулировочные характеристики для определения эффективных показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения установочного угла опере-

жения впрыскивания топлива (УОВТ) при работе дизеля на ДТ и на ПГ на номинальной частоте вращения коленчатого вала ( $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ ) представлены на рис. 1 [1–16].



Рис. 1. Влияние применения ПГ на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения установочного УОВТ при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 0,947 \text{ МПа}$ , и  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 1,036 \text{ МПа}$ : — — — дизельный процесс, — — — газодизельный процесс

Рассматривая показатели работы дизеля на ДТ на номинальной частоте вращения ( $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_c = 0,947 \text{ МПа}$ ) при работе дизеля на установочном УОВТ  $\Theta_{\text{впр д}} = 7^\circ$  до в.м.т., при постоянном часовом расходе ДТ  $G_T = 21 \text{ кг/ч}$ , эффективная мощность  $N_e$  составляет 88,3 кВт, а значение удельного эффективного расхода ДТ  $g_{e\Sigma}$  составляет 232 г/(кВт·ч). При увеличении установочного УОВТ до  $\Theta_{\text{впр д}} = 9^\circ$  до в.м.т. эффективная мощность  $N_e$  увеличивается до значения 90 кВт, при этом значение удельного эффективного расхода ДТ  $g_e$  снижается до 227 г/(кВт·ч.), т.е. на 2,15%. При дальнейшем увеличении установочного УОВТ до  $\Theta_{\text{впр д}} = 11^\circ$  до в.м.т. происходит снижение эффективной мощности  $N_e$  до значения 88,3 кВт, при этом значение удельного эффективного расхода  $g_e$  увеличивается до 232 г/(кВт·ч), т.е. на 2,2%. Рассматривая графики  $N_e$ ,  $G_T$  и  $g_e$ , можно отметить, что при работе дизеля на ДТ установочный УОВТ при частоте вращения  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$  по условию наилучшей экономичности равен  $9^\circ$  до в.м.т. Этот установочный УОВТ рекомендован заводом-изготовителем для обеспечения лучших мощностных, экономических и экологических показателей автомобильного двигателя 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в качестве оптимального [17–26].

Рассматривая показатели работы дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе дизеля на ПГ на номинальной частоте вращения ( $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_c = 0,947 \text{ МПа}$ ), можно отметить, что при работе дизеля на установочном УОВТ  $\Theta_{\text{впр гд}} = 5^\circ$  до в.м.т., при постоянном суммарном часовом расходе топлива  $G_{T\Sigma} = 18,8 \text{ кг/ч}$  эффективная мощность  $N_e$  составляет 86,0 кВт, а значение суммарного удельного эффективного расхода топлива  $g_{e\Sigma} = 218 \text{ г/(кВт·ч)}$ . При увеличении установочного УОВТ до  $\Theta_{\text{впр гд}} = 7^\circ$  до в.м.т. эффективная мощность  $N_e$  увеличивается до значения 90 кВт, при этом значение суммар-

ного удельного эффективного расхода топлива  $g_{e\Sigma}$  снижается до 208 г/(кВт·ч), т.е. на 4,6%. При дальнейшем увеличении установочного УОВТ до  $\Theta_{\text{впр гд}} = 9^\circ$  до в.м.т. происходит снижение эффективной мощности  $N_e$  до значения 88 кВт, при этом значение суммарного удельного эффективного расхода топлива  $g_{e\Sigma}$  увеличивается до 210 г/(кВт·ч), т.е. на 1,0%. Снижение суммарных значений часового расхода  $G_{T\Sigma}$  и удельного расхода  $g_{e\Sigma}$  топлива при работе дизеля на всех установочных УОВТ на ПГ по сравнению с работой на ДТ объясняется большим значением теплоты сгорания ПГ. Из анализа графиков  $N_e$ ,  $G_T$  и  $g_e$  следует, что при работе дизеля на ПГ оптимальный установочный УОВТ при частоте вращения  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$  при условии наилучшей экономичности равен  $7^\circ$  до в.м.т.

Из анализа кривых регулировочной характеристики по установочному УОВТ (рис. 1) следует, что для всех режимов работы дизеля, исходя из минимального удельного расхода топлива  $g_e$ , при работе дизеля на ДТ оптимальным является установочный УОВТ  $\Theta_{\text{впр д}} = 9^\circ$  до в.м.т., а при работе дизеля на ПГ  $\Theta_{\text{впр гд}} = 7^\circ$  до в.м.т. При работе дизеля на более ранних УОВТ при работе дизеля на ПГ на режимах, близких к номинальным нагрузкам, значение «жесткости» работы двигателя превышает норму, установленную заводом-изготовителем, т.е.  $(dp/d\varphi)_{\text{max}}$  составляет более 1,0 МПа/град. При работе дизеля на более поздних установочных УОВТ на режимах номинальной нагрузки происходит интенсивное повышение температуры охлаждающей жидкости, следствием чего является перегрев двигателя. Проведенные исследования показали, что дизель устойчиво работает на ПГ при соотношении топлив на номинальном режиме: газа — 80..85%, запальной порции дизельного топлива — 15..20%. Все исследования рабочих процессов проводились при таком соотношении ПГ и ДТ [27–33].

#### Литература:

1. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226–229.
2. Анфилатов, А. А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229–232.
3. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 232–235.
4. 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.
5. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 238–241.
6. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальное давление сгорания в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 117–120.
7. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальную осредненную температуру цикла в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 120–123.
8. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
9. Анфилатов, А. А. Изменение объемного содержания оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 125–128.
10. Анфилатов, А. А. Индексирование тепловыделения в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 128–131.

11. Анфилатов, А. А. Методика исследований дизеля 2Ч 10,5/12,0 по снижению содержания оксидов азота при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 131–134.
12. Анфилатов, А. А. Обработка полученных результатов исследований дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 134–136.
13. Анфилатов, А. А. Объемное содержание оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 136–139.
14. Анфилатов, А. А. Расчет выбросов вредных газообразных веществ с отработавшими газами дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 139–141.
15. Анфилатов, А. А. Содержание оксидов азота в дизеле при работе на метаноле в зависимости от изменения установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 141–144.
16. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на мощностные и экономические показатели дизеля // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 73–76.
17. Анфилатов, А. А. Изменение массовой концентрации оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 76–79.
18. Анфилатов, А. А. Изменение мощностных и экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 79–82.
19. Анфилатов, А. А. Массовая концентрация оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 82–85.
20. Анфилатов, А. А. Мощностные и экономические показатели дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 85–87.
21. 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.
22. 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.
23. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Образование и нейтрализация оксидов азота в цилиндре газодизеля: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2004. — 106 с
24. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения природного газа и рециркуляции // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 4 (40). с. 21–25.
25. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Применение природного газа и рециркуляции на тракторном дизеле 4Ч 11,0/12,5 // Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 6. с. 7–9.
26. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения этанола-топливной эмульсии // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 2. с. 6–7.
27. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля Д-240 путем применения этанола-топливной эмульсии // Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник: 2013. № 1 (1). с. 29–32.
28. Лопатин, О. П. Применение природного газа и рециркуляции отработавших газов для снижения токсичности тракторного дизеля // Молодой ученый. 2015. № 6–5 (86). с. 11–13.
29. Лопатин, О. П. Зонная модель процесса образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 261–265.
30. Лопатин, О. П. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 265–268.
31. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Киров, 1999.
32. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Санкт-Петербург, 1999.
33. Лиханов, В. А., Полевщиков А. С. Особенности развития топливных факелов в цилиндре дизеля при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 1 (31). с. 62–65.



## Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением надувочного воздуха в зависимости от изменения установочного УОВТ при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$

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

*В данной статье рассмотрено влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением надувочного воздуха.*

**Ключевые слова:** отработавшие газы, загрязнение воздуха, токсичные компоненты, экологические показатели.

Содержание токсичных компонентов в ОГ дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения установочного УОВТ для номинальной частоты вращения ( $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 0,947 \text{ МПа}$ ) представлено на рис. 1 [1–15].

Как видно из графиков при всех значениях установочных УОВТ при работе дизеля на ПГ в ОГ происходит

снижение содержания оксидов азота, сажи и увеличение содержания углеводородов, суммарных оксидов и диоксидов углерода. Снижение значения объемного содержания и массовой концентрации оксидов азота при работе дизеля на ПГ на 15...20% при возрастающей температуре в цилиндре дизеля связано с температурной неравномерностью в зоне образования продуктов сгорания, а также

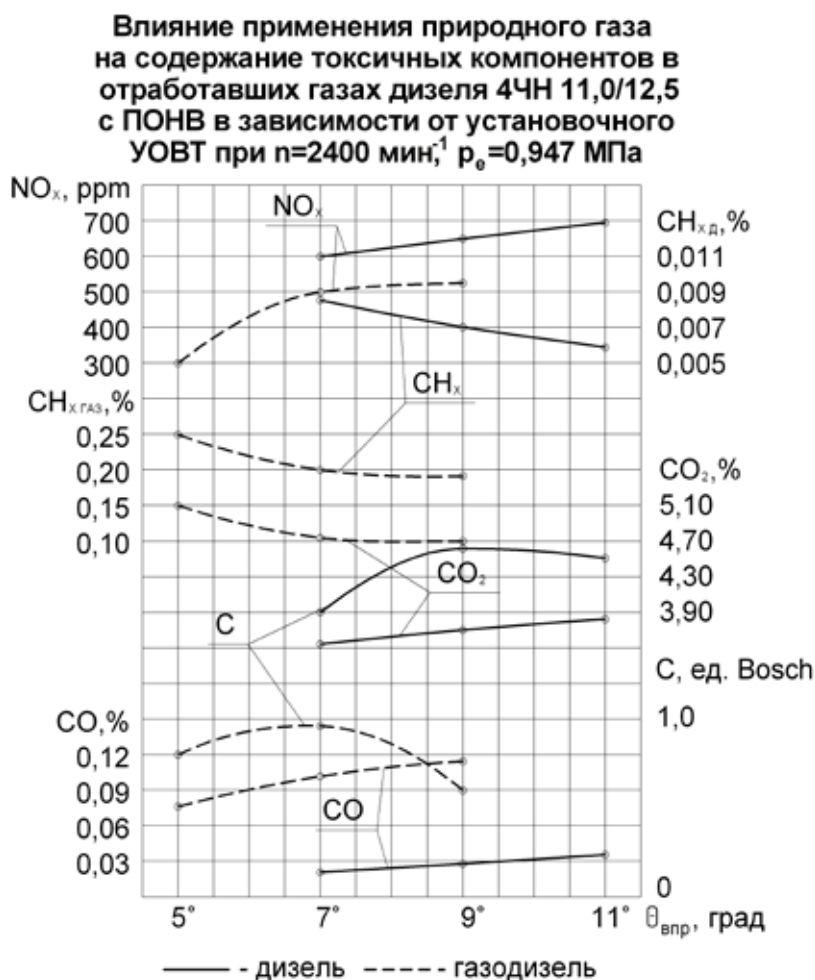


Рис. 1. Влияние применения ПГ на содержание токсичных компонентов ОГ дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения установочного УОВТ:  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 0,947 \text{ МПа}$ ; — — — дизельный процесс, - - - - газодизельный процесс

с тем, что время нахождения продуктов сгорания в зоне максимальных температур снижается вследствие более интенсивного процесса сгорания. При совместном использовании турбонаддува и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха увеличивается скорость охлаждения продуктов сгорания, так как топливовоздушная смесь, поступающая в цилиндр, имеет более низкую температуру, снижается коэффициент избытка воздуха  $\alpha$  [16–21].

Содержание  $\text{CH}_x$  в ОГ дизеля с увеличением установочного УОВТ в целом снижается, как при работе дизеля на ДТ, так и на ПГ, но при работе дизеля на ПГ содержание  $\text{CH}_x$  в ОГ в 10...20 раз выше по сравнению с работой на ДТ.

Дымность ОГ при работе дизеля на ДТ с увеличением установочного УОВТ снижается. При работе дизеля на ПГ дымность ОГ практически не зависит от установочного УОВТ и ниже по сравнению с работой на ДТ при том же установочном УОВТ. Это объясняется высокой турбулизацией заряда, приводящей к интенсификации процессов выгорания сажевых частиц в цилиндре при работе дизеля на ПГ [22–28].

Содержание  $\text{CO}$  в ОГ с увеличением установочного УОВТ возрастает как при работе дизеля на ДТ, так и при работе на ПГ.

При работе дизеля на ПГ при  $\Theta_{\text{впр}} = 5^\circ$  до в.м.т.,  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_c = 0,947 \text{ МПа}$  содержание оксида углерода  $\text{CO}$  в ОГ составляет 0,076%, диоксида углерода  $\text{CO}_2$  5,1%, содержание углеводородов  $\text{CH}_x$  — 0,25%, оксидов азота  $\text{NO}_x$  — 300 ppm, дымность  $\text{C}$  — 0,8 единицы по шкале Bosch. На частоте вращения максимального крутящего момента  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_c = 1,036 \text{ МПа}$  содержание  $\text{CO}$  в ОГ составляет 0,078%,  $\text{CO}_2$  6,1%,

содержание  $\text{CH}_x$  — 0,15%,  $\text{NO}_x$  — 430 ppm, дымность ( $\text{C}$ ) — 0,2 единицы по шкале Bosch.

Для установочного УОВТ  $\Theta_{\text{впр}} = 5^\circ$  до в.м.т. характерна неустойчивая работа, нестабильность рабочего процесса и довольно быстрый перегрев двигателя.

При  $\Theta_{\text{впр}} = 7^\circ$  до в.м.т.,  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_c = 0,947 \text{ МПа}$  при работе дизеля на ПГ содержание  $\text{CO}$  в ОГ равно 0,10%. При работе дизеля на ДТ — 0,02%. Увеличение значений  $\text{CO}$  при работе дизеля на ПГ равно 0,08%. Содержание  $\text{CO}_2$  в ОГ при работе дизеля на данном режиме на ПГ составляет 4,72%, при работе дизеля на ДТ — 3,6%. Рост содержания  $\text{CO}_2$  в ОГ при работе на ПГ равен 1,21%. Содержание  $\text{CH}_x$  в ОГ при работе дизеля на ПГ составляет 0,20%, при работе дизеля на ДТ — 0,008%. Рост содержания  $\text{CH}_x$  в ОГ при работе дизеля на ПГ равен 0,192%. Содержание  $\text{NO}_x$  в ОГ при работе дизеля на ПГ составляет 499 ppm, при работе дизеля на ДТ — 600 ppm. Снижение содержания  $\text{NO}_x$  в ОГ при работе на ПГ равно 101 ppm или 16%. Дымность ОГ при работе дизеля на данном режиме на ПГ равна 0,95 единицы по шкале Bosch, при работе дизеля на ДТ — 1,6 единицы по шкале Bosch. Снижение дымности ОГ при работе дизеля на ПГ равно 0,65 единицы по шкале Bosch, т.е. 40%.

Подводя итоги полученных результатов, можно оценить влияние применения ПГ в качестве моторного топлива в дизеле 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ на экологические показатели работы дизеля. Можно отметить, что совместное использование ПГ и турбонаддува с ПОНВ позволяет значительно снизить содержание оксидов азота в ОГ, дымность ОГ и тем самым улучшить экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ [29–33].

#### Литература:

1. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226–229.
2. Анфилатов, А. А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229–232.
3. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 232–235.
4. 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.
5. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 238–241.
6. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальное давление сгорания в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 117–120.
7. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальную осредненную температуру цикла в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 120–123.
8. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
9. Анфилатов, А. А. Изменение объемного содержания оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 125–128.
10. Анфилатов, А. А. Индексирование тепловыделения в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 128–131.
11. Анфилатов, А. А. Методика исследований дизеля 2Ч 10,5/12,0 по снижению содержания оксидов азота при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 131–134.

12. Анфилатов, А. А. Обработка полученных результатов исследований дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 134–136.
13. Анфилатов, А. А. Объемное содержание оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 136–139.
14. Анфилатов, А. А. Расчет выбросов вредных газообразных веществ с отработавшими газами дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 139–141.
15. Анфилатов, А. А. Содержание оксидов азота в дизеле при работе на метаноле в зависимости от изменения установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 141–144.
16. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на мощностные и экономические показатели дизеля // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 73–76.
17. Анфилатов, А. А. Изменение массовой концентрации оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 76–79.
18. Анфилатов, А. А. Изменение мощностных и экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 79–82.
19. Анфилатов, А. А. Массовая концентрация оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 82–85.
20. Анфилатов, А. А. Мощностные и экономические показатели дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 85–87.
21. 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.
22. 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.
23. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Образование и нейтрализация оксидов азота в цилиндре газодизеля: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2004. — 106 с
24. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения природного газа и рециркуляции // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 4 (40). с. 21–25.
25. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Применение природного газа и рециркуляции на тракторном дизеле 4Ч 11,0/12,5 // Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 6. с. 7–9.
26. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения этанола-топливной эмульсии // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 2. с. 6–7.
27. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля Д-240 путем применения этанола-топливной эмульсии // Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник: 2013. № 1 (1). с. 29–32.
28. Лопатин, О. П. Применение природного газа и рециркуляции отработавших газов для снижения токсичности тракторного дизеля // Молодой ученый. 2015. № 6–5 (86). с. 11–13.
29. Лопатин, О. П. Зонная модель процесса образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 261–265.
30. Лопатин, О. П. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 265–268.
31. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Киров, 1999.
32. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Санкт-Петербург, 1999.
33. Лиханов, В. А., Полевщиков А. С. Особенности развития топливных факелов в цилиндре дизеля при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 1 (31). с. 62–65.

## Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением надувочного воздуха в зависимости от изменения установочного УОВТ при $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$

Лиханов Виталий Анатольевич, доктор технических наук, профессор;

Скрябин Максим Леонидович, кандидат технических наук, доцент

Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

В данной статье рассмотрено влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением надувочного воздуха.

**Ключевые слова:** отработавшие газы, загрязнение воздуха, токсичные компоненты, экологические показатели.

Содержание токсичных компонентов в ОГ дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения установочного УОВТ для частоты вращения максимального крутящего момента ( $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 1,036 \text{ МПа}$ ) представлено на рис. 1 [1–12].

При  $\Theta_{\text{впр}} = 7^\circ$  до в.м.г.,  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 1,036 \text{ МПа}$  при работе дизеля на ПГ содержание СО в ОГ составляет 0,082%. При работе дизеля на ДТ — 0,025%.

Увеличение содержания СО при работе на ПГ составляет 0,057%. Содержание  $\text{CO}_2$  в ОГ при работе дизеля на данном режиме на ПГ составляет 5,25%, при работе дизеля на ДТ — 4,7%. Увеличение содержания  $\text{CO}_2$  при работе на ПГ равно 0,55%. Содержание  $\text{CH}_x$  в ОГ при работе дизеля на ПГ составляет 0,105%, при работе дизеля на ДТ — 0,017%. Увеличение  $\text{CH}_x$  в ОГ при работе дизеля на ПГ составляет 0,087%. Содержание  $\text{NO}_x$

**Влияние применения природного газа на содержание токсичных компонентов в отработавших газах дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от установочного УОВТ при  $n=1700 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e=1,036 \text{ МПа}$**

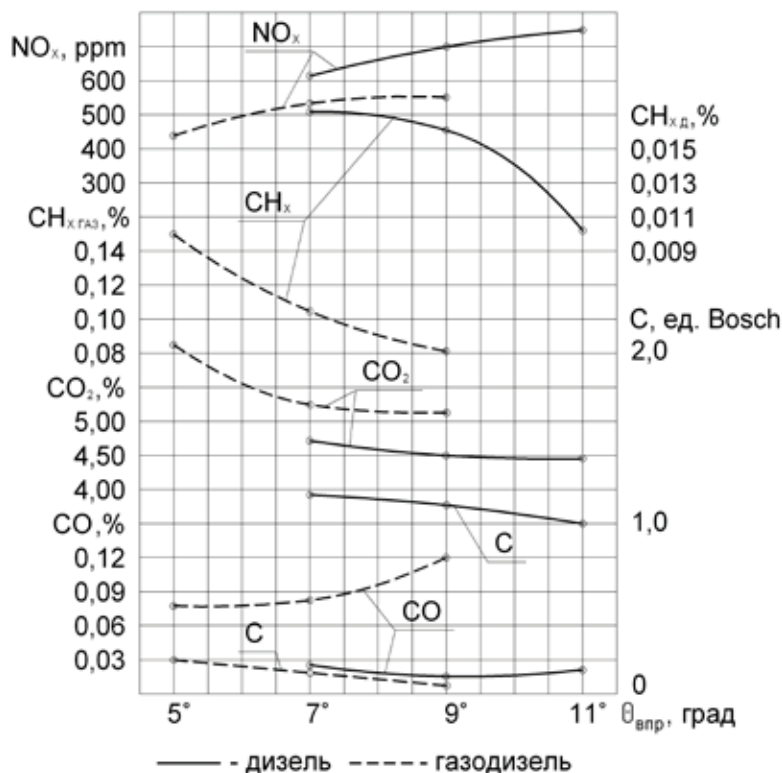


Рис. 1. Влияние применения ПГ на содержание токсичных компонентов ОГ дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения установочного УОВТ:  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 0,947 \text{ МПа}$ ; — — — дизельный процесс, — — — газодизельный процесс



в ОГ при работе дизеля на ПГ составляет 528 ppm, при работе дизеля на ДТ — 615 ppm. Снижение содержания  $\text{NO}_x$  в ОГ при работе дизеля на ПГ равно 87 ppm или 14%. Дымность ОГ при работе дизеля на данном режиме на ПГ составляет 0,10 единицы по шкале Bosch, при работе дизеля на ДТ — 1,17 единицы по шкале Bosch. Снижение дымности ОГ при работе дизеля на данном режиме на ПГ составляет 91%. Для установочного УОВТ  $\Theta_{\text{впр}} = 9^\circ$  до в.м.т. характерна устойчивая работа, «жесткость» рабочего процесса  $(dp/d\varphi)_{\text{max}}$  находится в пределах допустимых значений и составляет менее 1,0 МПа/град [13–21].

При  $\Theta_{\text{впр}} = 9^\circ$  до в.м.т.,  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 0,947$  МПа при работе дизеля на ПГ содержание СО в ОГ составляет 0,115%, при работе дизеля на ДТ — 0,029%. Увеличение содержания СО в ОГ при работе дизеля на ПГ равно 0,086%. Содержание  $\text{CO}_2$  в ОГ при работе дизеля на данном режиме на ПГ составляет 4,70%, при работе дизеля на ДТ — 3,75%. Увеличение содержания  $\text{CO}_2$  при работе дизеля на ПГ равно 0,95%. Содержание  $\text{CH}_x$  в ОГ при работе дизеля на ПГ составляет 0,19%, при работе дизеля на ДТ — 0,007%. Увеличение содержания  $\text{CH}_x$  при работе дизеля на ПГ равно 0,183%. Содержание  $\text{NO}_x$  в ОГ при работе дизеля на ПГ составляет 525 ppm, при работе дизеля на ДТ — 650 ppm. Таким образом, снижение содержания оксидов азота при работе дизеля на ПГ на установочном УОВТ  $\Theta_{\text{впр}} = 9^\circ$  до в.м.т.,  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$  равно 125 ppm или 19%. Дымность ОГ при работе дизеля на данном режиме на ПГ составляет 0,6 единицы по шкале Bosch, при работе дизеля на ДТ — 1,95 единицы по шкале Bosch. Снижение дымности ОГ при работе дизеля на данном режиме на ПГ равно 69% [22–27].

При  $\Theta_{\text{впр}} = 9^\circ$  до в.м.т.,  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 1,036$  МПа при работе дизеля на ПГ содержание СО в ОГ составляет 0,12%. При работе дизеля на ДТ — 0,015%. Увеличение содержания СО в ОГ при работе дизеля на ПГ равно 0,105%. Содержание  $\text{CO}_2$  в ОГ при работе дизеля на данном режиме на ПГ составляет 5,15%, при работе дизеля на ДТ — 4,5%. Увеличение содержания  $\text{CO}_2$  в ОГ при работе дизеля на ПГ равно 0,65%. Содержание  $\text{CH}_x$  в ОГ при работе дизеля на ПГ составляет 0,081%, при работе дизеля на ДТ — 0,016%. Увеличение содержания  $\text{CH}_x$  в ОГ при работе дизеля на ПГ равно 0,065%. Содержание  $\text{NO}_x$  в ОГ при работе дизеля на ПГ составляет 550 ppm, при работе дизеля на ДТ — 700 ppm. Снижение содержания оксидов азота в ОГ при работе дизеля на ПГ на установочном УОВТ  $\Theta_{\text{впр}} = 9^\circ$  до в.м.т.,  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 0,947$  МПа равно 150 ppm или 21%. Дымность ОГ при работе дизеля на данном режиме на ПГ составляет 0,05 единицы по шкале Bosch, при работе дизеля на ДТ — 1,10 единицы по шкале Bosch. Снижение дымности ОГ при работе дизеля на данном режиме на ПГ составляет 95%. Для  $\Theta_{\text{впр}} = 9^\circ$  до в.м.т. характерна устойчивая работа, но «жесткость» рабочего процесса  $(dp/d\varphi)_{\text{max}}$  при газодизельном процессе превышает 1 МПа/град.

Таким образом, установочный УОВТ оказывает значительное влияние на содержание токсичных компонентов в ОГ дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ как при работе дизеля на ДТ, так и при работе дизеля на ПГ. Поэтому с точки зрения снижения содержания оксидов азота необходимо уменьшать значение установочного УОВТ. Для снижения дымности ОГ необходимо увеличивать значение установочного УОВТ, но при этом необходимо учитывать значения показателей процесса сгорания и, прежде всего, «жесткости» процесса сгорания [18–33].

#### Литература:

1. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226–229.
2. Анфилатов, А. А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229–232.
3. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 232–235.
4. 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.
5. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 238–241.
6. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальное давление сгорания в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 117–120.
7. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальную осредненную температуру цикла в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 120–123.
8. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
9. Анфилатов, А. А. Изменение объемного содержания оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 125–128.
10. Анфилатов, А. А. Индексирование тепловыделения в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 128–131.

11. Анфилатов, А. А. Методика исследований дизеля 2Ч 10,5/12,0 по снижению содержания оксидов азота при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 131–134.
12. Анфилатов, А. А. Обработка полученных результатов исследований дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 134–136.
13. Анфилатов, А. А. Объемное содержание оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 136–139.
14. Анфилатов, А. А. Расчет выбросов вредных газообразных веществ с отработавшими газами дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 139–141.
15. Анфилатов, А. А. Содержание оксидов азота в дизеле при работе на метаноле в зависимости от изменения установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 141–144.
16. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на мощностные и экономические показатели дизеля // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 73–76.
17. Анфилатов, А. А. Изменение массовой концентрации оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 76–79.
18. Анфилатов, А. А. Изменение мощностных и экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 79–82.
19. Анфилатов, А. А. Массовая концентрация оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 82–85.
20. Анфилатов, А. А. Мощностные и экономические показатели дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 85–87.
21. 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.
22. 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.
23. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Образование и нейтрализация оксидов азота в цилиндре газодизеля: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2004. — 106 с
24. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения природного газа и рециркуляции // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 4 (40). с. 21–25.
25. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Применение природного газа и рециркуляции на тракторном дизеле 4Ч 11,0/12,5 // Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 6. с. 7–9.
26. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения этанола-топливной эмульсии // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 2. с. 6–7.
27. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля Д-240 путем применения этанола-топливной эмульсии // Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник: 2013. № 1 (1). с. 29–32.
28. Лопатин, О. П. Применение природного газа и рециркуляции отработавших газов для снижения токсичности тракторного дизеля // Молодой ученый. 2015. № 6–5 (86). с. 11–13.
29. Лопатин, О. П. Зонная модель процесса образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 261–265.
30. Лопатин, О. П. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 265–268.
31. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Киров, 1999.
32. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Санкт-Петербург, 1999.
33. Лиханов, В. А., Полевщиков А. С. Особенности развития топливных факелов в цилиндре дизеля при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 1 (31). с. 62–65.

## Нагрузочные характеристики токсичности газодизеля при работе с рециркуляцией на УОВТ 26 градусов до ВМТ

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

Содержание токсичных компонентов в отработавших газах (ОГ) газодизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки при частоте вращения 2200 мин<sup>-1</sup> и установочном угле опережения впрыскивания топлива (УОВТ) 26° представлено на рис. 1, а.

Из графиков видно, что применение компримированного природного газа на дизеле 4Ч 11,0/12,5 приводит к увеличению содержания оксидов азота в ОГ. Так, на номинальном режиме работы это увеличение составляет около 23%, а при  $p_e = 0,13$  МПа выброс оксидов азота увеличивается почти на 55%. Применение РОГ снижает содержание оксидов азота в ОГ во всём диапазоне изменения нагрузок. При работе по газодизельному процессу с 40%-ной РОГ в диапазоне изменения нагрузки от 0,13 до 0,26 МПа происходит снижение  $NO_x$  на более чем на 55% [1–6].

При работе газодизеля на номинальном режиме с 10%-ной РОГ содержание  $NO_x$  в ОГ ниже на 23% газодизельного процесса и соответствует дизельному процессу. Применение РОГ вызывает неоднозначное влияние на содержание суммарных углеводородов в ОГ. Так, при работе газодизеля с 40%-ной РОГ на малых нагрузках от 0,13 до 0,26 МПа происходит снижение  $C_nH_m$  на около 10%, но при  $p_e = 0,51$  МПа происходит увеличение на почти на 40% [7–10].

При работе на номинальном режиме с 10%-ной РОГ происходит снижение  $C_nH_m$  на 10%, а при увеличении степени РОГ до 20% происходит увеличение выброса  $C_nH_m$  с ОГ на 8% относительно чисто газодизельного процесса. Существенно снижается содержание в отработавших газах сажи при работе по газодизельному процессу. При работе газодизеля с 40%-ной РОГ на малых нагрузках увеличение сажесодержания в ОГ не превышает 5%. При работе на номинальном режиме с 10%-ной РОГ происходит увеличение выбросов сажи на 4%, при  $p_e = 20\%$  — около 10%. Применение РОГ на газодизеле приводит к росту  $CO$  и  $CO_2$  во всём диапазоне изменения нагрузок [11–16]. Так, при работе с 40%-ной РОГ при средних нагрузках от 0,26 до 0,38 МПа рост составляет от около 15% и 44% для  $CO$  и  $CO_2$  соответственно. При работе с 20%-ной РОГ на номинальной нагрузке рост составляет около 20,0%, при снижении РОГ до 10% увеличение составляет 4 и 5% для  $CO$  и  $CO_2$  соответственно. Необходимо отметить, что значительный рост суммарных углеводородов на больших нагрузках обусловлен неполнотой сгорания топлива в условиях недостатка окислителя с увеличением степени РОГ [17–25].

Содержание токсичных компонентов в ОГ газодизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки

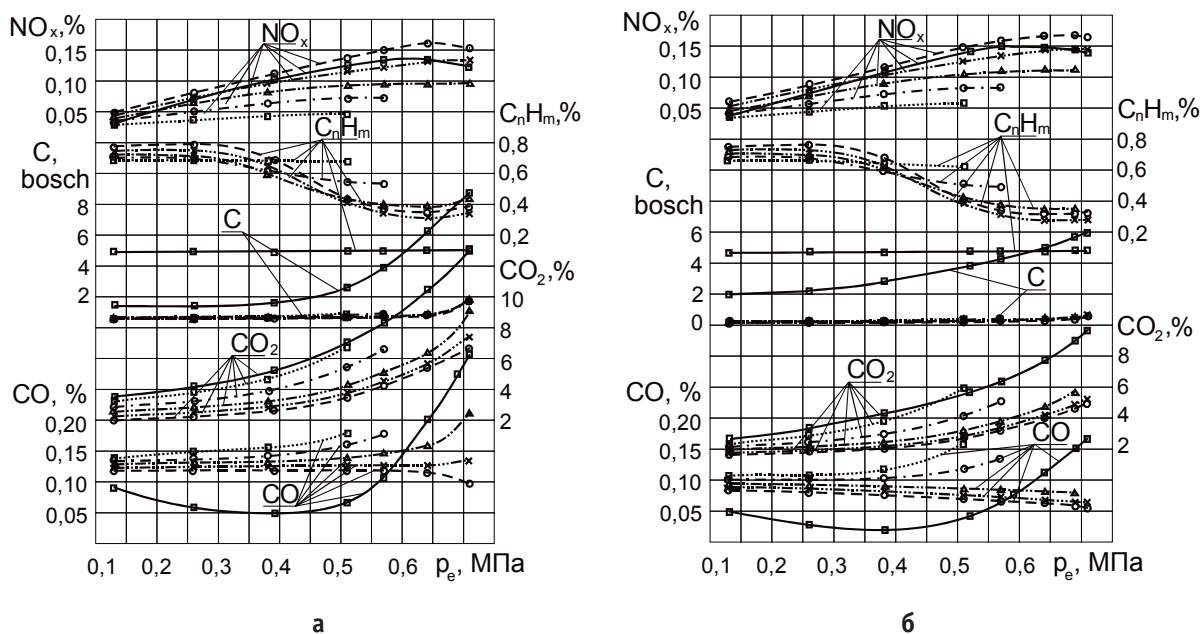


Рис. 1. Влияние применения природного газа и РОГ на показатели токсичности и дымности ОГ дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки при  $\Theta_{впр} = 26^\circ$ : а —  $n = 2200$  мин<sup>-1</sup>; б —  $n = 1700$  мин<sup>-1</sup>;  $\square$  — дизельный процесс;  $\circ$  — газодизельный процесс;  $\times$  — рециркуляция 10%;  $\triangle$  — рециркуляция 20%;  $\circ$  — рециркуляция 30%;  $\square$  — рециркуляция 40%

при частоте вращения  $1700 \text{ мин}^{-1}$  представлено на рис. 1, б. Из графиков следует, что для этой частоты вращения зависимости изменения содержания токсичных компонентов в ОГ от нагрузки при переходе с одного вида рабочего процесса на другой аналогичны зависимостям при частоте вращения  $2200 \text{ мин}^{-1}$  [26–34]. Применение РОГ приводит к снижению во всём диапазоне нагрузок оксидов

азота. Суммарные углеводороды при работе газодизеля с 10%-ной РОГ снижаются также во всём диапазоне изменения нагрузок, при увеличении степени РОГ до 20% и более происходит незначительное снижение  $C_nH_m$  на малых нагрузках и значительное увеличение на больших. Содержание  $CO$ ,  $CO_2$  и сажи возрастает с увеличением степени РОГ на всех нагрузочных режимах [33–40].

#### Литература:

1. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226–229.
2. Анфилатов, А. А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229–232.
3. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 232–235.
4. 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.
5. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 238–241.
6. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальное давление сгорания в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 117–120.
7. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальную осредненную температуру цикла в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 120–123.
8. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
9. Анфилатов, А. А. Изменение объемного содержания оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 125–128.
10. Анфилатов, А. А. Индексирование тепловыделения в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 128–131.
11. Анфилатов, А. А. Обработка полученных результатов исследований дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 134–136.
12. Анфилатов, А. А. Объемное содержание оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 136–139.
13. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на мощностные и экономические показатели дизеля // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 73–76.
14. Анфилатов, А. А. Изменение массовой концентрации оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 76–79.
15. Анфилатов, А. А. Изменение мощностных и экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 79–82.
16. Анфилатов, А. А. Массовая концентрация оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 82–85.
17. Анфилатов, А. А. Мощностные и экономические показатели дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 85–87.
18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. 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.



23. 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.
24. Скрябин, М.Л. Снижение дымности отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 430–433.
25. 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.
26. Скрябин, М.Л. Влияние установочного угла опережения впрыскивания топлива на токсичность отработавших газов дизеля 4ЧН 11,0/12,5 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 436–439.
27. Скрябин, М.Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на содержание оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 439–442.
28. Скрябин, М.Л. Влияние применение метанола на дымность отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91).С. 445–448.
29. Скрябин, М.Л. Влияние применения метанола с двойной системой топливоподачи в дизеле 2Ч 10,5/12,0 на показатели процесса сгорания и показатели сажесодержания // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 442–445.
30. 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.
31. 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.
32. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 320–323.
33. Скрябин, М.Л. Особенности расчета констант скорости реакций термической диссоциации в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 303–306.
34. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Санкт-Петербург, 1999.
35. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Киров, 1999.
36. Лиханов, В. А., Фоминых А. В., Копчиков В. Н. Работа дизеля на метаноле и рапсовом масле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 1. с. 3–5.
37. Лиханов, В. А., Копчиков В. Н., Фоминых А. В. Влияние углов опережения метанола и метилового эфира рапсового масла на образование оксидов азота в цилиндре дизеля // Транспорт на альтернативном топливе. 2015. № 3 (45). с. 51–54.
38. Лиханов, В. А., Полевщиков А. С. Определение оптимальных углов опережения впрыскивания топлив при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 5 (41). с. 62–64.
39. Лиханов, В. А., Полевщиков А. С. Особенности развития топливных факелов в цилиндре дизеля при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 1 (31). с. 62–65.
40. Исследование рабочих процессов в цилиндре газодизеля 4Ч 11,0/12,5. Монография / В. А. Лиханов [и др.]; под общ. ред. В. А. Лиханова. Киров, 2004.

## Регулировочные характеристики процесса сгорания газодизеля на номинальном режиме работы

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

На рис. 1 представлены показатели процесса сгорания дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения установочного угла опережения впрыскивания топлива (УОВТ) для номинальной частоты вращения ( $n=2200 \text{ мин}^{-1}$ ) [1–6].

Из графиков видно, что при работе по газодизельному процессу с РОГ снижается максимальное давление газов в цилиндре, жесткость процесса сгорания и незначительно увеличивается угол, соответствующий периоду задержки

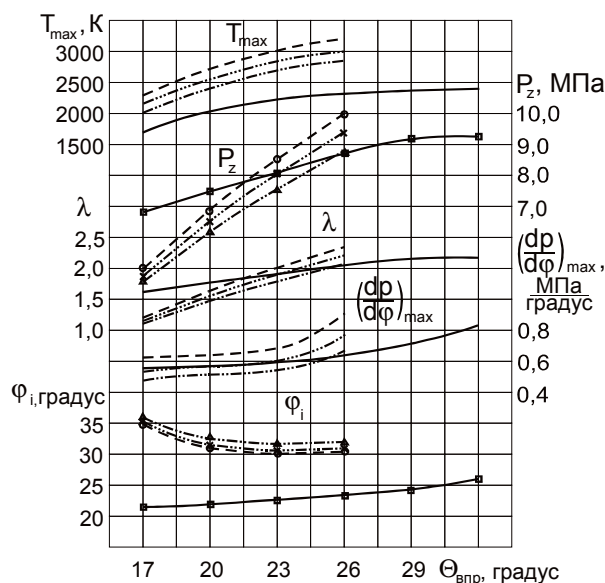


Рис. 1. Влияние применения рециркуляции отработавших газов (РОГ) на показатели процесса сгорания дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на природном газе в зависимости от изменения установочного угла опережения впрыскивания топлива при  $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ :  $\square$  — дизельный процесс;  $\circ$  — газодизельный процесс;  $\times$  — рециркуляция 10%;  $\triangle$  — рециркуляция 20%

воспламенения [7–15]. При установочном УОВТ 23 градуса максимальное давление в цилиндре при газодизельном процессе составляет 8,5 МПа, при газодизельном процессе с 10%-ной РОГ — 8,2 МПа, что на 3,5% ниже газодизельного и всего на 1,2% отличается от дизельного процесса [16–24]. Жесткость процесса сгорания при УОВТ 23 градуса при газодизельном процессе с 10%-ной РОГ составляет 0,60 МПа/град, что на 15,5% ниже газодизельного процесса и на 36,8% ниже, чем при работе с 10%-ной РОГ при УОВТ 26 градусов. Таким образом, по показателям процесса сгорания необходимо для газодизельного процесса с РОГ устанавливать УОВТ  $\Theta_{впр} = 23$  градуса, вместо 26 градусов при дизельном процессе [25–33].

Подводя итоги, можно отметить, что уменьшение показателей процесса сгорания при работе дизеля на природном газе с РОГ объясняется, в первую очередь, ограниченностью коэффициента избытка воздуха, что приводит к увеличению угла, соответствующего периоду задержки воспламенения, т.е. процесс сгорания протекает за меньший период времени и менее интенсивно, что в свою очередь будет препятствовать окислению азота метано-воздушной смеси в условиях недостатка кислорода, замедлять процесс образования оксидов азота в цилиндре и соответственно снижать содержание оксидов азота в ОГ дизеля [34–38].

#### Литература:

1. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226–229.
2. Анфилатов, А. А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229–232.
3. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 232–235.
4. 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.
5. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 238–241.
6. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальное давление сгорания в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 117–120.
7. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальную осредненную температуру цикла в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 120–123.
8. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.

9. Анфилатов, А. А. Изменение объемного содержания оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 125–128.
10. Анфилатов, А. А. Индицирование тепловыделения в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 128–131.
11. Анфилатов, А. А. Обработка полученных результатов исследований дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 134–136.
12. Анфилатов, А. А. Объемное содержание оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 136–139.
13. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на мощностные и экономические показатели дизеля // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 73–76.
14. Анфилатов, А. А. Изменение массовой концентрации оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 76–79.
15. Анфилатов, А. А. Изменение мощностных и экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 79–82.
16. Анфилатов, А. А. Массовая концентрация оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 82–85.
17. Анфилатов, А. А. Мощностные и экономические показатели дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 85–87.
18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. 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.
24. Скрябин, М. Л. Снижение дымности отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 430–433.
25. 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.
26. Скрябин, М. Л. Влияние установочного угла опережения впрыскивания топлива на токсичность отработавших газов дизеля 4ЧН 11,0/12,5 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 436–439.
27. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на содержание оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 439–442.
28. Скрябин, М. Л. Влияние применение метанола на дымность отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 445–448.
29. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола с двойной системой топливopодачи в дизеле 2Ч 10,5/12,0 на показатели процесса сгорания и показатели сажеcодержания // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 442–445.
30. 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.
31. 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.
32. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 320–323.
33. Скрябин, М. Л. Особенности расчета констант скорости реакций термической диссоциации в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 303–306.

34. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Санкт-Петербург, 1999.
35. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Киров, 1999.
36. Лиханов, В. А., Фоминых А. В., Копчиков В. Н. Работа дизеля на метаноле и рапсовом масле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 1. с. 3–5.
37. Лиханов, В. А., Копчиков В. Н., Фоминых А. В. Влияние углов опережения метанола и метилового эфира рапсового масла на образование оксидов азота в цилиндре дизеля // Транспорт на альтернативном топливе. 2015. № 3 (45). с. 51–54.
38. Исследование рабочих процессов в цилиндре газодизеля 4Ч 11,0/12,5. Монография / В. А. Лиханов [и др.]; под общ. ред. В. А. Лиханова. Киров, 2004.

## Исследование характеристик тепловыделения и содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе с рециркуляцией

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

Характеристики тепловыделения и содержание оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 при установочных углах опережения впрыскивания топлива (УОВТ) 23 и 26 градусов и частоте вращения 2200 мин<sup>-1</sup> в зависимости от изменения степени рециркуляции отработавших газов (РОГ) представлены на рис. 1 [1–6].

Из графиков следует, что с увеличением степени РОГ происходит снижение содержания оксидов азота в цилиндре двигателя, увеличение угла при максимальной температуре цикла [7–14]. Значения активного тепловыделения при максимальной температуре цикла, при максимальном давлении газов и скорости активного тепловыделения при номинальной ( $p_c = 0,63$  МПа) и максимальных нагрузках при работе с 10%-ной РОГ уменьшаются, а при дальнейшем увеличении степени РОГ увеличиваются [15–23]. При средних нагрузках ( $p_c = 0,51$  МПа) уменьшение происходит в примерно до 20%-ной степени РОГ, а затем кривые активного тепловыделения при максимальной температуре цикла, при максимальном давлении газов и скорости активного тепловыделения возрастают [24–32]. Так, при работе с 20%-ной РОГ при

$\Theta_{впр} = 23$  градуса и  $p_c = 0,51$  МПа происходит снижение содержания оксидов азота в цилиндре на 42,9%, активного тепловыделения при максимальном давлении газов на 2,9%, активного тепловыделения при максимальной температуре цикла на 2,6%, скорости активного тепловыделения на 10,9%, увеличение угла при максимальной температуре цикла на 2 градуса п.к.в. При работе с 40%-ной РОГ при  $\Theta_{впр} = 23$  градуса и  $p_c = 0,63$  МПа происходит снижение содержания оксидов азота в цилиндре на 76,0%, увеличение активного тепловыделения при максимальном давлении газов на 2,9%, активного тепловыделения при максимальной температуре цикла на 2,8%, скорости активного тепловыделения на 11,4%, увеличение угла при максимальной температуре цикла на 6 градуса п.к.в.

Рассматривая характеристики тепловыделения и содержание оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 при установочных углах опережения впрыскивания топлива 23 и 26 градусов и частоте вращения 1700 мин<sup>-1</sup> в зависимости от изменения степени РОГ необходимо отметить, что характер протекания кривых при  $n = 1700$  мин<sup>-1</sup> сохраняется [33–40].

### Литература:

1. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226–229.
2. Анфилатов, А. А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229–232.
3. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 232–235.
4. 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.



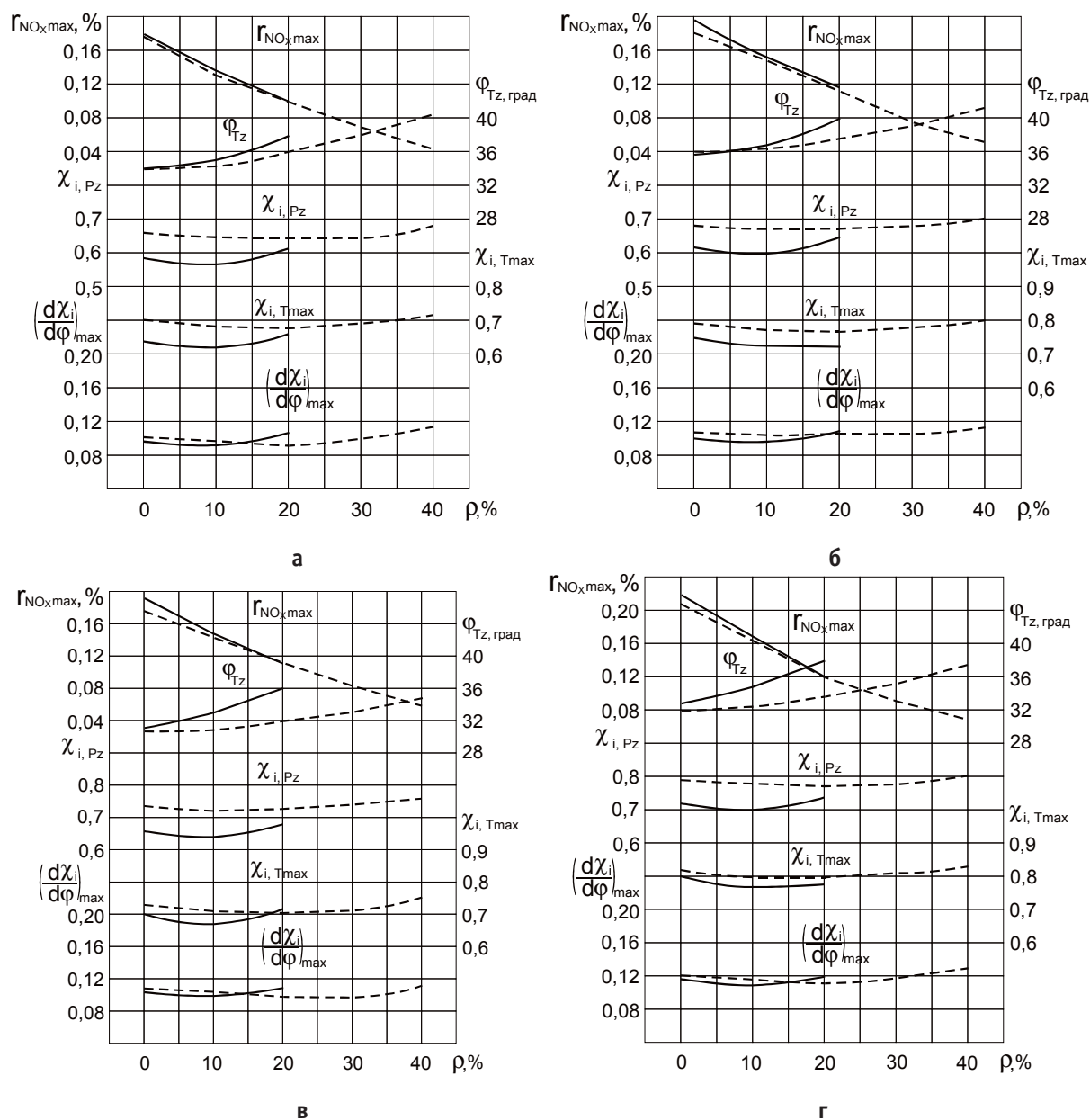


Рис. 1. Характеристики тепловыделения и содержание оксидов азота в цилиндре дизеля 4С 11,0/12,5 в зависимости от изменения степени РОГ: а —  $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ ;  $\Theta_{\text{впр}} = 23$  градуса; — — —  $p_e = 0,63 \text{ МПа}$ ; б —  $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ ;  $\Theta_{\text{впр}} = 26$  градусов; — — —  $p_e = 0,63 \text{ МПа}$ ; в —  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ ;  $\Theta_{\text{впр}} = 23$  градуса; — — —  $p_e = 0,69 \text{ МПа}$ ; г —  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ ;  $\Theta_{\text{впр}} = 26$  градусов; — — —  $p_e = 0,69 \text{ МПа}$ ; - - - -  $p_e = 0,51 \text{ МПа}$

5. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 238–241.
6. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальное давление сгорания в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 117–120.
7. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальную осредненную температуру цикла в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 120–123.
8. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
9. Анфилатов, А. А. Изменение объемного содержания оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 125–128.
10. Анфилатов, А. А. Индексирование тепловыделения в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 128–131.
11. Анфилатов, А. А. Обработка полученных результатов исследований дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 134–136.

12. Анфилатов, А. А. Объемное содержание оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 136–139.
13. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на мощностные и экономические показатели дизеля // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 73–76.
14. Анфилатов, А. А. Изменение массовой концентрации оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 76–79.
15. Анфилатов, А. А. Изменение мощностных и экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 79–82.
16. Анфилатов, А. А. Массовая концентрация оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 82–85.
17. Анфилатов, А. А. Мощностные и экономические показатели дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 85–87.
18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. 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.
24. Скрябин, М. Л. Снижение дымности отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 430–433.
25. 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.
26. Скрябин, М. Л. Влияние установочного угла опережения впрыскивания топлива на токсичность отработавших газов дизеля 4ЧН 11,0/12,5 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 436–439.
27. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на содержание оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 439–442.
28. Скрябин, М. Л. Влияние применение метанола на дымность отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 445–448.
29. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола с двойной системой топливоподачи в дизеле 2Ч 10,5/12,0 на показатели процесса сгорания и показатели сажесодержания // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 442–445.
30. 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.
31. 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.
32. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 320–323.
33. Скрябин, М. Л. Особенности расчета констант скорости реакций термической диссоциации в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 303–306.
34. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Санкт-Петербург, 1999.
35. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Киров, 1999.

36. Лиханов, В. А., Фоминых А. В., Копчиков В. Н. Работа дизеля на метаноле и рапсовом масле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 1. с. 3–5.
37. Лиханов, В. А., Копчиков В. Н., Фоминых А. В. Влияние углов опережения метанола и метилового эфира рапсового масла на образование оксидов азота в цилиндре дизеля // Транспорт на альтернативном топливе. 2015. № 3 (45). с. 51–54.
38. Лиханов, В. А., Полевщиков А. С. Определение оптимальных углов опережения впрыскивания топлив при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 5 (41). с. 62–64.
39. Лиханов, В. А., Полевщиков А. С. Особенности развития топливных факелов в цилиндре дизеля при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 1 (31). с. 62–65.
40. Исследование рабочих процессов в цилиндре газодизеля 4Ч 11,0/12,5. Монография / В. А. Лиханов [и др.]; под общ. ред. В. А. Лиханова. Киров, 2004.

## Эффективные нагрузочные характеристики газодизеля при работе с рециркуляцией на режиме максимального крутящего момента

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

Зависимости эффективных показателей работы газодизеля 4Ч 11,0/12,5 по дизельному, газодизельному и газодизельному с рециркуляцией отработавших газов (РОГ) процессам на углах опережения впрыскивания топлива (УОВТ) 23 (оптимальном для газодизельного процесса) и 26 (оптимальном для дизельного процесса) градусов в зависимости от изменения нагрузки представлены на рис. 1 [1–9].

При работе на газодизельном с РОГ процессе возрастает удельный эффективный расход топлива [10–16]. При малом эффективном давлении в диапазоне изменения нагрузки от 0,13 до 0,26 МПа удельный эффективный расход топлива при работе с 40%-ной РОГ возрастает на 4,0...8,0%. При работе с 20%-ной РОГ на больших нагрузках при  $p_e = 0,69$  МПа  $g_e$  выше на 7,1%, а снижение степени рециркуляции до 10% приводит к росту

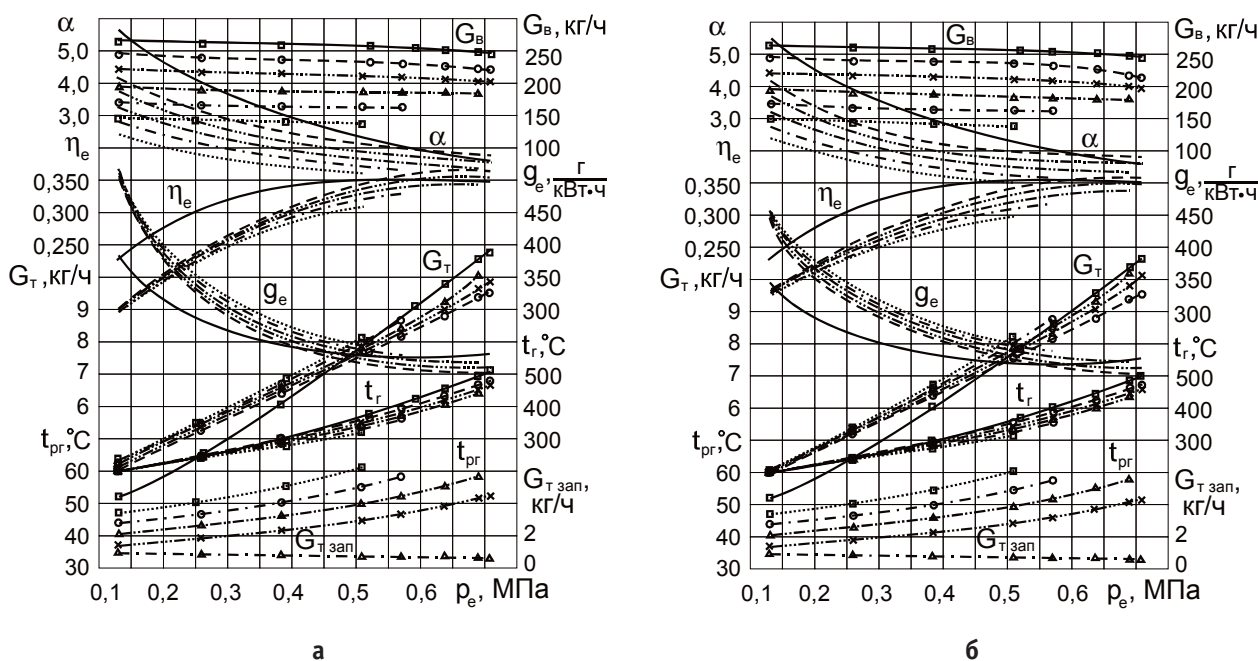


Рис. 1. Влияние применения природного газа и РОГ на эффективные показатели работы дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки при  $n = 1700$  мин<sup>-1</sup>: а —  $\Theta_{впр} = 23^\circ$ ; б —  $\Theta_{впр} = 26^\circ$ ;  $\square$  — дизельный процесс;  $\circ$  — газодизельный процесс;  $\star$  — рециркуляция 10%;  $\triangle$  — рециркуляция 20%;  $\circ$  — рециркуляция 30%;  $\square$  — рециркуляция 40%;  $\triangle$  — расход запального ДТ

$g_c$  на 3,5% относительно газодизельного процесса, что на 12,4% ниже дизельного процесса. Эффективный кпд при работе на газе с 10%-ной РОГ на больших нагрузках при  $p_c = 0,69$  МПа меньше на 3,5% чисто газодизельного процесса. Температура ОГ при работе с РОГ снижается незначительно [17–26]. Расход воздуха снижается пропорционально увеличению степени РОГ. Температура рециркулируемых ОГ увеличивается с увеличением степени рециркуляции и во всём диапазоне изменения нагрузок при степени рециркуляции  $\rho = 40\%$  не превышает  $62^\circ\text{C}$  [27–34].

Закономерности изменения эффективных показателей в зависимости от нагрузки аналогичны зависимостям при установочном УОВТ  $23^\circ$  [35, 36]. При работе по газодизельному с РОГ процессу происходит также рост удельного эффективного расхода топлива и снижение эффективного кпд, кривые  $\eta_c$  лежат несколько ниже аналогичных кривых при  $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$ . Температура рециркулируемых ОГ во всём диапазоне изменения нагрузок при степени рециркуляции  $\rho = 40\%$  не превышает  $61^\circ\text{C}$ .

#### Литература:

1. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226–229.
2. Анфилатов, А. А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229–232.
3. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 232–235.
4. 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.
5. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 238–241.
6. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальное давление сгорания в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 117–120.
7. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальную осредненную температуру цикла в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 120–123.
8. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
9. Анфилатов, А. А. Изменение объемного содержания оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 125–128.
10. Анфилатов, А. А. Индексирование тепловыделения в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 128–131.
11. Анфилатов, А. А. Обработка полученных результатов исследований дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 134–136.
12. Анфилатов, А. А. Объемное содержание оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 136–139.
13. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на мощностные и экономические показатели дизеля // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 73–76.
14. Анфилатов, А. А. Изменение массовой концентрации оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 76–79.
15. Анфилатов, А. А. Изменение мощностных и экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 79–82.
16. Анфилатов, А. А. Массовая концентрация оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 82–85.
17. Анфилатов, А. А. Мощностные и экономические показатели дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 85–87.
18. 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.
19. 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.
20. 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.



21. 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.
22. Скрябин, М.Л. Исследование мощностных и экономических показателей газодизеля с промежуточным охлаждением надувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 59–62.
23. Скрябин, М.Л. Влияние угла опережения впрыскивания топлива на экологические показатели газодизеля с промежуточным охлаждением надувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 62–65.
24. Скрябин, М.Л. Снижение дымности отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 430–433.
25. 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.
26. Скрябин, М.Л. Влияние установочного угла опережения впрыскивания топлива на токсичность отработавших газов дизеля 4ЧН 11,0/12,5 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 436–439.
27. Скрябин, М.Л. Влияние применения метано-топливной эмульсии на содержание оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 439–442.
28. Скрябин, М.Л. Влияние применение метанола на дымность отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 445–448.
29. Скрябин, М.Л. Влияние применения метанола с двойной системой топливоподачи в дизеле 2Ч 10,5/12,0 на показатели процесса сгорания и показатели сажеосодержания // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 442–445.
30. 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.
31. 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.
32. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 320–323.
33. Скрябин, М.Л. Особенности расчета констант скорости реакций термической диссоциации в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 303–306.
34. Лиханов, В.А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Санкт-Петербург, 1999.
35. Лиханов, В.А., Фоминых А.В., Копчиков В.Н. Работа дизеля на метаноле и рапсовом масле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 1. с. 3–5.
36. Исследование рабочих процессов в цилиндре газодизеля 4Ч 11,0/12,5. Монография / В.А. Лиханов [и др.]; под общ. ред. В.А. Лиханова. Киров, 2004.

## Исследование динамики образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом при УОВТ 14 градусов до ВМТ

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

Графики объемного содержания, массовой концентрации оксидов азота, осредненной температуры и давления газов в цилиндре дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла поворота коленчатого вала при работе по дизельному и газодизельному процессам для номинальной частоты вращения (2400 мин<sup>-1</sup>) и частоты вращения при максимальном крутящем моменте (1900 мин<sup>-1</sup>) и установочном угле опере-

жения впрыскивания топлива (УОВТ)  $\Theta_{\text{впр}} = 14^\circ$  представлены на рис. 1 [1–9].

Рассматривая номинальную частоту вращения ( $n=2400$  мин<sup>-1</sup>) можно отметить, что максимальные значения объемного содержания и массовой концентрации оксидов азота в цилиндре следуют сразу за максимальной температурой цикла, значительно превышают концентрацию оксидов азота в ОГ и увеличиваются с увеличе-

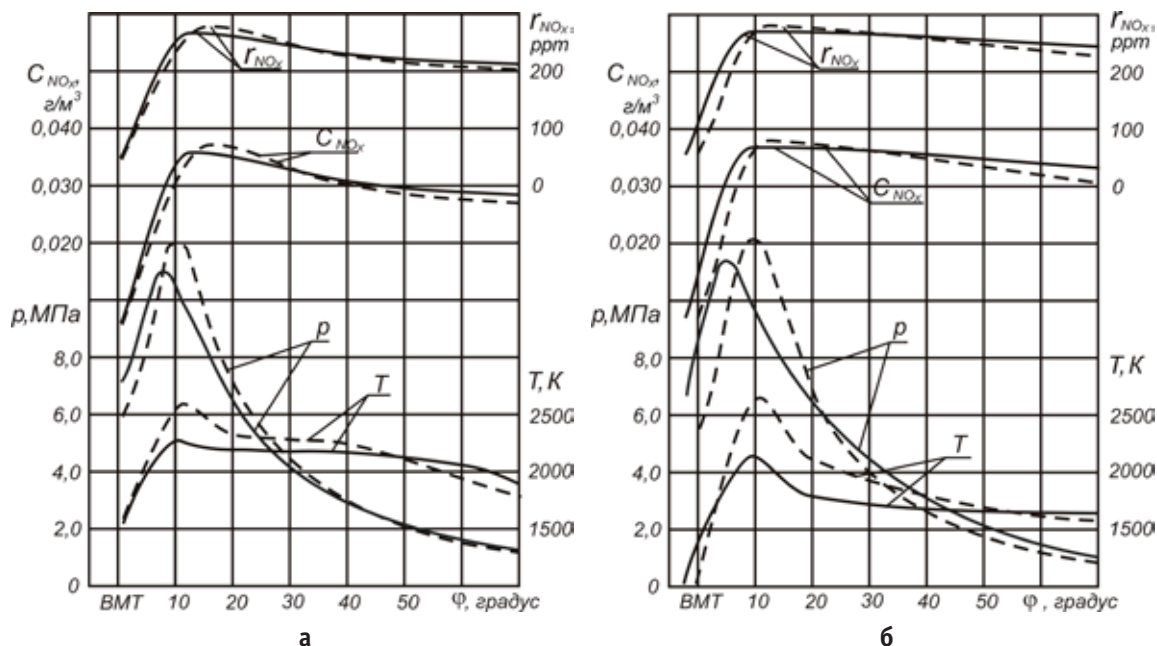


Рис. 1. Влияние применения природного газа на показатели процесса сгорания, объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в цилиндре дизеля с турбонаддувом 4CH 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла поворота коленчатого вала двигателя при  $\Theta_{\text{впр}} = 14^\circ$ : а —  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ ; б —  $n = 1900 \text{ мин}^{-1}$ ; — — — — дизельный процесс; - - - - газодизельный процесс

нием максимальной температуры цикла [10–17]. Так, при  $\Theta_{\text{впр}} = 14$  градусов и  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$  при работе по газодизельному процессу максимальное объемное содержание оксидов азота в цилиндре составляет 280 ppm, что выше содержания оксидов азота при работе по дизельному процессу на 4% и на 38% выше содержания оксидов азота в ОГ газодизеля на этом же режиме.

Максимальное значение объемного содержания оксидов азота при работе по дизельному процессу составляет 270 ppm; при этом же значении угла поворота коленчатого вала двигателя объемное содержание оксидов азота при работе по газодизельному процессу составляет 265 ppm, что ниже на 2% дизельного процесса [18–24]. Максимальное значение массового содержания оксидов азота при работе по дизельному процессу составляет  $0,0355 \text{ г/м}^3$ ; при этом же значении угла поворота коленчатого вала двигателя массовое содержание оксидов азота при работе по газодизельному процессу составляет  $0,0350 \text{ г/м}^3$ , что ниже на 2% дизельного процесса [25–32].

Рассматривая частоту вращения при максимальном крутящем моменте ( $n=1900 \text{ мин}^{-1}$ ) можно отметить, что максимальные значения объемного содержания и мас-

совой концентрации оксидов азота в цилиндре следуют также сразу за максимальной температурой цикла, значительно превышают концентрацию оксидов азота в ОГ и увеличиваются с увеличением максимальной температуры цикла [33–40]. Так, при  $\Theta_{\text{впр}} = 14^\circ$  и  $n = 1900 \text{ мин}^{-1}$  при работе по газодизельному процессу максимальное объемное содержание оксидов азота в цилиндре составляет 282 ppm, что выше содержания оксидов азота в цилиндре при работе по дизельному процессу на 4% и на 30% выше содержания оксидов азота в ОГ газодизеля на этом же режиме. Максимальное значение объемного содержания оксидов азота при работе по дизельному процессу составляет 273 ppm; при этом же значении угла поворота коленчатого вала двигателя объемное содержание оксидов азота при работе по газодизельному процессу составляет 268 ppm, что ниже на 2% дизельного процесса.

Максимальное значение массового содержания оксидов азота при работе по дизельному процессу составляет  $0,0363 \text{ г/м}^3$ ; при этом же значении угла поворота коленчатого вала двигателя массовое содержание оксидов азота при работе по газодизельному процессу составляет  $0,0363 \text{ г/м}^3$ , что ниже на 2% дизельного процесса.

#### Литература:

1. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226–229.
2. Анфилатов, А. А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229–232.
3. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 232–235.

4. 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.
5. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 238–241.
6. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальное давление сгорания в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 117–120.
7. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальную осредненную температуру цикла в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 120–123.
8. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
9. Анфилатов, А. А. Изменение объемного содержания оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 125–128.
10. Анфилатов, А. А. Индексирование тепловыделения в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 128–131.
11. Анфилатов, А. А. Обработка полученных результатов исследований дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 134–136.
12. Анфилатов, А. А. Объемное содержание оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 136–139.
13. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на мощностные и экономические показатели дизеля // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 73–76.
14. Анфилатов, А. А. Изменение массовой концентрации оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 76–79.
15. Анфилатов, А. А. Изменение мощностных и экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 79–82.
16. Анфилатов, А. А. Массовая концентрация оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 82–85.
17. Анфилатов, А. А. Мощностные и экономические показатели дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 85–87.
18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. 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.
24. Скрябин, М. Л. Снижение дымности отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 430–433.
25. 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.
26. Скрябин, М. Л. Влияние установочного угла опережения впрыскивания топлива на токсичность отработавших газов дизеля 4ЧН 11,0/12,5 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 436–439.
27. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на содержание оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 439–442.
28. Скрябин, М. Л. Влияние применение метанола на дымность отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 445–448.

29. Скрябин, М.Л. Влияние применения метанола с двойной системой топливopодачи в дизеле 2Ч 10,5/12,0 на показатели процесса сгорания и показатели сажеcодержания // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 442–445.
30. 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.
31. 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.
32. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 320–323.
33. Скрябин, М.Л. Особенности расчета констант скорости реакций термической диссоциации в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 303–306.
34. Лиханов, В.А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Санкт-Петербург, 1999.
35. Лиханов, В.А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Киров, 1999.
36. Лиханов, В.А., Фоминых А.В., Копчиков В.Н. Работа дизеля на метаноле и рапсовом масле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 1. с. 3–5.
37. Лиханов, В.А., Копчиков В.Н., Фоминых А.В. Влияние углов опережения метанола и метилового эфира рапсового масла на образование оксидов азота в цилиндре дизеля // Транспорт на альтернативном топливе. 2015. № 3 (45). с. 51–54.
38. Лиханов, В.А., Полевщиков А.С. Определение оптимальных углов опережения впрыскивания топлив при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 5 (41). с. 62–64.
39. Лиханов, В.А., Полевщиков А.С. Особенности развития топливных факелов в цилиндре дизеля при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 1 (31). с. 62–65.
40. Исследование рабочих процессов в цилиндре газодизеля 4Ч 11,0/12,5. Монография / В.А. Лиханов [и др.]; под общ. ред. В.А. Лиханова. Киров, 2004.

## Некоторые аспекты теории нейронных систем

Мелихова Оксана Аскольдовна, кандидат технических наук, доцент;

Григораш Андрей Сергеевич, аспирант;

Джамбинов Сергей Владимирович, студент;

Чумичев Владимир Сергеевич, студент;

Гайдуков Анатолий Борисович, студент

Южный федеральный университет (г. Таганрог)

В настоящее время при моделировании различных объектов широко используются такие направления науки, как нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы — так называемые современные вычислительные технологии. В данной работе рассмотрим прикладные возможности одного из этих направлений — нейронные сети. Искусственные нейронные сети строятся на основе знаний о функционировании нервной системы живых организмов. То есть сетевые конфигурации и алгоритмы строятся как аналоги процессов, происходящих в живых нервных системах. При этом ученым часто приходится выходить за пределы современных знаний биологии в поисках структур, которые смогут выполнять нужные и важные функции задаваемой информационной системой на должном уровне [2,4,9]. Поэтому иногда приходится отказываться от свойства правдоподобия, но даже при таком подходе состоят из

элементов которые аналогичны большинству элементарных функций биологического нейрона (они могут организоваться по способу нашего мозга, или не могут, это выбирают создатели). Хотя нейронные сети и похоже на наш мозг (хотя скорей это только внешнее подобие), но они демонстрируют удивительное число свойств присущих нашему мозгу [1,3]. Например, нейронные сети могут обучаться за счет поступления информации, обучаются на случаях, которые уже происходили в них. В нейронных сетях можно выделить несколько плюсов, которых нету в других системах [7,8,5].

1. Обучение — то есть нейронные сети могут менять своё поведение в зависимости от условий внешней среды. После предъявления входных сигналов, нейронные сети самонастраиваются, чтобы обеспечить необходимую реакцию. В настоящий момент разработано множество обучающих алгоритмов.



2. Обобщение — то есть сеть может пренебрегать небольшими изменениями входных сигналов. Эта способность позволяет видеть сквозь искажения информации. Она необходима для распознавания образов в реальном мире. Так же она помогает преодолеть требование к строгой точности, которая так необходима простым компьютерам. Важно отметить, что нейронная сеть делает обобщение сама, а не с помощью программ, так называемого «человеческого интеллекта».

3. Абстрагирование — позволяет извлекать сущность из входных сигналов, и создавать что-то новое. Например, в сигнале искажена буква «Т», так после определенного обучения, нейронная сеть породит букву совершенной формы, то есть она научится создавать то, что никогда не видела.

4. Применимость — нейронная сеть не годится для выполнения «мелких задач», но им будут отдавать предпочтение в большом классе задач по распознаванию образов, с которыми плохо справляются обычные компьютеры.

Рассмотрим нейрон с точки зрения биологии человека. Нервная система человека, построенная из элементов, называемых нейронами, имеет очень большую сложность. Приблизительно  $10^{11}$  нейронов участвуют в  $10^{15}$  связях [4,9]. Каждый нейрон обладает огромным количеством функций, свойств, а также качествами, общими с другими элементами тела, но его уникальным свойством можно считать прием, обработку и передачу информации по нервным путям.

Искусственный нейрон имитирует приближенную копию биологического нейрона. На вход искусственного нейрона поступает сигнал, который является выходом другого нейрона. Искусственные нейронные сети можно разделить на два вида: однослойные и многослойные ис-

кусственные нейронные сети [5,6]. Бывает самое разнообразное количество нейронных сетей, но большинство из них подчиняется одной конфигурации. Входной сигнал умножается на вес ребра, по которому идет, и поступает в суммирующий блок.

Однослойная нейронная сеть представляет собой сеть из определенной группы нейронов. Сеть состоит из определенных точек, которые помогают в распределении сигналов, а также с вычислительными нейронами, которые считаются слоем (то есть распределители не считаются слоем, скорее они помогают в создании сети и распределении ресурсов сети). Любая нейронная сеть может быть представлена в виде графа. (рисунок 1)

Вычислительные нейроны на рисунке 1 представлены в виде квадратов, когда распределительные элементы имеют вид кружков. В данном примере каждая точка распределения имеет связь с каждым вычислительным нейроном. Можно сказать, что данный пример является эталонным, так как обычно не все распределительные точки имеют связь с каждым вычислительным нейроном. В жизни нейронные сети представляют собой не полный граф, то есть некоторые связи могут отсутствовать. Каждое ребро записывается двумя значениями:  $m$  — номером вычислительного нейрона и  $n$  — номером выхода. То есть вычислительная мощность считается по матрице.

Многослойная искусственная нейронная сеть представляет собой более сложную структуру, которая обладает более высокой вычислительной мощностью и вычислительными возможностями. Многослойные нейронные сети построены из определенных отделов мозга. Многослойные нейронные сети могут создаваться с помощью нескольких слоев, то есть выход из одного слоя является входом для следующего. (рисунок 2)

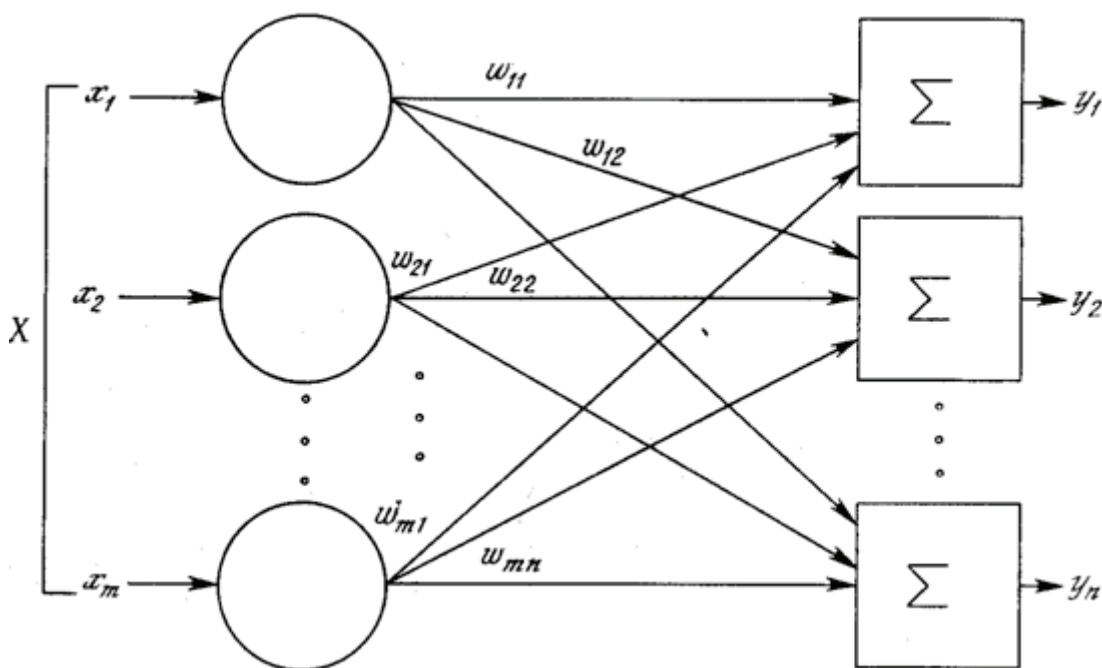


Рис. 1. Однослойная нейронная сеть

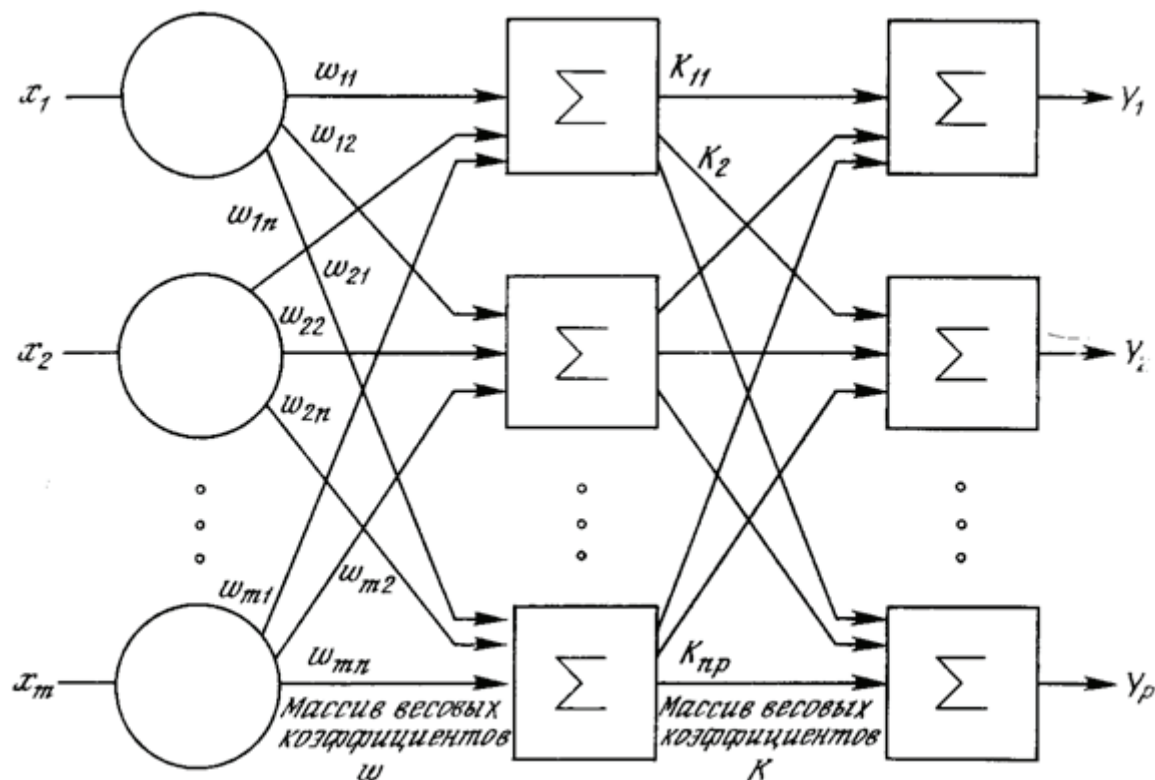


Рис. 2. Многослойная нейронная сеть

На рисунке 2 представлена многослойная нейронная сеть эталонного вида, то есть со всеми связями.

Как уже ранее говорилось, любая нейронная сеть может обучаться, но делает это она с помощью специализированных программ. Сейчас для обучения нейронной сети нужно решить огромное количество различных проблем, чтобы узнать на правильном пути мы находимся или нет, но уже есть так называемая «говорящая сеть» Сейновского, которая позволяет решить большинство из этих проблем [5,7,8,9].

Целью обучения является научить нейронную сеть выдавать необходимое количества выходов при некотором множестве входов. Сейчас существует два подхода обучения нейронных сетей: первый представляет собой обучение без учителя, второй с учителем. Обучение с учителем предполагает, что для каждого входного вектора существует целевой вектор, который направляется на необходимый выход. Вместе они называются обучающей парой. Нейронная сеть обучается на нескольких таких парах, а не на одной. В основном обучение происходит по одной стандартной схеме. Выходной вектор проходит по сети, вычисляется выход сети и сравнивается со значением выходного вектора обучающего вектора, разность с помощью обратной связи возвращается в сеть и вес ребер меняется в соответствии с алгоритмом, который стремится минимизировать ошибку [2,5,7,9]. Каждый обучающий вектор используется последовательно, после чего вычисляется разность и веса подстраиваются для каждого вектора, пока разность по массиву не достигнет

низкого уровня. Обучение с учителем часто критикуют за биологическую неправдоподобие.

В свою очередь обучение без учителя является более правдивой моделью обучения. Она была разработана Кохоненом [7,8,9]. В обучении без учителя нет сравнения выходных данных с идеальными выходными данными, которые заложены в системе обучения. В обучении используются только входные данные, то есть обучающие алгоритмы подстраивают веса сети так, чтобы входные и выходные вектора были близки. Обучающая программа с помощью статистических методов группирует векторы в классы. То есть входной вектор из определенного класса даст определенный векторный выход. До обучения нельзя предсказать какой выход будет у определенного входного вектора, но после трансформации нейронной сети в определенную форму, которая создается процессом обучения, это перестало быть недостатком этого метода, а идентифицировать связь между входом и выходом обычно не составляет труда.

Большинство алгоритмов обучения произошло из концепции Хейбба [3,5,7,9]. Им была предложена модель обучения без учителя, в которой все ребра возрастают, если источник и приемник активированы. То есть часто используемые пути в сети усиливаются через повторения пути.

Свой метод, или точнее было сказать гипотезу (потому что изначально его метод обучения являлся гипотезой), Хейбб выдвинул на основе физических и психологических исследований, которая говорит свою о том, как обучается набор биологических нейронов [3,6,9]. Его те-

ория имела только локальное взаимодействие между нейронами. Предполагалось, что обучения будет неконтролируемым (отсутствие глобального учителя). Хотя его гипотеза не имеет математического анализа, она получила статус универсальных допущений. Нейронные сети, использующие обучение по Хеббу, развивались на протяжении долгого времени, но сейчас уже создаются более действующие (эффективные) методы обучения, такие как метод обучения Уидроу-Хоффа, самоорганизация, обучение персептрона.

Обучение персептрона [1,4,8]. Данную модель разработал Разенблатт в 1957 году. Она вызвала огромный интерес у исследователей. Обучение персептрона представляет собой классический способ обучения с учителем, то есть на множестве входов генерируются значения, которые не превышают 0 и 1, и алгоритм вырабатывает путь обучения. После обучения сеть получает на входе набор непрерывных входов и вырабатывает требуемый выход в виде вектора.

Метод обучения Уидроу-Хоффа [2,5,9]. Этот метод обучения строится на алгоритме обучения персептрона, действует также, как метод персептрона, с одним изменением. В данном методе используются непрерывные сигналы, вместо бинарных. То есть, если в предыдущем методе обучения ошибки вычислялись бинарными сигналами, то в этом методе они непрерывные.

Самоорганизация, или алгоритмы Кохонена строятся на исследованиях самоорганизующихся структурах, которые используются для распознавания личности [3,6]. Алгоритмы Кохонена основываются на методе обучения без учителя. После обучения подача входного вектора из определенного класса будет приводить к возбуждению уровня в каждом выходном нейроне. Такой метод обучения проводится без вектора, то есть определить к какому классу нейрон будет относиться заранее невозможно. Перед обучением каждый компонент вектора получает случайную величину, а затем каждый вектор нормализуется в вектор с единичной длиной.

#### Литература:

1. Барский, А. Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений. — М.: Финансы и статистика, 2004. — 176 с.
2. Осовский, С. Нейронные сети для обработки информации / Пер. с польского И. Д. Рудинского. — М.: Финансы и статистика, 2002. — 344с.
3. Каллан Роберт. Основные концепции нейронных сетей: Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2001
4. Комарцова, Л. Г., Максимов А. В. Нейрокомпьютеры: Учеб. пособие для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. — 400с.
5. Рутковская, Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польск. И. Д. Рудинского — М.: Горячая линия-Телеком, 2006—452с.
6. Kureychik, V. V. Melikhova O. A. Gaydukov A. B. Chumichev V. S. Dzhambinov S. V. Bukach S. A. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Innovative technologies in science, Vol. I (February 21—22, 2015, Dubai, UAE)». — Dubai.: Rost Publishing, 2015. — P. 57—67.
7. Мелихова, О. А., Чумичев В. С., Джамбинов С. В., Гайдуков А. Б. Некоторые аспекты криптографического взлома и повышения надежности алгоритмов шифрования// Молодой ученный. — Казань, № 11 (91), 2015. — с. 392—394
8. Мелихова, О. А. Приложение матлогик к проблемам моделирования// Известия ЮФУ. Технические науки. — Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2014. № 7 (156). — С.204—214.
9. Уоссермен, Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика. М.: Мир, 1992—184с.

## Влияние состава наполнителей на свойства полимерных композиционных материалов

Мельниченко Максим Андреевич, студент;  
Ершова Ольга Викторовна, преподаватель;  
Чупрова Лариса Васильевна, преподаватель

Магнитогорский государственный технический университет имени Г. И. Носова

*В статье рассматривается влияние наполнителей на свойства композиционных материалов. Показано, что свойства наполненных полимерных композитов определяются характеристиками полимерной матрицы, дисперсного наполнителя и их взаимодействием на границе раздела. Отмечено, что содержание наполнителей в полимерном композите должно быть оптимальным как с точки зрения возможности его перера-*

ботки, так и с точки зрения его влияния на эксплуатационные характеристики. При содержании наполнителя выше оптимального многие свойства композита ухудшаются.

**Ключевые слова:** полимеры, полимерные отходы, композиционные материалы, полимерная матрица, наполнители.

Сегодня производится примерно 150 видов пластиков. 30% от этого числа представляют смеси разных полимеров. Практика последних десятилетий показала, что сформировался рынок полимеров крупнотоннажного производства. В связи с этим возникает проблема переработки отходов полимерных материалов, и она обретает актуальное значение не только с позиций охраны окружающей среды, но и с экономических позиций [1–5].

В общей массе полимерных отходов основной удельный вес занимает полиэтилентерефталат — 25%, затем полиэтилен высокой плотности и низкой плотности (ПЭВП, ПЭНП) — по 15%, полипропилен (ПП) — 13%, полистирол (ПС) — 6%, поливинилхлорид (ПВХ) — 5% и прочие полимеры, использование которых пока ограничено — 21%.

Одним из направлений использования полимерных отходов является создание композиционных материалов с использованием различных наполнителей, в том числе и техногенных отходов (зола уноса ТЭС и шлак металлургических предприятий) [6–8]. Из всех пластиков общего назначения на первое место сегодня выходят полипропилен, полиэтилентерефталат и полиэтилен. Причем полипропилен потеснил все другие полиолефины благодаря разнообразию смесей, сплавов и композитов на его основе [9].

На кафедре химии на протяжении нескольких лет проводится экспериментальная работа по созданию различных полимерных композитов и исследованию их свойств. В качестве наполнителей были использованы мел, тальк, древесная мука и техногенные отходы [10–14]. Результаты экспериментальной работы позволяют утверждать, что природа наполнителя влияет на свойства композита и определяет области его применения.

Изделия из минералонаполненных пластмасс находят широчайшее применение в промышленном производстве, в авиа-, автомобилестроении, производстве электронной техники, строительстве, включая реконструкцию зданий и сооружений, производстве емкостей нефтехранилищ, труб, при изготовлении электротехнических изделий, при производстве медицинской техники, спортивного инвентаря и товаров народного потребления (ведра, тазы и другие) [7, 15, 16].

Выбор тех или иных добавок для создания композиции, отвечающей требованиям, связан с их влиянием на ее свойства [17].

Направленное изменение свойств базового полимера достигается путем введения следующих добавок [7]:

- наполнителей для упрочнения и (или) удешевления материала;
- пластификаторов для улучшения технологических и эксплуатационных свойств;

- стабилизаторов для повышения технологической и эксплуатационной стабильности;

- фрикционных и антифрикционных добавок;
- добавок, регулирующих теплопроводность и электропроводность;

- антипиренов, снижающих горючесть;
- фунгицидов, повышающих устойчивость к воздействию микроорганизмов;

- добавок, регулирующих оптические свойства;
- антистатиков;
- добавок, создающих ячеистую структуру, и другие.

Наполнители необязательно должны быть твердыми [15]. Можно наполнить полимеры газом, тогда мы получим газонаполненные полимеры — пенопласты. Так решается задача резкого снижения плотности полимерных материалов. Очень сложно наполнить полимеры жидкостью, чтобы она была равномерно распределена в виде дисперсных капель, но в литературе можно найти описание методов получения и таких материалов [18].

Свойства наполненных полимерных композитов определяются характеристиками полимерной матрицы, дисперсного наполнителя и их взаимодействием на границе раздела. В результате этого взаимодействия уменьшается подвижность макромолекул и их сегментов в граничном слое, что приводит к повышению температур стеклования и текучести [15].

При переходе к дисперсному порошкообразному наполнителю возможность передачи напряжения от матрицы к наполнителю настолько снижается, что его вклад в увеличение прочности композита начинает конкурировать со снижением прочности матрицы из-за возникающей неравномерности напряжений и развития дефектов. Из-за этого прочность такого композита обычно не увеличивается по сравнению с прочностью матрицы (иногда даже несколько снижается).

При наполнении вязких термопластов жесткими наполнителями в количестве более 20% наблюдается переход от пластического течения к хрупкому разрушению. При этом имеет место существенное снижение ударной вязкости, работы разрушения. Модуль упругости растет с увеличением количества наполнителя, но при этом увеличиваются размер и количество трещин, «псевдопор», возникающих в процессе нагружения при отслаивании матрицы от дисперсных частичек в момент достижения напряжений, соответствующих адгезионной прочности системы. Теоретические данные показывают, что путем уменьшения размеров частиц наполнителя и разброса их диаметров можно существенно снизить вероятность появления крупных дефектов.

Другим направлением в создании дисперсно-наполненных полимеров является их модификация частицами каучука для снижения хрупкости и повышения ударостой-



кости. По литературным данным известно, что результаты были получены для ударопрочного полистирола, эпоксидных и других матриц. Механизм упрочнения материалов весьма сложен, но главная роль отводится торможению развития трещины каучуковыми частицами. Многие авторы указывают на целесообразность создания в целях повышения прочности переходного слоя, обладающего высокой адгезией к матричному полимеру и каучуковой фазе [7].

Дисперсные наполнители повышают вязкость и температуру переработки полимеров, снижают технологическую усадку, повышают размерную стабильность готовых изделий, увеличивают модуль упругости материала. Введением в композиты наполнителей можно повысить теплоустойчивость, снизить горючесть, изменить твердость и прочность, повлиять на другие свойства материала [17, 19].

Содержание наполнителей в полимерном композите должно быть оптимальным как с точки зрения возможности его переработки, поскольку с его увеличением

растет вязкость материала, так и с точки зрения его влияния на эксплуатационные характеристики. При содержании наполнителя выше оптимального многие свойства композита ухудшаются.

Изделия из наполненных полимеров сочетают в себе лучшие качества известных материалов: экологическую чистоту, высокие прочностные характеристики, обладают повышенными значениями износо- и химической стойкости, заданными электрическими, магнитными, бактериостатическими и антиобрастающими (грибками, моллюсками) характеристиками, хорошо поддаются механической обработке. Материал практически не имеет усадки, сохраняет устойчивость формы при высоких температурах [17].

Таким образом, при создании композиционных материалов, необходимо учитывать свойства наполнителей, а также предъявляемые к ним требования и влияние дисперсных неорганических наполнителей на свойства полимерной матрицы.

#### Литература:

1. Вторичная переработка полимеров и создание экологически чистых полимерных материалов [текст]: учеб. пособие — Екатеринбург: ФГБОУ ВПО «Уральский государственный университет им. А. М. Горького», 2008.
2. Осипов, П. О. Проблемы утилизации и переработки полимеров [Электронный ресурс]: Pakkermash, 2008. — Режим доступа: <http://www.pakkermash.ru/>
3. Смиренный, И. Н. Другая жизнь упаковки: монография /И. Н. Смиренный, П. С. Беляев, А. С. Клинков, О. В. Ефремов. — Томбов: Першина, 2005. — 178 с.
4. Чупрова, Л. В., Муллина Э. Р. Технологические особенности производства упаковки из вторичного полиэтилентерефталата (ПЭТ) // Молодой учёный. — 2013. — № 5. — с. 123–125.
5. Ивановский, С. К., Бахаева А. Н., Ершова О. В., Чупрова Л. В. Экологические аспекты проблемы утилизации отходов полимерной упаковки и техногенных минеральных ресурсов // Успехи современного естествознания. — 2015. — № 1–5. — с. 813–815.
6. Барашков, Н. Н. Полимерные композиты: получение, свойства, применение — М.: Наука, 1984. — 128 с.
7. Кербер, М. Л., Виноградов В. М., Головкин Г. С. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология [Текст]: учеб. Пособие / Под ред. А. А. Берлина — СПб.: Профессия, 2008. — 560 с.
8. Ершова, О. В., Ивановский С. К., Чупрова Л. В., Бахаева А. Н. Современные композиционные материалы на основе полимерной матрицы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2015. — № 4–1. — с. 14–18.
9. Шайерс Дж. Рециклинг пластмасс: наука, технологии, практика. / Пер с англ. — СПб.: Научные основы и технологии, 2012. — 640с.
10. Ершова, О. В., Чупрова Л. В. Получение композиционного материала на основе вторичного поливинилхлорида и техногенных минеральных отходов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2015. — № 5–1. — с. 9–12.
11. Ершова, О. В., Муллина Э. Р., Чупрова Л. В., Мишурина О. А., Бодьян Л. А. Изучение влияния состава неорганического наполнителя на физико-химические свойства полимерного композиционного материала // Фундаментальные исследования. — 2014. № 12–3. — с. 487–491.
12. Ершова, О. В., Коляда Л. Г., Чупрова Л. В. Исследование возможности совместной утилизации техногенных минеральных и полимерных отходов // Современные проблемы науки и образования. — 2014. — № 1. — с. 206; URL: [www.science-education.ru/115-11886](http://www.science-education.ru/115-11886) (дата обращения: 25.02.2015).
13. Ивановский, С. К., Гукова В. А., Ершова О. В. Исследование свойств вспененных композитов на основе вторичных полиолефинов и золы уноса // В сборнике: Тенденции формирования науки нового времени Сборник статей Международной научно-практической конференции: В 4 частях. отв. редактор А. А. Сукиасян. г. Уфа, республика Башкортостан, 2014. с. 18–24.
14. Ершова, О. В., Ивановский С. К., Чупрова Л. В., Бахаева А. Н. Минеральные техногенные отходы как наполнитель композиционных материалов на основе полимерной матрицы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2015. — № 6–2. — с. 196–199.

15. Феррицио, Т.Х. Основные принципы выбора и использования дисперсных наполнителей [Текст] — М.: Химия, 1981, 30 с.
16. Крыжановский, В.К. Технические свойства полимерных материалов [Текст]: учеб. — справ. Пособие — СПб.: Профессия, 2005. — 240 с.
17. Нестеренкова, А.И., Осипчик В.С. Тальконаполненные композиции на основе полипропилена [Текст] // Пластические массы. — 2007. — № 6. — с. 44–46.
18. Пахаренко, В.А., Зверлин В.Г., Кириенко Е.М. Наполненные термопласты [Текст]: Справочник / под ред. Липатова Ю.С. — К.: Техника, 1986—182 с.
19. Gukova, V.A., Ershova O.V. The development of composite materials based on recycled polypropylene and industrial mineral wastes and study their operational properties // В сборнике: European Conference on Innovations in Technical and Natural Sciences Vienna. — 2014. — с. 144–151.

## К вопросу о гибке стальной цилиндрической заготовки

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

*Получен метод расчета максимального усилия трубного пресса при гибке стальной цилиндрической толстолистовой заготовки.*

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

Формовка стальной заготовки на трубном прессе. Рассмотрим изгиб стальной цилиндрической заготовки, опирающейся на закругленные матрицы, под действием давления пуансона пресса (рис. 1, 2). Пусть  $H$  — глубина прогиба заготовки при формовке;  $r_n$  и  $r_m$  радиусы пуансона и матрицы;  $\beta r_n$  — радиус недеформируемой части цилиндрической заготовки ( $\beta > 1$ );  $R_{шф}$  — усилие пуансона при формовке;  $\alpha_1$  — угол контакта заготовки с матрицами;  $\varphi_1$  — угол зон контакта пуансона и заготовки;  $L$  — расстояние между матрицами;  $\mu$  — коэффициент силы трения скольжения;  $h$  и  $b$  — толщина и ширина заготовки;  $E$  и  $\sigma_T$  — модуль Юнга и предел текучести;  $P_r$  и  $P_c$  — модули упрочнения при растяжении и сжатии;  $\rho = r_n + h/2$  — радиус кривизны нейтральной плоскости заготовки.

Изгибающий момент в контактной зоне пуансона и заготовки равен

$$M(\rho) = bh^2 \left[ \frac{\sigma_T}{4} - \frac{\sigma_T}{3} \left( \frac{\sigma_T \rho}{Eh} \right)^2 + \frac{(P_r + P_c)h}{24\rho} \left( 1 - 2 \frac{\sigma_T \rho}{Eh} \right)^2 \left( 1 + \frac{\sigma_T \rho}{Eh} \right) \right].$$

Тогда

$$\varphi_{10} = \alpha_1 - \varphi_1 = \arccos \left[ \frac{(\beta r_n + r_m)^2 + r_n^2 (\beta - 1)^2 - (r_n + r_m - H)^2 - \left( \frac{L}{2} + r_m \right)^2}{2(\beta r_n + r_m) r_n (\beta - 1)} \right],$$

$$\varphi_{20} = \arcsin \left[ \frac{(\beta_1 r_n + r_m) \sin \varphi_{10}}{\sqrt{(\beta_1 r_n + r_m)^2 - 2(\beta_1 r_n + r_m) r_n (\beta_1 - 1) \cos \varphi_{10} + r_n^2 (\beta_1 - 1)^2}} \right],$$

$$\varphi_1 = -\varphi_{20} + \arcsin \left[ \frac{\frac{L}{2} + r_m}{\sqrt{(\beta_1 r_n + r_m)^2 - 2(\beta_1 r_n + r_m) r_n (\beta_1 - 1) \cos \varphi_{10} + r_n^2 (\beta_1 - 1)^2}} \right],$$

$$\alpha_1 = \varphi_1 + \varphi_{10}.$$

Усилие трубного пресса при изгибе цилиндрической заготовки равно

$$P_{шф} = \frac{M (\cos \alpha_1 + \mu \sin \alpha_1)}{\beta_1 r_n \sin \left( \frac{\alpha_1 - \varphi_1}{2} \right) \left[ \cos \left( \frac{\alpha_1 - \varphi_1}{2} \right) + \mu \sin \left( \frac{\alpha_1 - \varphi_1}{2} \right) \right]}.$$

**Производственные дефекты стальных труб.** Новейшими технологиями производства прямошовных одношовных сварных труб большого диаметра являются процессы по схеме JSOE [1–46]. Перед формовкой труб стальной лист правят на листопрямильных машинах [4, 5, 9–15]. Дефект остаточных напряжений стального листа после трубоформовочного пресса изучался в работах [2, 4, 5], дефект стального листа раскатной пригар с риской — в [3–5], дефект несплавления сварного продольного шва при сборке трубы — в [4, 5, 40, 41], дефект образования гофра продольной кромки стального листа на кромкогибочном прессе — в [4, 5, 17–29], дефект «точка перегиба» при изгибе стального листа на трубоформовочном прессе — в [4, 5, 31].



Рис. 1. Формовка стальной заготовки на трубном прессе

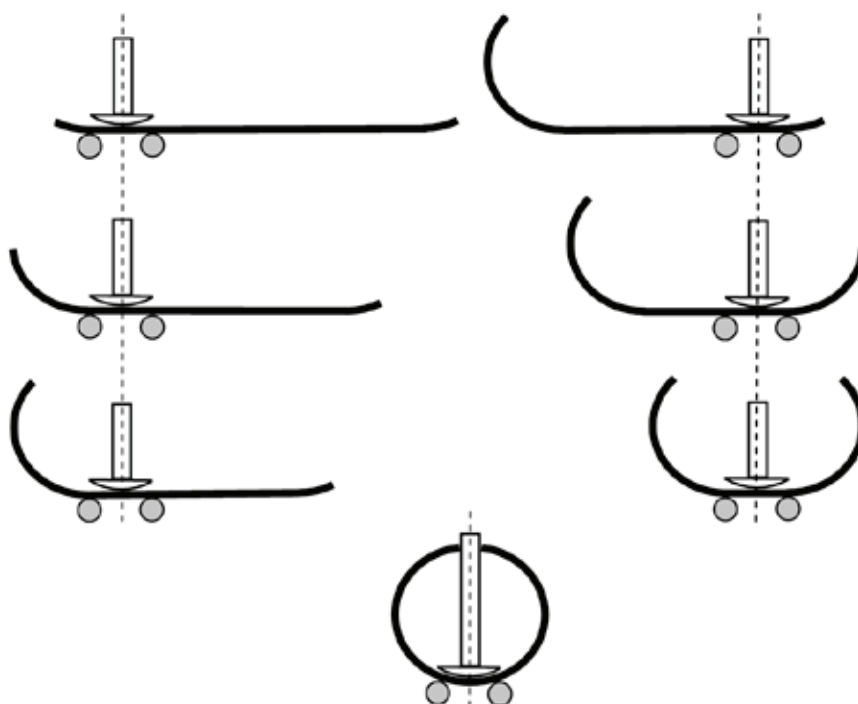


Рис. 2. Последовательность гибки стального листа на трубном прессе

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).
2. Шинкин, В. Н., Коликов А. П., Мокроусов В. И. Расчет максимальных напряжений в стенке трубы при экспансии с учетом остаточных напряжений заготовки после трубоформовочного пресса SMS Meer // Производство проката. 2012. № 7. с. 25–29.
3. Шинкин, В. Н., Мокроусов В. И. Критерий разрыва труб газонефтепроводов при дефекте «раскатной пригар с риской» // Производство проката. 2012. № 12. с. 19–24.
4. Шинкин, В. Н. Механика сплошных сред для металлургов. — М: Изд. Дом МИСиС, 2014. — 628 с.
5. Шинкин, В. Н. Сопротивление материалов для металлургов. — М: Изд. Дом МИСиС, 2013. — 655 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 Agrasate // 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 Agrasate // 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 Agrasate // 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 Agrasate // 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 Agrasate // 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).
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. Разакова. 2009. № 16. с. 110–112.
18. Шинкин, В. Н. Гофр продольной кромки листа при его формовке на кромкогибочном прессе // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2009. Вып. 6. с. 171–174.
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., Коликов А. П. Упругопластическое изменение металла на кромкогибочном прессе при формовке труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 6. с. 53–56.
22. 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.
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. 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., 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. 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.
27. Шинкин, В. Н., Коликов А. П. Моделирование процесса формовки заготовки для труб большого диаметра // *Сталь*. 2011. № 1. с. 54–58.
28. 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.
29. 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.
30. Шинкин, В. Н., Коликов А. П. Моделирование процессов экспандирования и гидротестирования труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // *Производство проката*. 2011. № 10. с. 12–19.
31. 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.
32. Шинкин, В. Н., Барыков А. М. Гибка стального листа на трубоформовочном прессе при производстве труб большого диаметра // *Сталь*. 2015. № 4. с. 38–42.
33. Мокроусов, В. И. К вопросу о разрыве стальных прямошовных труб при гидротестированиях и дефекте сварного шва // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 8–1.
34. 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.
35. Шинкин, В. Н. Расчет технологических параметров кромкогибочного пресса фирмы SMS Meer // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 4–1. с. 114–119.
36. 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.
37. 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.
38. 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.
39. Шинкин, В. Н. Сила давления пуансона трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе частично изогнутой толстой стальной заготовки // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 8–1.
40. 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.
41. Мокроусов, В. И. К вопросу о разрыве стальных прямошовных труб при гидротестированиях и дефекте сварного шва // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 8–1.
42. Шинкин, В. Н., Федотов О. В. Расчет технологических параметров правки горячекатаной рулонной полосы на пятироlikовой машине линии Fagor Arrasate // *Производство проката*. 2013. № 9. с. 43–48.
43. Шинкин, В. Н., Борисевич В. Г., Федотов О. В. Холодная правка стального листа в четырехроlikовой листо-правильной машине // В сборнике: *Глобализация науки: проблемы и перспективы*. Том 2. — Уфа: Башкирский государственный университет, 2014. — с. 119–121.
44. 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.
45. Шинкин, В. Н. Расчет технологических параметров правки стального листа на одиннадцатироlikовой листо-правильной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // *Производство проката*. 2014. № 8. с. 26–34.
46. Шинкин, В. Н. Математическая модель правки тонкого стального листа на пятнадцатироlikовой листо-правильной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // *Производство проката*. 2015. № 1. с. 42–48.

## Метод повышения запаса плавучести легких плавающих танков ПТ-76 во вьетнамских условиях эксплуатации

Нгуен Тхе Мань, кандидат технических наук, старший преподаватель  
Вьетнамский государственный технический университет имени Ле Куй Дона (г. Ханой)

Май Туан Ань, директор;  
Чйнь Куок Фонг, начальник бюро планирования  
Завод Z49 (г. Ханой, Вьетнам)

Дйнь Ван Кйен, инженер  
Завод Z153/ТСКТ (г. Ханой, Вьетнам)

Нгуен Ба Зуй, преподаватель  
Вьетнамский государственный технический университет имени Ле Куй Дона (г. Ханой)

*На вооружении Вьетнамской народной армии состоит большое количество плавающих танков ПТ-76. Они имеют способность преодоления водных преград в определенных окружающих условиях. Во время практической боевой подготовки были случаи, при которых танки ПТ-76 из-за различных причин тонули в воде, поэтому исследование методов повышения запаса плавучести плавающих танков ПТ-76 в различных случаях имеет важное практическое значение. Для повышения свойств и запаса плавучести плавающих танков ПТ-76 предлагается применять дополнительные жесткие надувные емкости, которые при движении по суше занимают транспортное положение. При переходе к движению по воде, дополнительные элементы устанавливаются в рабочее положение. Однако при этом основные водоходные качества, такие как плавучесть, остойчивость, скорость движения, должны меняться незначительно.*

**Ключевые слова:** плавающие танки, ПТ-76, повышение, запас, плавучесть, скорость, сопротивление.

### 1. Определение центра масс и центра величины машины, на основе которых определения положения укрепления дополнительных надувных элементов в целях обеспечения свойств устойчивости при движении, повышение запасов плавучести машины

Выбор системы координат показан на рис. 1

Центр системы координат есть точка  $O(0,0,0)$ , которая находится в точке проекции середины отрезка, образованного сварным швом верхнего и нижнего металлического листа носовой части машины.

Ось  $OX$ , идущая вдоль машины посередине ее ширины

Ось  $OZ$ , вертикальная перпендикулярная к оси  $OX$  в точке  $O$

Ось  $OY$ , горизонтальная перпендикулярная к осям  $OX$  и  $OZ$  в точке  $O$ .

Некоторые технические параметры плавающих танков ПТ-76

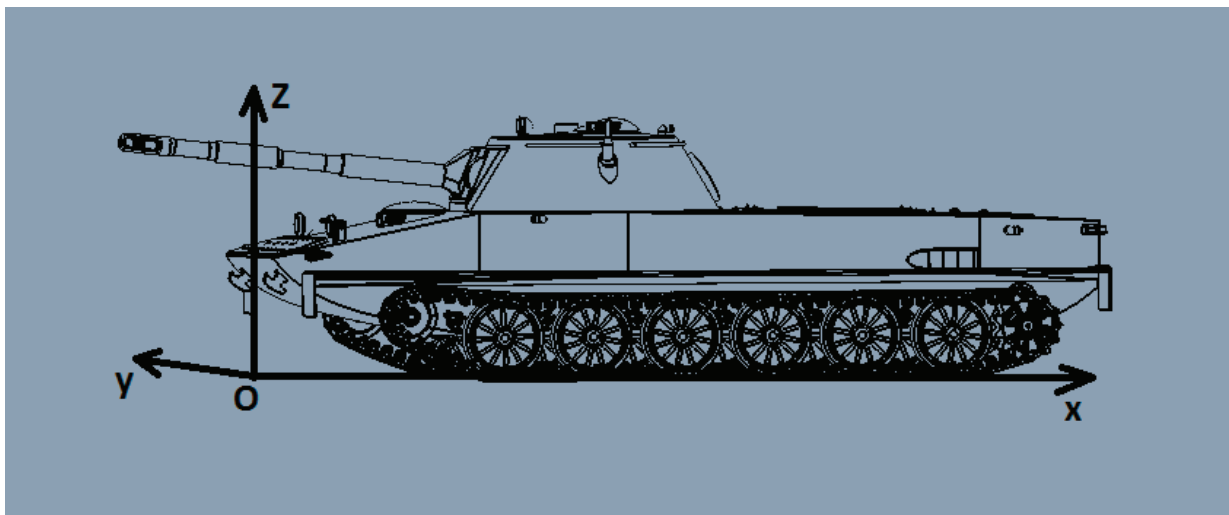


Рис. 1. Выбранная система координат

Таблица 1

№	Технические параметры	Значение	Ед. изм.
1	Боевой вес	14	ТОНН
2	Длина	6910	ММ
3	Ширина	3140	ММ
4	Высота	2255	ММ
5	Полный объем	16,3	М <sup>3</sup>
6	Скорость плавания	10	КМ/Ч
7	Осадка	1,109	М
8	Расстояние от плоскости воды до крышки танка	0,121	М

Мы знаем что, когда машина находится в воде, боковой крен отсутствует, поэтому центр тяжести должен находиться в продольной плоскости симметрии машины, то есть координат центра тяжести  $G_y = 0$ . Для определения координат центра тяжести применяются два метода, метод разбиения и экспериментальный метод. С целью упрощения проведения математического расчета группа авторов выбирает экспериментальный метод для определения координат центра тяжести ПТ-76 (методом подвешивания машины на заводе капитального ремонта танка имени Z-153 Вьетнама). Результат определения координат центра тяжести ПТ-76 — точка G (4,483; 0; 1,195).

Машина рассматривается как тело, часть которого утонула в воде, в состоянии покоя, согласно закону Архимеда, объемное водоизмещение танка ПТ-76 можно определить так:

$$V = G / \rho = 14 \text{ м}^3$$

где G — вес машины (тон),  $\rho$  — удельный вес воды (кгс/м<sup>3</sup>)

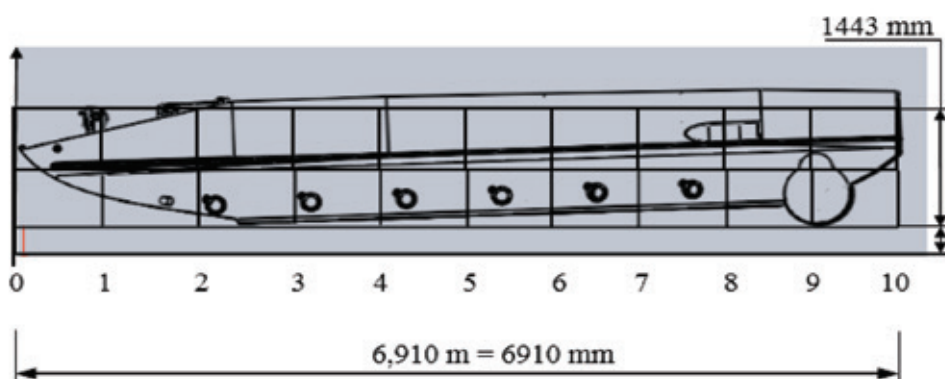


Рис. 2. Разбиение площади продольного сечения корпуса танка ниже нанесенной грузовой ватерлинии на простые геометрические фигуры и F1, F2 F3,..., Fk.

Площадь продольного сечения корпуса танка ниже нанесенной грузовой ватерлинии разбивается на простые геометрические фигуры, после чего вычисляются их площади  $F_1, F_2, F_3, \dots, F_k$ . Из условий равенства статических моментов составляющих площадей моменту суммарной площади относительно поперечной оси определяются координаты центра величины:

$$x_e = \frac{\sum_{i=1}^k F_i x_i}{\sum_{i=1}^k F_i}; z_e = \frac{\sum_{i=1}^k F_i z_i}{\sum_{i=1}^k F_i}$$

После проведения расчета получаются координаты центра величины так C (4,279;0;1,064).

Запас плавучести танка ПТ-76 будет вычисляться следующим образом:

$$\Delta V = \frac{\alpha \cdot H \cdot B \cdot L}{V} \cdot 100\% = \frac{0,8 \cdot 0,121 \cdot 3,140 \cdot 6,910}{14} \cdot 100\% = 15,002\%$$

где:  $\Delta V$  — запас плавучести машины (%).  
 $\alpha$  — коэффициент ( $\alpha = 0,75 \div 0,95$ ).  
 $H$  — расстояние от плоскости воды до крышки танка (м);  
 $B$  — ширина машины (м);  
 $L$  — длина машины (м);  
 $V$  — Объемное водоизмещение ( $m^3$ ).

**2. Проектирование пары поплавков и адаптирование основного устройства плавающего танка ПТ-76 с помощью программы Solidworks**

При установке дополнительных жестких надувных емкостей для повышения запаса плавучести машины должны соблюдаться следующие требования:

- Дополнительные элементы не должны вызывать возможность сопротивления проходимости.
- Дополнительные элементы должны создать определенный запас плавучести, но при этом не слишком повышая массу машины, чтобы не сильно влиять на величину скорости движения.
- При движении машины по воде сопротивление дополнительных элементов не должно значительно влиять на сумму сопротивлений, действующих на поперечное сечение машины, чтобы это не сказалось на величине скорости движения.
- Дополнительные элементы должны не должны вызывать изменения конструктивных параметров и не должны ухудшать динамические качества машины.

На основе анализа требований при установке дополнительных жестких надувных емкостей для повышения запаса плавучести машины группа авторов разработала два поплавка.

Основные технические характеристики поплавка.

Корпус поплавка изготавливается из листов алюминия, толщина листа равна 2 мм. Внутрь поплавка запрессовывается пористый материал, объем одного поплавка 0,42 м<sup>3</sup>, масса одного поплавка 20 кг, основные размеры показаны на Рис. 3

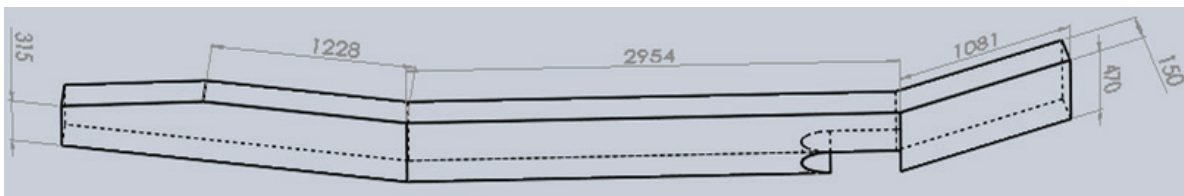


Рис. 3. Форма и основные размеры одного поплавка

Пара поплавков прикрепляется к бокам машины так, чтобы, центр тяжести поплавка и центр тяжести машины одновременно находились на вертикально-поперечной плоскости для обеспечения статической устойчивости.



Рис. 4. Модель плавающего танка ПТ-76 при установке: а) Вид сбоку; б) Вид сверху

Из информации в окне Mass Properties программы Solidworks (Рис. 5) видно, что при установке пары поплавков объемное водоизмещение танка ПТ-76 равняется 14,04 м<sup>3</sup>, центр величины С (3,900; 0,07; 0,690) м.

Запас плавучести танка ПТ-76 после установки пары поплавков вычисляется так:

$$\Delta V = \frac{V_{п.о} + V_{п} - V_{о.в}}{V_{о.в}} \cdot 100\% = \frac{16,3 + 0,84 - 14,04}{14,04} \cdot 100\% = 22\%$$



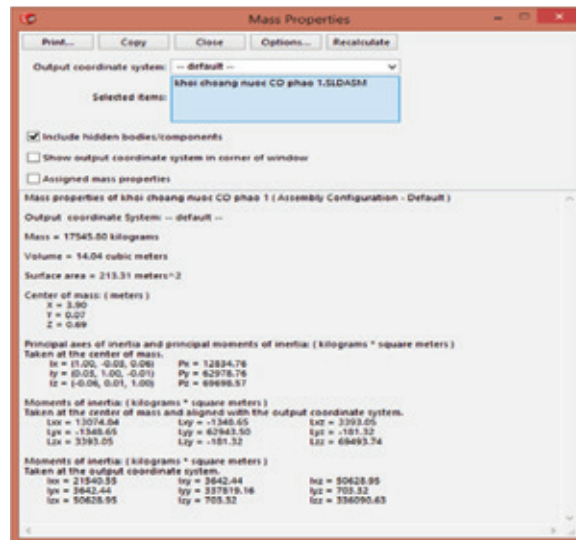


Рис. 5. Рабочее окно Mass Properties программы Solidworks

где  $V_{п.о.}$  — полный объем танка  
 $V_{п.}$  — объем двух поплавков  
 $V_{о.в.}$  — объемное водоизмещение машины после установки

### 3. Проведение расчета суммарного сопротивления воды движению машины и максимальной скорости движения машины после установки дополнительных надувных емкостей

Известно, что сопротивление воды движению танка при его плавании на свободной поверхности состоит из трех составных частей:

$$R_w = R_{тр} + R_{ф} + R_{вол}$$

где  $R_{тр}$  — сопротивление трения;  
 $R_{ф}$  — сопротивление формы (вихревое);  
 $R_{вол}$  — волновое сопротивление.

Так как очень сложно учесть сопротивление воды, то пока невозможно теоретическим путем рассчитать сопротивление движению гусеничной машины на плаву. Поэтому Л. Г. Бархударовым и В. В. Киселевским была экспериментальным путем составлена и предложена следующая формула для расчета сопротивления воды:

$$R_w = (60.F_r^2 - 30F_r + 6,35).S.v^2 \text{ кгс},$$

где  $S$  — площадь наибольшего сечения подводной части корпуса и ходовой части машины, м<sup>2</sup>;  
 $v$  — скорость танка, м/с.

$F_r$  — число Фруда (относительная скорость), вычисляемое по формуле  $F_r = \frac{v}{\sqrt{g.L}}$  (где  $v$  — характерная скорость

потока (скорость движения машины);  $L$  — характерный линейный размер (в данном случае длина корпуса танка);  $g$  — ускорение силы тяжести).

С помощью программы Solidworks можно определять площадь наибольшего сечения подводной части корпуса и ходовой части машины

Из информации в окне программы Mass Properties видно, что площадь наибольшего сечения подводной части корпуса и ходовой части машины — до установки пары поплавок  $S_0 = 2,825 \text{ м}^2$  и — после установки  $S_1 = 2,920 \text{ м}^2$ .

Увеличение сопротивления воды движению машины на плаву:

$$\Delta R_w = \frac{S_1 - S_0}{S_0} \cdot 100\% = \frac{2,920 - 2,825}{2,825} \cdot 100\% = 3,3\%$$

Максимальная скорость плавания танка ПТ-76 при установке пары поплавков вычисляется по формуле:

$$V_{\text{max.п.у}} = \sqrt{\frac{V_{\text{max.д.у}}^2 \cdot S_0}{S_1}} = \sqrt{\frac{10^2 \cdot 2,825}{2,920}} = 9,83 \text{ км/ч}$$

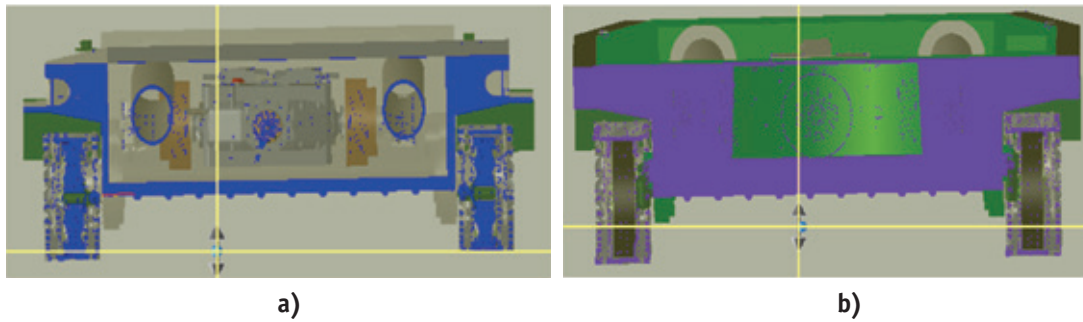


Рис 6. Площадь наибольшего сечения подводной части корпуса и ходовой части машины:  
 а) до установки пары поплавок ( $S_0$ ); б) после установки пары поплавок ( $S_1$ )

где  $V_{\text{max.д.у}}$  — максимальная скорость плавания машины до установки пары поплавков;  
 $V_{\text{max.п.у}}$  — максимальная скорость плавания машин после установки пары поплавков.  
 Уровень уменьшения скорости плавания машины составит:

$$\Delta V = \frac{V_{\text{max.д.у}} - V_{\text{max.п.у}}}{V_{\text{max.д.у}}} = 1,7\%$$

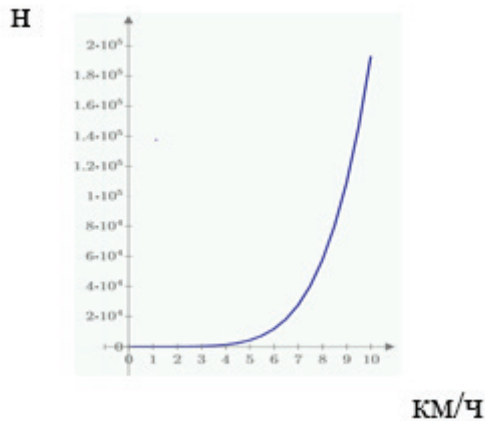


Рис. 7. Зависимость сопротивления воды движению машины на плаву от скорости плавания при установке пары поплавков

Из графика на Рис.7 можно увидеть, что сопротивление воды движению машины после установки пары поплавков начинает сказываться лишь при скоростях свыше 6 км/ч.

#### 4. Заключение

Итак, предложенный вариант повышения запаса плавучести плавающих танков с помощью программы Solidwork позволяет повысить запас плавучести на 22%, при этом максимальная скорость плавания снижается на 1,7%, другие основные динамические свойства машины не изменяются. Повышение запаса плавучести на 22 % позволяет удлинить время, за которое машина утонет в воде, а значит, позволяет обеспечить спасение экипажа, который может спокойно покинуть тонущую машину.

Литература:

1. Степанов А. П. Конструирование и расчет плавающих машин. М.: Машиностроение 1983, стр. 195.
2. Редькин М. Г. Плавающие колесные и гусеничные машины. Военное издательство министерства обороны СССР, М.: 1966, стр. 199.
3. Сергеев Л. В. Теория танка. Издание Академии, М.: 1973, стр. 480.
4. Коллектив авторов. Руководство по материальной части и эксплуатации танков ПТ-76 и ПТ-76Б. Военное издательство министерства обороны СССР, М.: 1967, стр. 608.
5. Nguyễn Phúc Hiều, Vũ Đức Lập. Lý thuyết ô tô quân sự. NXB Quân đội nhân dân, Hà Nội 2001, 300 trang.

## Основные факторы изменения структуры и свойств материалов технологического оборудования химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств в процессе эксплуатации

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

*В статье представлены факторы, влияющие на изменения исходной структуры и свойств металла, существенно влияющих на их основные характеристики.*

**Ключевые слова:** *техническое диагностирование, промышленная безопасность, изменения исходной структуры металла, изменения исходных свойств металла, эксплуатация, нефтехимия, нефтепереработка.*

*The article presents the factors affecting the changes of the original structure and properties of the metal, significantly affecting their essential characteristics are.*

**Key words:** *technical diagnostics, industrial safety, changing the original structure of the metal, altering the original properties of the metal, maintenance, petrochemicals, oil refining.*

В технологических процессах получения сталей для нефтехимического корпусного оборудования (сосуды, аппараты), технологических трубопроводов, трубопроводной арматуры, связанного с деформационным воздействием на них (ковка, штамповка, вальцовка) или воздействия термических процессов (термическая обработка, сварка) могут возникать изменения исходной структуры и свойств металла, существенно влияющие на их служебные характеристики [1].

Наиболее существенные из них следующие:

1. На корпусных деталях большой толщины из сталей 16ГС, 09Г2С, изготовленных даже с соблюдением всех

требований технических условий, характерно появление в процессе деформации на прокатном стане окисульфидной строчечности, параллельной поверхности листа. Эта строчечность представляет собой готовые коллектора для скопления в них в процессе эксплуатации атомарного водорода, его молизации и создания больших давлений в этих коллекторах, приводящих к образованию и росту расслоений и приповерхностных локальных вздутий металла со стороны рабочей среды рис.1 [2].

Указанные изменения настолько существенны, что делают практически невозможным выполнение ремонта сваркой. Такие корпуса аппаратов приходится отбра-

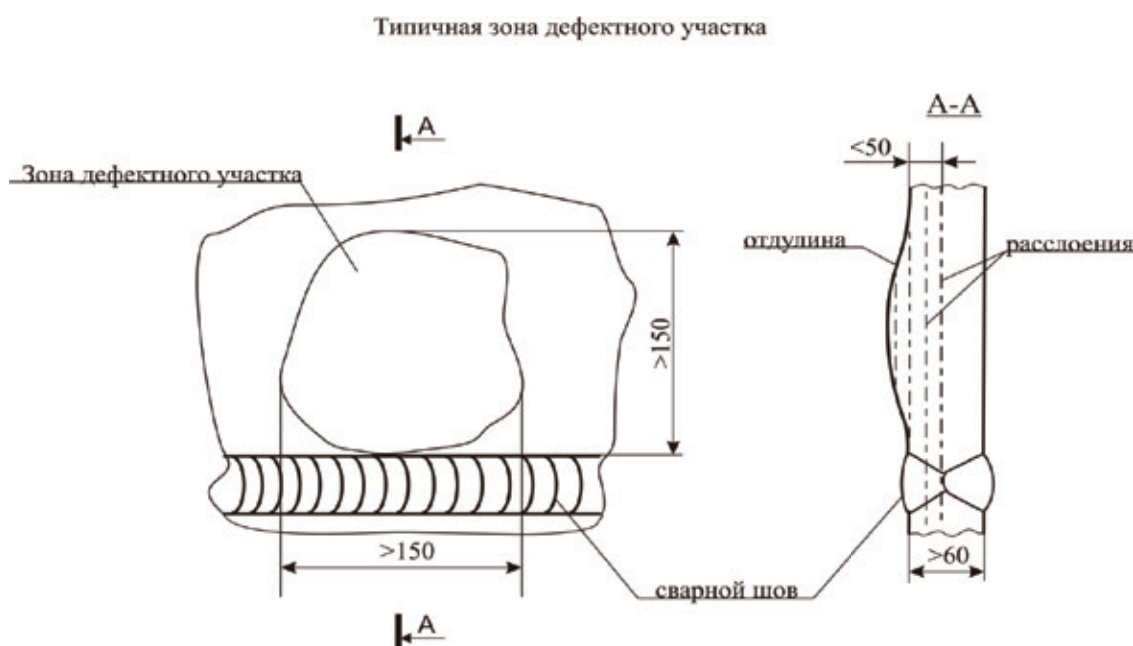


Рис. 1

ковывать. Примером может служить отбраковка в последние 25 лет толстостенных корпусов водородных емкостей на установке по производству водорода, газгольдеров на установках ЛК-6У, а также толстостенных корпусов других установок нефтехимических предприятий отрасли, на которых попытка ремонта корпусов с применением нескольких самых современных ремонтных технологий не увенчалась успехом из-за появления поперечных трещин. По этой причине разработаны варианты новых марок сталей, предназначенных для замены сталей 16ГС и 09Г2С [3].

2. При изготовлении биметалла с плакирующим слоем 08Х13 даже незначительное нарушение термического режима прокатки приводит к повышению твердости слоя 08Х13 при эксплуатационном нагреве. Это обстоятельство также необходимо учитывать при диагностике соответствующего нефтехимического оборудования.

3. Многоступенчатая термическая обработка при изготовлении труб и листов из стали 15Х5МУ часто приводит к повышению твердости при эксплуатационном нагреве, обуславливающей специальный подход к диагностике технических устройств из указанных сталей.

4. Разнородные сварные соединения, заложенные в конструкциях, обуславливают целый ряд эксплуатационных изменений, требующих учета.

5. Нарушение термического режимаковки или штамповки корпусных деталей (днища, штуцера и т.д.) может привести к появлению участков металла с увеличенным размером зерна, являющимся очагами при зарождении эксплуатационных трещин.

Длительная эксплуатация сварных соединений, являющихся наиболее уязвимым участком оборудования, даже в обычных атмосферных условиях может приводить к снижению их эксплуатационной надежности. Примером может служить снижение эксплуатационных характеристик сварных соединений магистральных газ- и нефтепроводов в процессе их эксплуатации [4]. Более сложные условия работы нефтехимического оборудования и технологических трубопроводов нефтеперерабатывающих и нефтехимических установок, характеризующиеся большим разнообразием агрессивных сред, широким спектром рабочих температур от отрицательных до плюс 900°C и рабочих давлений от вакуума до 90 МПа повышает вероятность эксплуатационных изменений металла, снижающих его прочностные и пластические характеристики даже в пределах нормативных сроков эксплуатации. Здесь и наводороживание основного металла и сварных соединений, рассмотренное выше, и изменения тонкой структуры металла при высокой температуре, приводящее к снижению его пластических характеристик; здесь и науглероживание и азотирование его поверхности контактирующей с рабочей средой, причем поверхностное насыщение металла атомами углерода и азота приводит к снижению его служебных характеристик на определенную глубину, зависящую от глубины их проникновения в свободном и связанном состоянии с атомами других элементов; здесь

и намагничивание, а также исчерпание пластических характеристик металла по механизму его высокотемпературной ползучести под напряжением при высокой температуре.

Кроме отмеченного, к существенной потере служебных характеристик объектов переработки нефти приводят также происходящие при длительной высокотемпературной эксплуатации процессы диффузии атомов внедрения (в основном углерода), имеющие место в соединениях разнородных металлов: в конструкциях из двухслойных сталей и разнородных сварных соединениях. Примером могут служить зона соединения слоев металла на корпусных теплообменных аппаратах из двухслойной стали 16ГС+08Х13 после эксплуатации при 390°C в течение 23 лет (рис.2), а также сварное соединение технологических трубопроводов из стали 15Х5М, выполненного электродами типа Э-10Х25Н13Г2 после эксплуатации в течение 28 лет при температуре 490°C (рис.3).

В качестве примера эксплуатационных изменений металла при высокотемпературной эксплуатации можно рассмотреть центробежнолитые трубы из сплава НК-40 (отечественный аналог 45Х25Н20С2), а также отечественных сплавов 50Х20Н35С2Б, 10Х20Н33Б, 15Х25Н40М2ВТ, 50Х25Н35С2Б, которые эксплуатируются при температуре до плюс 900°C под давлением до 3,0 МПа в змеевиках пиролиза установок производства водорода и аммиака. Исследования металла труб на образцах, вырезанных из указанных труб после эксплуатации показало снижение характеристик пластичности.

Изучение приготовленных шлифов на оптическом и электронном микроскопах показало, что снижение пластических характеристик обусловлено выделением большого количества вторичных карбидов и интерметаллидных фаз.

Исследования показали также, что вязкопластические свойства после эксплуатации возможно восстанавливать путем гомогенизирующего отжига в печах или специальных термических установках, обеспечивающих строгое соблюдение требуемых режимов термической обработки.

Существенное науглероживание стали 15Х5М со стороны рабочей среды наблюдалось на многих нефтехимических предприятиях страны и распространялось на глубину 3÷4 мм. Результаты исследования поперечных образцов, приготовленных из науглероженных конструкций, показали, что процесс науглероживания происходит со стороны рабочей среды, т.е. с внутренней труб, и сопровождается образованием карбидов углерода и значительным увеличением их концентрации вплоть до свободных молекул углерода, отличающихся практически нулевой пластичностью и большой склонностью к образованию трещин, которые в своем развитии могут распространяться и в более пластичные участки металла, однако при малом давлении большой опасности не представляют, связывание атомов углерода в карбиды в приповерхностных участках металла тормозит его распространение



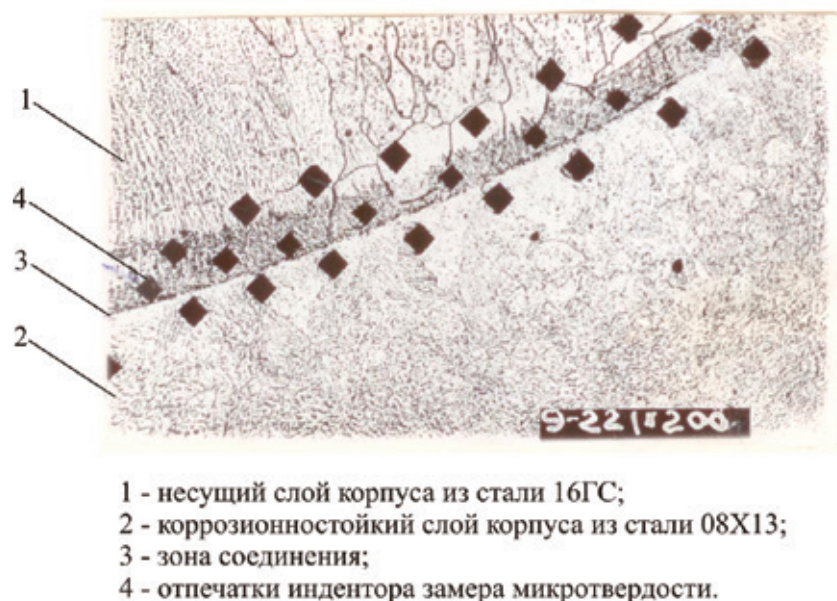


Рис. 2. Соединение слоев металла в корпусе теплообменника из двухслойной стали 16ГС+08X13



Рис. 3. Сварное соединение трубопровода из стали 15X5M с аустенитным швом типа Э-10X25Н13Г2

на значительное расстояние от внутренней поверхности и сохраняет тем самым пластичность участков металла, свободных от углерода. Это обстоятельство позволяет сохранить работоспособность науглероженных труб при уменьшении рабочего давления.

Азотирование нефтехимических конструкций в процессе эксплуатации также происходит со стороны рабочей среды. Локализация охрупчивания в участках, близких к внутренней поверхности, при азотировании сопровождается образованием нитридов.

Впервые азотирование наблюдалось при эксплуатации трубопроводов из стали 15ХМ после эксплуатации при температурах  $380 \div 400^\circ\text{C}$  и распространялось на глубину до  $3 \div 4$  мм при общей толщине стенки  $6 \div 8$  мм. Выяв-

ленное на змеевиках из стали 08X18Н10Т азотирование после эксплуатации при  $425^\circ\text{C}$  развивалось на глубину от величины одного зерна до  $0,15$  мм при общей толщине стенки 4 мм.

Приложение больших рабочих напряжений в конструкциях из аустенитных хромоникелевых сталей, работающих при температурах  $500 \div 650^\circ\text{C}$  обуславливает развитие процессов ползучести металла, приводящей к потере несущей способности ответственных конструкций нефтехимического оборудования. В качестве мероприятий, обеспечивающих оценку возможности дальнейшей эксплуатации такого оборудования, является проведение мониторинга путем постоянной или периодической оценки потери его пластичности до допустимых

граничных значений, которые определяются предварительным испытанием образцов из эксплуатируемого металла.

#### **Выводы и рекомендации:**

1. Учитывая выше изложенное, при разработки экспертами программы обследования оборудования опасных производственных объектов, позволяет наметить участки

конструкции, требующие специальных методов контроля и выбрать эти методы, а также обосновать объем такого контроля.

2. Полученные по такой методике результаты обследования позволяют определить ресурс безопасной эксплуатации опасных производственных объектов с высокой точностью прогнозирования.

#### **Литература:**

1. В. Н. Земзин, Р. З. Шрон. Термическая обработка и свойства сварных соединений. Л., Машиностроение, 1978.
2. Л. С. Лившиц, А. Н. Хакимов. Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений. М, Машиностроение, 1989.
3. Л. А. Ефименко, О. Е. Капустин и др. Анализ склонности трубных сталей различной категории прочности к термомодеформационному старению. «Сварочное производство», № 1, 2008.
4. Стеклов О. И. и др. Надежность магистральных газопроводов в условиях интенсификации процессов коррозии и старения. «Сварочное производство», № 5, 2010.

## **Разработка концепции адаптивного отслеживания шва в реальном времени для роботизированной сварки**

Поезжаева Елена Вячеславовна, кандидат технических наук, профессор;

Сергеев Алексей Андреевич, студент;

Мисюров Михаил Николаевич, студент

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

***Ключевые слова:** сварочный шов, сенсор, сварочное оборудование, манипулятор, геометрия стыка.*

**А**даптивная интеллектуальная система отслеживания шва в реальном времени, предназначенная для использования при роботизации сварочных операций. Цель этого проекта состоит в исключении процесса предварительного программирования сварочного робота путем его проведения по требуемой траектории. Это достигается благодаря тому, что система способна управлять движением сварочной головки в реальном времени на основании зрительной информации об искажении лазерного луча на стыке свариваемых деталей. Схематически работы системы иллюстрируется на рисунке 1.

Система включает в себя обработки изображения и управления роботом. В состав первого модуля входит микроЭВМ, куда поступает оцифрованное изображение линии пересечения стыка свариваемых деталей лазерным лучом. Результаты предварительной обработки его специальным препроцессором используются для расчета отклонений сенсора от средней линии стыка. Наряду с уже имеющимися ЭВМ координатами ( $x$ ,  $y$ ) сенсора эта информация служит для вычисления пространственного положения стыка в системе координат рабочего органа робота (при этом дополнительно можно воспользоваться знанием геометрии шва для расчета углов наклона и качения рабочего органа, а также угла ротации сенсора) [1].

По трем пространственным координатам очередной точки стыка модуль управления роботом вычисляет требуемые значения всех степеней подвижности. Существенно, что модули обработки изображений и управления роботом работают параллельно и могут обращаться друг к другу.

Система ориентирована на использование вместе с порталным роботом, имеющим шесть степеней подвижности и снабженным системой управления.

Супервизорное устройство управления отвечает за обработку изображений, подачу команд на выполнение движений устройству управления роботом и управление движением лазерного сенсора при наличии шумов и неопределенностей в геометрии стыка.

Лазерный сенсор, измеряет по методу триангуляции профиля стыка свариваемых деталей. Максимальное число точек измерения на скане 1000; скорость измерений — несколько миллисекунд на точку; точность  $+ 0,125$  мм на линии шириной 32 мм. Сенсор устанавливается на скобе, прикрепленной к запястью робота, и способен поворачиваться соосно шестой степени подвижности манипулятора для отслеживания искривлений стыка.

Видеосенсор снабжен щитком от брызг расплавленного металла, светофильтром, облегчающим работу

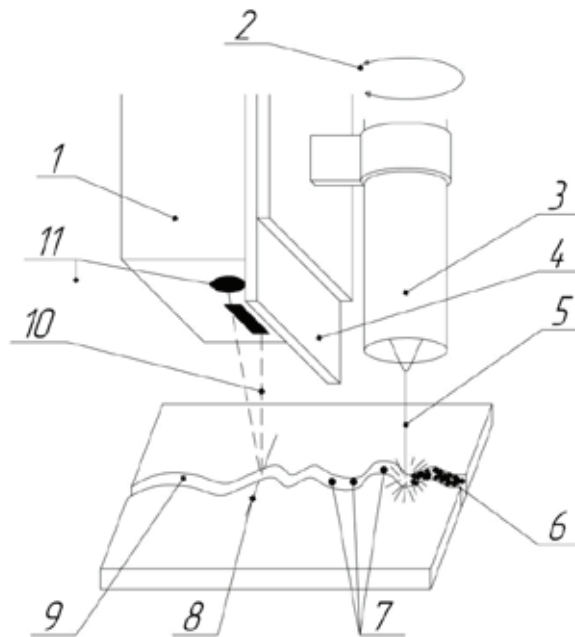


Рис. 1. Схема работы системы: 1 — сенсор; 2 — вращение в запястье робота; 3 — сварочная головка; 4 — защитный экран; 5 — сварочная проволока 6 — сварочный шов; 7 — позиция коррекции; 8 — линия сканирования 9 — стык свариваемых деталей; 10 — сканирующий луч; 11 — камера

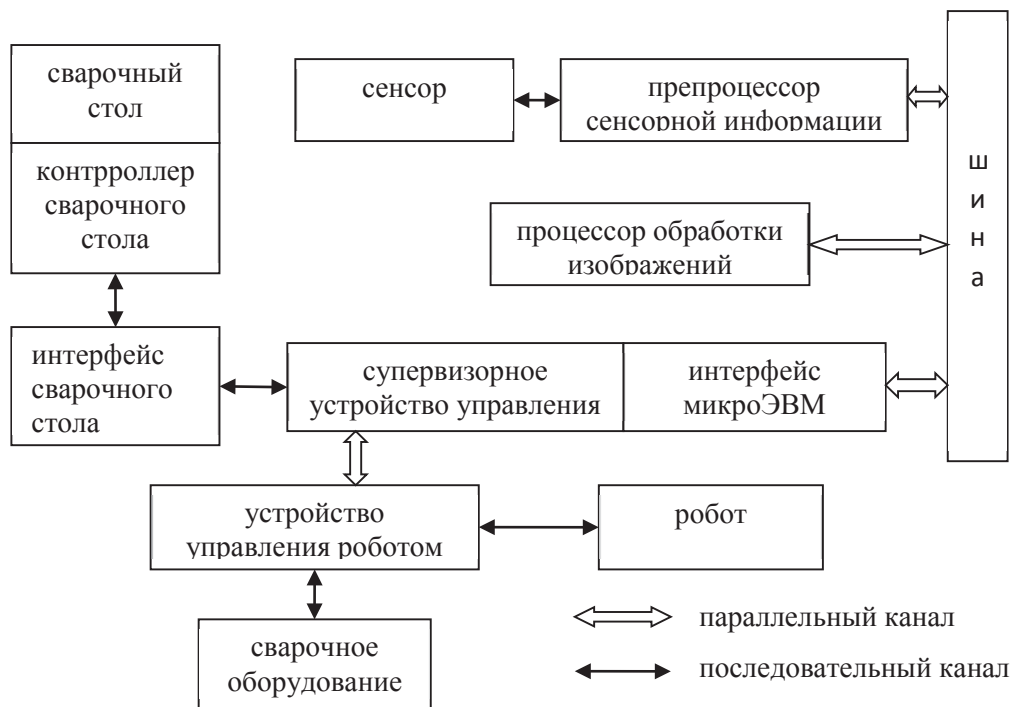


Рис. 2. Упрощенная блок-схема системы

в задымленной среде, а также связан с эффективным препроцессором, преобразующим исходные видеоданные в последовательность значений отклонений оси сенсора от средней линии стыка. Связь систем координат сенсора и сварочного инструмента устанавливается в процессе калибровки. Из препроцессора данные поступают в модуль обработки изображения, входящий в состав супервизорного устройства управления. По-

следнее, комбинируя алгоритмы управления по моделям с эвристическими процедурами, основанными на знаниях, осуществляет настройку таких параметров, как частота съема данных и времена задержек, критических для функционирования лазерного сенсора в реальном времени [4].

Программное обеспечение системы имеет модульную структуру. Так, программы модуля обработки изобра-

жения обеспечивают обработку данных, измеренных при сканировании стыка лазерным лучом, распознавание типа разделки и определение геометрии стыка. Программы супервизорного устройства управления осуществляют расчет скорости движения рабочего органа вдоль шва и передачу позиционных и скоростных параметров в модуль управления роботом, который управляет не только движениями манипулятора, но и процессом сварки, а также передает соответствующую информацию об этом обратно в супервизорное устройство управления [3].

Алгоритм определения геометрии стыка состоит из следующих четырех этапов:

- 1) сбор данных о профиле с использованием метода триангуляции, иллюстрируемом на рис. 3;
- 2) фильтрация ошибочных данных (вызванных, например, отражением лазерного луча от блестящих участков сварочной ванны);
- 3) обработка отфильтрованных данных для определения средней линии и кромок стыка;
- 4) преобразование геометрической информации о стыке из системы координат, связанных с сенсором, в систему координат сварочной головки [2].

В процессе фильтрации используется избыточность исходных данных: можно, например, производить в каждой точке по два измерения с интервалом в несколько миллисекунд и отбрасывать одно или оба из них в случае слишком большого расхождения результатов. Это иллюстрируется на рис. 4.

Число точек измерений вдоль каждой линии сканирования оказывается примерно одинаковым (в предположении отсутствия резких изломов линии), что дает возможность установить рекуррентные зависимости для оценки координат отброшенных точек.

Благодаря программируемости лазерного сенсора можно оперативно настраивать времена выдержки, приспособившись к небольшим изменениям отражательной способности поверхности, а также снимать больше отсчетов в непосредственной окрестности стыка.

Используемый алгоритм сегментации позволяет достаточно точно идентифицировать V-образную разделку, валики прихваточного шва и определять среднюю линию и кромки стыка. Более того, рекуррентные соотношения облегчают предсказания положений очередных точек на средней линии стыка, чтобы соответственно позиционировать сенсор в их окрестности.

Весь процесс отслеживания стыка делится на три стадии: нахождение начала стыка, собственно отслеживание (включая управление параметрами сварочного процесса) и определение конца шва с выполнением соответствующих завершающих процедур. На первой стадии человек-оператор устанавливает сварочную головку в начале стыка с точностью в несколько миллиметров от средней линии. Устройству управления положению головки известно в любой момент времени. Теперь можно переместить сенсор в то место, где ранее находилась сварочная головка, зная благодаря предварительной калибровке взаимосвязь между системами координат, что позволяет уточнить точку начала шва.

На второй стадии сенсор сканирует поверхность, чтобы определить направление и профиль стыка, а затем с помощью программ экспертной системы модуля обработки изображения распознать его тип (V-образная разделка, место прихватки, конец шва). Эта информация используется для определения параметров сварки и управления движениями робота. После достижения головкой заданной точки в супервизорное устройство управления посылается сигнал прерывания и лазерный сенсор осу-

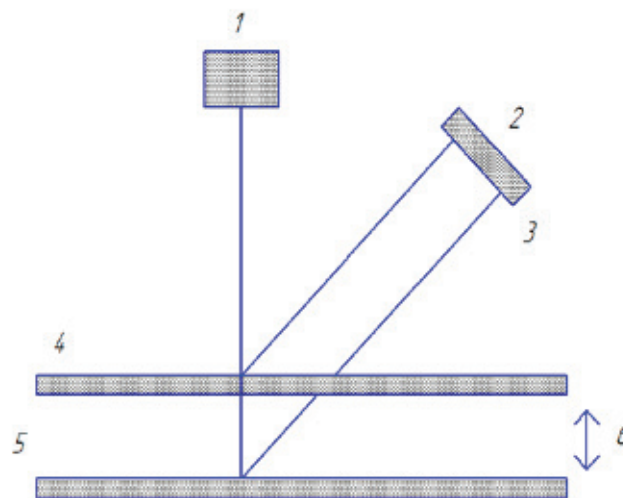
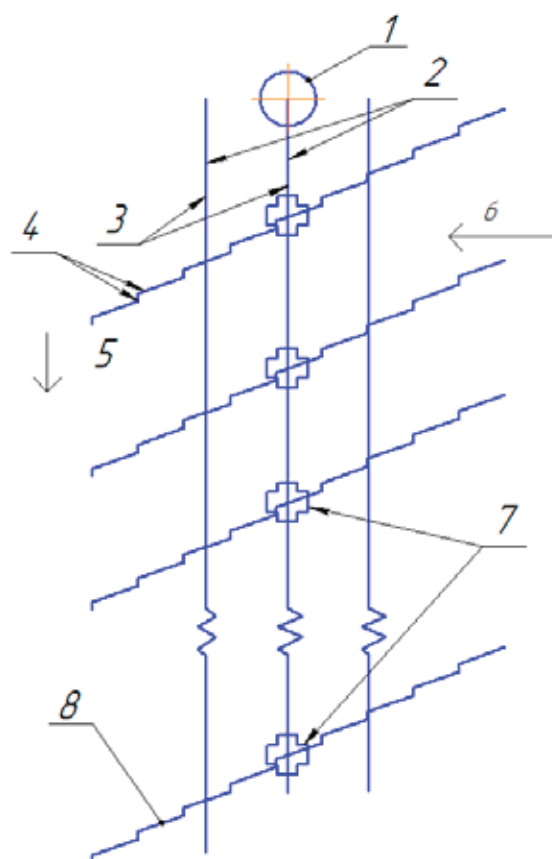


Рис. 3. Сбор данных о профиле стыка с использованием метода триангуляции: 1 — лазерный источник; 2 — изменение положения сенсора; 3 — сенсор; 4 — поверхность 1; 5 — поверхность 2; 6 — изменение положения поверхности





**Рис. 4. Схема сваривания: 1 — положение сварочной головки; 2 — стык; 3 — сглаженный стык; 4 — позиции измерений; 5 — направление перемещения сварочной головки; 6 — направление сканирования; 7 — сглаженные целевые положения сварочной головки; 8 — текущая линия сканирования сенсора**

ществляет сканирование очередного участка, что дает возможность определить три координаты средней линии шва (в отклонениях), а также углы наклона и качания рабочего органа, тем самым задавая новую целевую точку. Кроме того, находится угол ротации сенсора, чтобы «довернуть» его до средней линии стыка при сканировании через два такта. Интервал между тактами составляет всего 200 мс, что позволяет пренебречь влиянием запаздывания на боковое смещение.

Третья стадия начинается после распознавания модулем обработки изображения конца шва. Новые сенсорные данные далее игнорируются супервизорным устройством управления, которое дает команду управляющему устройству робота на отключение сварочного оборудования, отведения головки и возвращение робота в исходное положение [6].

На следующих проходах робот может вести сварку, уже пользуясь первой траекторией в качестве программной, а сенсорная информация служит для адаптации к возможным температурным деформациям стыка свариваемых деталей.

Эта система создавалась в расчете на многопроходную сварку швов с V-образной разделкой со скоростью до 25,4 мм/с. Следует иметь в виду, что лазерный сенсор данной мощности можно использовать лишь с определенными металлами, дающими нужный уровень отражения луча.

Поскольку весьма важно строго соблюдать заданный временной режим движения при сварке, необходимо тщательно рассчитывать все времена, требующиеся системе для выполнения различных функций: время передачи сигнала от управляющего устройства управления, время сканирования профиля стыка, время обработки изображения скана, время передачи результатов расчетов в управляющее устройство робота через последовательный интерфейс, время засылки данных из буфера устройства управления роботом в таблицу программных точек. Суммарное время должно быть меньше времени перевода сварочной головки из точки в точку [5].

Первая версия системы должна быть опробована на горизонтальных плоских швах, радиус кривизны которых превосходит критическую величину, примерно равную расстоянию между сварочной головкой и сенсором. На более позднем этапе будет использоваться сварочный стол с двумя степенями подвижности, что даст возможность варить пространственные швы с возможными вариациями по всем трем координатам. Критический радиус кривизны в поперечной плоскости зависит также и от диапазона действия лазерного сканирующего сенсора. Алгоритмы управления для координации движений робота и сварочного стола находятся в стадии разработки.

Литература:

1. Поезжаева, Е. В. промышленные роботы: учеб. пособие: в 3 ч. / Е. В. Поезжаева. — Пермь: Изд-во Перм. гос. тех. ун-та, 2009. — Ч.2. — 185 с.
2. Зенкевич, С. Л. Основы управления манипуляционными роботами / С. Л. Зенкевич, А. С. Ющенко. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. — 479 с.
3. Корендясев, А. И. Теоретические основы робототехники: в 2 кн. / А. И. Корендясев, Б. Л. Саламандра, Л. И. Тывес; отв. Ред. С. М. Каплунов. — М.: Наука, 2006.
4. Глазунов В. А., Колисков А. Ш., Крайнев А. Ф. Пространственные механизмы параллельной структуры. М.: Наука, 1991, 95 с.
5. Довбня, Н. М. Роботизированные технологические комплексы в ГПС / Н. М. Довбня, А. Н. Кондратьев, Е. И. Юревич. М., 2000.
6. Корендясев А. И., Саламандра Б. Л., Тывес Л. И. Манипуляционные системы роботов. М.: Машиностроение, 1989. 472 с.

## Разработка робота для контроля трубопроводов

Поезжаева Елена Вячеславовна, кандидат технических наук, профессор;  
Федотов Александр Георгиевич, студент;  
Заглядов Павел Владимирович, студент  
Пермский национальный исследовательский политехнический университет

*Необходимость поддержания трубопроводов в хорошем состоянии заставляет искать новые эффективные методы контроля труб с целью выявления дефектов и трещин, а также коррозии на их поверхности. На практике для контроля горизонтальных прямых участков труб используют ультразвуковые и магнитные методы так же существуют различные колесные роботы. Однако эти методы теряют свои достоинства и становятся малопригодными, если трубы имеют изгибы и вертикальные участки, что обусловлено трудностью прохождения контролирующего устройства через такие участки. Для решения этой проблемы мы разработали робота и предъявили к нему основные требования, которым он должен отвечать. Робот снабжен датчиком обнаружения 90-градусного изгиба, установленным на головном звене, а также датчиками скорости и пройденного пути, расположенными на двух ведущих звеньях для более лучшего позиционирования. Разработанный нами робот позволит уменьшить время диагностирования различных типов трубопроводов, а также сократить затраты на контроль состояния трубопроводов.*

**Ключевые слова:** робот, контроль, трубопровод.

В настоящее время в России эксплуатируются устаревшие нефтегазопроводы. Так, например, по статистике «Газпром» за 2013 год, 56529 тыс. км трубопроводов эксплуатируются более 20 лет, 41703 тыс. км более 30 лет, 19701 тыс. км более 40 лет и 9861 тыс. км более 50 лет. Стоит отметить, что Россия является крупнейшим поставщиком природного газа в Европу поставляя 50 млрд. куб. м в год и во избежание финансовых потерь в случае аварии необходимо своевременно проводить ремонт трубопроводов. Ежегодно «Газпром» проводит капитальный ремонт (рис.1) отдельных участков газопроводов, этот метод ремонта с каждым годом становится все менее эффективней, так как общая протяженность газопроводов прогрессивно увеличивается.

Поэтому, необходимо производить ремонт трубопроводов по их фактическому состоянию, то есть в первую очередь производится диагностирование необходимого

участка трубопровода и в случае обнаружения каких-либо дефектов, повреждений будет совершен ремонт. В последние годы все большее внимание уделяется бестраншейному методу диагностирования труб. На практике для контроля горизонтальных прямых участков труб используют ультразвуковые и магнитные методы так же существуют различные колесные роботы (рис.2). Однако эти методы оказываются малопригодными, если трубы имеют изгибы и вертикальные участки, что обусловлено трудностью прохождения контролирующего устройства через такие участки. Самым же актуальным направлением в этой области является создание змеевидных роботов.

Нами были разработаны следующие требования, которым должен отвечать робот:

1. Робот должен перемещаться по трубам и проходить 90-градусные изгибы, Т-образные сочленения, соединительные муфты.



Рис. 1. Капитальный ремонт газопровода

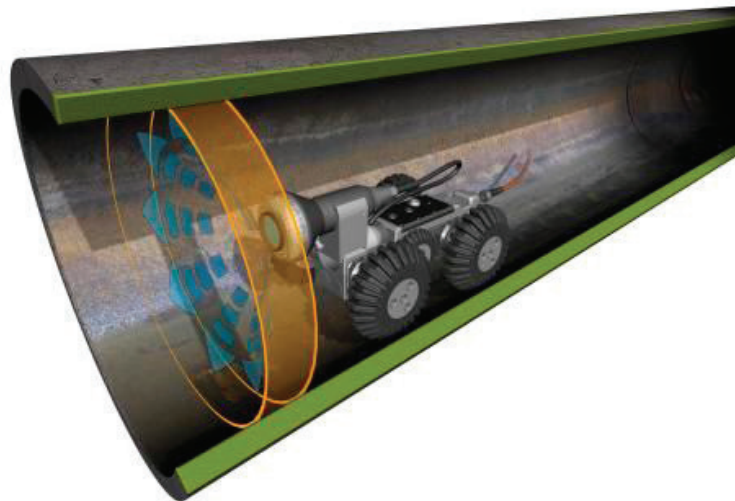


Рис. 2. Колесный робот для контроля трубопроводов. Источник: [www.ds39.ru](http://www.ds39.ru)

2. Робот должен быть оборудован сенсором, обнаруживающим дефекты, причем наличие этого сенсора не должно мешать роботу перемещаться по трубам.

3. Робот должен допускать возможность введения его в трубопровод и извлечение наружу в одной и той же точке трубы, чтобы избежать необходимости раскопок грунта в нескольких местах.

4. Робот должен быть оборудован средствами регистрации пройденного расстояния и определения собственного положения; эти данные должны записываться вместе с информацией о дефектах.

По принципу передвижения внутри трубы малого диаметра инспекционные устройства можно грубо разделить на две группы: устройства с механическим движителем и системы с подачей избыточного давления (см. рис.3).

В связи с тем, что самодвижущиеся системы могут перемещаться в автоматическом режиме и отличаются более высокой точностью позиционирования, они представляются более перспективными, чем системы с внешним движителем. Поэтому мы решили разрабатывать самодвижущийся робот. При этом были приняты во внимание следующие дополнительные достоинства этого подхода:

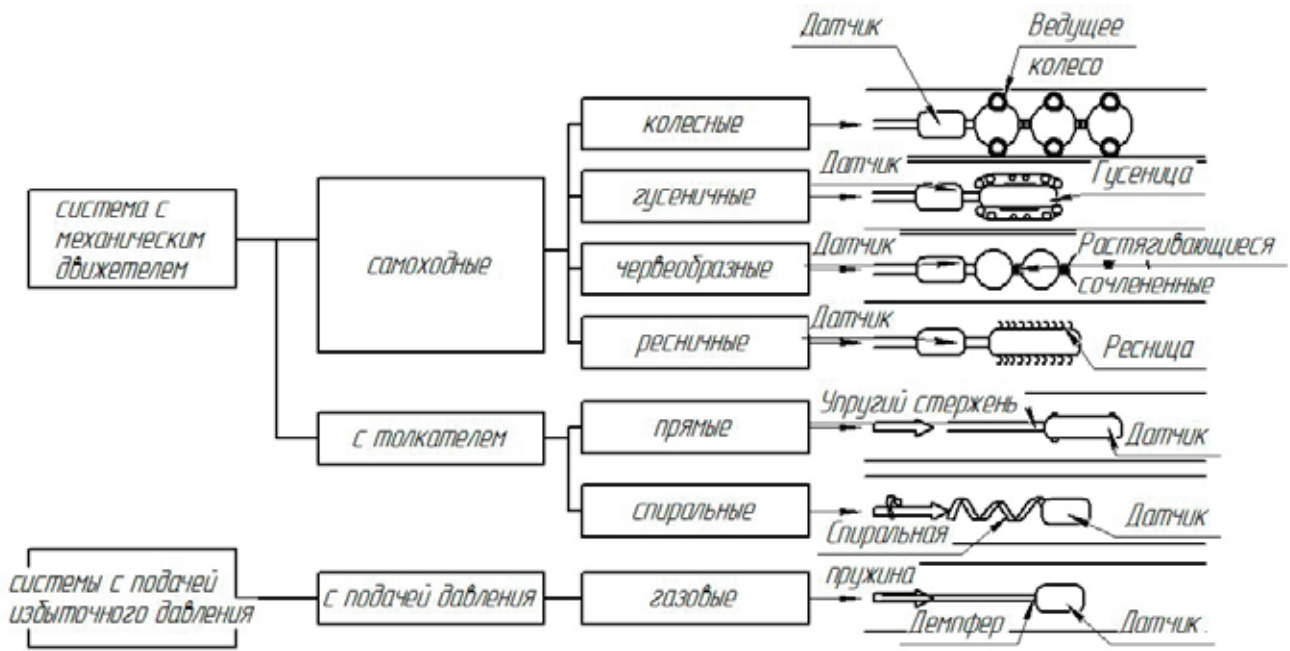


Рис. 3. Инспекционные устройства

1. конструкция самодвижущейся системы проще и надежнее других типов систем;
2. движение возможно при любой конфигурации труб, и им легко управлять;
3. тяговое усилие можно увеличивать путем добавления ведущих звеньев, что повышает эффективность системы;
4. конфигурация с несколькими ведущими звеньями облегчает прохождение изгибов трубы.

Конструкция разработанного робота показана на рис. 4, где обозначено: 1 — головное звено; 2 — направляющее звено; 3 — ведущее звено; 4 — передающее звено; 5 — моторное звено; 6 — соединительное звено; 7 — сенсорное звено; 8 — хвостовое звено; 9 — гибкое соединение. Суммарная длина робота 1880 мм. Он состоит из нескольких сферических звеньев, соединенных гибкими переходниками. Эти звенья выполняют разные функции. Так, в моторном звене установлен электродвигатель; ведущие звенья создают тяговое усилие с помощью колес, находящихся в контакте с трубой; на сенсорном звене установлен вихревой датчик дефектов.

Размер каждого звена соответствует внутреннему диаметру трубы с учетом необходимости прохождения соединительных переходников. Гибкое соединение звеньев осуществляется двумя соосными спиральными пружинами, передающими крутящий момент двигателя.

Для исключения проскальзывания ведущих колес робота, необходимо обеспечить высокий коэффициент трения между этими колесами и внутренней поверхностью трубы. Для этого имеется две возможности: повышение силы давления колеса на трубу и увеличение числа колес. Недостатком первого метода является затрудненное прохождение участков со скачкообразным изменением диаметра трубы. В связи с этим был использован второй метод

с большим количеством ведущих звеньев, причем их количество можно менять в зависимости от требуемой силы трения. Три ведущих звена обеспечивают тяговое усилие более 15 кг. Такой робот может производить инспекцию изогнутой трубы длиной до 50 м с четырьмя 90-градусными коленами, перемещаясь по ней со скоростью до 1 м/с. Робот снабжен датчиком обнаружения 90-градусного изгиба, установленным на головном звене, а также датчиками скорости и пройденного пути, расположенными на двух ведущих звеньях для более лучшего позиционирования.

Необходимо учитывать, что трудности организации целенаправленного перемещения бесколесного змеевидного робота в большой мере были связаны с отсутствием рациональной механической модели перемещения гибкого змеевидного тела. Рассматриваемые роботы с диагностическими датчиками на борту, предназначены для движения внутри труб небольших диаметров, в диапазоне от двух миллиметров до нескольких десятков сантиметров. И для того чтобы выполнить техническую диагностику машин и агрегатов газовой и нефтехимической промышленности, энергообъектов, проведения регламентных и ремонтных работ трубопроводов малых диаметров, а также применения в технологических процессах высокоточной обработки изделий для энергетических систем. В состав систем управления роботами для обеспечения высокоточных движений применяются датчики. Видеокамеры необходимы для получения визуальной информации о техническом состоянии внутренних поверхностей труб. В роли этих устройств можно использовать искусственные маяки. При использовании данной аппаратуры робот может попытаться самостоятельно выделить статичные элементы окружающей обстановки и выполнить привязку к ним своих координат. Минусом такой доработки является проблема нахождения ключевых объектов при изменении ус-



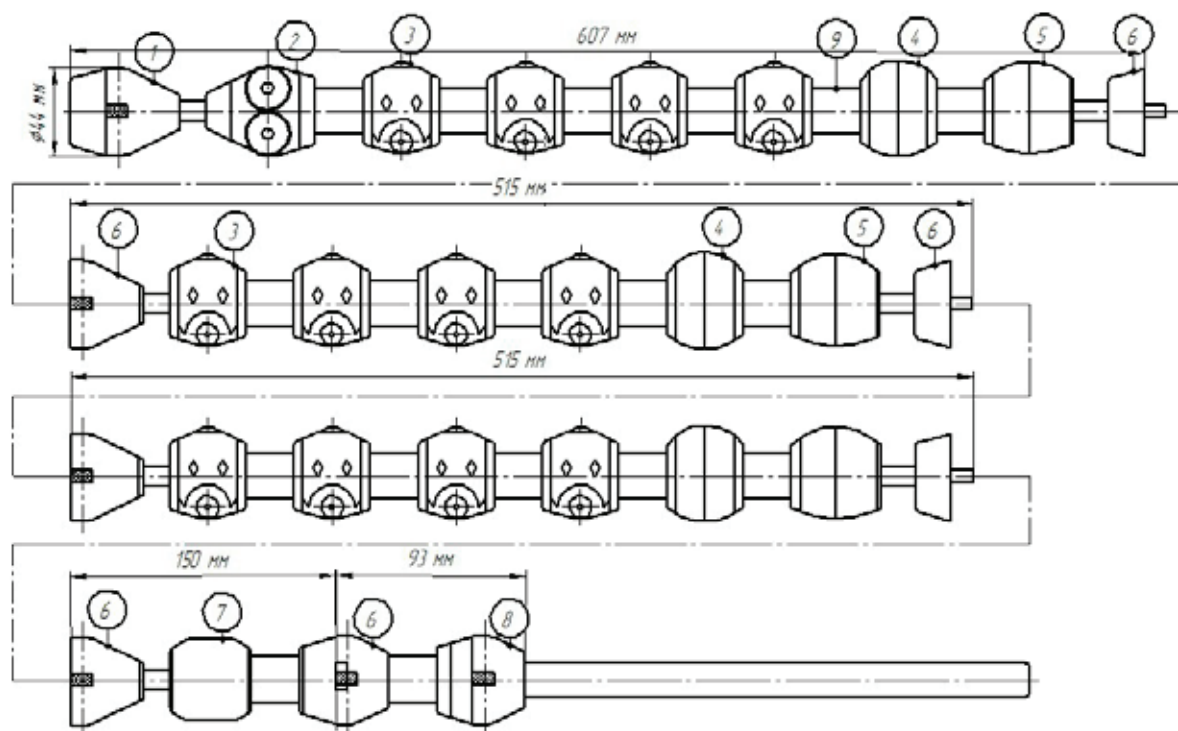


Рис. 4. Конструкция робота

ловий внешней среды (например, уровня освещенности). Здесь может прийти на помощь использование стереокамер — зная угол зрения каждой из них, можно вычислить расстояние до цели. Но все равно остается актуальной задача распознавания одного и того же объекта каждой камерой и последующая синхронизация их «взглядов», что роботам пока сложно делать в масштабе реального времени. Затем информация подвергается микропроцес-

сорной обработке. В качестве диагностических устройств могут применяться микродатчики, построенные на иных принципах, например, ультразвуковые — для выявления внутренних трещин, электромагнитные и другие, реализующие методы неразрушающего контроля. [1–11]

Разработанный нами робот позволит уменьшить время диагностирования различных типов трубопроводов, а также сократить затраты на контроль состояния трубопроводов.

#### Литература:

1. Федотов, А. Г., Поезжаева Е. В., Заглядов П. В., Безопасность труда при взаимодействии с промышленными роботами//Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика,2014, стр. 14–15.
2. Поезжаева, Е. В. Промышленные роботы: учеб.пособие: в 3 ч./ Е. В. Поезжаева. — Пермь Изд-во Пермь.гос, тех. ун-та, 2006. — Ч.1. — 64 с.
3. Поезжаева, Е. В. Промышленные роботы: учеб.пособие: в 2 ч./ Е. В. Поезжаева. — Пермь Изд-во Пермь.гос, тех. ун-та, 2006. — Ч.1. — 64 с.
4. Поезжаева, Е. В. Промышленные роботы: учеб.пособие: в 1 ч./ Е. В. Поезжаева. — Пермь Изд-во Пермь.гос, тех. ун-та, 2006. — Ч.1. — 64 с.
5. Зенкевич, С. Л., Ющенко А. С. Управление роботами. — М.: Изд-во МГОУ им. Н. Э. Баумана, 2006.
6. Корендясев, А. И. Теоретические основы робототехники: в 2 кн./ А. И. Корендясев, Б. Л. Саламандра, Л. И. Тывес; отв. Ред. С. М. Каплунов. — М.: Наука,2006.
7. Хорн, Б. К. Зрение роботов. — М.: Мир,1989.
8. Михайлов, С. В., Романов В. В., Заикин Д. А., Система технического зрения для диагностики процесса резания материалов//Вестник компьютерных и информационных технологий.,2007,№ 4, стр 23–26
9. Роботизация фермерских хозяйств по обработке растений. Поезжаева Е. В., Васенин А. С., Шумков А. Г. Вестник ВСГУТУ. 2014. № 3 (48). с. 59–62.
10. Робот для тушения отдельных очагов пожара. Поезжаева Е. В., Федотов А. Г., Заглядов П. В. Молодой ученый. 2014. № 16. с. 399–401.
11. Робот-змея для технической диагностики и ремонта трубопроводов. Поезжаева Е. В., Юшков В. С. Новые материалы и технологии в машиностроении. 2011. № 14. с. 93–98.

## Универсальная роботизированная платформа для скалывания льда

Поезжаева Елена Вячеславовна, кандидат технических наук, профессор;

Федотов Александр Георгиевич, студент;

Заглядов Павел Владимирович, студент

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

*Вашему вниманию представлен проект роботизированного устройства, которое позволяет произвести скалывание льда в местах, где труд человека опасен для самого человека либо для окружающих, а также позволит производить работы с наибольшей эффективностью и наименьшими затратами. Мы оборудовали робота камерой и пультом управления, благодаря этому оператор может производить управление с безопасной точки. Также данное устройство подразумевает самостоятельный режим, то есть робот способен распознавать льдины и самостоятельно скалывать их без вмешательства и контроля человеком, в результате чего возникает возможность без операторного управления. Кроме того, в своей работе мы рассмотрели манипулятор на точность позиционирования.*

**Ключевые слова:** робот, манипулятор, скалывание льда.

Весна не только дает нам право отдохнуть от суровых холодов недавно прошедшей зимы, но и вносит в жизнь каждого человека элементы «русской рулетки», изо дня в день, выходя из дома, мы не можем быть полностью уверены, что вернемся домой живые и невредимые. И это не из-за опасности на дорогах или нападению хулиганов, а из-за больших шансов попасть под обстрел свисающих с крыш сосулек и съезжающего с откосов снега. Причем каждый год об этом пишется тысячи статей, снимается сотни репортажей, гибнут десятки людей, страдает имущество, однако актуальность данной темы в нашем климате всегда будет велика.

Согласно статистике департамента здравоохранения, с 1 декабря 2014 года по 31 января 2014 от сосулек в городе пострадали восемь человек, а в течение февраля за медпомощью обратились более 40 человек. Только за один день, 24 февраля, от падения сосулек пострадал 21 человек.

В связи с этим нами был разработан проект робота для скалывания льда, который представлен на рис.1, где обозначено: 1 — корпус робота; 2 — вибромолот; 3 — манипулятор; 4 — камера; 5 — крышка агрегатного отделения; 6 — ударник; 7 — шасси. При необходимости очистки крыши от снега на робот может быть установлен отвал.

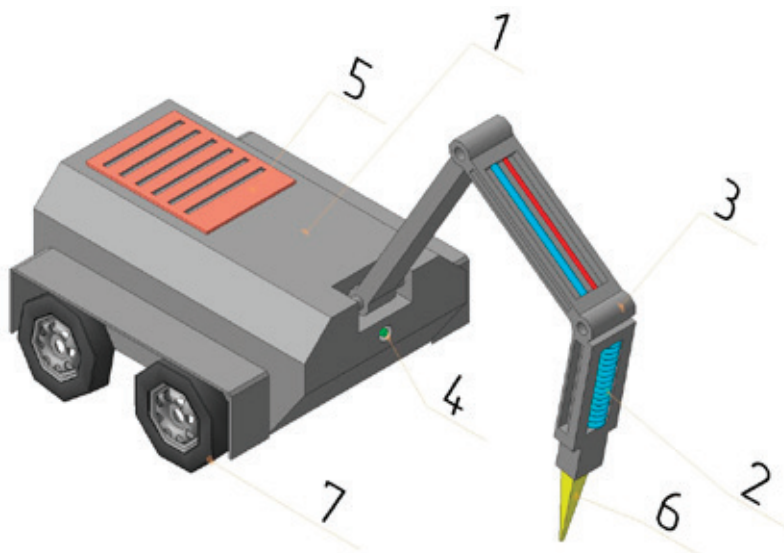


Рис. 1. 3D-модель робота (разработано авторами)

Наша модель имеет небольшие габариты и высокую мощность, а также проходимость, за счет чего скалывает лед с указанного объекта высокопроизводительно при малых затратах. Предусмотрено два режима: безоператорный и операторный. Режим выбирается в зависимости от выбранной задачи. К примеру, если объект просто и легко удаляется, то следует выбирать безоператорный режим, при котором робот самостоятельно выполнит ряд необходимых функций. Если же задача сложная и подъезд к ней затруднен для самостоятельной проходки модели,

то необходимо выбрать операторный способ управления роботом. При этом режиме управления пилотирование роботом происходит удаленно с помощью устройства, содержащее специальное программное обеспечение. Это устройство — пульт управления с экраном, на который передается изображение с камеры. Оператор анализирует обстановку и приводит в действие робота и с помощью подвижного рабочего органа выполняет необходимую задачу. При выборе безоператорного режима роботизированное устройство с помощью датчиков, установленных на корпусе робота, определяет размеры ледового покрова и без вмешательства оператора удаляет ледовую глыбу. Из-за высокой мощности, отличной проходимости и большого запаса хода очистка ледовых поверхностей на труднодоступных местах производится быстро, качественно и безопасно. Инновационность подхода заключается в возможности удаленного управления и доступа к роботу в режиме online посредством установки на робот камеры слежения движения.

В связи со значительной сложностью задачи управления движениями манипуляционного робота ее обычно решают в два этапа: на первом этапе осуществляется планирование траектории, минимизирующей некоторую функцию затрат, а на втором производится отслеживание этой траектории. Ниже рассматривается подход к решению задачи планирования траектории минимальной стоимости при заданной геометрической линии движения манипулятора и ограничениях на величину развиваемых сил (моментов).

Пусть геометрический путь задан параметрической кривой

$$q^i = f^i(\delta), \quad 0 \leq \delta \leq \delta_{max} \tag{1}$$

где  $q^i$ - положение  $i$  — го сочленения;  $q = [q^1, q^2, \dots, q^n]^T$  - вектор положения манипулятора с  $n$  — степенями подвижности; начальная и конечная точки движения соответствуют значениям параметра  $\delta = 0$  и  $\delta = \delta_{max}$ .

Будем также полагать, что множество реализуемых моментов (сил), развиваемых приводами, может быть представлено в функции состояния системы (положения и скорости)

$$u = (u_1, u_2, \dots, u_n)^T \in E(q, \dot{q}) \tag{2}$$

На практике обычно желательно ограничить производные вращающих моментов

$$|\dot{u}_i| \leq K_i, \text{ где } K_i - \text{константа.}$$

Уравнения динамики манипулятора можно представить в форме

$$u_i = J_{ij}\ddot{q}^j + C_{ijk}\dot{q}^j\dot{q}^k + R_{ij}\dot{q}^j + G_i, \tag{3}$$

где  $J_{ij}$  — матрица инерции;  $C_{ijk}$ - массив центробежных и кориолисовых коэффициентов;  $R_{ij}$ - матрица вязкого трения;  $G_i$ - вектор сил тяжести; используется правило Эйнштейна свертки индексных выражений. Если в уравнение (4) подставить (1), можно получить

$$u_i = J_{ij} \frac{df^j}{d\delta^2} \mu^2 + \left( J_{ij} \frac{d^2 f^j}{d\delta^2} + C_{ijk} \frac{df^j}{d\delta} \frac{df^k}{d\delta} \right) \mu^2 + R_{ij} \frac{df^j}{d\delta} \mu + G_i \tag{4}$$

где  $\mu = \delta$ . Будем полагать, что функция стоимости имеет вид

$$C = \int_0^{\delta_{max}} L(\delta, \mu, u_i) d\delta. \tag{5}$$

Тогда требуется найти траекторию, минимизирующую (6) и удовлетворяющую ограничениям (5), (2) и (3).

Рассмотрим подход к решению этой задачи, основанный на использовании динамического программирования. Нанесем на фазовую плоскость  $(\delta - \mu)$  дискретную сетку. Тогда можно вычислить стоимость перехода от одного узла сетки к другому. Перепишем (5) в виде

$$u_i = M_i \mu + Q_i \mu^2 + R_i \mu + S_i \tag{6}$$

$$M_i \equiv J_{ij} \frac{df^j}{d\delta}, Q_i \equiv J_{ij} \frac{d^2 f^j}{d\delta^2} + C_{ijk} \frac{df^j}{d\delta} \frac{df^k}{d\delta}, R_i \equiv R_{ij} \frac{df^j}{d\delta} \text{ и } S_i \equiv G_i \tag{7}$$

Все члены  $M_i, Q_i, R_i$  и  $S_i$  являются функциями  $\delta$ , однако для простоты записи обозначение этой зависимости опущено. Выберем шаг по координате  $\delta$  достаточно малым, чтобы функции  $M_i, Q_i, R_i, S_i$  и  $\frac{df^j}{d\delta}$  практически не изменялись на единичном интервале. Тогда коэффициенты уравнения (7) можно полагать константами. Проектируя вектор входного момента на вектор скорости  $\frac{df^j}{d\delta}$ , можно преобразовать (7) к виду

$$U \equiv u_i \frac{df^j}{d\delta} = M \dot{\mu} + Q \mu^2 + R \mu + S, \tag{8}$$

где  $M \equiv M_i \frac{df^j}{d\delta}, Q \equiv Q_i \frac{df^j}{d\delta}, R \equiv R_i \frac{df^j}{d\delta}, S \equiv S_i \frac{df^j}{d\delta}$ . Разделив (8) на  $\mu \equiv \delta$  и учитывая, что  $\dot{\mu}/\mu \equiv (d\mu/dt)/(d\delta/dt) \equiv d\mu/d\delta$ , можно получить

$$M \frac{d\mu}{d\delta} + Q \mu + R + \frac{1}{\mu} (S - U) = 0 \tag{9}$$

Используя (9) как уравнение динамики и учитывая, что в пределах одного интервала дискретизации  $\delta$  коэффициенты  $M, Q, R, S$  можно полагать константами, найдем решение уравнения (8) с краевыми условиями

$$\mu(\delta_k) = \mu_0, \mu(\delta_{k+1}) = \mu_1 \tag{10}$$

на интервале  $[\delta_k, \delta_{k+1}]$ . Будем искать входной момент в форме:

$$u_i = Q_i \mu^2 + R_i \mu + V_i$$

где  $V_i$ - константы, выбранные таким образом, чтобы удовлетворялись краевые условия (10). Рассмотрим вначале случай, когда отсутствует взаимная зависимость предельных значений моментов, развиваемых в разных степенях подвижности. Тогда множество  $E$  в (2) определяется выражением

$$E(q, \dot{q}) = \{ (u_1, \dots, u_n)^T u_{min}^i(q, \dot{q}) \leq u_i \leq u_{max}^i(q, \dot{q}) \} \tag{11}$$

Проектируя вектор входного момента в форме (11) на вектор скорости  $df^i/d\delta$  можно получить  $U = Q\mu^2 + R\mu + V$ , где  $V = V_i df^i/d\delta$ . Подставляя это выражение, в (9) и упрощая, получаем уравнение

$$\frac{d\mu}{d\delta} = -\frac{1}{\mu} \frac{(S-V)}{M} \tag{12}$$

Решение уравнения имеет вид

$$\delta = K - \frac{M}{2(S-V)} \mu^2 \tag{13}$$

Определим константы  $K$  и  $V$  таким образом, чтобы уравнение (14) удовлетворяло краевым условиям (10). Тогда решение имеет вид

$$\delta = \frac{\delta_k(\mu_1^2 - \mu^2) + \delta_{k+1}(\mu^2 - \mu_0^2)}{\mu_1^2 - \mu_0^2} \tag{14}$$

Выражая  $\mu$  через  $\delta$  (в [12] показано, что  $\mu \geq 0$ ), можно получить

$$\mu = \sqrt{\frac{(\delta_{k+1} - \delta)\mu_0^2 + (\delta + \delta_k)\mu_1^2}{\delta_{k+1} - \delta_k}} \tag{15}$$

Теперь, когда найден путь на одном интервале дискретизации  $\delta$ , найдем входы  $u_i$  и компоненты приращения функции затрат. Замечая, что  $\dot{\mu} = \mu d\mu/d\delta$  и используя (13), получим

$$\dot{\mu} = \frac{(V - S)}{M} = constant$$

Величины  $M$  и  $S$  заданы. Выражения (15) и (16) позволяют представить константу  $V$  как  $V = S + M/2 \times (\mu_1^2 - \mu_0^2)/(\delta_{k+1} - \delta_k)$ . Используя это выражение для вычисления  $\dot{\mu}$  в (16) и подставляя в (7), получим

$$u_i = Q_i \mu^2 + R_i \mu + S_i + M_i \times \frac{\mu_1^2 - \mu_0^2}{2(\delta_{k+1} - \delta_k)} \tag{16}$$

Определим, реализуемы ли максимальные и минимальные значения  $u_i$  на интервале  $[\delta_k, \delta_{k+1}]$  или на соответствующем интервале  $[min(\mu_0, \mu_1), max(\mu_0, \mu_1)]$ . Величина  $\mu$  может принимать максимальное или минимальное значение в одной из трех точек интервала:  $\mu_0, \mu_1$  или в точке  $\mu_m$  максимального или минимального значения  $u_i$ ;  $\mu_m = -R_i/2Q_i$ . В случае, если условие

$$min(\mu_0, \mu_1) \leq \mu_m \leq max(\mu_0, \mu_1) \tag{17}$$

не выполняется, управляющие моменты вычисляются только в конечных точках интервала.

Зная скорости и управляющие моменты, можно найти приращение функции затрат

$$C = \int_{\lambda_k}^{\lambda_{k+1}} L(\lambda_i \mu_i v_i) \tag{18}$$

где  $\mu$  и  $u_i$  являются функциями  $\lambda$  в соответствии с (15) и (17), Если интеграл (18) нельзя вычислить аналитически, нужно использовать численные методы.

Сформулируем основанный на динамическом программировании алгоритм формирования траектории движения. Заданы уравнения динамики манипулятора (5), уравнение кривой (1), ограничения входных моментов (12) и приращение функции стоимости (18). Вначале будем полагать, что производные входных моментов не ограничены. Тогда алгоритм заключается в следующем:

Шаг 1. Определить производные  $df^i/d\lambda$  используя эти данные и уравнения динамики манипулятора, найти коэффициенты выражений (7) и (8).

Шаг 2. Дискретизировать фазовую плоскость  $(\lambda, \mu)$  путем нанесения прямоугольной сетки, содержащей  $N_\lambda$  делений по оси  $\lambda$  и  $N_\mu$  делений по оси  $\mu$ . Сопоставить каждой точке сетки  $(\lambda_m, \mu_n)$  величину затрат  $C_{m,n}$  указатель следующей строки  $P_{m,n}$  устремить все  $C_{m,n}$  к бесконечности кроме точки желаемого целевого состояния, в которой затраты устанавливаются равными нулю. Установить все указатели в нулевое состояние и ввести в счетчик столбцов  $a$  значение  $N_\lambda$

Шаг 3. Если счетчик  $a$  показывает нуль, то останов.

Шаг 4. В противном случае установить счетчик текущей строки  $\beta$  в нулевое состояние»

Шаг 5. Если  $\beta = N_\mu$  перейти к шагу 12.

Шаг 6. В противном случае установить счетчик следующей строки  $\gamma$  в нуль.

Шаг 7. Если  $\gamma = N_\mu$  перейти к шагу 11

Шаг 8. Для строк  $\beta$  и  $\gamma$  построить кривую, соединяющую точки  $(a-1, \beta)$  и  $(a, \gamma)$ . Для рассматриваемой линии проверить, удовлетворяют ли, входные моменты ограничениям (12). Если нет, перейти к шагу 10.

Шаг 9. Вычислить затраты на прохождение участка траектории, прибавляя  $C_{a\gamma}$  к приращению затрат при переходе от точки  $(a-1, \beta)$  к точке  $(a, \gamma)$ . Если эта величина меньше, чем  $C_{a-1, \beta}$ , то присвоить  $C_{a-1, \beta}$  полученное новое значение и установить в указателе  $P_{a-1, \beta}$ ,  $a$  значение  $\gamma$ .

Шаг 10. Увеличить на единицу содержимое счетчика  $\gamma$  и перейти к шагу 7,

Шаг 11. Увеличить на единицу содержимое счетчика  $\beta$  и перейти к шагу 5.

Шаг 12. Уменьшить на единицу содержимое счетчика  $a$  и перейти к шагу 3.

Последовательность значений, указателя  $P_{m,n}$  при переходе из начального в конечное состояние определяет оптимальную траекторию. По полученной оптимальной траектории можно вычислить положения в степенях подвижности, скорости и моменты. [1–11]



Разработанный нами робот позволит произвести скалывание льда в местах, где труд человека опасен для самого человека либо для окружающих, а так же позволит производить работы с наибольшей эффективностью и наименьшими затратами.

Литература:

1. Федотов, А. Г., Поезжаева Е. В., Заглядов П. В., Безопасность труда при взаимодействии с промышленными роботами//Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика,2014, стр. 14–15.
2. Поезжаева, Е. В. Промышленные роботы: учеб.пособие: в 3 ч./ Е. В. Поезжаева. — Пермь Изд-во Пермь.гос. тех. ун-та, 2006. — Ч.1. —64 с.
3. Поезжаева, Е. В. Промышленные роботы: учеб.пособие: в 2 ч./ Е. В. Поезжаева. — Пермь Изд-во Пермь.гос. тех. ун-та, 2006. — Ч.1. —64 с.
4. Поезжаева, Е. В. Промышленные роботы: учеб.пособие: в 1 ч./ Е. В. Поезжаева. — Пермь Изд-во Пермь.гос. тех. ун-та, 2006. — Ч.1. —64 с.
5. Зенкевич, С. Л., Ющенко А.:С. Управление роботами. — М.: Изд-во МГОУ им. Н. Э. Баумана, 2006.
6. Корендясев, А. И. Теоретические основы робототехники: в 2 кн./ А. И. Корендясев, Б. Л. Саламандра, Л. И. Тывес; отв. Ред. С. М. Каплунов. — М.: Наука,2006.
7. Хорн, Б. К. Зрение роботов. — М.: Мир,1989.
8. Михайлов, С. В., Романов В. В., Заикин Д. А., Система технического зрения для диагностики процесса резания материалов//Вестник компьютерных и информационных технологий.,2007,№ 4, стр 23–26
9. Роботизация фермерских хозяйств по обработке растений. Поезжаева Е. В., Васенин А. С., Шумков А. Г. Вестник ВСГУТУ. 2014. № 3 (48). с. 59–62.
10. Робот для тушения отдельных очагов пожара. Поезжаева Е. В., Федотов А. Г., Заглядов П. В. Молодой ученый. 2014. № 16. с. 399–401.
11. Робот-змея для технической диагностики и ремонта трубопроводов. Поезжаева Е. В., Юшков В. С. Новые материалы и технологии в машиностроении. 2011. № 14. с. 93–98.

## Охрана труда при использовании промышленных роботов

Поезжаева Елена Вячеславовна, кандидат технических наук, профессор;

Федотов Александр Георгиевич, студент;

Заглядов Павел Владимирович, студент

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

*Расширение сферы применения промышленных роботов, их возрастающий искусственный интеллект не уменьшает актуальность проблем обеспечения безопасности труда. Рассмотрена система технического зрения, выделены основные причины аварийной ситуации и требования, предъявляемые к безопасности труда.*

**Ключевые слова:** промышленный робот, безопасность труда, система технического зрения.

Приводим определение промышленные роботы (ПР): автоматический манипулятор, осуществляющий перепрограммируемые перемещения в пространстве, многофункциональный, способный выполнять обработку и ориентацию материалов, деталей, инструментов или специализированных устройств в процессе разнообразных перемещений назначенный для достижения разнообразных целей, состав входят одна или несколько рук, на концах которых имеется схват. Управляющая система ПР включает в себя запоминающее устройство (ЗУ) и при необходимости, устройства для восприятия различной информации об условиях окружающей среды с целью адаптации. Эти многофункциональные устройства раз-

работаны, главным образом, для выполнения в виде повторяющихся циклов заданной функции и могут быть перестроены для выполнения других функций без существенной модификации устройства.

Основными причинами, формирующими опасные, критические и аварийные ситуации при эксплуатации ПР, являются:

1. непредусмотренные движения исполнительных устройств промышленных роботов при наладке, ремонте, во время обучения и исполнения управляющей программы;
2. внезапный отказ в работе промышленного робота или технологического оборудования, совместно с которым он работает;

3. ошибочные (непреднамеренные) действия оператора или наладчика во время наладки и ремонта, при работе в автоматическом режиме;

4. доступ человека в рабочее пространство робота, функционирующего в режиме исполнения программы;

5. нарушение условий эксплуатации промышленного робота, роботизированного технологического комплекса;

6. нарушение требований эргономики и безопасности труда при планировке роботизированного технологического комплекса и участка (размещение технологического оборудования, промышленных роботов, пультов управления, загрузочных и разгрузочных устройств, накопителей, тары, транспортных средств и других средств технологического оснащения).

На проблему безопасности оказывают влияние следующие аспекты: изменяемое число степеней подвижности, свободная программируемость направлений перемещения, свободная программируемость скоростей. Стоит отметить основные виды опасности для здоровья и жизни обслуживающего персонала: механические повреждения, электротравмы, ожоги, химические травмы. Требования безопасности следует учитывать уже на этапе проектирования таких элементов, как схваты, руки, узлы сочленения, это особенно важно при значительности перемещаемых масс и скоростей. Необходимо предусматривать специальные устройства торможения (демпфирования в условиях значительных изменений нагружения, специальные меры выравнивания перемещаемых масс при значительных динамических нагрузках). В систему программирования и управления необходимо встраивать специальные диагностирующие средства и алгоритмы. Для обеспечения безопасности требуется использовать средства механической защиты в виде средств ограждения рабочей зоны ПР, использования специальных датчиков, фиксирующих направление, наличие посторонних предметов в рабочей зоне, электрокабели должны иметь покрытие, устойчивое к воздействию агрессивных сред,

штепсельные разъемы должны быть герметичны. Так же необходимо проводить анализ работы ПР в составе автоматизированных линий с целью выявления так называемой «скрытой» опасности, которая может возникнуть при совместной работе ПР с элементами автоматической линии.

Мы предлагаем большее внимание уделять вопросам использования в промышленности различных сенсорных систем, в частности систем технического зрения (СТЗ). Типичными задачами, требующими зрительного очувствления являются зрительная инспекция продукции, контроль и управление процессами, робототехнические задачи, связанные с манипулированием заготовками, автоматизированной сборкой (рис.1).

Применение, СТЗ особенно перспективно там, где возможности человеческого глаза (быстродействие, точность, надежность, объективность и т.д.) оказываются недостаточными, где технические и организационные альтернативы приводят к значительно большим затратам. Так например применение СТЗ в процессе сборке автомобилей см. рис.2

В области манипулирования деталями и автоматизированной сборки можно выделить две группы задач:

1. измерение относительного смещения (инструмент — деталь, деталь — деталь) неточно позиционируемых объектов (например, деталей в паллетах) или определение геометрических параметров формы детали;
2. распознавание деталей и определение их положения.

Измерение смещения производится при автоматической сборке узлов.

Бесконтактное зрительное измерение особенно важно при монтаже деталей на крупном и тяжелом основании, как, например, при сборке автомобиля, когда альтернативные методы, связанные с повышением точности фиксации узла и уменьшением допусков, оказываются экономически невыгодными. Характерными примерами



Рис. 1. Взаимосвязь различных областей применения и задач зрительных систем в производстве

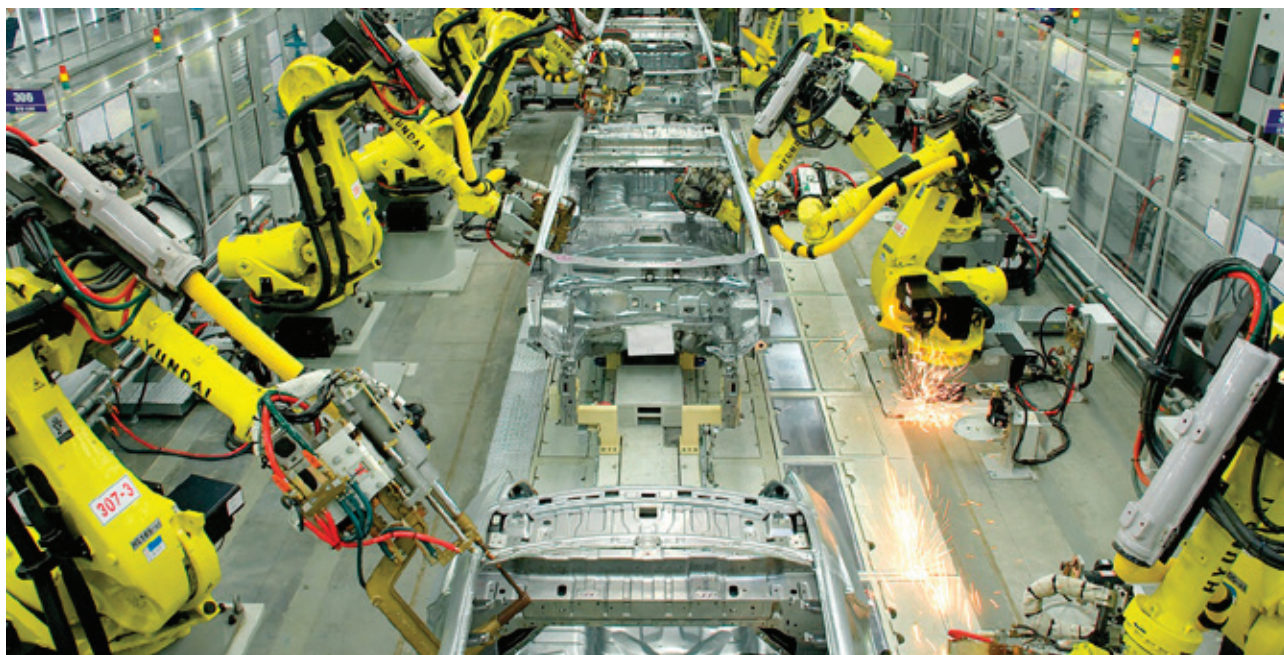


Рис. 2. Применение СТЗ на автомобильном заводе

являются отыскание начала шва при сварке и навеска колес.

Решение задач второй группы необходимо, в частности, при кассетировании неупорядоченных деталей роботом. Эти детали могут располагаться на плоскости либо быть в беспорядке сваленными в бункер. В настоящее время задача «разбора навала» (в бункере) представляется менее важной. Ни одна из существующих на настоящий момент систем не в состоянии удовлетворительно ее решить.

Целесообразность применения зрительных систем при контроле производственных процессов обусловлена тем, что в условиях современного высокопроизводительного производства человек не может обеспечить стопроцентный контроль всех операций. В результате брак обнаруживается слишком поздно, что приводит к большим потерям материалов и средств. Области применения СТЗ при контроле процессов включают в себя: контроль поверхностей на производственных линиях (прокат, произ-

водство стекла, пластика, тканей), слежение за швом (сварка, склейка, полировка), измерение распределения размеров изделий, контроль состояния инструмента; контроль рабочей зоны.

В области визуальной инспекции типичными применениями СТЗ являются: контроль отливок на отсутствие трещин, контроль листового стекла (волнистость, вкрапления), контроль печатных плат и масок в электронной промышленности, контроль кабелей и др. [1–6]

Таким образом, мы приходим к выводу, что для безопасности использования промышленных роботов необходимо применять различные сенсорные системы, например рассмотренную нами систему технического зрения. Кроме того, средства защиты должны создаваться, исходя из учета различного характера деятельности персонала, работающего с ПР и высокой эксплуатационной надежностью таких средств, при этом затраты на их реализацию должны быть экономически оправданы.

#### Литература:

1. Федотов, А. Г., Поезжаева Е. В., Заглядов П. В., Безопасность труда при взаимодействии с промышленными роботами//Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика,2014, стр. 14–15.
2. Поезжаева, Е. В. Промышленные роботы: учеб.пособие: в 3 ч./ Е. В. Поезжаева. — Пермь Изд-во Пермь.гос. тех. ун-та, 2006. — Ч.1. — 64 с.
3. Зенкевич, С. Л., Ющенко А. С. Управление роботами. — М.: Изд-во МГОУ им. Н. Э. Баумана, 2006.
4. Корендясев, А. И. Теоретические основы робототехники: в 2 кн./ А. И. Корендясев, Б. Л. Саламандра, Л. И. Тывес; отв. Ред. С. М. Каплунов. — М.: Наука,2006.
5. Хорн, Б. К. Зрение роботов. — М.: Мир,1989.
6. Михайлов, С. В., Романов В. В., Заикин Д. А., Система технического зрения для диагностики процесса резания материалов//Вестник компьютерных и информационных технологий.,2007,№ 4, стр 23–26



## Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля Д-245.7 в зависимости от изменения нагрузки

Скрябин Максим Леонидович, кандидат технических наук, доцент  
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

В данной статье рассмотрено влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха.

**Ключевые слова:** отработавшие газы, загрязнение воздуха, токсичные компоненты, эффективные показатели.

Нагрузочные характеристики изменения эффективных показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе дизеля на ДТ и на ПГ на оптимальных установочных УОВТ на номинальной частоте вращения ( $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 0,947 \text{ МПа}$ ) представлены на рис. 1 [1–9].

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  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 0,947 \text{ МПа}$ . Суммарный часовой расход топлива  $G_{\Sigma}$  в области больших нагрузок ( $p_e > 0,770 \text{ МПа}$ ) при работе дизеля на ПГ меньше, чем при работе дизеля на

ДТ, а на малой и средней нагрузке часовой расход больше. Так, при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 0,947 \text{ МПа}$  часовой расход топлива  $G_{\Sigma}$  при переходе на ПГ снижается с 21 кг/ч до 18,8 кг/ч или на 10,5%, а при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 0,126 \text{ МПа}$  часовой расход топлива повышается с 6,8 кг/ч до 9,6 кг/ч или на 41,1%. Так как расход запального ДТ при работе дизеля на ПГ составляет 3,6 кг/ч, т.е. 17% от расхода топлива при работе только на ДТ при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 0,947 \text{ МПа}$ , то экономия ДТ при переходе на ПГ в этом случае составляет 83%. Значения суммарного удельного расхода  $g_{\Sigma}$  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  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 0,30 \text{ МПа}$   $g_{\Sigma}$  при переходе на ПГ повышается с 328 г/(кВт·ч) до 430 г/(кВт·ч) или на 31,1%,

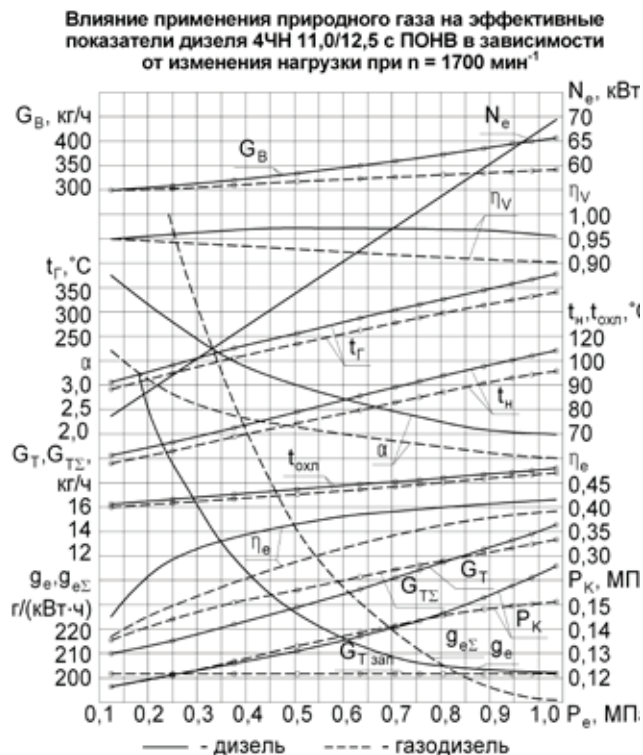


Рис. 1. Влияние применения ПГ на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения нагрузки на оптимальных установочных УОВТ при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ : — — — дизельный процесс, — — — газодизельный процесс



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.  $\eta_e$  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  $\eta_e$  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 влияет на коэффициент наполнения  $\eta_v$  и коэффициент избытка воздуха  $\alpha$ . Так, при переходе на ПГ при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 0,126 \text{ МПа}$  значение  $\eta_v$  снижается с 0,940 до 0,907 или на 3,1%, а при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 0,947 \text{ МПа}$  с 0,938 до 0,909 или на 3,1%. При  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 0,126 \text{ МПа}$  значение  $\alpha$  снижается с 4,86 до 3,03, а при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 0,947 \text{ МПа}$  с 2,00 до

1,69. При переходе на ПГ уменьшается температура ОГ. Так, при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 0,126 \text{ МПа}$  значение  $t_r$  снижается с 197°C до 181°C, а при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 0,947 \text{ МПа}$  с 430°C до 367°C [10–18].

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. При  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 0,126 \text{ МПа}$  на ПГ значение давления наддува  $p_k$  повышается с 0,133 МПа до 0,138 МПа, а при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 0,947 \text{ МПа}$  снижается с 0,178 МПа до 0,172 МПа. При  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 0,126 \text{ МПа}$  значение температуры на выходе из турбокомпрессора  $t_H$  повышается с 77°C до 81°C, а при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 0,947 \text{ МПа}$  снижается с 121°C до 119°C. Значение температуры воздуха на выходе из охладителя  $t_{\text{охл}}$  при переходе на ПГ практически не изменяется, т.е. при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 0,126 \text{ МПа}$  значение  $t_{\text{охл}}$  повышается с 46°C до 47°C, а при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 0,947 \text{ МПа}$  снижается с 69°C до 68°C [19–33].

#### Литература:

1. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226–229.
2. Анфилатов, А. А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229–232.
3. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 232–235.
4. 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.
5. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 238–241.
6. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальное давление сгорания в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 117–120.
7. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальную осредненную температуру цикла в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 120–123.
8. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
9. Анфилатов, А. А. Изменение объемного содержания оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 125–128.
10. Анфилатов, А. А. Индексирование тепловыделения в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 128–131.
11. Анфилатов, А. А. Методика исследований дизеля 2Ч 10,5/12,0 по снижению содержания оксидов азота при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 131–134.
12. Анфилатов, А. А. Обработка полученных результатов исследований дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 134–136.
13. Анфилатов, А. А. Объемное содержание оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 136–139.
14. Анфилатов, А. А. Расчет выбросов вредных газообразных веществ с отработавшими газами дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 139–141.
15. Анфилатов, А. А. Содержание оксидов азота в дизеле при работе на метаноле в зависимости от изменения установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 141–144.
16. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на мощностные и экономические показатели дизеля // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 73–76.

17. Анфилатов, А. А. Изменение массовой концентрации оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 76–79.
18. Анфилатов, А. А. Изменение мощностных и экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 79–82.
19. Анфилатов, А. А. Массовая концентрация оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 82–85.
20. Анфилатов, А. А. Мощностные и экономические показатели дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 85–87.
21. 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.
22. 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.
23. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Образование и нейтрализация оксидов азота в цилиндре газодизеля: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2004. — 106 с
24. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения природного газа и рециркуляции // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 4 (40). с. 21–25.
25. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Применение природного газа и рециркуляции на тракторном дизеле 4Ч 11,0/12,5 // Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 6. с. 7–9.
26. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения этанола-топливной эмульсии // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 2. с. 6–7.
27. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля Д-240 путем применения этанола-топливной эмульсии // Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник: 2013. № 1 (1). с. 29–32.
28. Лопатин, О. П. Применение природного газа и рециркуляции отработавших газов для снижения токсичности тракторного дизеля // Молодой ученый. 2015. № 6–5 (86). с. 11–13.
29. Лопатин, О. П. Зонная модель процесса образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 261–265.
30. Лопатин, О. П. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 265–268.
31. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Киров, 1999.
32. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Санкт-Петербург, 1999.
33. Лиханов, В. А., Полевщиков А. С. Особенности развития топливных факелов в цилиндре дизеля при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 1 (31). с. 62–65.

## Влияние применение метанола-топливных эмульсий на дымность отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 при работе с двойной системой топливоподачи

Скрябин Максим Леонидович, кандидат технических наук, доцент  
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

*В данной статье рассмотрено влияние применение метанола-топливных эмульсий на дымность отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 при работе с двойной системой топливоподачи.*

**Ключевые слова:** отработавшие газы, загрязнение воздуха, токсичные компоненты.

На рисунке 1 представлено влияние применения метанола с ДСТ в дизеле 2Ч 10,5/12,0 на показатели процесса сгорания и сажеосодержания в зависимости от нагрузки на номинальном режиме работы при  $n = 1800$  мин<sup>-1</sup> [1–10].

Из графиков видно, что при работе дизеля на ДТ при увеличении нагрузки увеличивается максимальное давление сгорания  $p_{z \max}$  от 5,8 МПа при  $p_e = 0,127$  МПа до 7,2 МПа при  $p_e = 0,65$  МПа. Увеличение  $p_{z \max}$  составляет 1,4 МПа,

или 19,4%. Максимальная осреднённая температура цикла в цилиндре дизеля  $T_{z\max}$  возрастает с 1540 К при  $p_e = 0,127$  МПа до 2020 К при  $p_e = 0,65$  МПа. Проведенные теоретические расчеты показывают, что расчетная массовая концентрация сажи в цилиндре в момент открытия выпускного клапана  $C_{\text{вых ДТ}}$  возрастает с 0,095 г/м<sup>3</sup> при  $p_e = 0,127$  МПа до 0,54 г/м<sup>3</sup> при  $p_e = 0,65$  МПа. Разница между теоретическим и экспериментальным значениями массовой концентрации сажи составляет от 5% при  $p_e = 0,127$  МПа до 10% при  $p_e = 0,65$  МПа. Из кривых, видно, что при работе на метаноле с ДСТ при увеличении нагрузки максимальное давление сгорания  $p_{z\max}$  возрастает с 5,2 МПа при  $p_e = 0,127$  МПа до 7,3 МПа при  $p_e = 0,65$  МПа. Увеличение составляет 2,1 МПа, или 28,8%. Максимальная осреднённая температура цикла при работе дизеля на метаноле увеличивается от 1360 К при  $p_e = 0,127$  МПа до 2040 К при  $p_e = 0,65$  МПа. Рост температуры при изменении нагрузки составляет 680 К, или 33,3%. Коэффициент избытка воздуха при работе дизеля на метаноле с ДСТ уменьшается с увеличением нагрузки с  $\alpha = 3,6$  при  $p_e = 0,127$  МПа до значения  $\alpha = 1,5$  при  $p_e = 0,65$  МПа. Снижение составляет 58,3%. Содержание сажи определяет дымность ОГ [11–20].

При работе дизеля на метаноле с ДСТ максимальное давление сгорания снижается при  $p_e = 0,127$  МПа с 5,8

МПа при работе на ДТ до 5,2 МПа. Снижение составляет 0,6 МПа или 10,3%. При  $p_e = 0,65$  МПа  $p_{z\max}$  увеличивается с  $p_{z\max} = 7,2$  МПа при работе на ДТ, до  $p_{z\max} = 7,3$  МПа при работе на метаноле с ДСТ. Увеличение составляет 1,37%. Максимальная осреднённая температура цикла при работе дизеля на метаноле с ДСТ при  $p_e = 0,127$  МПа снижается с 1540 К до 1360 К. Снижение равно 180 К или 11,7%. При  $p_e = 0,65$  МПа максимальная осреднённая температура цикла при работе на метаноле выше чем при работе на ДТ, 2040 К и 2020 К соответственно [21–28].

При  $p_e = 0,127$  МПа коэффициент избытка воздуха уменьшается с  $\alpha = 4,45$  при работе на ДТ до значения  $\alpha = 3,6$  при работе на метаноле с ДСТ. Снижение составляет 0,85 или 19,1%. При увеличении нагрузки до  $p_e = 0,65$  МПа коэффициент избытка воздуха увеличивается с  $\alpha = 1,1$  при работе на ДТ до значения  $\alpha = 1,5$  при работе на метаноле с ДСТ. С увеличением нагрузки массовая концентрация сажи в цилиндре в момент открытия выпускного клапана увеличивается, и снижение становится менее значительным. При  $p_e = 0,65$  МПа  $C_{\text{вых}}$  снижается с 0,6 г/м<sup>3</sup> при работе на ДТ до 0,055 г/м<sup>3</sup> при работе на метаноле с ДСТ. Концентрация сажи снижается в 11 раз [28–33].

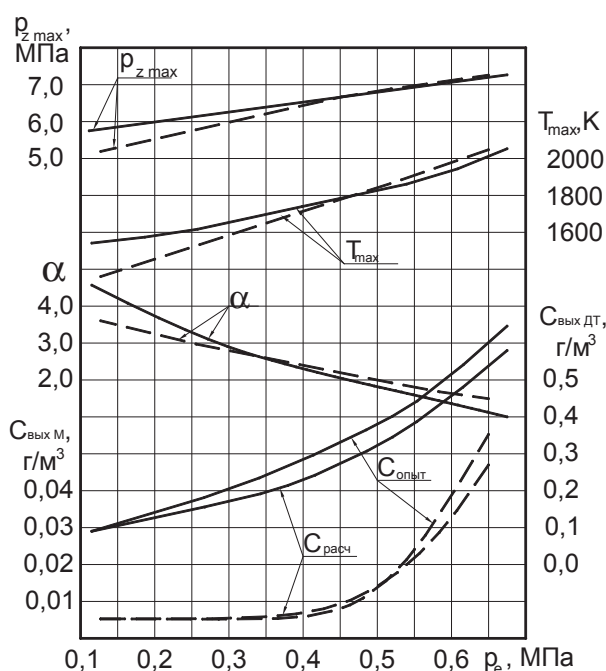


Рис. 1. Влияние применения метанола с ДСТ в дизеле 24 10,5/12,0 на показатели процесса сгорания и показатели сажесодержания в зависимости от изменения нагрузки при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ :  $\frac{3}{4}$  — дизельный процесс; — — — метанол с запальным ДТ

Литература:

1. Анфилатов, А.А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226–229.

2. Анфилатов, А. А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229–232.
3. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 232–235.
4. 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.
5. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 238–241.
6. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальное давление сгорания в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 117–120.
7. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальную осредненную температуру цикла в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 120–123.
8. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
9. Анфилатов, А. А. Изменение объемного содержания оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 125–128.
10. Анфилатов, А. А. Индексирование тепловыделения в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 128–131.
11. Анфилатов, А. А. Методика исследований дизеля 2Ч 10,5/12,0 по снижению содержания оксидов азота при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 131–134.
12. Анфилатов, А. А. Обработка полученных результатов исследований дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 134–136.
13. Анфилатов, А. А. Объемное содержание оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 136–139.
14. Анфилатов, А. А. Расчет выбросов вредных газообразных веществ с отработавшими газами дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 139–141.
15. Анфилатов, А. А. Содержание оксидов азота в дизеле при работе на метаноле в зависимости от изменения установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 141–144.
16. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на мощностные и экономические показатели дизеля // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 73–76.
17. Анфилатов, А. А. Изменение массовой концентрации оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 76–79.
18. Анфилатов, А. А. Изменение мощностных и экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 79–82.
19. Анфилатов, А. А. Массовая концентрация оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 82–85.
20. Анфилатов, А. А. Мощностные и экономические показатели дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 85–87.
21. 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.
22. 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.
23. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Образование и нейтрализация оксидов азота в цилиндре газодизеля: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2004. — 106 с
24. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения природного газа и рециркуляции // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 4 (40). с. 21–25.
25. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Применение природного газа и рециркуляции на тракторном дизеле 4Ч 11,0/12,5 // Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 6. с. 7–9.
26. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения этанола-топливной эмульсии // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 2. с. 6–7.
27. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля Д-240 путем применения этанола-топливной эмульсии // Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник: 2013. № 1 (1). с. 29–32.
28. Лопатин, О. П. Применение природного газа и рециркуляции отработавших газов для снижения токсичности тракторного дизеля // Молодой ученый. 2015. № 6–5 (86). с. 11–13.



29. Лопатин, О. П. Зонная модель процесса образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 261–265.
30. Лопатин, О. П. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 265–268.
31. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Киров, 1999.
32. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Санкт-Петербург, 1999.
33. Лиханов, В. А., Полевщиков А. С. Особенности развития топливных факелов в цилиндре дизеля при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 1 (31). с. 62–65.

## Влияние применения метанола в дизеле 2Ч 10,5/12,0 на показатели процесса сгорания в зависимости от изменения частоты вращения

Скрябин Максим Леонидович, кандидат технических наук, доцент  
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

*В работе приводятся результаты влияния применения метанола с двойной системой топливоподачи в дизеле 2Ч 10,5/12,0 на показатели процесса сгорания в зависимости от изменения частоты вращения.*

**Ключевые слова:** дизель, альтернативное топливо, метанол, сажа, двойная система топливоподачи.

На рисунке 1 представлено влияние применения метанола с ДСТ в дизеле 2Ч 10,5/12,0 на показатели процесса сгорания и показатели сажесодержания в зависимости от изменения частоты вращения [1–18].

При увеличении частоты вращения происходит увеличении 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 увеличивается 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 7,15 МПа при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  до 6,90 МПа при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ . Максимальная осреднённая 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 9,4%. Опытная массовая концентрация сажи в цилиндре в момент открытия выпускного клапана  $C_{\text{вых ДТ}}$  возрастает с 0,28 г/м<sup>3</sup> при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  до 0,66 г/м<sup>3</sup> при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ . Увеличение составляет 0,38 г/м<sup>3</sup> или в 2,4 раза. Расчетная массовая концентрация сажи в цилиндре в момент открытия выпускного клапана  $C_{\text{вых ДТ}}$  возрастает с 0,24 г/м<sup>3</sup> при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  до 0,62 г/м<sup>3</sup> при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ . Увеличение составляет 0,38 г/м<sup>3</sup> или в 2,6 раза [19–24].

При работе на метаноле с ДСТ  $p_{z \max}$  уменьшается с 7,6 МПа при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  до 7,0 МПа при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ . Снижение составляет 0,6 МПа или 7,9%.  $T_{\max}$  увеличивается от 1880 К при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  до 2050 К при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ , т.е. на 9%. Опытная массовая концентрация

сажи в цилиндре в момент открытия выпускного клапана  $C_{\text{вых М}}$  возрастает с 0,024 г/м<sup>3</sup> при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  до 0,039 г/м<sup>3</sup> при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ . Увеличение составляет 0,015 г/м<sup>3</sup> или 62,5%. Расчетная массовая концентрация сажи в цилиндре в момент открытия выпускного клапана  $C_{\text{вых М}}$  возрастает с 0,025 г/м<sup>3</sup> при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  до 0,037 г/м<sup>3</sup> при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ . Увеличение составляет 0,012 г/м<sup>3</sup> или 48%.

Максимальное давление цикла при работе дизеля на метаноле с ДСТ при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  больше, чем при работе дизеля на ДТ. Так, при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  максимальное давление цикла увеличивается с  $p_{z \max} = 7,15 \text{ МПа}$  при работе дизеля на ДТ до  $p_{z \max} = 7,6 \text{ МПа}$  при работе дизеля на метаноле с ДСТ (на 6,3%). С увеличением частоты вращения происходит снижение максимального давления сгорания, при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$  значение  $p_{z \max} = 6,9 \text{ МПа}$  при работе дизеля на ДТ,  $p_{z \max} = 7,0 \text{ МПа}$  при работе дизеля на метаноле с ДСТ (на 1,5%). При увеличении частоты вращения до  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$  коэффициент избытка воздуха увеличивается с  $\alpha = 1,3$  при работе на ДТ до значения  $\alpha = 1,6$  при работе на метаноле с ДСТ. При  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$   $C_{\text{вых}}$  снижается с 0,28 г/м<sup>3</sup> при работе на ДТ до 0,024 г/м<sup>3</sup> при работе на метаноле с ДСТ. концентрация сажи уменьшается в 11,6 раз. При  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$   $C_{\text{вых}}$  снижается с 0,66 г/м<sup>3</sup> при работе на ДТ до 0,039 г/м<sup>3</sup> при работе на метаноле с ДСТ, т.е. в 16,9 раз [25–33].

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что применение метанола с ДСТ в дизелях транспортных средств позволяет значительно снизить дымность ОГ, содержание канцерогенного бенз (а) пирена.

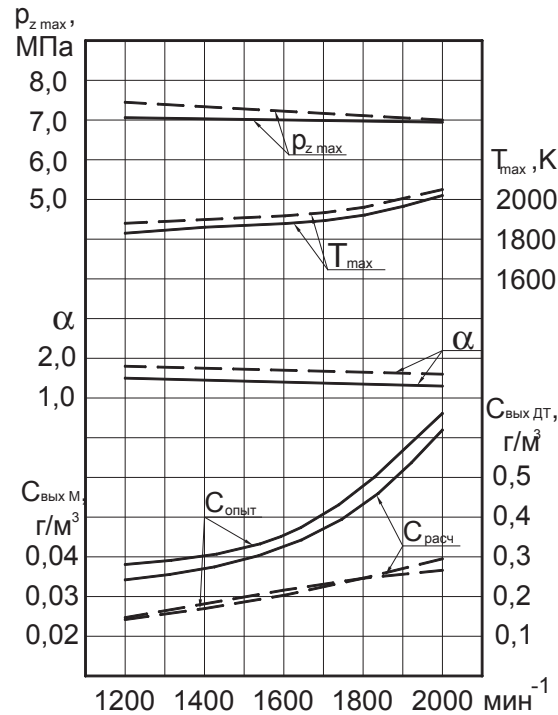


Рис. 1. Влияние применения метанола с ДСТ в дизеле 2Ч 10,5/12,0 на показатели процесса сгорания в зависимости от изменения частоты вращения: —<sup>3/4</sup> — дизельный процесс; — — — метанол с запальным ДТ

Литература:

1. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226–229.
2. Анфилатов, А. А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229–232.
3. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 232–235.
4. 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.
5. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 238–241.
6. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальное давление сгорания в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 117–120.
7. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальную осредненную температуру цикла в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 120–123.
8. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
9. Анфилатов, А. А. Изменение объемного содержания оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 125–128.
10. Анфилатов, А. А. Индексирование тепловыделения в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 128–131.
11. Анфилатов, А. А. Методика исследований дизеля 2Ч 10,5/12,0 по снижению содержания оксидов азота при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 131–134.
12. Анфилатов, А. А. Обработка полученных результатов исследований дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 134–136.
13. Анфилатов, А. А. Объемное содержание оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 136–139.
14. Анфилатов, А. А. Расчет выбросов вредных газообразных веществ с отработавшими газами дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 139–141.

15. Анфилатов, А. А. Содержание оксидов азота в дизеле при работе на метаноле в зависимости от изменения установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 141–144.
16. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на мощностные и экономические показатели дизеля // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 73–76.
17. Анфилатов, А. А. Изменение массовой концентрации оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 76–79.
18. Анфилатов, А. А. Изменение мощностных и экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 79–82.
19. Анфилатов, А. А. Массовая концентрация оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 82–85.
20. Анфилатов, А. А. Мощностные и экономические показатели дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 85–87.
21. 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.
22. 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.
23. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Образование и нейтрализация оксидов азота в цилиндре газодизеля: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2004. — 106 с
24. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения природного газа и рециркуляции // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 4 (40). с. 21–25.
25. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Применение природного газа и рециркуляции на тракторном дизеле 4Ч 11,0/12,5 // Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 6. с. 7–9.
26. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения этанола-топливной эмульсии // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 2. с. 6–7.
27. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля Д-240 путем применения этанола-топливной эмульсии // Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник: 2013. № 1 (1). с. 29–32.
28. Лопатин, О. П. Применение природного газа и рециркуляции отработавших газов для снижения токсичности тракторного дизеля // Молодой ученый. 2015. № 6–5 (86). с. 11–13.
29. Лопатин, О. П. Зонная модель процесса образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 261–265.
30. Лопатин, О. П. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 265–268.
31. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Киров, 1999.
32. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Санкт-Петербург, 1999.
33. Лиханов, В. А., Полевщиков А. С. Особенности развития топливных факелов в цилиндре дизеля при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 1 (31). с. 62–65.

## **Скоростная характеристика дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением надувочного воздуха при работе на природном газе**

Скрябин Максим Леонидович, кандидат технических наук, доцент  
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

*В данной статье рассмотрено влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением надувочного воздуха в зависимости от изменения частоты вращения.*

**Ключевые слова:** *отработавшие газы, загрязнение воздуха, токсичные компоненты, эффективные показатели.*

Скоростные характеристики изменения эффективных показателей дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 при работе дизеля на ДТ и ПГ на оптимальных установочных УОВТ в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала представлены на рис. 1 [1–8].

Сравнивая графики работы дизеля на ДТ и ПГ (рис. 4.5) можно отметить следующее. Кривые эффективной мощности  $N_e$  и крутящего момента  $M_k$  при работе дизеля на ДТ и ПГ совпадают, т.е. при переходе на ПГ мощностные показатели дизеля полностью сохраняются. Значение эффективной мощности при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  составляет 55 кВт и увеличивается до 90 кВт при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ . Значение крутящего момента  $M_k$  при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  составляет 381 Н·м, увеличивается до 390 Н·м при  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ , затем уменьшается до 358 Н·м при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ . Суммарный часовой расход топлива  $G_{T\Sigma}$  на всем скоростном диапазоне работы при работе дизеля на ПГ меньше часового расхода топлива при работе дизеля на ДТ вследствие того, что ПГ имеет большую теплоту сгорания. Так, при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  часовой расход топлива при переходе на ПГ снижается с 11,8 кг/ч до 11,0 кг/ч или на 6,7%. При  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$  часовой расход топлива снижается с 21 кг/ч до 18,8 кг/ч или на 10,5%. Аналогично значение суммарного удельного расхода  $g_{e\Sigma}$  при работе дизеля на ПГ ниже  $g_e$  работы на ДТ [9–15].

При  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$   $g_{e\Sigma}$  при переходе на ПГ снижается с 209 г/(кВт·ч) до 200 г/(кВт·ч) или на 4,3%. При  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$   $g_{e\Sigma}$  снижается с 227 г/(кВт·ч) до 208 г/(кВт·ч) или на 8,3%. Часовой расход воздуха  $G_B$  при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  при переходе на ПГ снижается с 300 кг/ч до 228 кг/ч или на 24%, и при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$  с 591 кг/ч до 533 кг/ч или на 9,8%. Снижение происходит вследствие того, часть воздуха на впуске замещается ПГ. Подача ПГ таким же образом влияет на коэффициент наполнения  $\eta_v$  и коэффициент избытка воздуха  $\alpha$ . Так, при переходе на ПГ при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  значение  $\eta_v$  снижается с 0,920 до 0,820 или на 10,9%, а при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$  с 0,938 до 0,909 или на 3,1%. При  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  значение  $\alpha$  снижается с 1,75 до 1,16, а при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$  с 2,00 до 1,69. При переходе на ПГ уменьшается температура ОГ. Так, при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  значение  $t_r$  снижается с 375°C до 335°C или на 10,6%, а при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$  с 430°C до 367°C или на 14,7% [16–26].

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. При  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  значение  $p_k$  снижается с 0,147 МПа до 0,130,0 МПа или

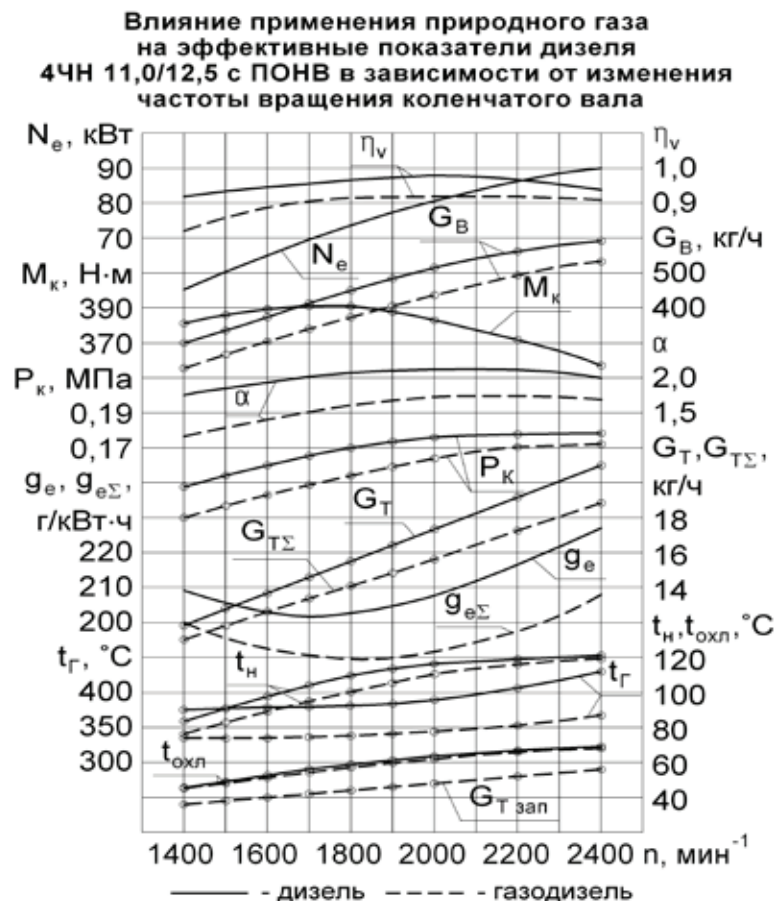


Рис. 1. Влияние применения ПГ на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала: — — — дизельный процесс, — — — газодизельный процесс



на 11,6%, а при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$  с 0,178 МПа до 0,172 МПа или на 3,4%. При  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  значение  $t_{\text{H}}$  снижается с 84°C до 76°C или на 9,5%, а при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$  с 121°C до 119°C или на 1,7%. Значение температуры на

выходе из охладителя  $t_{\text{охл}}$  при переходе на ПГ практически не изменяется, т.е. при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  при работе дизеля на ДТ и на ПГ значение  $t_{\text{охл}} = 45^\circ\text{C}$ , а при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$  при переходе на ПГ снижается с 69°C до 68°C. [27–33].

#### Литература:

1. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226–229.
2. Анфилатов, А. А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229–232.
3. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 232–235.
4. 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.
5. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 238–241.
6. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальное давление сгорания в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 117–120.
7. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальную осредненную температуру цикла в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 120–123.
8. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
9. Анфилатов, А. А. Изменение объемного содержания оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 125–128.
10. Анфилатов, А. А. Индицирование тепловыделения в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 128–131.
11. Анфилатов, А. А. Методика исследований дизеля 2Ч 10,5/12,0 по снижению содержания оксидов азота при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 131–134.
12. Анфилатов, А. А. Обработка полученных результатов исследований дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 134–136.
13. Анфилатов, А. А. Объемное содержание оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 136–139.
14. Анфилатов, А. А. Расчет выбросов вредных газообразных веществ с отработавшими газами дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 139–141.
15. Анфилатов, А. А. Содержание оксидов азота в дизеле при работе на метаноле в зависимости от изменения установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 141–144.
16. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на мощностные и экономические показатели дизеля // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 73–76.
17. Анфилатов, А. А. Изменение массовой концентрации оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 76–79.
18. Анфилатов, А. А. Изменение мощностных и экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 79–82.
19. Анфилатов, А. А. Массовая концентрация оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 82–85.
20. Анфилатов, А. А. Мощностные и экономические показатели дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 85–87.
21. 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.
22. 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.
23. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Образование и нейтрализация оксидов азота в цилиндре газодизеля: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2004. — 106 с
24. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения природного газа и рециркуляции // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 4 (40). с. 21–25.

25. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Применение природного газа и рециркуляции на тракторном дизеле 4Ч 11,0/12,5 // Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 6. с. 7–9.
26. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения этанола-топливной эмульсии // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 2. с. 6–7.
27. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля Д-240 путем применения этанола-топливной эмульсии // Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник: 2013. № 1 (1). с. 29–32.
28. Лопатин, О. П. Применение природного газа и рециркуляции отработавших газов для снижения токсичности тракторного дизеля // Молодой ученый. 2015. № 6–5 (86). с. 11–13.
29. Лопатин, О. П. Зонная модель процесса образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 261–265.
30. Лопатин, О. П. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 265–268.
31. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Киров, 1999.
32. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Санкт-Петербург, 1999.
33. Лиханов, В. А., Полевщиков А. С. Особенности развития топливных факелов в цилиндре дизеля при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 1 (31). с. 62–65.

## Токсичность отработавших газов дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением надувочного воздуха в зависимости от изменения частоты вращения

Скрябин Максим Леонидович, кандидат технических наук, доцент  
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

*В данной статье рассмотрена токсичность отработавших газов дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением надувочного воздуха в зависимости от изменения частоты вращения.*

**Ключевые слова:** отработавшие газы, загрязнение воздуха, токсичные компоненты.

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

Из графиков видно, что при работе дизеля на ДТ при увеличении частоты вращения коленчатого вала содержание углеводородов  $\text{CH}_x$  в ОГ уменьшается с 0,016% при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  до 0,007% при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ . Уменьшение составляет 62,1%. При увеличении частоты вращения уменьшается содержание оксидов азота  $\text{NO}_x$  в ОГ от 750 ppm при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  до 650 ppm при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ . Снижение содержания  $\text{NO}_x$  составляет 13,3%. При увеличении частоты вращения уменьшается содержание  $\text{CO}_2$  в ОГ. Так, при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  значение  $\text{CO}_2$  составляет 5,50%, а при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$  значение  $\text{CO}_2$  составляет 3,75%. Содержание  $\text{CO}_2$  в ОГ уменьшается на 31,8%. Содержание  $\text{CO}$  в ОГ повышается с 0,006% при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  до 0,029% при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ , или 4,8 раза. Дымность ОГ с увеличением частоты вращения увеличивается. Так, при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  дымность ОГ со-

ставляет 0,8 единицы по шкале Bosch, а при частоте  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$  1,95 единицы по шкале Bosch, т.е. дымность повышается в 2,4 раза [12–17].

Если рассматривать изменение токсических показателей при работе дизеля на ПГ можно сделать следующие выводы. При увеличении частоты вращения уменьшается содержание  $\text{NO}_x$  в ОГ от 583 ppm при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  до 499 ppm при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ . Снижение содержания  $\text{NO}_x$  составляет 14,4%. При работе дизеля на ПГ при увеличении частоты вращения коленчатого вала содержание  $\text{CH}_x$  в ОГ повышается с 0,10% при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  до 0,20% при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ , т.е. в 2 раза. При увеличении частоты вращения снижается содержание  $\text{CO}_2$  в ОГ. Так, при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  содержание  $\text{CO}_2$  в ОГ составляет 5,78%, а при увеличении частоты вращения до максимальной, т.е. при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ , содержание  $\text{CO}_2$  в ОГ составляет 4,72%. Содержание  $\text{CO}_2$  снижается на 18,3%. Содержание  $\text{CO}$  в ОГ повышается с 0,060% при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  до 0,100% при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ , или на 66,7%. Дымность ОГ (С) с увеличением частоты вращения увеличивается. Так, при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  дымность

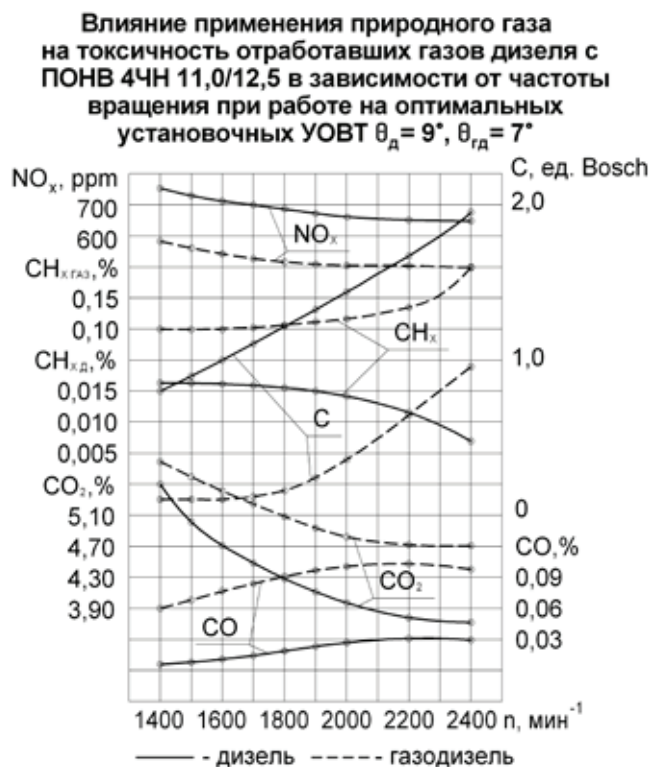


Рис. 1. Влияние применения ПГ на токсические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала: — — — дизельный процесс, — — — газодизельный процесс

ОГ составляет 0,1 единицы по шкале Bosch, а при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$  — 0,95 единицы по шкале Bosch, т.е. повышается в 9,5 раза [18–15].

Анализируя изменение содержания токсичных компонентов в ОГ дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при переходе с ДТ на ПГ при работе дизеля на оптимальных установочных УОВТ в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала, можно отметить следующее. Содержание  $NO_x$  в ОГ при работе дизеля на ПГ меньше, чем при работе дизеля на ДТ. Так, при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  содержание  $NO_x$  снижается с 750 ppm при работе дизеля на ДТ до 583 ppm при работе дизеля на ПГ. Снижение составляет 22,3%. На большей частоте вращения коленчатого вала также происходит снижение содержания  $NO_x$ . [26–29].

Содержание  $CO_2$  в ОГ при работе дизеля на ДТ при частоте вращения  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  составляет 5,50%, а при работе дизеля на ПГ — 5,78%, т.е. повышается на 5,1%. При увеличении частоты вращения до  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$  содержание  $CO_2$  в ОГ при работе дизеля на ДТ составляет 3,75%, а при работе дизеля на ПГ — 4,72%.

Анализируя изменение содержания токсичных компонентов в ОГ дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при переходе с ДТ на ПГ отметим, что при работе дизеля на ПГ на всем скоростном диапазоне увеличивается содержание в ОГ дизеля оксида углерода  $CO$ , диоксида углерода  $CO_2$ , в несколько раз возрастает содержание суммарных углеводородов  $CH_x$ . При этом значительно снижается содержание оксидов азота  $NO_x$  и уменьшается дымность ОГ [30–33].

Литература:

1. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226–229.
2. Анфилатов, А. А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229–232.
3. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 232–235.
4. 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.
5. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 238–241.
6. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальное давление сгорания в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 117–120.

7. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальную осредненную температуру цикла в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 120–123.
8. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
9. Анфилатов, А. А. Изменение объемного содержания оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 125–128.
10. Анфилатов, А. А. Индицирование тепловыделения в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 128–131.
11. Анфилатов, А. А. Методика исследований дизеля 2Ч 10,5/12,0 по снижению содержания оксидов азота при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 131–134.
12. Анфилатов, А. А. Обработка полученных результатов исследований дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 134–136.
13. Анфилатов, А. А. Объемное содержание оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 136–139.
14. Анфилатов, А. А. Расчет выбросов вредных газообразных веществ с отработавшими газами дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 139–141.
15. Анфилатов, А. А. Содержание оксидов азота в дизеле при работе на метаноле в зависимости от изменения установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 141–144.
16. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на мощностные и экономические показатели дизеля // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 73–76.
17. Анфилатов, А. А. Изменение массовой концентрации оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 76–79.
18. Анфилатов, А. А. Изменение мощностных и экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 79–82.
19. Анфилатов, А. А. Массовая концентрация оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 82–85.
20. Анфилатов, А. А. Мощностные и экономические показатели дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 85–87.
21. 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.
22. 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.
23. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Образование и нейтрализация оксидов азота в цилиндре газодизеля: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2004. — 106 с
24. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения природного газа и рециркуляции // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 4 (40). с. 21–25.
25. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Применение природного газа и рециркуляции на тракторном дизеле 4Ч 11,0/12,5 // Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 6. с. 7–9.
26. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения этанола-топливной эмульсии // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 2. с. 6–7.
27. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля Д-240 путем применения этанола-топливной эмульсии // Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник: 2013. № 1 (1). с. 29–32.
28. Лопатин, О. П. Применение природного газа и рециркуляции отработавших газов для снижения токсичности тракторного дизеля // Молодой ученый. 2015. № 6–5 (86). с. 11–13.
29. Лопатин, О. П. Зонная модель процесса образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 261–265.
30. Лопатин, О. П. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 265–268.
31. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Киров, 1999.
32. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Санкт-Петербург, 1999.
33. Лиханов, В. А., Полевщиков А. С. Особенности развития топливных факелов в цилиндре дизеля при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 1 (31). с. 62–65.



## Сохранность потребительских свойств винограда

Тарабрина Ирина Викторовна, аспирант

Киевский национальный торгово-экономический университет (г. Киев)

*Аграрная страна, Украина, является крупным производителем столового винограда, который пользуется большим спросом как на внутреннем, так и на внешнем рынке. Ягоды винограда богаты питательными и биологически активными веществами, а потому имеют большое пищевое и лечебное значение. Круглогодичное их потребление — большая народнохозяйственная задача. Это скоропортящаяся продукция, на больших площадях, как продовольственная культура, выращивается только на юге страны, а поэтому поставки ее на рынки в том числе крупных городов Украины связано с некоторыми транспортными, технологическими, организационными трудностями, а также из-за несоответствия климатических условий Юга и Севера. Итак, виноград нужно в северные регионы завозить заранее и хранить на месте реализации. Недостаток собственных ресурсов пополняется путем импорта из-за границы, в основном из Турции, Молдовы и, частично, из Италии. При транспортировке на дальние расстояния виноград травмируется и его свойства снижаются, поэтому возникает проблема обеспечить рынок Украины круглогодично качественным виноградом, который бы отвечал существующем ДСТУ 2438–94.*

**Ключевые слова:** *столовый виноград, сохранность, транспортировка, потребительские свойства.*

Целью данной работы является исследование хозяйственных и товароведческих показателей свежего столового винограда, исследование рынка и изучение экспортного потенциала сортамента столового винограда Украины. Объектом исследования является районированные в Украине сорта столового винограда и иностранного выращивания. Предметом исследования является ресурсный сортиментной потенциал, хозяйственные и качественные показатели, определение конкурентоспособности различных сортов с целью предложения их для производства и экспортных поставок. Задачей работы является изучение следующего вопроса: охарактеризовать столовый виноград как объект изучения и осветить состояние формирования и сохранения качества винограда.

Наиболее благоприятны для выращивания винограда южные склоны на высоте 150–250 м. Выше и ниже данной полосы условия для выращивания этой теплолюбивой культуры ухудшаются: долины, подножия гор, плоские вершины, северные склоны характеризуются меньшим теплообеспечением периода вегетации и низкими минимальными температурами. Сорта очень раннего срока созревания требуют активных температур от распускания почек до полного созревания — 2200–2400°C, раннего — 2400–2500°C, среднего — 2500–2900°C и позднего срока созревания — 2800–3300°C. Лучше всего обеспечены теплом г. Севастополь и г. Ялта, где суммы температур на склонах гор составляют 3500–3000°C, а у подножия — более 3400°C. [1,2,6] В этих районах, особенно на склонах, благоприятные условия для созревания поздних сортов винограда. В других районах местности Крыма сумма активных температур является достаточным для выращивания районированных сортов винограда. Самый безморозный период — 220 дней наблюдается на южных склонах гор и около 200 дней. Почки европейских сортов выдерживают морозы

18–20°C, а созревшая лоза — 20–22°C. При проектировании новых виноградников следует учитывать микроклиматические особенности распределения средних и абсолютных минимумов температуры воздуха, распределение сумм активных температур и безморозного периода по его продолжительности. Большое влияние на рост, развитие, величину и качество урожая имеют почвы.

Хранение винограда — это комплекс технологических приемов, направленных на сохранность гроздей в свежем виде в течение более длительного периода без заметных изменений их качества. Хранение винограда состоит из нескольких основных этапов, которые непосредственно влияют на качество и сроки хранения данного продукта. Этапы следующие: созревания и правильное снятие гроздей винограда, приготовление помещений для хранения и соблюдения условий для хранения данного вида продукта. [4]

Созревание и снятия виноградных гроздей. Гроздь винограда представляет собой сложный объект хранения. Это связано с тем, что ягоды на кисти созревают не одновременно и вследствие этого кисти надо забирать выборочно, в два-три приема. Первый сбор проводят при созревании на кусте 10–15% гроздей, второй — через неделю, а третий — через две недели. Различают зрелость ягод техническую (товарную), физиологическую и полную. В фазу физиологической зрелости ягоды приобретают определенное для сорта окраску, вкус, аромат, семена становятся буроватыми и твердыми, а содержание сахара в ягодах достигает максимума, а при технической зрелости важными показателями являются содержание и соотношение сахара и кислоты и соответствие их установленным стандартам. Чтобы определить, спелая ли гроздь, надо попробовать самую нижнюю ягоду, потому что она созревает позже верхних. Внешним ориентированным показателем наступления момента для сбора ягод также служит

степень одревенения плодоножки в грозди. Для закладки плодов на хранение ответственная работа — это снятие ягод с кустов. Собирают виноград в сухую теплую погоду или после исчезновения росы, но не в жаркое время. Важно при уборке не стереть с ягод восковой налет, который добавляет кисти красоту и стойкость против загнивания. Грозди, предназначенные для длительного хранения, нельзя собирать в корзины, где их легко повредить. Отсортированные кисти укладывают в ящики или корзины, на дно кладут виноградные листья, располагая наклонно гребнями вверх в один слой, выдерживают 15–20 минут на солнце и переносят на хранение. Гроздья подвешивают для подсушивания воздухом в течение двух часов. Ягоды винограда, которые *отбираются* на сохранение, должны быть созревшими и с более твердой кожицей. Для сохранения целесообразно заготавливать виноград, который содержит не менее 20% сахара, так как в нем потери меньше, чем у *столового* винограда с меньшей сахаристостью. Помещения для хранения винограда должно быть чистым, прохладным, хорошо вентилируемым. Оптимальная температура для хранения от 0 до 5°C. Более пригоден для сохранения «толстокожий» *столовый* виноград с рыхлой гроздью. Как хранилища используют любые сухие, хорошо проветриваемые помещения, в которых можно поддерживать постоянную температуру не ниже 0°C и не выше + 8°C и влажность воздуха 90–95%. Наиболее пригодны для этой цели хорошо утепленные чердачные помещения, сараи и другие помещения, важно, чтобы в таких помещениях не было посторонних запахов, плесени и насекомых. Их заблаговременно прокуривают серой, сжигая 0,5 г серы на 1 м<sup>2</sup>, белят известью или обрабатывают 5%-ным раствором железного купороса. Для удаления лишней влаги в помещение кладут немного негашеной извести. [1]

Виноград является уникальным растением, которым восхищаются и разводят не только дачники на приусадебных участках, а и предприниматели, учитывая то, что свежий виноград пользуется достаточно большим спросом у потребителей, предприниматели, а также хозяева стараются как можно дольше сохранить сорта столового винограда свежими, ведь при правильном хранении данный продукт можно сохранить до мая месяца. Рассмотрим наиболее распространенные из них более подробно. Одним из самых простых способов хранения винограда — как можно дольше держать кисти на кустах, таким образом виноград можно хранить 1½–2½ месяца. Распространенный своеобразный способ хранения винограда — подвешивание гроздей на шпагате или на ветвях в подвалах домов, при естественной вентиляции. В таком виде виноград сохраняется почти до мая месяца. Для непродолжительного хранения в течение 15–20 дней виноград можно раскладывать на полках в неотапливаемом помещении, гроздья лучше располагать в один слой, чтобы они не касались друг друга. Также одним из наиболее распространенных способов — это хранение на гребнях, данный вид имеет два подвида — хранение на

сухих и зеленых гребнях. Хранение винограда на сухих гребнях, кисти с помощью толстых нитей или проводных крючков подвешивают к перекладинам, натянутым проходам или специально оборудованным вешалкам. Опорные конструкции не должны допускать столкновения кистей друг с другом. Недостаток такого хранения — быстрая засахаренность опадающих ягод. Если кисти завяливаются, то их перед употреблением на 15–20 секунд погружают в горячую воду, а затем на 5–10 минут — в холодную, до полного остывания. После этого ягоды становятся более полными и сочными. Способ сохранения на зеленых гребнях поддерживает жизнедеятельность кисти, поэтому виноград сохраняется до марта-апреля. Гроздья срезают вместе с частью лозы (2–3 узла ниже грозди и один выше нее). Нижний конец лозы помещают в сосуд с дистиллированной водой (можно в обычную чистую воду), сосуды устанавливают в наклонном положении так, чтобы кисти не сталкивались между собой и стенками сосудов. Горловину сосуда закрывают ватным тампоном. По мере поглощения воды ее добавляют, верхний конец лозы покрывают парафином, а в воду для предохранения от порчи добавляют порошок древесного угля и немного соли. Продлить срок хранения можно, если кисти столовых сортов винограда перед укладкой обмакнуть в расплавленный парафин. Перед употреблением кисти надо погрузить в подогретую до 65°C воду для расплавления парафина и обмыть их холодной водой, для сохранения иногда используются антисептики. За два верхних ответвления гребня кисти подвешивают к рейке, установленной на переносных носилках, после заполнения носилок с рельсами их переносят в помещение для хранения, а рейки устанавливают на специально изготовленной этажерке. В сухом помещении желательно поставить ведро с водой для поддержания необходимой влажности воздуха и предупреждения чрезмерного подсыхания ягод, при избытке влаги в помещении на ветке и ягодах появляется белый налет плесени — это значит, что помещение нужно интенсивно проветривать. Через 10–15 дней, осматривают, удаляют испорченные ягоды и по мере необходимости помещения окуривают серой, на предприятиях для хранения винограда используют специальные помещения, поскольку количество винограда очень велико. Хранение винограда осуществляется в холодильниках или в регулируемой газовой среде (РГС), также в последнее время все большее распространение получает замораживание винограда, как наиболее прогрессивный способ хранения сортов столового винограда. Технология хранения винограда в холодильниках. [3] Отсортированный и упакованный столовый сорт винограда в тот же день необходимо поставить в холодильные камеры. Задержка приводит к ухудшению качества ягод и увеличению отходов при хранении. Особенно вредно оставлять виноград на плантациях, где он подвергается воздействию солнечных лучей, ветра, росы и других неблагоприятных факторов. Каждый день задержки сокращает срок хранения на 1–1,5 ме-

сяца, а кисти, которые простояли в поле 3–4 суток даже под брезентом, становятся непригодными для длительного хранения. Размещать виноград в камерах надо с учетом его лежкости: более лежки сорта и партии загружают дальше, а менее лежки — ближе к выходу. Это позволяет при необходимости быстро провести реализацию. В камерах ящики с виноградом устанавливают штабелями между торцами ящиков оставляют щели для вентиляции (8–10 см). В холодильных камерах штабеля размещают на расстоянии 60 см от охлаждающих приборов, ближе размещение может привести к подмерзания ягод, кроме того, приведенный резерв площади вблизи батарей имеет и аварийное значение. У стен, не имеющих охлаждающих приборов, достаточно оставить пространство для циркуляции воздуха, не более 30 см, последний ряд ящиков должен быть на уровне верхних труб батарей, но не ближе 60 см от потолка. Это обеспечивает нормальную циркуляцию воздуха, штабеля надо размещать так, чтобы трубы, по которым проходит воздух, размещались над проходами, иначе влага, конденсируется на железных трубах, может попасть на виноград и вызвать его порчу. Виноград с плантации поступает в хранилище теплым, поэтому чем скорее снизится температура, тем меньше будут потери при хранении, охлаждение кистей зависит от разницы температуры винограда и окружающей среды, скорости движения воздуха, упругости холодильных установок, способ упаковки и тп. Наиболее интенсивно оно в первый период, когда разница температур воздуха и продукта наибольшая, в дальнейшем охлаждение замедляется, температуры 0 кисти винограда достигают на 4–5 день. [6] Чем меньше доступ воздуха к продукции и слабее его движение, тем дольше грозди будут охлаждаться. Во время загрузки для предупреждения возникновения точки росы рекомендуется проводить предварительное охлаждение продукции, с этой целью в холодильных камерах устанавливают температуру 2–4°C, а в камере предварительного охлаждения, где с помощью вентиляторов создается постоянная циркуляция воздуха, поддерживают температуру 4–5°C. Виноград размещают сначала в камере предварительного охлаждения на 10–12 часов, после этого его переносят в помещение для постоянного хранения, где поддерживают температуру, оптимальную для данного сорта и района его выращивания. Такая технология загрузки нужна в хранилищах с камерами больших емкостей, которые заполняются в течение 5–7 дней, или в случае вынужденной задержки с закладкой гроздей столовых сортов винограда на хранение. Камеры вместимостью до 50 т, которые при нормальном поступлении винограда загружаются за 1–2 дня, не требующих соблюдения приведенного выше режима, в них устанавливают температуру 7–10°C и завозят кисти непосредственно с плантации. В заполненных камерах поддерживают оптимальные температуру и влажность воздуха. В это время с камер нужно удалить не только тепло, которое проникает извне и выделяется при дыхании, но и большое ко-

личество энергии, аккумулированной гроздьями на плантации, чем скорее охлаждаются кисти до нужной температуры, тем меньше будут потери и длительным период хранения. После того, как в хранилище установится температура 0–2°C, работа холодильных агрегатов сводится к отводу тепла, выделяемого при дыхании и защиты продукции от тепла окружающей среды. Согласно установленному графику один раз в неделю проводят фумигацию, сжигая по 0,5–1,5 г серы на 1м<sup>3</sup> помещения, и обзор продукции для определения ее качества. Во время фумигации баллон кладут на пол, поднимая дно на подставку высотой 25–30 см. Это обеспечивает подачу сернистого газа за счет собственного давления. В последние годы особое внимание уделяют вопросу хранению винограда в РГС (регулируемой газовой среде), это позволяет продлить период хранения на 1,5–2 месяца, в 2–4 раза снизить затраты, сохранить качество продукции. Применение РГС позволяет продлить срок хранения кистей некоторым сортам столового винограда в среднем до 186 дней вместо 147 дней в обычном холодильнике. Следует отметить, что лучшим для хранения практически всех исследуемых сортов является состав атмосферы 5% CO<sub>2</sub>, 5% O<sub>2</sub> и 90% N<sub>2</sub>, в этих условиях потери продукции уменьшаются в 3–4 раза. Сорт Украины хорошо сохраняется при составе атмосферы: 8% CO<sub>2</sub> и 3% O<sub>2</sub>. Преимущество хранения гроздьев столового винограда в РГС еще и в том, что регулируемый состав среды позволяет лучше сохранить продукцию в неблагоприятные по метеорологическим условиям годы. Доказано, что перспективными для хранения в РГС оказались также сорта Мускат и Италия. Разгрузка камер с РГС при реализации винограда повышается уровень рентабельности виноградарства. Высокая экономическая эффективность хранения обусловлена тем, что реализационные цены в зимне-весенний период выше, чем во время массовой уборки, а затраты на хранение сравнительно невелики. Закладка винограда в РГС способствует сохранению товарных качеств кистей столового винограда и продлевает срок их хранения в холодильнике. Экономические расчеты показали, что при применении РГС оптимального состава дополнительную прибыль в расчете на 1 т винограда растёт в зависимости от сорта. Итак, как было установлено и исследовано, что одним из преимуществ хранения винограда в ГРС является то, что для каждого сорта винограда выбирают отдельное соотношение газов, позволяет как можно дольше сохранить виноград, не меняя его потребительских свойств. Соблюдение всех режимов хранения должны осуществляться в соответствии с ГОСТ 29181–91. «Виноград свежий столовый. Хранение в холодильных камерах с регулируемой газовой средой».

**Выводы.** При рассмотрении различных способов хранения винограда следует сказать, что хранение винограда можно осуществлять как в домашних условиях, так и на крупных предприятиях. Как оказалось, виноград в домашних условиях хранится не хуже чем на предпри-

ятиях. Рассмотрев три основных способа хранения винограда на предприятиях, хранение винограда в РГС значительно лучший из нескольких способов. Во-первых, при хранении в РГС подбирается состав газа индивидуально для каждого сорта винограда, что позволяет значительно уменьшить потери винограда. Во-вторых, хранение в РГС дает возможность увеличить прибыль предпри-

ятия. Успех хранения и перевозки винограда в значительной степени определяется выбором сорта. Для длительного хранения пригодны в основном поздние сорта: Агадаи Асма, Карабурну, Мускат александрийский, Нимранг, Тайфи розовый, Ташлы, Шабаш. В холодильниках с РГС могут успешно храниться Мускат гамбургский, Шасла белая.

#### Литература:

1. Дженеев, С. Ю. Транспортирование столового винограда. Симферополь, «Крым». — 1969
2. Колтунов, В. А. Прогнозування збереження якості продовольчих товарів: Навч. посібник для студентів вищих навч. закладів III–IV рівнів акредитації. — К.: КНТЕУ, 2002. — 199с.
3. Кюрчева, Л. Економічна ефективність заморожування і зберігання столового винограду [Електронний ресурс] / Л. Кюрчева // Товари і ринки. — 2008. — № 2. — с. 31–34.
4. Попович, О. І. Августин — новий перспективний столовий сорт винограду для умов Закарпаття [Електронний ресурс] / О. І. Попович // Передгірне та гірське землеробство і тваринництво. — 2012. — Вип. 54 (2). — с. 84–90.
5. Тарабрина, И. В. Совершенствование методики отбора проб для определения качества столового винограда // Технические науки: проблемы и перспективы: материалы III междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, июль 2015 г.). — СПб.: Свое издательство, 2015. — с. 83–86.
6. Тарабрина, И. В. Порівняльна господарсько-товарознавча оцінка сортів столового винограду в Україні // Обладнання та технології харчових виробництв [Текст]: темат. зб. наук. пр. / Голов. ред. О. О. Шубін; Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. — 2010. — Вип. 25. — 384 с., — с. 241–246

## Совмещённые индикаторные диаграммы дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ при установочном угле впрыскивания дизтоплива 34°

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 2Ч 10,5/12,0 для работы на метаноле с использованием двойной системы топливоподачи. В работе приводится анализ полученных результатов.*

**Ключевые слова:** дизель, метанол, двойная система топливоподачи.

В соответствии с целью, задачами и методикой исследований были проведены стендовые испытания [1–10]. Исследования показали, что наилучшие результаты по расходу топлива получаются при одновременной подаче запальной порции ДТ и метанола. Величина запальной порции ДТ при работе на метаноле с ДСТ определялась путем уменьшения подачи ДТ до начала появления пропусков воспламенения, после чего она несколько увеличивалась до достижения устойчивой работы дизеля. В дальнейшем цикловая подача запального топлива фиксировалась и оставалась постоянной, а изменение нагрузочного режима велось только путем изменения подачи метанола.

На рисунке 1 представлены совмещённые индикаторные диаграммы, снятые при установочном угле опережения впрыска дизельного топлива  $\Theta_{\text{дт}} = 34^\circ$  и различных установочных углах опережения впрыска метанола  $\Theta_{\text{м}}$  при номинальной частоте вращения к.в.д. ( $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ ).

Как видно из графика, при более позднем впрыскивании метанола его воспламенение происходит значительно позднее, при таком положении поршня, когда существенно увеличился объём КС. В результате резко падает максимальное давление цикла, и весь процесс сгорания сдвигается на линию расширения.

Если при оптимальных значениях установочных УОВТ ( $\Theta_{\text{дт}} = 34^\circ$  и  $\Theta_{\text{м}} = 34^\circ$ ) максимальное значение давления газов равно  $p_{z \text{ max}} = 7,08 \text{ МПа}$  и достигается при угле  $j = 10,1^\circ$  после в.м.т., то при большем значении  $\Theta_{\text{м}} = 38^\circ$  давление газов в цилиндре возрастает до  $p_{z \text{ max}} = 7,31 \text{ МПа}$  и достигается при угле  $j = 9,7^\circ$ .

При других значениях  $\Theta_{\text{м}} = 30^\circ, 26^\circ$  и  $22^\circ$  значения давления газов в цилиндре  $p_{z \text{ max}}$  снижаются соответственно до 6,43, 5,82 и 5,04 МПа и достигают своего значения при углах  $j$  равных  $11,8^\circ, 13,4^\circ$  и  $14,8^\circ$  после в.м.т. [11–35].



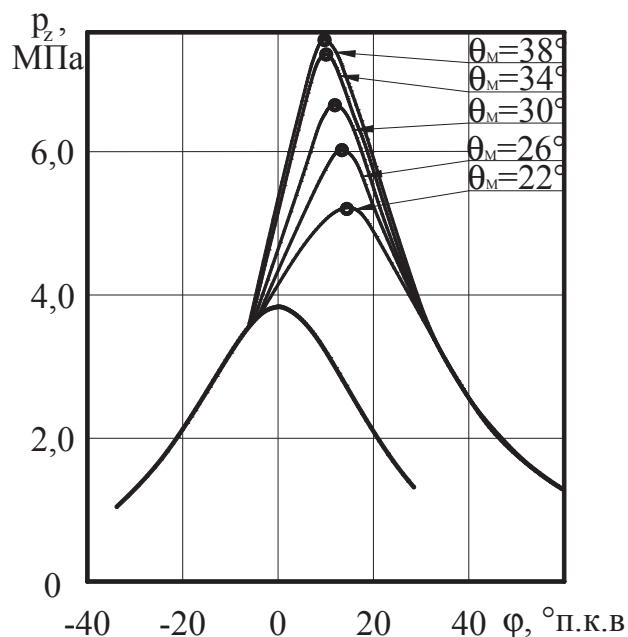


Рис. 1. Совмещённые индикаторные диаграммы дизеля 2Ч 10,5/12,0 при различных установочных углах опережения впрыскивания метанола при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$  и  $p_e = 0,585 \text{ МПа}$ ,  $Q_{дт} = 34^\circ$ ,  $q_{цд} = 6,6 \text{ мг/цикл}$

Литература:

1. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2007. — 129 с.
2. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Анфилатов А. А., Глухов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография / Под общ.ред. В. А. Лиханова. — Киров: Вятская ГСХА, 2009. — 334 с.
3. Чувашев, А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Санкт-Петербург, 2007. — 18 с.
4. Чувашев, А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2007. — 167 с.
5. Лиханов, В. А., Россохин, А. В. Исследование процессов сажеобразования и сажесодержания в цилиндре быстроходного дизеля с турбонаддувом Д-245.12С при работе на сжатом природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 223–226.
6. Лиханов, В. А., Россохин А. В. Оценка влияния режимов работы дизеля Д-245.12С на дымность отработавших газов при работе на нефтяном и альтернативных топливах // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 226–229.
7. Софронов, М. В., Россохин А. В. Влияние применения этанола-топливной эмульсии на экологические показатели дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 в зависимости от нагрузки // Сборник: молодежная наука 2014: технологии, инновации материалы всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 104–107.
8. Софронов, М. В., Тимшин Д. И., Россохин А. В. Влияние применения ЭТЭ на эффективные показатели дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 в зависимости от частоты вращения коленчатого вала // Сборник: молодежная наука 2014: технологии, инновации материалы всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 107–109.
9. 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.
10. 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.

11. 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.
12. 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.
13. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Чупраков А. И. Особенности работы автотранспортного дизеля на этаноле-топливной эмульсии // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 9. с. 16–19.
14. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Полевщиков А. С. Влияние этанола на показатели дизеля Д21А1 // Автомобильная промышленность. 2011. № 12. с. 26–27.
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.
19. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Санкт-Петербург, 1999.
20. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Киров, 1999.
21. Лиханов, В. А., Фоминых А. В., Копчиков В. Н. Работа дизеля на метаноле и рапсовом масле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 1. с. 3–5.
22. Лиханов, В. А., Копчиков В. Н., Фоминых А. В. Влияние углов опережения метанола и метилового эфира рапсового масла на образование оксидов азота в цилиндре дизеля // Транспорт на альтернативном топливе. 2015. № 3 (45). с. 51–54.
23. Лиханов, В. А., Полевщиков А. С. Определение оптимальных углов опережения впрыскивания топлив при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 5 (41). с. 62–64.
24. Лиханов, В. А., Полевщиков А. С. Особенности развития топливных факелов в цилиндре дизеля при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 1 (31). с. 62–65.
25. Исследование рабочих процессов в цилиндре газодизеля 4Ч 11,0 / 12,5. Монография / В. А. Лиханов [и др.]; под общ. ред. В. А. Лиханова. Киров, 2004.
26. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91) с. 226–229.
27. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91) с. 232–235.
28. 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.
29. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91) с. 238–241.
30. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальное давление сгорания в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 117–120.
31. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальную осредненную температуру цикла в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 120–123.
32. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 123–125.
33. Анфилатов, А. А. Изменение объемного содержания оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 125–128.
34. Анфилатов, А. А. Индексирование тепловыделения в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 128–131.
35. Анфилатов, А. А. Методика исследований дизеля 2Ч 10,5/12,0 по снижению содержания оксидов азота при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 131–134.

## Совмещённые индикаторные диаграммы дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ при установочных углах впрыскивания дизтоплива 26° и 30°

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 2Ч 10,5/12,0 для работы на метаноле с использованием двойной системы топливоподачи. В работе приводится анализ полученных результатов.

**Ключевые слова:** дизель, метанол, двойная система топливоподачи.

В соответствии с целью, задачами и методикой исследований были проведены стендовые испытания [1–10]. Исследования показали, что наилучшие результаты по расходу топлива получаются при одновременной подаче запальной порции ДТ и метанола. Величина запальной порции ДТ при работе на метаноле с ДСТ определялась путем уменьшения подачи ДТ до начала появления пропусков воспламенения, после чего она несколько увеличивалась до достижения устойчивой работы дизеля. В дальнейшем цикловая подача запального топлива фиксировалась и оставалась постоянной, а изменение нагрузочного режима велось только путем изменения подачи метанола.

На рисунке 1 представлены индикаторные диаграммы дизеля, снятые при  $\Theta_{дт} = 26^\circ$  и различных углах впрыскивания метанола  $\Theta_m$ . При углах  $\Theta_m$  равных 34°, 30°, 26° и 22° максимальное давление газов  $p_{z\max}$  равно соответственно 5,81, 5,68, 5,28 и 4,98 МПа и достигает своего

значения при углах  $j$  равных 17,4°, 17,2°, 17,9° и 18,1° после в.м.т. Процесс сгорания при этом развивается очень вяло, резко падает мощность дизеля, ухудшается экономичность.

На рисунке 2 представлены индикаторные диаграммы дизеля при угле впрыскивания  $\Theta_{дт} = 30^\circ$  и разных углах впрыскивания метанола  $\Theta_m$ . На графике видно, что при увеличении угла впрыскивания  $\Theta_{дт}$  максимальное давление цикла  $p_{z\max}$  увеличивается и сдвигается ближе к в.м.т. При углах впрыскивания метанола  $\Theta_m$  равных 34°, 30°, 26° и 22° максимальное давление газов в цилиндре  $p_{z\max}$  возрастает соответственно до значений 6,55, 6,13, 5,63 и 5,09 МПа и достигает своего значения при углах  $j$  равных 14,2°, 14,6°, 15,6° и 16,3° после в.м.т. Из графика видно, что позднее впрыскивание метанола сдвигает воспламенение топливовоздушного заряда далеко за в.м.т., а процесс сгорания на линию расширения. [11–31].

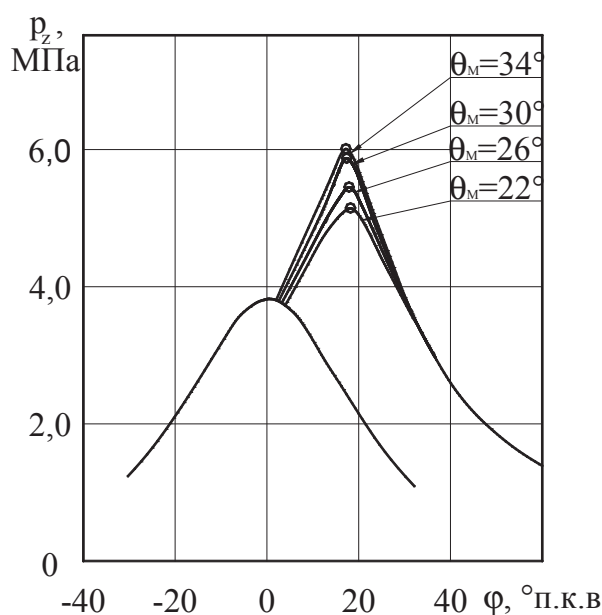


Рис. 1. Совмещённые индикаторные диаграммы дизеля 2Ч 10,5/12,0 при различных установочных углах опережения впрыскивания метанола при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$  и  $p_e = 0,585 \text{ МПа}$ :  
а —  $\Theta_{дт} = 26^\circ$ , б —  $\Theta_{дт} = 30^\circ$ ,  $q_{цд} = 6,6 \text{ мг/цикл}$

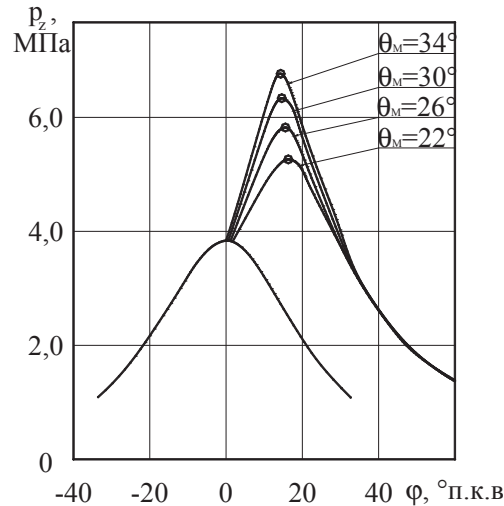


Рис. 2. Совмещенные индикаторные диаграммы дизеля 2Ч 10,5/12,0 при различных установочных углах опережения впрыскивания метанола при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$  и  $p_e = 0,585 \text{ МПа}$ :  
 а —  $Q_{дт} = 26^\circ$ , б —  $Q_{дт} = 30^\circ$ ,  $q_{цд} = 6,6 \text{ мг/цикл}$

#### Литература:

1. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2007. — 129 с.
2. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Анфилатов А. А., Глухов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография / Под общ.ред. В. А. Лиханова. — Киров: Вятская ГСХА, 2009. — 334 с.
3. Чувашев, А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Санкт-Петербург, 2007. — 18 с.
4. Чувашев, А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2007. — 167 с.
5. Лиханов, В. А., Россохин, А. В. Исследование процессов сажеобразования и сажесодержания в цилиндре быстрогоходного дизеля с турбонаддувом Д-245.12С при работе на компримированном природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 223–226.
6. Лиханов, В. А., Россохин А. В. Оценка влияния режимов работы дизеля Д-245.12С на дымность отработавших газов при работе на нефтяном и альтернативных топливах // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 226–229.
7. Софронов, М. В., Россохин А. В. Влияние применения этанола-топливной эмульсии на экологические показатели дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 в зависимости от нагрузки // Сборник: молодежная наука 2014: технологии, инновации материалы всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 104–107.
8. Софронов, М. В., Тимшин Д. И., Россохин А. В. Влияние применения ЭТЭ на эффективные показатели дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 в зависимости от частоты вращения коленчатого вала // Сборник: молодежная наука 2014: технологии, инновации материалы всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 107–109.
9. 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.
10. 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.
11. Кузьмин, В. А., Заграй И. А., Россохин А. В., Рукавишников Р. В. Определение размеров частиц сажи на различных участках системы выпуска дизеля // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2013. № 11–12. с. 3–10.



12. 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.
13. Лиханов, В. А., Россохин А.В., Чупраков А.И. Особенности работы автотранспортного дизеля на этаноле-топливной эмульсии // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 9. с. 16–19.
14. Лиханов, В. А., Россохин А.В., Полевщиков А.С. Влияние этанола на показатели дизеля Д21А1 // Автомобильная промышленность. 2011. № 12. с. 26–27.
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.
19. Лиханов, В.А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Санкт-Петербург, 1999.
20. Лиханов, В.А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Киров, 1999.
21. Лиханов, В. А., Фоминых А.В., Копчиков В.Н. Работа дизеля на метаноле и рапсовом масле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 1. с. 3–5.
22. Лиханов, В. А., Копчиков В.Н., Фоминых А.В. Влияние углов опережения метанола и метилового эфира рапсового масла на образование оксидов азота в цилиндре дизеля // Транспорт на альтернативном топливе. 2015. № 3 (45). с. 51–54.
23. Лиханов, В. А., Полевщиков А.С. Определение оптимальных углов опережения впрыскивания топлив при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 5 (41). с. 62–64.
24. Лиханов, В. А., Полевщиков А.С. Особенности развития топливных факелов в цилиндре дизеля при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 1 (31). с. 62–65.
25. Исследование рабочих процессов в цилиндре газодизеля 4Ч 11,0 / 12,5. Монография / В.А. Лиханов [и др.]; под общ. ред. В.А. Лиханова. Киров, 2004.
26. Анфилатов, А.А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91) с. 226–229.
27. Анфилатов, А.А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91) с. 232–235.
28. 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.
29. Анфилатов, А.А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91) с. 238–241.
30. Анфилатов, А.А. Влияние метанола на максимальное давление сгорания в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 117–120.
31. Анфилатов, А.А. Влияние метанола на максимальную осредненную температуру цикла в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 120–123.

## **Совмещённые индикаторные диаграммы дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ при установочных углах впрыскивания дизтоплива 38° и 42°**

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 2Ч 10,5/12,0 для работы на метаноле с использованием двойной системы топливоподачи. В работе приводится анализ полученных результатов.*

**Ключевые слова:** дизель, метанол, двойная система топливоподачи.

В соответствии с целью, задачами и методикой исследований были проведены стендовые испытания [1–10]. Исследования показали, что наилучшие результаты по расходу топлива получаются при одновременной подаче запальной порции ДТ и метанола. Величина запальной порции ДТ при работе на метаноле с ДСТ определялась путем

уменьшения подачи ДТ до начала появления пропусков воспламенения, после чего она несколько увеличивалась до достижения устойчивой работы дизеля. В дальнейшем цикловая подача запального топлива фиксировалась и оставалась постоянной, а изменение нагрузочного режима велось только путем изменения подачи метанола.

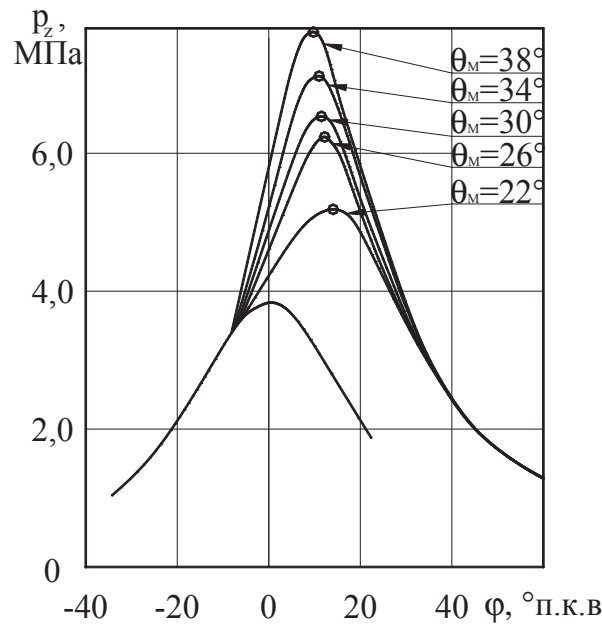


Рис. 1. Совмещенные индикаторные диаграммы дизеля 2Ч 10,5/12,0 при различных установочных углах опережения впрыскивания метанола при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$  и  $p_e = 0,585 \text{ МПа}$ :  
а —  $\theta_d = 38^\circ$ , б —  $\theta_d = 42^\circ$ ,  $q_{\text{цд}} = 6,6 \text{ мг/цикл}$

На рисунке 1 представлены индикаторные диаграммы дизеля при установочном угле впрыскивания ДТ  $\theta_{\text{дт}} = 38^\circ$  и разных углах впрыскивания  $\theta_{\text{м}}$ . Из графика видно, что зависимость увеличения  $p_{z \text{ max}}$  при увеличении  $\theta_{\text{дт}}$  сохраняется. Ранее впрыскивание метанола сопровождается предварительным испарением, накоплением в объеме КС паровой фазы, снижением температуры сжатия, в результате чего воспламенение запального ДТ, да и всего заряда в целом, происходит с большей задержкой, а сгорание идёт с большей скоростью, значительно повышая «жесткость» процесса сгорания. При одновременном впрыскивании ДТ и метанола ( $\theta_{\text{дт}} = 38^\circ$ ,  $\theta_{\text{м}} = 38^\circ$ ) процесс сгорания близок к оптимальному; на рисунке также видно, что при этих значениях  $\theta_{\text{дт}}$  и  $\theta_{\text{м}}$  суммарный  $g_e$  имеет минимум. Этот минимум составляет  $504 \text{ г/(кВт} \cdot \text{ч)}$ , в то время как при углах впрыскивания  $\theta_{\text{дт}} = 34^\circ$ ,  $\theta_{\text{м}} = 34^\circ$   $g_e$  составляет  $502 \text{ г/(кВт} \cdot \text{ч)}$ . Причина заключается в том, что увеличение угла опережения впрыскивания ДТ и метанола способствует росту  $p_{z \text{ max}}$ , которое и оказывает влияние на показатели экономичности. Но при увеличении цикловой подачи метанола на больших нагрузках появ-

ляются стуки, свидетельствующие о высокой скорости нарастания давления. При  $\theta_{\text{м}}$  равном  $38^\circ$ ,  $34^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $26^\circ$  и  $22^\circ$   $p_{z \text{ max}}$  соответственно равно 7,51, 6,89, 6,32, 6,03 и 5,02 МПа и достигает максимума при угле  $j$  равном  $9,7^\circ$ ,  $11,0^\circ$ ,  $11,7^\circ$ ,  $12,2^\circ$  и  $14,1^\circ$  после в.м.т.

По указанным выше причинам возникновения стуков и сильного шума на больших нагрузках режим работы дизеля при данных установочных УОВТ ( $\theta_{\text{дт}} = 38^\circ$ ,  $\theta_{\text{м}} = 38^\circ$ ) рекомендован быть не может.

На рисунке 2 представлены индикаторные диаграммы дизеля, снятые при угле впрыскивания  $\theta_{\text{дт}} = 42^\circ$  и разных углах впрыскивания  $\theta_{\text{м}}$ . На графике снова видна тенденция увеличения  $p_{z \text{ max}}$  и смещения его ближе к в.м.т. при увеличении  $\theta_{\text{м}}$ . С увеличением  $\theta_{\text{впр}}$  возрастает время нахождения топлива в КС до достижения критической температуры, при которой происходит воспламенение.

Увеличивается также и масса топлива, участвующая в предпламенной подготовке. Небольшое увеличение  $\theta_{\text{впр}}$  сказывается на увеличении жесткости работы двигателя, что заметно по возрастанию интенсивности резких «металлических» стуков, особенно при запуске.

При углах впрыскивания  $\theta_m$  равных  $38^\circ, 34^\circ, 30^\circ, 36^\circ$  и  $5,26$  МПа и достигает максимума при угле  $j$  равном  $7,6^\circ$ , и  $22^\circ$   $p_{z \max}$  равно соответственно  $7,59, 6,98, 6,48, 6,10$   $8,7^\circ, 9,9^\circ, 10,3^\circ$  и  $11,8^\circ$  после в.м.т. [11–24].

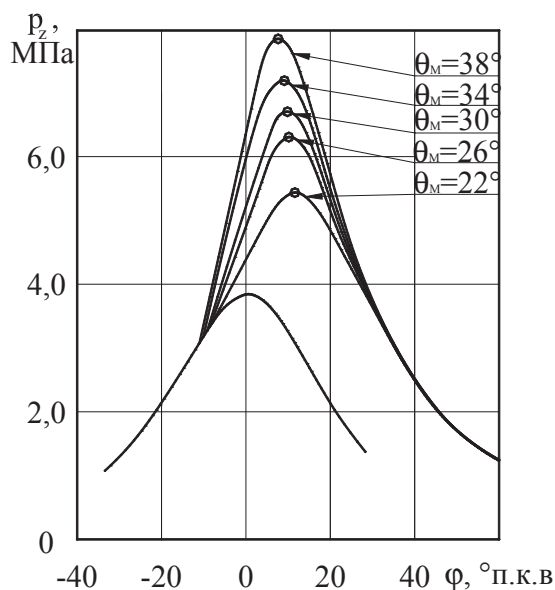


Рис. 2. Совмещенные индикаторные диаграммы дизеля 2Ч 10,5/12,0 при различных установочных углах опережения впрыскивания метанола при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$  и  $p_e = 0,585 \text{ МПа}$ :  
а —  $Q_d = 38^\circ$ , б —  $Q_d = 42^\circ$ ,  $q_{цд} = 6,6 \text{ мг/цикл}$

Литература:

1. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2007. — 129 с.
2. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Анфилатов А. А., Глухов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография / Под общ.ред. В. А. Лиханова. — Киров: Вятская ГСХА, 2009. — 334 с.
3. Чувашев, А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Санкт-Петербург, 2007. — 18 с.
4. Чувашев, А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2007. — 167 с.
5. 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.
6. Лиханов, В. А., Россохин А. В. Оценка влияния режимов работы дизеля Д-245.12С на дымность отработавших газов при работе на нефтяном и альтернативных топливах // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 226–229.
7. Софронов, М. В., Россохин А. В. Влияние применения этанола-топливной эмульсии на экологические показатели дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 в зависимости от нагрузки // Сборник: молодежная наука 2014: технологии, инновации материалы всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 104–107.
8. Софронов, М. В., Тимшин Д. И., Россохин А. В. Влияние применения ЭТЭ на эффективные показатели дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 в зависимости от частоты вращения коленчатого вала // Сборник: молодежная наука 2014: технологии, инновации материалы всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 107–109.
9. 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.

10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Чупраков А. И. Особенности работы автотранспортного дизеля на этаноле-топливной эмульсии // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 9. с. 16–19.
14. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Полевщиков А. С. Влияние этанола на показатели дизеля Д21А1 // Автомобильная промышленность. 2011. № 12. с. 26–27.
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.
19. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Санкт-Петербург, 1999.
20. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Киров, 1999.
21. Лиханов, В. А., Фоминых А. В., Копчиков В. Н. Работа дизеля на метаноле и рапсовом масле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 1. с. 3–5.
22. Лиханов, В. А., Копчиков В. Н., Фоминых А. В. Влияние углов опережения метанола и метилового эфира рапсового масла на образование оксидов азота в цилиндре дизеля // Транспорт на альтернативном топливе. 2015. № 3 (45). с. 51–54.
23. Лиханов, В. А., Полевщиков А. С. Определение оптимальных углов опережения впрыскивания топлив при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 5 (41). с. 62–64.
24. Лиханов, В. А., Полевщиков А. С. Особенности развития топливных факелов в цилиндре дизеля при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 1 (31). с. 62–65.

## Экономические показатели дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ

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 2Ч 10,5/12,0 для работы на метаноле с использованием двойной системы топливоподачи. В работе приводится анализ полученных результатов.*

**Ключевые слова:** дизель, метанол, двойная система топливоподачи.

На рисунке 1 представлен график изменения экономических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при различных установочных УОВТ ДТ и метанола при  $n = 1400$  мин<sup>-1</sup> и  $p_e = 0,594$  МПа. Характеристики снимались при различных установочных углах опережения впрыскивания как для ДТ, так и для метанола [1–10].

Рассматривая экономичность дизеля при работе на метаноле с ДСТ при УОВТ  $\Theta_m = 34^\circ$ , можно отметить следующее. Минимальное значение  $g_{e\Sigma}$  при подаче метанола при установочном УОВТ  $\Theta_m = 34^\circ$  наблюдается при впрыскивании ДТ при установочном УОВТ  $\Theta_{дт} = 34^\circ$  и имеет значение  $g_{e\Sigma} = 490$  г/(кВт·ч). При изменении угла впры-



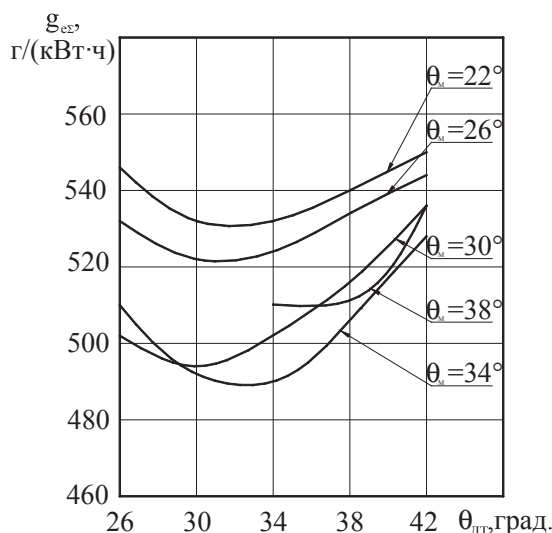


Рис. 1. Изменение экономических показателей дизеля 24 10,5/12,0 при различных установочных углах впрыскивания ДТ и метанола при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  и  $p_e = 0,594 \text{ МПа}$ ,  $q_{\text{цд}} = 6,0 \text{ мг/цикл}$

скивания ДТ  $\Theta_d$  в ту или иную сторону показатели экономичности ухудшаются. Так, при установочных УОВТ  $\Theta_{dt} = 38^\circ$  и  $\Theta_m = 34^\circ$  значение составляет  $g_{e\Sigma} = 506 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$ . При дальнейшем увеличении угла впрыскивания ДТ до  $\Theta_{dt} = 42^\circ$  и  $\Theta_m = 34^\circ$  значение  $g_{e\Sigma} = 528 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$ , т.е. увеличение  $g_{e\Sigma}$  от полученного при оптимальных значениях углов ( $\Theta_{dt} = 34^\circ$  и  $\Theta_m = 34^\circ$ ) составляет  $38 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$ , или  $7,2\%$ . При уменьшении угла впрыскивания ДТ до  $\Theta_{dt} = 30^\circ$  и  $\Theta_m = 34^\circ$  значение составляет  $g_{e\Sigma} = 493 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$ . При дальнейшем уменьшении угла впрыскивания ДТ до  $\Theta_{dt} = 26^\circ$  и  $\Theta_m = 34^\circ$  значение возрастает до  $g_{e\Sigma} = 510 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$ , т.е. увеличение  $g_{e\Sigma}$  от полученного при оптимальных значениях углов впрыскивания топлива ( $\Theta_{dt} = 34^\circ$  и  $\Theta_m = 34^\circ$ ) составляет уже  $20 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$ , или  $3,9\%$ . Минимальное значение  $g_{e\Sigma}$  при подаче метанола при угле  $\Theta_m = 38^\circ$  наблюдается при впрыскивании ДТ  $\Theta_{dt} = 38^\circ$  и имеет значение  $g_{e\Sigma} = 511 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$ . При изменении угла впрыскивания  $\Theta_{dt}$  в ту или иную сторону показатели экономичности ухудшаются. При увеличении угла подачи ДТ до значения  $\Theta_{dt} = 42^\circ$  и  $\Theta_m = 38^\circ$  величина  $g_{e\Sigma} = 536 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$ , т.е. увеличение  $g_{e\Sigma}$  от полученного при оптимальных значениях углов ( $\Theta_{dt} = 38^\circ$  и  $\Theta_m = 38^\circ$ ) составляет  $25 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$ , или  $4,7\%$ . При уменьшении угла подачи ДТ  $\Theta_{dt} = 34^\circ$  и  $\Theta_m = 38^\circ$  значение  $g_{e\Sigma} = 512 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$ , т.е. увеличение  $g_{e\Sigma}$  от полученного при оптимальных значениях углов ( $\Theta_{dt} = 38^\circ$  и  $\Theta_m = 38^\circ$ ) составляет лишь  $1 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$ . Минимальное значение  $g_{e\Sigma}$  при подаче метанола при установочном УОВТ  $\Theta_m = 30^\circ$  наблюдается при угле впрыскивания ДТ  $\Theta_{dt} = 30^\circ$  и составляет значение  $g_{e\Sigma} = 494 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$ . При изменении установочного УОВТ  $\Theta_{dt}$  в ту или иную сторону показатели экономичности ухудшаются. Так, при установочных УОВТ  $\Theta_{dt} = 34^\circ$  и  $\Theta_m = 30^\circ$  значение составляет  $g_{e\Sigma} = 502 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$ . При установочных УОВТ  $\Theta_{dt} = 38^\circ$  и  $\Theta_m = 30^\circ$  значение составляет  $g_{e\Sigma} = 516 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$ . При дальнейшем увеличении

угла впрыскивания ДТ  $\Theta_{dt} = 42^\circ$  и  $\Theta_m = 30^\circ$  значение  $g_{e\Sigma} = 536 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$ , т.е. увеличение  $g_{e\Sigma}$  от полученного при оптимальных значениях углов ( $\Theta_{dt} = 30^\circ$  и  $\Theta_m = 30^\circ$ ) составляет  $42 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$ , или  $7,8\%$ . При уменьшении угла впрыскивания ДТ до  $\Theta_{dt} = 26^\circ$  и  $\Theta_m = 30^\circ$  значение возрастает до  $g_{e\Sigma} = 502 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$ , т.е. увеличение  $g_{e\Sigma}$  от полученного при оптимальных значениях углов ( $\Theta_{dt} = 30^\circ$  и  $\Theta_m = 30^\circ$ ) составляет  $8 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$ . Минимальное значение  $g_{e\Sigma}$  при подаче метанола при установочном УОВТ  $\Theta_m = 26^\circ$  наблюдается при впрыскивании ДТ при установочном УОВТ  $\Theta_{dt} = 30^\circ$  и имеет значение  $g_{e\Sigma} = 522 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$ . При изменении угла впрыскивания ДТ  $\Theta_{dt}$  в ту или иную сторону показатели экономичности ухудшаются. Так, при установочных УОВТ  $\Theta_{dt} = 34^\circ$  и  $\Theta_m = 26^\circ$  значение составляет  $g_{e\Sigma} = 524 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$ . При установочных УОВТ  $\Theta_{dt} = 38^\circ$  и  $\Theta_m = 26^\circ$  значение составляет  $g_{e\Sigma} = 534 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$ . При дальнейшем увеличении угла впрыскивания ДТ до  $\Theta_{dt} = 42^\circ$  и  $\Theta_m = 26^\circ$  значение  $g_{e\Sigma} = 544 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$ , т.е. увеличение  $g_{e\Sigma}$  от полученного при оптимальных значениях углов ( $\Theta_{dt} = 30^\circ$  и  $\Theta_m = 26^\circ$ ) составляет  $22 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$ , или  $4\%$ . При уменьшении угла впрыскивания ДТ до  $\Theta_{dt} = 26^\circ$  и  $\Theta_m = 26^\circ$  значение возрастает до  $g_{e\Sigma} = 533 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$ , т.е. увеличение  $g_{e\Sigma}$  от полученного при оптимальных значениях при углах  $\Theta_{dt} = 30^\circ$  и  $\Theta_m = 26^\circ$  составляет  $11 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$ , или  $2\%$ .

Анализируя изменение показателей экономичности в зависимости от изменения установочных углов впрыскивания топлива при работе дизеля на метаноле с ДСТ можно сделать следующие выводы. Оптимальными по суммарному удельному эффективному расходу топлива являются следующие значения установочных УОВТ:  $\Theta_{dt} = 34^\circ$  и  $\Theta_m = 34^\circ$ . При этих значениях углов значение составляет  $g_{e\Sigma} = 490 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$ . При изменении угла впрыскивания  $\Theta_m$  в ту или иную сторону показатели экономичности ухудшаются [11–33].

## Литература:

1. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2007. — 129 с.
2. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Анфилатов А. А., Глухов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография / Под общ. ред. В. А. Лиханова. — Киров: Вятская ГСХА, 2009. — 334 с.
3. Чувашев, А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Санкт-Петербург, 2007. — 18 с.
4. Чувашев, А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2007. — 167 с.
5. 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.
6. Лиханов, В. А., Россохин А. В. Оценка влияния режимов работы дизеля Д-245.12С на дымность отработавших газов при работе на нефтяном и альтернативных топливах // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 226–229.
7. Софронов, М. В., Россохин А. В. Влияние применения этанола-топливной эмульсии на экологические показатели дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 в зависимости от нагрузки // Сборник: молодежная наука 2014: технологии, инновации материалы всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 104–107.
8. Софронов, М. В., Тимшин Д. И., Россохин А. В. Влияние применения ЭТЭ на эффективные показатели дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 в зависимости от частоты вращения коленчатого вала // Сборник: молодежная наука 2014: технологии, инновации материалы всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 107–109.
9. 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.
10. 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.
11. Кузьмин, В. А., Заграй И. А., Россохин А. В., Рукавишников Р. В. Определение размеров частиц сажи на различных участках системы выпуска дизеля // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2013. № 11–12. с. 3–10.
12. 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.
13. 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.
14. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Полевщиков А. С. Влияние этанола на показатели дизеля Д21А1 // Автомобильная промышленность. 2011. № 12. с. 26–27.
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.
19. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Санкт-Петербург, 1999.
20. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Киров, 1999.

21. Лиханов, В. А., Фоминых А. В., Копчиков В. Н. Работа дизеля на метаноле и рапсовом масле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 1. с. 3–5.
22. Лиханов, В. А., Копчиков В. Н., Фоминых А. В. Влияние углов опережения метанола и метилового эфира рапсового масла на образование оксидов азота в цилиндре дизеля // Транспорт на альтернативном топливе. 2015. № 3 (45). с. 51–54.
23. Лиханов, В. А., Полевщиков А. С. Определение оптимальных углов опережения впрыскивания топлив при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 5 (41). с. 62–64.
24. Лиханов, В. А., Полевщиков А. С. Особенности развития топливных факелов в цилиндре дизеля при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 1 (31). с. 62–65.
25. Исследование рабочих процессов в цилиндре газодизеля 4Ч 11,0 / 12,5. Монография / В. А. Лиханов [и др.]; под общ. ред. В. А. Лиханова. Киров, 2004.
26. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91) с. 226–229.
27. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91) с. 232–235.
28. 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.
29. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91) с. 238–241.
30. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальное давление сгорания в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 117–120.
31. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальную осредненную температуру цикла в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 120–123.
32. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 123–125.
33. Анфилатов, А. А. Изменение объемного содержания оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 125–128.

## Влияние применения метанола с ДСТ на характеристики тепловыделения

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 2Ч 10,5/12,0 для работы на метаноле с использованием двойной системы топливоподачи. В работе приводится анализ полученных результатов.*

**Ключевые слова:** дизель, метанол, двойная система топливоподачи.

Из результатов обработки индикаторных диаграмм, представленных на рисунке 1, видно, что характеристики тепловыделения и осредненная температура газов в цилиндре изменяются при работе дизеля на метаноле с ДСТ [1–4]. Так, при частоте вращения  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$  и  $p_e = 0,585 \text{ МПа}$  максимальная осредненная температура цикла  $T_{\max}$  для опытного дизеля составляет 1920 К и наблюдается при угле  $j = 18,5^\circ$  после в.м.т., при работе дизеля на метаноле с ДСТ значение  $T_{\max} = 1960 \text{ К}$  достигается при угле  $j = 21^\circ$  после в.м.т.

Анализируя графики тепловыделения, можно сделать выводы, что первоначально скорость тепловыделения в результате экзотермических реакций окисления мала и преобладает скорость отвода теплоты. Поэтому результирующая скорость тепловыделения до опре-

деленного момента отрицательна. В дальнейшем скорость выделения теплоты в результате экзотермических реакций начинает превышать скорость стока теплоты, и результирующая скорость тепловыделения становится положительной. При этом при работе на метаноле с ДСТ характерно увеличение скорости тепловыделения и сдвиг максимума скорости вправо от в.м.т. Если для опытного дизеля максимум скорости тепловыделения  $(d\chi/dj)_{\max} = 0,050$  и наблюдается в в.м.т., то при работе дизеля на метаноле с ДСТ значение  $(d\chi/dj)_{\max} = 0,059$  и достигается при угле  $j = 9^\circ$  после в.м.т. Из графика выделения теплоты  $\chi$ , активного тепловыделения  $\chi_i$  и динамики использования теплоты видно, что величина активного тепловыделения  $\chi_i = 0,425$ , соответствующая максимальному давлению сгорания  $p_{z \max}$ ,

для опытного дизеля достигается при угле  $j = 7,0^\circ$  после в.м.т. [5–15].

При работе дизеля на метаноле с ДСТ при этом значении угла  $j$  величина  $\chi_i$  составляет уже 0,52 от общего

тепловыделения, т.е. скорость тепловыделения нарастает более интенсивно. При угле  $j = 10,1^\circ$  после в.м.т., соответствующем  $p_{z\text{м max}}$ , активное тепловыделение  $\chi_i$  достигает значения 0,60.

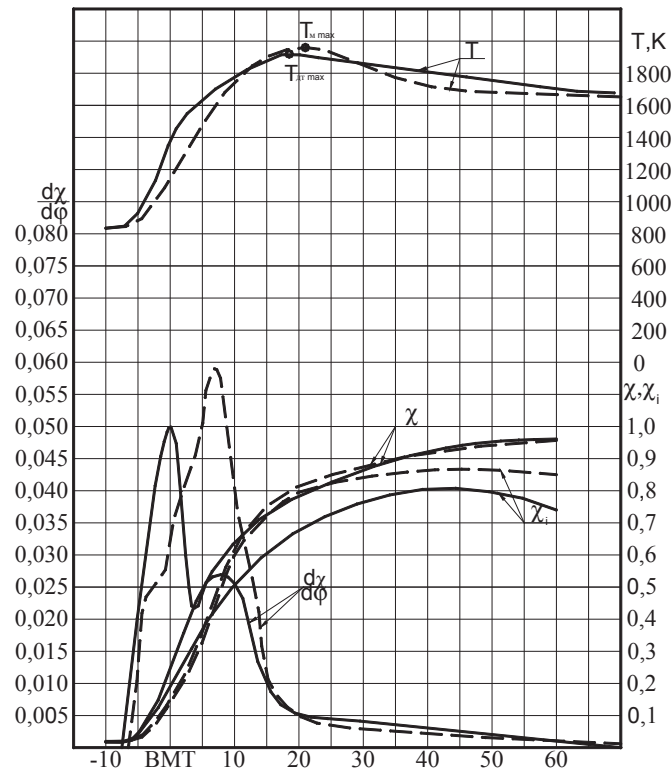


Рис. 1. Влияние применения метанола с ДСТ на характеристики тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1/4}$  — дизельный процесс; — — — метанол с запальным ДТ

Во второй фазе тепловыделения при угле  $j = 18,5^\circ$  после в.м.т., соответствующем максимальной осредненной температуре цикла  $T_{\text{max}}$  для опытного дизеля,  $\chi_i = 0,57$ . При работе дизеля на метаноле с ДСТ значение максимальной осреднённой температуры достигается уже при угле  $j = 21^\circ$  после в.м.т., а значение

активного тепловыделения составляет  $\chi_i = 0,79$ , т.е. тепловыделение идет в данном случае более активно. Это также подтверждается и тем, что скорость тепловыделения при работе дизеля на метаноле с ДСТ выше, чем у опытного дизеля, начиная с угла  $j = 2^\circ$  после в.м.т. [16–33].

#### Литература:

1. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2007. — 129 с.
2. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Анфилатов А. А., Глухов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография / Под общ.ред. В. А. Лиханова. — Киров: Вятская ГСХА, 2009. — 334 с.
3. Чувашев, А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Санкт-Петербург, 2007. — 18 с.
4. Чувашев, А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2007. — 167 с.
5. 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.



6. Лиханов, В. А., Россохин А. В. Оценка влияния режимов работы дизеля Д-245.12С на дымность отработавших газов при работе на нефтяном и альтернативных топливах // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 226–229.
7. Софронов, М. В., Россохин А. В. Влияние применения этанола-топливной эмульсии на экологические показатели дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 в зависимости от нагрузки // Сборник: молодежная наука 2014: технологии, инновации материалы всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 104–107.
8. Софронов, М. В., Тимшин Д. И., Россохин А. В. Влияние применения ЭТЭ на эффективные показатели дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 в зависимости от частоты вращения коленчатого вала // Сборник: молодежная наука 2014: технологии, инновации материалы всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 107–109.
9. Россохин, А. В. Показатели процесса сгорания и сажеосодержания 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Полевщиков А. С. Влияние этанола на показатели дизеля Д21А1 // Автомобильная промышленность. 2011. № 12. с. 26–27.
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.
19. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Санкт-Петербург, 1999.
20. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Киров, 1999.
21. Лиханов, В. А., Фоминых А. В., Копчиков В. Н. Работа дизеля на метаноле и рапсовом масле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 1. с. 3–5.
22. Лиханов, В. А., Копчиков В. Н., Фоминых А. В. Влияние углов опережения метанола и метилового эфира рапсового масла на образование оксидов азота в цилиндре дизеля // Транспорт на альтернативном топливе. 2015. № 3 (45). с. 51–54.
23. Лиханов, В. А., Полевщиков А. С. Определение оптимальных углов опережения впрыскивания топлив при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 5 (41). с. 62–64.
24. Лиханов, В. А., Полевщиков А. С. Особенности развития топливных факелов в цилиндре дизеля при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 1 (31). с. 62–65.
25. Исследование рабочих процессов в цилиндре газодизеля 4Ч 11,0 / 12,5. Монография / В. А. Лиханов [и др.]; под общ. ред. В. А. Лиханова. Киров, 2004.
26. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91) с. 226–229.
27. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91) с. 232–235.

28. 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.
29. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91) с. 238–241.
30. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальное давление сгорания в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 117–120.
31. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальную осредненную температуру цикла в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 120–123.
32. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 123–125.
33. Анфилатов, А. А. Изменение объемного содержания оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 125–128.

## Влияние применения метанола с ДСТ на характеристики тепловыделения 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 2Ч 10,5/12,0 для работы на метаноле с использованием двойной системы топливоподачи. В работе приводится анализ полученных результатов.*

**Ключевые слова:** дизель, метанол, двойная система топливоподачи.

Из результатов обработки индикаторных диаграмм, представленных на рисунке 1, видно, что характеристики тепловыделения и осредненная температура газов в цилиндре изменяются при работе дизеля на метаноле с ДСТ [1–4].

В первой фазе сгорания, до  $p_{z \max}$ , выгорание топлива начинается позднее, скорость тепловыделения выше, чем у опытного дизеля. Так,  $\chi_i = 0,44$ , соответствующее максимальному давлению сгорания при работе дизеля на ДТ, достигается при угле  $j = 6,0^\circ$  после в.м.т., а при работе дизеля на метаноле с ДСТ при максимальном давлении  $p_{z \max}$  значение  $\chi_i$  равно 0,63, но уже при угле  $j = 7,8^\circ$  после в.м.т. Соответственно, и скорость тепловыделения для опытного дизеля составляет 0,051, а при работе дизеля на метаноле с ДСТ — 0,061. Во второй фазе сгорания процесс активизируется, скорость тепловыделения при работе дизеля на метаноле с ДСТ, начиная с угла  $j = 3^\circ$  после в.м.т., выше, осредненная температура цикла достигает максимального значения уже при угле  $j = 18^\circ$  после в.м.т., что на 2 градуса п.к.в. позднее, чем у опытного дизеля.

Анализируя график активного тепловыделения, можно сделать вывод, что по мере развития процесса сгорания величина активного тепловыделения возрастает, и если бы отсутствовала теплоотдача в стенки и сгорание было полным, то в некоторый момент, соответствующий завершению сгорания и рекомбинации диссоциированных молекул, значение активного тепловыделения  $\chi_i$  составило

бы 100%. Но из-за наличия теплоотдачи, а также некоторой неполноты сгорания рабочего заряда в цилиндре, в частности в пристеночных слоях, кривая активного тепловыделения расположена ниже. В некоторой точке она достигает максимума, отвечающего равенству скоростей тепловыделения и теплоотвода, после чего значение активного тепловыделения  $\chi_i$  начинает уменьшаться из-за того, что превалирует теплоотдача. При этом при работе дизеля на метаноле с ДСТ этот максимум расположен выше, чем при работе дизеля на ДТ. [5–15].

Таким образом, при применении метанола в качестве моторного топлива с использованием ДСТ максимальная «жесткость» процесса сгорания снижается, при этом тепловыделение во второй фазе идет более активно, т.е. увеличение процентного выгорания топлива приводит к снижению доли потерь теплоты в этот период. Это вызывает увеличение коэффициента активного тепловыделения, что предопределяет более эффективное использование теплоты в цилиндре дизеля в начальный период сгорания основной части топлива. Также следует отметить, что интенсивность тепловыделения в период быстрого горения, определяющая величину максимальной «жесткости»  $(dp/dj)_{\max}$ , зависит от массовой скорости выгорания топлива. Так как процесс воспламенения топлива в дизеле имеет многоочаговый характер, массовая скорость выгорания топлива обуславливается концентрацией активных продуктов — промоторов, инициирующих воспламенение, и объемом испарившегося топлива [16–33].

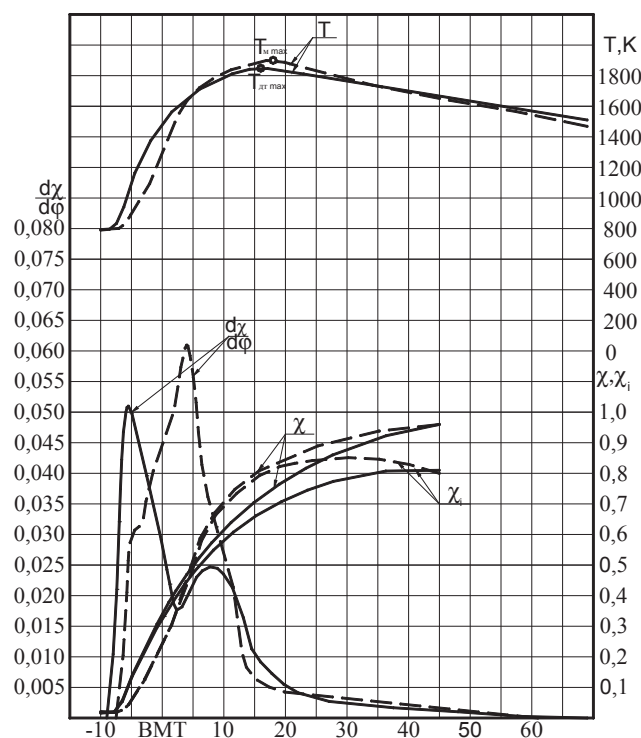


Рис. 1. Влияние применения метанола с ДСТ на характеристики тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ :  $\frac{3}{4}$  — дизельный процесс; — — — метанол с запальным ДТ

Литература:

1. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2007. — 129 с.
2. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Анфилатов А. А., Глухов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография / Под общ.ред. В. А. Лиханова. — Киров: Вятская ГСХА, 2009. — 334 с.
3. Чувашев, А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Санкт-Петербург, 2007. — 18 с.
4. Чувашев, А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2007. — 167 с.
5. 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.
6. Лиханов, В. А., Россохин А. В. Оценка влияния режимов работы дизеля Д-245.12С на дымность отработавших газов при работе на нефтяном и альтернативных топливах // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 226–229.
7. Софронов, М. В., Россохин А. В. Влияние применения этанола-топливной эмульсии на экологические показатели дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 в зависимости от нагрузки // Сборник: молодежная наука 2014: технологии, инновации материалы всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 104–107.
8. Софронов, М. В., Тимшин Д. И., Россохин А. В. Влияние применения ЭТЭ на эффективные показатели дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 в зависимости от частоты вращения коленчатого вала // Сборник: молодежная наука 2014: технологии, инновации материалы всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 107–109.
9. 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.

10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. Лиханов, В. А., Россохин А.В., Чупраков А.И. Особенности работы автотранспортного дизеля на этаноле-топливной эмульсии // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 9. с. 16–19.
14. Лиханов, В. А., Россохин А.В., Полевщиков А.С. Влияние этанола на показатели дизеля Д21А1 // Автомобильная промышленность. 2011. № 12. с. 26–27.
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.
19. Лиханов, В.А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Санкт-Петербург, 1999.
20. Лиханов, В.А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Киров, 1999.
21. Лиханов, В. А., Фоминых А.В., Копчиков В.Н. Работа дизеля на метаноле и рапсовом масле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 1. с. 3–5.
22. Лиханов, В. А., Копчиков В.Н., Фоминых А.В. Влияние углов опережения метанола и метилового эфира рапсового масла на образование оксидов азота в цилиндре дизеля // Транспорт на альтернативном топливе. 2015. № 3 (45). с. 51–54.
23. Лиханов, В. А., Полевщиков А.С. Определение оптимальных углов опережения впрыскивания топлив при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 5 (41). с. 62–64.
24. Лиханов, В. А., Полевщиков А.С. Особенности развития топливных факелов в цилиндре дизеля при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 1 (31). с. 62–65.
25. Исследование рабочих процессов в цилиндре газодизеля 4Ч 11,0 / 12,5. Монография / В.А. Лиханов [и др.]; под общ. ред. В.А. Лиханова. Киров, 2004.
26. Анфилатов, А.А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91) с. 226–229.
27. Анфилатов, А.А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91) с. 232–235.
28. 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.
29. Анфилатов, А.А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91) с. 238–241.
30. Анфилатов, А.А. Влияние метанола на максимальное давление сгорания в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 117–120.
31. Анфилатов, А.А. Влияние метанола на максимальную осредненную температуру цикла в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 120–123.
32. Анфилатов, А.А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 123–125.
33. Анфилатов, А.А. Изменение объемного содержания оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 125–128.



## Критерий разрушения труб при дефекте раскатной пригар

Шинкин Владимир Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор  
 Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (г. Москва)

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

**Ключевые слова:** стальные сварные трубы большого диаметра, критическое давление разрыва трубы, модель упругопластической сплошной среды.

Статистика аварий газонефтепроводов. Среднее число инцидентов и аварий за 1999–2009 гг., приходящихся на 1000 км российских магистральных трубопроводов, составило 0,06 отказов в год. Основными причинами аварий в течение 2001–2006 гг. стали: внешние воздействия — 34,3%, брак монтажно-строительных работ — 23,2%, стресс коррозии (коррозийное растрескивание при напряжении) — 22,5%, сталеплавильный брак металла и дефекты труб при их изготовлении — 14,1%, ошибочные действия персонала — 3%.

Ежегодно из-за стресс коррозии и усталостного разрушения от циклических перепадов внутритрубных давлений из нефтепроводов вытекает 10–15 млн. т нефти из добываемых в России 305 млн. т ( $\approx 4\text{--}5\%$ ). Только от прямых потерь нефти экономический ущерб достигает 270 млн. долл. в год. Плотность распределения дефектов стресс коррозии на магистральных нефтепроводах составляет 14,6 деф./км. Скорость стресс коррозии на их значительной части равна 0,2–0,5 мм/год, но имеет место и большая скорость — 0,8–1,16 мм/год. За 1991–2001 г. число аварий на газопроводах России по причине стресс коррозии было 22,5% от общего числа аварий, а в 2000 г. — 37,4%.

**Производство труб большого диаметра по схеме JCOE.** В отечественных магистральных трубопроводах используются трубы большого диаметра — прямошовные, двухшовные и спиральношовные (диаметром до 1420 мм) класса прочности до K65 различного способа изготовления. Новейшими мировыми инновационными технологиями производства прямошовных одношовных сварных труб большого диаметра 1020 мм, 1220 мм и 1420 мм из сталей класса прочностей K38–K65 и X42–X80, 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 MEER [1–42]. Технологии SMS MEER широко используют российские трубные заводы — АО «Выксунский металлургический завод», ЗАО «Ижорский трубный завод», ОАО «Челябинский трубопрокатный завод», а также заводы Германии, Китая и Индии.

**Стресс коррозии металла стенок труб.** Статистика аварий российских трубопроводов показывает, что стресс коррозии металла стенок труб в основном происходит именно на трубопроводах большого диаметра 700–1420 мм. Причем свыше 80% разрушений трубопроводов

с признаками стресс коррозии наблюдается на трубопроводах диаметром 1020–1420 мм.

Основной причиной коррозионно-механического растрескивания металла стенок труб является совместное действие трех факторов: 1) низкое сталеплавильное качество металла и заводские дефекты — большие остаточные напряжения, микротрещины и микрорасслоения металла после формовки трубной заготовки, гофры, риски, раскатные пригары, несплавления сварного шва и так далее; 2) наличие коррозионно-активной среды и ее доступ к поверхности металла; 3) многоцикловая усталость и разрушение металла от пульсаций внутритрубных рабочих давлений и гидроударов.

**Производственные дефекты производства 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 многороликовых листопрямильных машинах [5–11]. Дефект образования гофра продольной кромки стального листа на кромкогибочном прессе изучался в работах [1, 2, 13–25], вредное влияние остаточных напряжений в стенке стального листа после трубоформовочного пресса на процесс экспандирования трубы — в [1, 2, 26], дефект «точка перегиба» при изгибе стального листа на трубоформовочном прессе — в [1, 2, 28], дефект несплавления сварного продольного шва при сборке трубы — в [1, 2, 12], процессы прокатки стального листа для производства труб — в [43–53].

**Критерий упругопластического разрыва трубы при дефекте раскатной пригар.** Раскатной пригар — дефект поверхности стального листа в виде темного пятна неправильной формы, образовавшийся от раската куска металла, приварившегося к слябу из-за нарушения технологии разлива или упавшего на поверхность листа при горячей прокатке.

Пусть  $p$  — внутреннее давление трубы;  $h$  и  $D$  — толщина стенки и внешний диаметр трубы ( $h \ll D$ ),  $\sigma_b$  — предел прочности металла трубы;  $a$ ,  $b$  и  $\Delta$  — продольный и поперечный размеры раскатного пригара и глубина пригара в стенке трубы ( $\Delta < h$ ),  $\varphi$  — угол наклона «продольной оси» пригара к окружности поперечного сечения трубы (рис. 1).

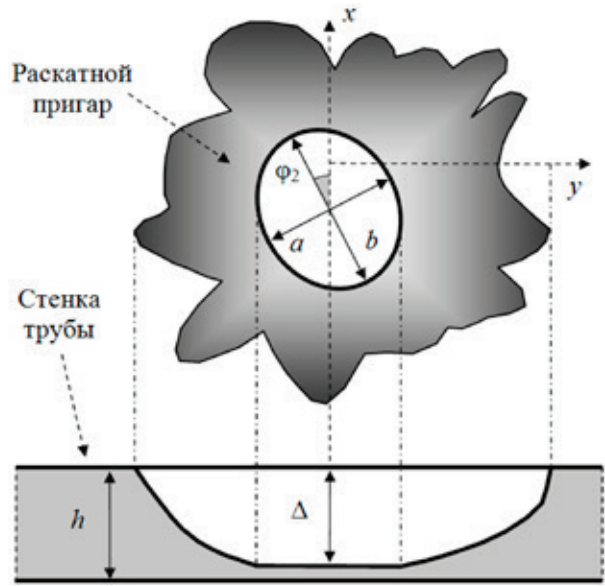


Рис. 1. Дефект раскатной пригар на внешней поверхности трубы

Под действием внутреннего давления металл стенки трубы в зоне дефекта раскатной пригар испытывает сложное сопротивление: окружное растяжение, радиальное сжатие и концентрацию напряжений. Внешняя стенка трубы разрушается, когда максимальные касательные

напряжения достигают половины предела прочности  $\sigma_b$ . Разрушение стенки трубы при дефекте раскатной пригар происходит при достижении в трубе критического давления (критерий Шинкина разрушения труб при дефекте раскатной пригар):

$$p \geq p_{sh}^{критич} = \frac{\sigma_b}{\mu \left\{ \frac{D}{2h} \left[ 1 + \frac{2\Delta}{h} \left( \sqrt{\frac{a}{b}} \cos \varphi + \sqrt{\frac{b}{a}} \sin \varphi \right) \right] + 1 \right\}}$$

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

Пример разрушения трубы газопровода. На рис. 2 показана разгерметизация стальной трубы газопровода с образованием сквозного дефекта. Геометрические и прочностные характеристики разорванной трубы:  $D = 720$  мм,  $h = 11$  мм,  $\sigma_b = 684$  МПа,  $a = 20$  мм,  $b = 25$  мм,

$\varphi = 34,3^\circ$  и  $\Delta = 10$  мм. Инцидент произошел при рабочем давлении  $p_{разрыва} = 5,7$  МПа. Применяя критерий разрыва трубы при дефекте раскатной пригар при  $\mu = 1$ , получаем критическое давление разрыва трубы равно  $p_{sh}^{критич} = 5,94$  МПа,  $(p_{sh}^{критич} - p_{разрыва}) / p_{разрыва} = 4,2\%$ , что хорошо согласуется с эмпирическими данными разрыва реальной трубы.



Рис. 2. Дефект раскатной пригар разорванной трубы

## Литература:

1. Шинкин, В. Н. Механика сплошных сред для металлургов. — М: Изд. Дом МИСиС, 2014. — 628 с.
2. Шинкин, В. Н. Сопrotивление материалов для металлургов. — М: Изд. Дом МИСиС, 2013. — 655 с.
3. Шинкин, В. Н. Сопrotивление 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. Шинкин, В. Н. Математическая модель правки стальной полосы на пятироликовой листопрямильной машине фирмы Fagor Agrasate // Молодой ученый. 2015. № 8 (88). с. 344–349.
6. Шинкин, В. Н. Правка толстой стальной полосы на одиннадцатиролковой листопрямильной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Agrasate // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 359–365.
7. Шинкин, В. Н. Расчет технологических параметров правки тонкой стальной полосы на пятнадцатиролковой листопрямильной машине фирмы Fagor Agrasate // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 361–366.
8. 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.
9. Шинкин, В. Н. Четырехроликотый режим холодной правки толстого стального листа на пятироликовой листопрямильной машине фирмы Fagor Agrasate // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 356–361.
10. Шинкин, В. Н. Упругопластическая деформация металлического листа на трехвалковых вальцах // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 225–229.
11. Шинкин, В. Н. Шестиролкотый режим предварительной правки стальной полосы на листопрямильной машине фирмы Fagor Agrasate // Молодой ученый. 2015. № 14 (94). с. 205–211.
12. Шинкин, В. Н. Определение критических давлений магистральных газонефтепроводов при частичном расплавлении продольного сварного шва стальных толстостенных труб // Молодой ученый. 2015. № 15 (95).
13. 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.
14. Шинкин, В. Н. Гофр продольной кромки листа при его формовке на кромкогибочном прессе // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2009. Вып. 6. с. 171–174.
15. 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.
16. 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.
17. Шинкин, В. Н., Коликов А. П. Упругопластическое изменение металла на кромкогибочном прессе при формовке труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 6. с. 53–56.
18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. Шинкин, В. Н., Коликов А. П. Моделирование процесса формовки заготовки для труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 1. с. 54–58.
24. 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.
25. 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.
26. 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.

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. Критерий перегиба в обратную сторону свободной части листовой заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meeg при производстве труб большого диаметра // Производство проката. 2012. № 9. с. 21–26.
29. Шинкин, В. Н., Барыков А. М. Гибка стального листа на трубоформовочном прессе при производстве труб большого диаметра // Сталь. 2015. № 4. с. 38–42.
30. Шинкин, В. Н. Производство труб большого диаметра по схеме JCOE фирмы SMS Meeg для магистральных трубопроводов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 3 (74). Часть 1. с. 64–67.
31. Шинкин, В. Н. Расчет технологических параметров кромкогибочного пресса фирмы SMS Meeg // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 4 (75). Часть 1. с. 114–119.
32. Шинкин, В. Н. Математический критерий возникновения гофра при формовке стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе SMS Meeg // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 5 (76) Часть 1. с. 96–99.
33. Шинкин, В. Н. Расчет усилий трубоформовочного пресса SMS Meeg при изгибе плоской толстой стальной заготовки при производстве труб большого диаметра // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 6 (77). Часть 1. с. 115–118.
34. Шинкин, В. Н. Оценка усилий трубоформовочного пресса SMS Meeg при изгибе стальной цилиндрической заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 7 (78). Часть 1. с. 74–78.
35. Шинкин, В. Н. Сила давления пуансона трубоформовочного пресса SMS Meeg при изгибе частично изогнутой толстой стальной заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 8 (79).
36. 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.
37. Шинкин, В. Н., Мокроусов В. И. Критерий разрыва труб газонефтепроводов при дефекте «раскатной пригар с риской» // Производство проката. 2012. № 12. с. 19–24.
38. Шинкин, В. Н., Федотов О. В. Расчет технологических параметров правки горячекатаной рулонной полосы на пятироlikовой машине линии Fagor Arrasate // Производство проката. 2013. № 9. с. 43–48.
39. 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.
40. Шинкин, В. Н. Расчет технологических параметров правки стального листа на одиннадцатироlikовой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2014. № 8. с. 26–34.
41. Шинкин, В. Н. Математическая модель правки тонкого стального листа на пятнадцатироlikовой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2015. № 1. с. 42–48.
42. Пермичев, Н. Ф., Барыков А. М., Палева О. А. Управление инновационным потенциалом предприятия. — Нижний Новгород: Изд. ВВАГС, 2008. — 83 с.
43. 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.
44. 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.
45. 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.
46. Мухин, Ю. А., Бельский С. М. О допустимости одного упрощения при анализе процесса несимметричной тонколистовой прокатки // Производство проката. 2007. № 7. с. 11–13.
47. 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.
48. Бельский, С. М., Мухин Ю. А. Нейтральные углы и контактное давление при тонколистовой прокатке со скоростной асимметрией // Производство проката. 2007. № 11. с. 13–17.
49. 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.
50. 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.



51. Скороходов, В. Н., Мухин Ю. А., Бельский С. М., Мазур С. И. Особенности профилировок рабочих валков для клеток с осевой сдвижкой. Сообщение 2 // Производство проката. 2008. № 1. с. 21–24.
52. Бельский, С. М. О некоторых эффектах применения осевой сдвижки рабочих валков // Производство проката. 2008. № 7. с. 21–24.
53. 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

№ 16 (96) / 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