

УДК 662:504

Г.С. Аكوпова, Н.Л. Власенко, Р.В. Тетеревлев

## Перспективы замены дизельного топлива природным газом на транспорте

**Ключевые слова:** моторные топлива, дизельное топливо, природный газ на транспорте, выбросы загрязняющих веществ.

**Keywords:** motor fuels, diesel fuel, natural gas in vehicles, emission of polluting compounds.

Распространенные в последнее время ожидания, связанные со структурными изменениями в энергетическом балансе мировой экономики, показывают, что многие из традиционных потребителей нефти и угля в ближайшие десятилетия перейдут на газ. Новые технологии позволят эффективно удовлетворить растущий спрос мирового рынка на газ, сопровождая его добычу и производство более безопасными условиями жизни для человека и природы. По данным Российского энергетического агентства, в структуре энергоресурсов к 2035 г. интенсивно будут возрастать производство и потребление природного газа, в меньшей степени – угля и в еще меньших объемах (массах) – жидких видов топлива.

В вопросах охраны окружающей среды транспортное направление и, соответственно, производство и использование различных видов моторных топлив играют важнейшую роль.

В настоящее время ситуация на российском рынке нефтепродуктов характеризуется ежегодным ростом спроса на дизельное топливо и стабильным увеличением цен в данной категории горючесмазочных материалов (ГСМ). В структуре потребителей дизельного топлива (ДТ) основными на сегодняшний день являются: железнодорожный и водный транспорт, грузовой автотранспорт, сельскохозяйственная техника, а в последнее время – также легковой дизельный автотранспорт. Тенденции увеличения дизельного автопарка просматриваются не только в России, но и во всем мире.

Кроме того, сезонные колебания спроса, который достигает своей критической точки в зимний период, предполагают более трудоемкий и дорогостоящий технологический процесс производства зимнего ДТ. На рис. 1 представлены рынок основных потребителей дизельного топлива и доля каждого вида ДТ в общем объеме потребления.

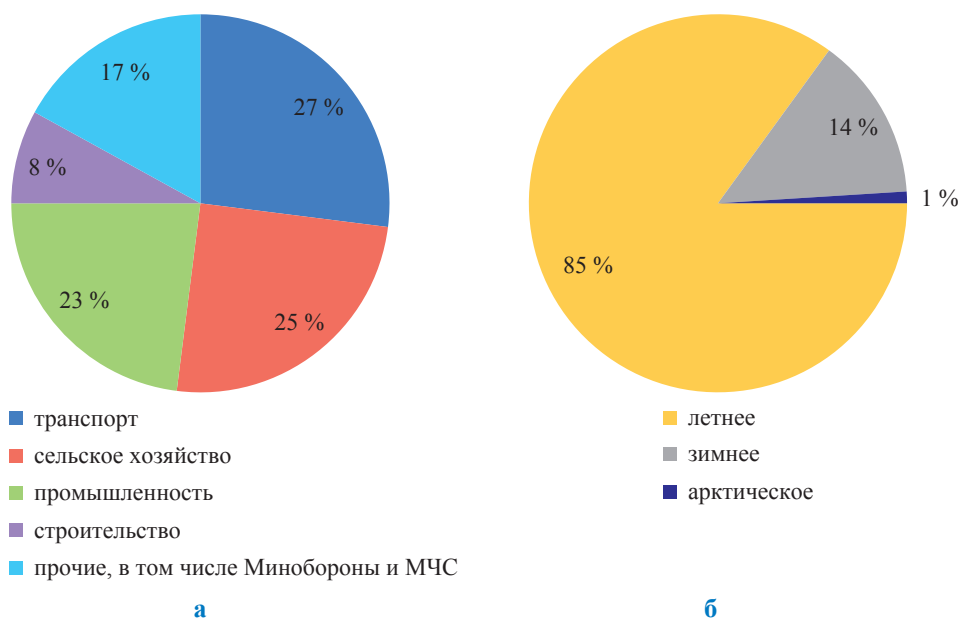


Рис. 1. Основные потребители ДТ (а) и доля каждого вида ДТ (б) в общем объеме потребления, 2012–2015 гг.

### Параметры выбросов загрязняющих веществ (твердые частицы, оксид углерода, тяжелые металлы) при сжигании различных видов топлива

Экологические параметры выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) любого топлива характеризуют его эколого-экономическую эффективность и воздействие на окружающую среду.

Процесс сжигания разных видов топлива сопровождается образованием и выбросом сажи, которая является одним из опасных ЗВ в объектах промышленной зоны и окружающей среды. Это связано с сорбцией на ее поверхности химических соединений органического и неорганического происхождения. К таким соединениям относятся прежде всего тяжелые металлы (ТМ), полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) с индикаторным соединением этой группы бенз(а)пиреном (БП), обладающие канцерогенными и мутагенными свойствами.

Возможные выбросы твердых частиц при сжигании природного газа связаны с использованием для процесса горения воздуха, кото-

рый может отбираться в зонах, уже содержащих вредные примеси (табл. 1).

Параметры выбросов канцерогенного БП, продукта неполного сгорания различных видов топлива, сорбирующегося на поверхности механических частиц – золы и сажи (табл. 2), подтверждают экологическое преимущество природного газа.

В табл. 3 приведены значения выбросов оксида углерода на единицу сжигаемого топлива как продукта неполного сгорания различных видов топлива и показано, что наибольшие значения выбросов оксида углерода соответствуют сжиганию дров и торфа, наименьшие – природного газа, сжигание которого в котлоагрегатах дает на порядок меньшее значение удельного выброса в сравнении, например, со сжиганием дров.

В табл. 4 представлены данные по значениям выбросов по ТМ, образующимся при сжигании некоторых видов органического топлива (разные виды углей, торф и мазут). Как видно из табл. 4, среднее содержание большинства ТМ в угле превышает их содержание в торфе и мазуте [3, 4, 6].

Таблица 1

#### Выбросы твердых части на единицу топлива при сжигании различных видов топлива

Вид топлива	Выбросы твердых частиц, кг/т у.т., по данным разных источников			
	[1]	[2]	[3]	[4]
Природный газ	0,03–0,12	–	–	$1,51 \cdot 10^{-4}$
Мазут	1,43–2,86	–	–	0,110
Уголь	1,12–112,36	–	–	–
Уголь каменный	–	88,29 Дон.	–	–
		60,52 Кузн.		
Уголь бурый	–	–	1,83*	13,50
			182,29**	
50 % Канско-Ачинский + 50 % Кузнецкий	–	–	2,31*	–
			228,57**	
Торф	–	79,71	–	–
Дрова	–	56,53	–	–

Примечания: \* летучая зола; \*\* уловленная зола и шлаки.

Таблица 2

#### Выбросы бенз(а)пирена на единицу топлива

Вид топлива	Выбросы БП, кг/т у.т., по данным разных источников	
	$10^{-6}$ [4]	$10^{-6}$ [5]
Антрацит	–	0,774–1,157
Каменный уголь	–	0,51–0,83*; 1,89–3,09**
Бурый уголь	13,1	1,14–1,66*; 2,94–4,70**
Дрова	–	9,73–11,12***; 21,47–34,61****
Жидкое топливо / Мазут	1,81	0,321–4,843
Природный газ	0,085	–
Торф	–	–

Примечания: \* начало выгорания угля; \*\* основной период горения угля; \*\*\* розжиг дров; \*\*\*\* догорание дров.

Таблица 3

**Выбросы оксида углерода на единицу сжигаемого топлива для различных видов топлива**

Вид топлива	Выбросы оксида углерода на единицу сжигаемого топлива, кг/т у.т., по данным разных источников	
	[2]	[4]
Мазут	–	2,81
Каменный уголь	52,19*; 57,92**	–
Бурый уголь	–	53,29
Торф	58,68	–
Дрова	82,67	–
Природный газ	7,85	1,48

Примечания: \* уголь каменный Донецкий; \*\* уголь каменный Кузнецкий.

Таблица 4

**Среднее содержание тяжелых металлов в некоторых видах топлива**

Металл	Содержание тяжелых металлов в топливе, мг/кг			
	торф	уголь	мазут	природный газ
Ртуть	0,065–0,075	0,1	Менее 0,005	Следовое количество ТМ
Свинец	0,9–3,8	13	0,03–0,19	
Никель	6,6	11	5,9–58	
Ванадий	5–33	24	26–82	
Хром	0,4–1,5	11	Менее 3,6	
Железо	1300–4900	6000–8400	Менее 110	
Медь	11	13	0,34	
Цинк	22	27	Менее 7,7	
Кобальт	2,2	4,0	0,4	
Марганец	46–75	53	Менее 0,69	

Показатели выбросов ЗВ, как показывают данные табл. 1–4, при сжигании основных видов топлива изменяются в широких пределах для одного вида топлива, в том числе для природного газа. Для предварительных оценок в табл. 5 представлены обобщенные данные по

значениям выбросов ЗВ на единицу сжигания угля, мазута и природного газа.

Данные табл. 5 также указывают на экологические преимущества сжигания природного газа в качестве топлива.

Таблица 5

**Удельные выбросы ЗВ на единицу сжигаемого угля, мазута и природного газа**

Выбросы ЗВ	Вид углеводородного топлива		
	уголь	нефть	природный газ
Общее количество ЗВ, кг/т у.т., в том числе:			
• твердые ЗВ, кг	305	50	3
• тяжелые металлы, г	231	0,1	0,0002
	0,7–1,1	0,6–0,9	Отсутствует

**Параметры выбросов ЗВ при сжигании моторных топлив**

При использовании моторных топлив вклад выбросов ЗВ с испарениями моторных топлив составляет 9 %, выбросов ЗВ в составе отработавших газов двигателей внутреннего сгорания (ДВС) – 65 %, выбросов с продуктами износа резины и металла, а также продуктами возгонки и терморазложения масла – 26 % [7].

На рис. 2 представлен расход моторного топлива на одном из крупнейших нефтегазоконденсатных объектов Заполярья ООО «Газпром

добыча Ямбург» [8]. Доля ДТ в структуре моторного топлива на предприятии в несколько раз превышает расход бензина. Это объясняется тем, что основная часть эксплуатируемых на предприятии транспортных средств работает на арктическом ДТ (табл. 6).

Расход моторного топлива и динамика объемов эмиссии CO<sub>2</sub> в зависимости от вида используемого моторного топлива свидетельствуют о том, что максимальное количество

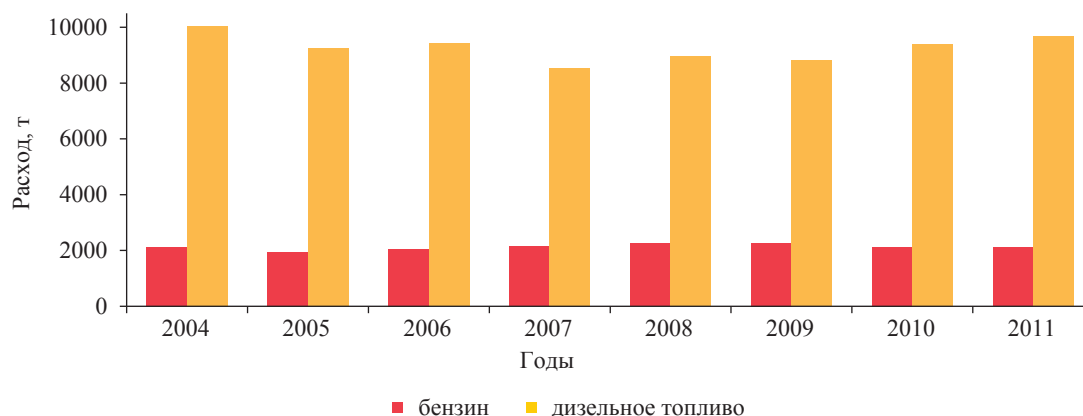


Рис. 2. Расход моторного топлива в ООО «Газпром добыча Ямбург»

Таблица 6

**Количество автотранспортных средств, использующих бензин и ДТ, в ООО «Газпром добыча Ямбург» в период 2004–2011 гг.**

Используемое топливо	Количество автомашин, ед./год							
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Бензин	274	284	272	262	250	236	226	243
Дизтопливо	635	625	609	552	533	548	477	478

эмиссии  $\text{CO}_2$  образуется от ДТ (более 80 %), при использовании бензина – до 20 % эмиссий  $\text{CO}_2$  (табл. 7).

В табл. 8 приведены обобщенные значения выбросов основных ЗВ на единицу отработавших газов при сжигании ДТ, компримированного природного газа (КПГ) и бензинов [9].

Представленный в табл. 9–13 сравнительный анализ выбросов ЗВ с отработавшими газами различных автотранспортных средств (АТС) при сжигании бензина, ДТ и КПГ показывает несомненные экологические преимущества использования в качестве моторного топлива КПГ.

В табл. 9 приведены показатели выбросов парниковых газов при сжигании моторного топлива. Наиболее низкие значения отмечены у

компримированного и сжиженного природного газов [10].

При работе двигателей на СПГ показатели выбросов ЗВ характеризуются более низким содержанием оксидов азота и сажи в сравнении с ДТ (табл. 10).

В настоящее время одно из первых мест среди моторных топлив занимает сжиженный природный газ ввиду наличия больших объемов сырья для его производства и сравнительно низкой стоимости, а также благодаря теплофизическим свойствам и полноте сгорания. Содержание ЗВ в составе отработавших газов двигателей на СПГ существенно ниже, чем при использовании бензина и ДТ: по оксиду углерода – в 5–20 раз, оксидам азота – в 3–4 раза, несгоревшим углеводородам – в 2–3 раза [12].

Таблица 7

**Динамика расхода моторного топлива и объемов эмиссии диоксида углерода по ОАО «Газпром» (2006–2011 гг.)**

Год	Дизельное топливо		Бензин		Итого	
	расход, тыс. т	эмиссия $\text{CO}_2$ , Гг $\text{CO}_2$ -экв.	расход, тыс. т	эмиссия $\text{CO}_2$ , Гг $\text{CO}_2$ -экв.	расход, тыс. т	эмиссия $\text{CO}_2$ , Гг $\text{CO}_2$ -экв.
2006	9,4	30,2	2,1	6,4	11,5	36,6
2007	8,5	27,4	2,1	6,6	10,7	34,0
2008	9,0	28,7	2,2	7,7	11,2	35,72
2009	8,807	28,258	2,265	7,030	11,072	35,288
2010	9,400	30,161	2,117	6,574	11,517	36,735
2011	9,671	31,031	2,105	6,534	11,776	37,565

Таблица 8

**Выбросы ЗВ с отработавшими газами автобусов, грузовых и легковых автомобилей**

Топливо	Ед. изм.	CO	CH	NO <sub>x</sub>	Сажа	SO <sub>x</sub>	Pb
Автобусы							
ДТ	кг/т у.т.	221,1	26,4	16,2	0,4	1,4	0,2
КПГ	кг/тыс. м <sup>3</sup>	85,1	22,1	10,4	–	–	–
Грузовые а/м							
Бензин	кг/т у.т.	354,0	44,4	27,1	0,4	1,3	0,2
КПГ	кг/тыс. м <sup>3</sup>	134,5	38,4	17,9	–	–	–
Легковые автомобили							
Бензин-0 (Евро-0)	кг/т у.т.	167,8	20,8	20,1		20,1	
Бензин-1 (Евро-1) и выше	кг/т у.т.	14,4	1,6	3,9		3,9	
ДТ-0 (Евро-0)	кг/т у.т.	9,4	2,1	27,6	2,8	1,1	
ДТ-1 (Евро-1) и выше	кг/т у.т.	5,2	1,0	20,7	0,8	1,1	
Сжиженный нефтяной газ – 0 (Евро-0)*	кг/т у.т.	159,2	19,7	19,1		0,1	
Сжиженный нефтяной газ – 1 (Евро-1) и выше*	кг/т у.т.	13,7	1,5	3,7		0,1	

Примечание: \* в пересчете на сжиженный природный газ (СПГ).

Таблица 9

**Удельные выбросы CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> на автомобильном транспорте**

Вид топлива	Удельный выброс парниковых газов, кг/Дж	
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
Автомобильный бензин	69300	33
Сжиженный нефтяной газ	63100	62
Керосин	71900	–
Компримированный природный газ	56100	92
Сжиженный природный газ	56100	–
Дизельное топливо	74100	4,15

Таблица 10

**Выбросы токсичных веществ, г/км пробега, при работе бензинового и дизельного двигателей на разных видах топлива [11]**

Вещество	Бензиновый двигатель			Дизельный двигатель	
	бензин	бензин с системой снижения токсичности отработавших газов	сжатый природный газ	дизельное топливо	двух-топливная система
Оксид углерода	2,5–10	1–2,5	0,5–1,5	0,2–1,6	0,2–1,0
Оксиды азота	1–1,8	0,25–0,45	0,5–0,9	0,5–1,8	0,5–1,8
Неметановые углеводороды	1,0–2,0	0,1–0,2	0,1–0,2	0,1–0,2	0,1–0,2
Сажа (дымность по Хартриджу, %)	–	–	–	4–40	2–15
ПАУ	0,003–0,03	0,0015–0,02	0,003–0,009	–	–

Таблица 11

**Выбросы ЗВ при сгорании 1 кг дизельного топлива**

Тип АТС	Экологический класс АТС	Выброс ЗВ, г/кг					
		CO	VOC*	NO <sub>x</sub>	PM**	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
Легковые автомобили	0 (Евро-0)	13,6	3,0	40,0	4,0	1,6	3070
	1 (Евро-1) и выше	7,5	1,4	30,0	1,1	1,6	3100
Грузовые автомобили и автобусы полной массой до 3500 кг	0 (Евро-0)	30,0	10,0	50,0	4,0	1,6	3020
	1 (Евро-1) и выше	8,6	4,3	25,0	1,1	1,6	3090
Грузовые автомобили и автобусы полной массой более 3500 кг	0 (Евро-0)	30,0	10,0	50,0	4,0	1,6	3020
	1 (Евро-1) и выше	8,6	4,3	25,0	1,4	1,6	3090

Примечания: \* летучие органические соединения; \*\* твердые частицы.

Таблица 12

**Выбросы ЗВ при сгорании 1 кг сжиженного нефтяного газа**

Тип АТС	Экологический класс АТС	Выброс ЗВ, г/кг				
		CO	VOC	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
Легковые автомобили	0 (Евро-0)	250,0	31,0	30,0	0,12	2520
	1 (Евро-1) и выше	21,5	2,4	5,8	0,12	2970
Грузовые автомобили и автобусы полной массой до 3500 кг	0 (Евро-0)	250,0	31,0	30,0	0,12	2520
	1 (Евро-1) и выше	21,5	2,4	5,8	0,12	2970
Грузовые автомобили и автобусы полной массой более 3500 кг	0 (Евро-0)	360,0	39,0	30,0	0,12	2350

Таблица 13

**Выбросы ЗВ при сгорании 1 м<sup>3</sup> сжатого природного газа**

Тип АТС	Экологический класс АТС	Выброс ЗВ, г/м <sup>3</sup>				
		CO	VOC	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
Грузовые автомобили и автобусы полной массой более 3500 кг	Евро-0	140,0	14,0	20,0	0,08	2500

**Выбросы черного углерода от дизельных источников в Арктике**

Выбросы мобильных и стационарных дизельных установок в пределах арктической части Российской Федерации оказывают значительное влияние на общую концентрацию черного углерода (сажевых частиц) в Арктике. На основе предварительных данных Всемирный фонд дикой природы (WWF России) подсчитал, что около 80 % выбросов черного углерода от дизельных установок, связанных с антропогенной деятельностью в российской Арктике, происходит в Мурманской области и г. Мурманске, а также в Норильском промышленном районе.

Агентство по защите окружающей среды США недавно инициировало проект по изучению выбросов черного углерода от дизель-

ного топлива в российской Арктике. Данный проект является государственным исследовательским проектом США, который реализуется Мемориальным институтом им. Бателле при сотрудничестве с WWF России и другими заинтересованными сторонами.

Проект имеет две главные цели: подготовка инвентаризации источников выбросов в Арктике и реализация пилотного проекта для показа возможности уменьшения выбросов черного углерода. Методология исследований включает многосторонние подходы к оценке выбросов черного углерода и охватывает все возможные аспекты и источники его образования (рис. 3).

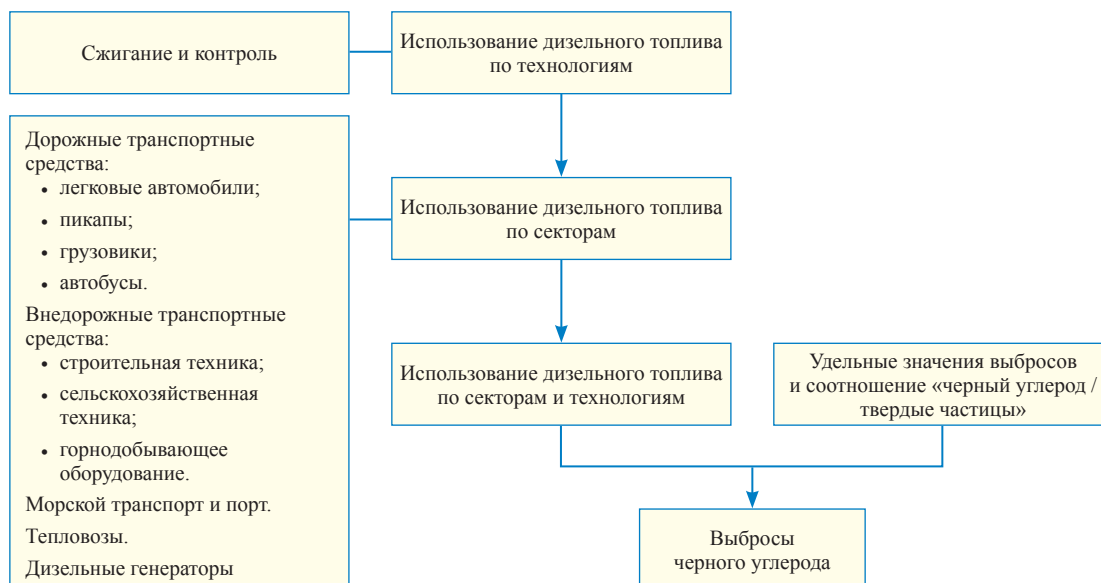


Рис. 3. Схема оценки выбросов черного углерода от дизельных источников

Сектор мобильных и стационарных дизельных установок имеет большой потенциал сокращения выбросов. Так, в США улучшение качества топлива, изменения в структуре его потребления и усовершенствование конструкции двигателей позволили достичь значительного (до 90 %) сокращения выбросов черного углерода от дизельных транспортных средств

большой грузоподъемности. Данные меры также способствуют повышению качества атмосферного воздуха в городах и улучшению здоровья человека.

Таким образом, по данным представленных исследований, экологические преимущества природного газа очевидны, а перспективы замены ДТ природным газом позитивны.

### Список литературы

1. Национальная служба информации Медиатекст // [www.mediatext.ru](http://www.mediatext.ru)
2. Методика экологической экспертизы предпроектных и проектных материалов по охране атмосферного воздуха. – М., 1995.
3. Крылов Д.А. ТЭС: уголь и газ / Д.А. Крылов, В.Е. Путинцева, Е.Д. Крылов // Ядерное общество. – 2001. – № 1.
4. Григорян К.Б. Экологическая ситуация при использовании мазута и угля взамен природного газа / К.Б. Григорян, Ю.М. Никитина // Экология в газовой промышленности / Приложение к журналу «Газовая промышленность». – 1998. – № 7.
5. Методика расчета выбросов бенз(а)пирена в атмосферу паровыми котлами тепловых электростанций. – М.: ВТИ, 1999.
6. Лисицын Е.Б. Диверсификация моторных топлив как ближайшая реальность решения топливных проблем автотранспортных средств: обзорн. инф. / Е.Б. Лисицын, Р.В. Богославцев, А.А. Пятибрат. – М.: Газпром экспо, 2010. – 247 с.
7. Мельников А.А. Проблемы окружающей среды и стратегия ее сохранения: учебн. пособие для вузов / А.А. Мельников. – М.: Академический проект; Гаудеамус, 2009. – 720 с.
8. Кадастр выбросов парниковых газов для объектов ООО «Газпром добыча Ямбург» 2004–2011. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2013.
9. Мкртычан Я.С. Расчеты и проект расширения и использования компримированного природного газа на автомобильном транспорте / Я.С. Мкртычан, Р.О. Самсонов. – М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2007. – 112 с.
10. Программа ТАСИС Европейского союза для Российской Федерации. Методология Кадастра антропогенных выбросов парниковых газов для региона. – 2009.
11. Данилов А.М. Альтернативные топлива: достоинства и недостатки. Проблемы применения / А.М. Данилов, Э.Ф. Каминский, В.А. Хавкин. – М., 2005. – 154 с.
12. Шеховцев А.А. Воздействие предприятий топливно-энергетического комплекса на ОС / А.А. Шеховцев, С.Г. Чижов // Энергетическая политика. – 2009. – № 1. – С. 32–42.