

УДК 502.3:621.311.23

О.В. Маслеева

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МИНИ-ТЭЦ НА УРОВЕНЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Дана экологическая оценка загрязнения атмосферного воздуха при строительстве мини-ТЭЦ с тремя различными видами двигателей: газопоршневыми, газотурбинными и дизельными. Рассчитаны максимальные приземные концентрации при различной высоте дымовых труб.

Ключевые слова: экология, мини-ТЭЦ, загрязняющие вещества, приземные концентрации, ПДК.

В работах [1, 2] показана целесообразность строительства на промышленных предприятиях собственных мини-ТЭЦ мощностью от 1 до 20 МВт. Достоинствами мини-ТЭЦ являются:

- низкая стоимость вырабатываемой электроэнергии и тепла;
- быстрая окупаемость;
- низкий расход топлива, большой моторесурс и долговечность;
- экологическая безопасность.

Экономические показатели сооружения мини-ТЭЦ подробно описаны в работе [2].

Охрана природной среды для объектов энергетики включает в себя решение ряда вопросов, таких как охрана воздушной среды, уменьшение или исключение сбросов вредных веществ в водоемы, уменьшение действия шума, рекультивация земель и т.д. Основное внимание уделяется выбросам загрязняющих веществ в атмосферу.

Отрицательное влияние загрязнения атмосферы выражается в ухудшении здоровья людей и животных, снижении урожайности сельскохозяйственных культур и продуктивности животных. Воздействию вредных веществ подвержены лесные угодья. Загрязнение атмосферы влияет на коррозионные процессы строительных конструкций, ускорение износа зданий и оборудования.

Основным источником загрязнения воздушного бассейна городов являются вредные для здоровья людей вещества, содержащиеся в продуктах сгорания. При работе мини-ТЭЦ с газопоршневыми и газотурбинными двигателями на природном газе в атмосферу будут выбрасываться следующие вредные вещества: оксиды азота и оксид углерода. Для мини-ТЭЦ с дизельными двигателями: оксиды азота, оксид углерода, углеводороды, сажа, диоксид серы, формальдегид, 3,4 бензапирен.

Двуокись углерода образуется при полном сгорании углерода и не оказывает вреда для здоровья. Состав продуктов неполного сгорания в большой степени зависит от состава топлива и метода сжигания. При неполном сгорании топлива продукты сгорания содержат оксид углерода, углеводороды и сажу. Оксид углерода изменяет состав крови и приводит к нарушению нервной системы. Также при недостаточном количестве кислорода, подаваемого в зону горения, в диапазоне температур 973 – 1073 К образуется полициклический углеводород 3,4 бензапирен ($C_{20}H_{16}$), обладающий канцерогенными свойствами.

При сжигании органических топлив азот, содержащийся в воздухе и топливе, становится реакционноспособным и, соединяясь с кислородом, образует оксиды NO, NO₂, N₂O. Основная доля оксидов азота (более 95 %) приходится на монооксид азота NO. В атмосфере NO превращается в NO₂ (сильный яд, поражающий нервную систему, при соединении с водой из него образуется азотистая кислота). При окислении атмосферного азота воз-

духа, расходуемого при сжигании топлива, образуются так называемые «термические» и «быстрые» оксиды азота, а оксиды азота, образующиеся при окислении азотсодержащих составляющих топлива, называются *топливными*.

Термические оксиды азота образуются при горении любых видов топлива в области высоких температур (более 1500°C). На выход оксидов азота наибольшее влияние оказывают температура в зоне горения, время пребывания газов в зоне горения и коэффициент избытка воздуха. «Быстрые» оксиды азота образуются в корневой части факела при температурах 900... 1300°C. Образование «быстрых» оксидов азота также зависит от избытка воздуха. Доля «быстрых» оксидов азота в суммарном выбросе NO обычно не превышает 10... 15 %.

Азотсодержащие соединения, входящие в состав жидкого топлива, являются источником образования топливных оксидов азота. В природном газе не содержится азота, входящего в состав органических соединений, поэтому при сжигании природного газа образуются только термические оксиды азота.

Автором были проведены расчеты валовых и удельных выбросов, а также приземных концентраций загрязняющих веществ для мини-ТЭЦ с тремя различными видами двигателей: газопоршневыми, газотурбинными (при их работе на природном газе) и дизельными (при использовании дизельного топлива).

Исходными данными для расчета являлись: паспортные данные двигателя, концентрации загрязняющих веществ в дымовых газах и объем сжигаемого газа (для мини-ТЭЦ с газопоршневыми и газотурбинными двигателями), расход дизельного топлива (для мини-ТЭЦ с дизельными двигателями).

Расчет валовых и удельных выбросов, концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе выполнен на основании следующих нормативных документов: Методического пособия по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, ОНД-86 Методики расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий.

Валовые (т/год) и удельные выбросы (кг/кВт ч) загрязняющих веществ оксидов азота (NO₂ и NO), оксида углерода (CO) были рассчитаны для газопоршневых двигателей и газотурбинных двигателей мощностью 1 МВт российских и иностранных производителей. Концентрации загрязняющих веществ в дымовых газах для газопоршневого двигателя производства РУМО получены при проведении испытаний на заводе. Результаты расчета для двух видов двигателей приведены в табл. 1, а данные этих двигателей – в табл. 2).

Таблица 1

Валовые и удельные выбросы загрязняющих веществ для мини-ТЭЦ с газопоршневыми и газотурбинными двигателями

Вид и модель двигателя	Концентрации загрязняющих веществ в дымовых газах, мг/м ³				Валовые выбросы, т/год			Удельные выбросы, г/кВт ч		
	NO _x	NO ₂	NO	CO	NO ₂	NO	CO	NO ₂	NO	CO
Газопоршневые										
8Г4Н22/28	997	798	150	481	44	8	26	46	9	28
G3516-ТА(Н)	500	400	65	650	15	3	25	17	3	28
Газотурбинные										
TB3-117	50	40	6,5		10	1,6		1,04	0,17	
SB5	25	20	3,25		3,3	0,5		0,34	0,056	

Согласно Методики расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных дизельных установок, расчет выбросов был выполнен для следующих вредных веществ, поступающих в атмосферу с отработавшими газами стационарных дизельных устано-

вок: оксида углерода (CO), оксидов азота (NO₂ и NO), углеводородов (CH), сажи (C), диоксида серы (SO₂), формальдегида (CH₂O), бензапирена (C₂₀H₁₂).

Валовый выброс загрязняющего вещества за год (т/год) стационарной дизельной установкой определялся исходя из нормативных величин удельных выбросов (г/кг топлива), которые приведены в табл. 3, и данных двигателей (табл. 4).

Таблица 2

Паспортные данные газопоршневых и газотурбинных двигателей

Производитель двигателей	Модель двигателя	Мощность двигателя, кВт	Расход газа, н.м ³ /с	Расход дымовых газов, м ³ /с
Газопоршневые				
РУМО	8Г4Н22/28	1090	0,0869	1,733
Caterpillar	G3516-TA(H)	1015,8	0,0835	1,22
Газотурбинные				
Завод им. В.Я. Климова	ТВ3-117	1100	0,164	7,95
Mitsui Engineering	SB5	1100	0,108	5,25

Расчет валовых и удельных выбросов загрязняющих веществ был проведен для дизельных двигателей мощностью 1 МВт российских и иностранных производителей. Результаты расчета для двух типов двигателей приведены в табл. 5.

Таблица 3

Нормативные величины удельных выбросов дизельных двигателей

Модель двигателя	Группа	Выброс, г/кг топлива						
		CO	NO _x	CH	C	SO ₂	CH ₂ O	C ₂₀ H ₁₂
8ДМ-21С	Г	30	45	15	2,5	5	0,6	5,5 10 ⁻⁵
КТА50G1	Г	15	18	4,3	0,71	5	0,17	1,6 10 ⁻⁵

Таблица 4

Паспортные данные дизельных двигателей

Производитель двигателей	Модель двигателя	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Расход топлива, т/год
Дизельные				
Уральский дизель-моторный завод	8ДМ-21С	1080	1500	1724
Cummins Inc.	КТА50G1	1000	1500	1521

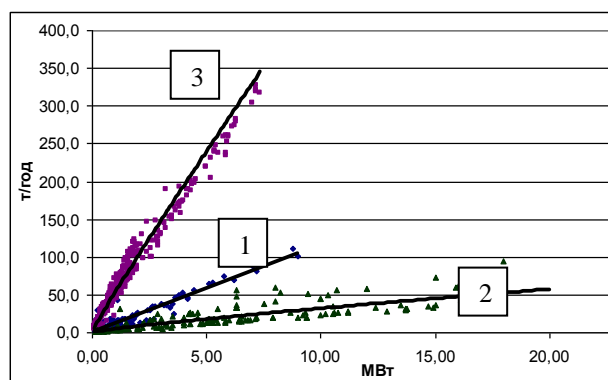
Таблица 5

Валовые и удельные выбросы вредных веществ для мини-ТЭЦ с дизельными двигателями

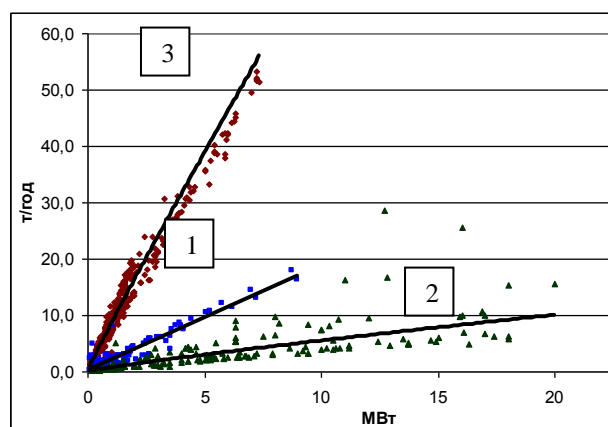
Модель двигателя	Загрязняющие вещества							
	CO	NO ₂	NO	CH	C	SO ₂	CH ₂ O	C ₂₀ H ₁₂
Валовые выбросы, т/год								
8ДМ-21С	51,7	62,1	10,1	25,9	4,3	8,6	1,0	9,5E-05
КТА50G1	22,8	21,9	3,6	6,52	1,09	7,6	0,26	2,4E-05
Удельные выбросы, кг/кВт ч								
8ДМ-21С	5,47	6,56	1,07	2,73	0,46	0,91	0,109	1,0E-05
КТА50G1	2,6	2,50	0,41	0,74	0,12	0,87	0,030	2,7E-06

Валовые выбросы (т/год) загрязняющих веществ были рассчитаны для 122 газопоршневых двигателей мощностью от 0,1 до 9 МВт, для 171 газотурбинных двигателей мощностью 0,1–20 МВт, для 549 дизельных двигателей мощностью 0,1 до 7,36 МВт российских и иностранных производителей.

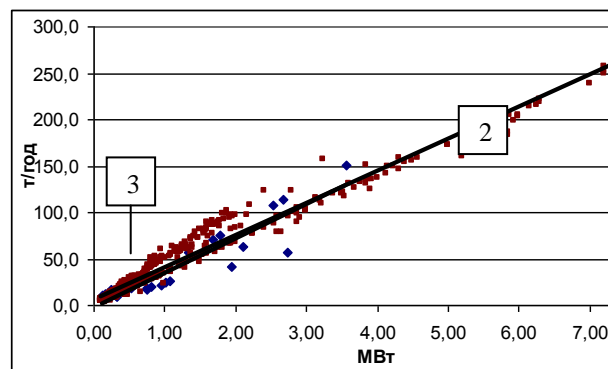
На основе проведенных расчетов для оценки влияния мощности и типа двигателя были построены графические зависимости «Валовые выбросы от мощности мини-ТЭЦ» для каждого загрязняющего вещества. Графики представлены на рис. 1.



а)



б)



в)

Рис. 1. Валовые выбросы NO_2 , NO , CO в зависимости от мощности для газопоршневых (1), газотурбинных (2) и дизельных (3) двигателей:
а – NO_2 ; б – NO ; в – CO

Для непосредственной оценки влияния мини-ТЭЦ на здоровье человека были рассчитаны приземные концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, построены

поля рассеивания и определены точки с максимальной концентрацией. Мини-ТЭЦ состоит из двигателей мощностью 1 МВт в количестве от 1 до 10 штук. Результаты расчета представлены в табл. 6 для мини-ТЭЦ с газопоршневыми двигателями РУМО 8Г4Н22/28, Caterpillar G3516-ТА(Н) при различной высоте дымовой трубы (от 10 до 35 м), диаметр трубы - 0,325 м и с газотурбинными двигателями завод им. В.Я. Климова ТВЗ-117, Mitsui Engineering SB5 высота трубы – 10 м, диаметр трубы – 1,35 м. Температура дымовых газов принималась 110°C. Расчеты проведены для климатической зоны г. Н. Новгород.

Таблица 6

**Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ
в атмосферном воздухе населенных мест**

№ код	Наименование вещества	Формула	Величина ПДК (мг/м ³)		Класс опасности
			максимальная разовая	средне-суточная	
4	Азота диоксид	NO ₂	0,2	0,04	2
6	Азот (II) оксид	NO	0,4	0,06	3
48	Бензапирен	C ₂₀ H ₁₂	-	10 ⁻⁶	1
463	Сера диоксид	O ₂ S	0,5	0,05	3
520	Углерод	C	0,15	0,05	3
521	Углерод оксид	CO	5	3	4
541	Формальдегид	CH ₂ O	0,035	0,003	2

Таблица 7

**Максимальные приземные концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе для мини-ТЭЦ
с газопоршневыми и газотурбинными двигателями в зависимости от высоты трубы**

Высота трубы, м	Тип мини-ТЭЦ	Загрязняющее вещество	Приземные концентрации загрязняющих веществ, доли ПДК, для мини-ТЭЦ мощность, МВт					
			1	2	4	6	8	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	РУМО 8Г4Н22/28 (1 МВт)	NO ₂	0,261	0,522	1,044	1,566	2,088	2,61
		NO	0,0246	0,0492	0,0984	0,148	0,197	0,246
		CO	0,0063	0,0126	0,0252	0,0378	0,0504	0,063
	Caterpillar G3516-ТА(Н) (1 МВт)	NO ₂	0,245	0,49	0,98	1,47	1,96	2,45
		NO	0,246	0,492	0,984	1,476	1,968	2,46
		CO	0,02	0,04	0,08	0,12	0,16	0,2
	Завод им. В.Я. Климова ТВЗ-117	NO ₂	0,0302	0,0604	0,1208	0,181	0,242	0,302
		NO	0,0050	0,010	0,0200	0,030	0,040	0,050
		CO		0	0	0	0	0
Mitsui Engineering SB5	NO ₂	0,0182	0,0364	0,0728	0,1092	0,146	0,182	
	NO	0,0015	0,0030	0,0059	0,0089	0,0118	0,0148	
	CO							
15	РУМО 8Г4Н22/28 (1 МВт)	NO ₂	0,29	0,58	1,16	1,74	2,32	2,9
		NO	0,0273	0,0546	0,1092	0,164	0,218	0,273
		CO	0,0070	0,0140	0,0280	0,0421	0,0561	0,0701
	Caterpillar G3516-ТА(Н) (1 МВт)	NO ₂	0,162	0,324	0,648	0,972	1,296	1,62
		NO	0,0132	0,0264	0,0528	0,0792	0,106	0,132
		CO	0,0105	0,021	0,042	0,063	0,084	0,105
20	РУМО 8Г4Н22/28 (1 МВт)	NO ₂	0,216	0,432	0,864	1,30	1,728	2,16
		NO	0,0203	0,0406	0,0812	0,122	0,162	0,203
		CO	0,0052	0,0104	0,0209	0,0313	0,0418	0,0522
	Caterpillar G3516-ТА(Н) (1 МВт)	NO ₂	0,12	0,24	0,48	0,72	0,96	1,2
		NO	0,119	0,238	0,476	0,714	0,952	1,19
		CO	0,0097	0,0194	0,0388	0,0582	0,0776	0,097

Окончание табл. 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
25	РУМО 8Г4Н22/28 (1 МВт)	NO ₂	0,171	0,342	0,684	1,026	1,368	1,71
		NO	0,0161	0,0322	0,0644	0,0966	0,129	0,161
		CO	0,0041	0,0083	0,0165	0,0248	0,0330	0,0413
	Caterpillar G3516-ТА(Н) (1 МВт)	NO ₂	0,0934	0,187	0,374	0,560	0,747	0,934
		NO	0,093	0,186	0,372	0,558	0,744	0,93
		CO	0,0076	0,0151	0,0302	0,0454	0,0605	0,0756
30	РУМО 8Г4Н22/28 (1 МВт)	NO ₂	0,14	0,28	0,56	0,84	1,12	1,4
		NO	0,0132	0,0264	0,0528	0,0792	0,106	0,132
		CO	0,0034	0,0068	0,0136	0,0203	0,0271	0,0339
	Caterpillar G3516-ТА(Н) (1 МВт)	NO ₂	0,0749	0,150	0,300	0,449	0,599	0,749
		NO	0,0061	0,0122	0,0243	0,0365	0,0486	0,0608
		CO	0,0049	0,0097	0,0195	0,0292	0,0390	0,0487
35	РУМО 8Г4Н22/28 (1 МВт)	NO ₂	0,118	0,236	0,473	0,709	0,946	1,182
		NO	0,0111	0,0222	0,0444	0,0666	0,0888	0,1110
		CO	0,0029	0,0057	0,0114	0,0171	0,0228	0,0285
	Caterpillar G3516-ТА(Н) (1 МВт)	NO ₂	0,0607	0,121	0,243	0,364	0,486	0,607
		NO	0,0049	0,0099	0,0197	0,0296	0,0394	0,0493
		CO	0,0039	0,0079	0,0158	0,0236	0,0315	0,0394

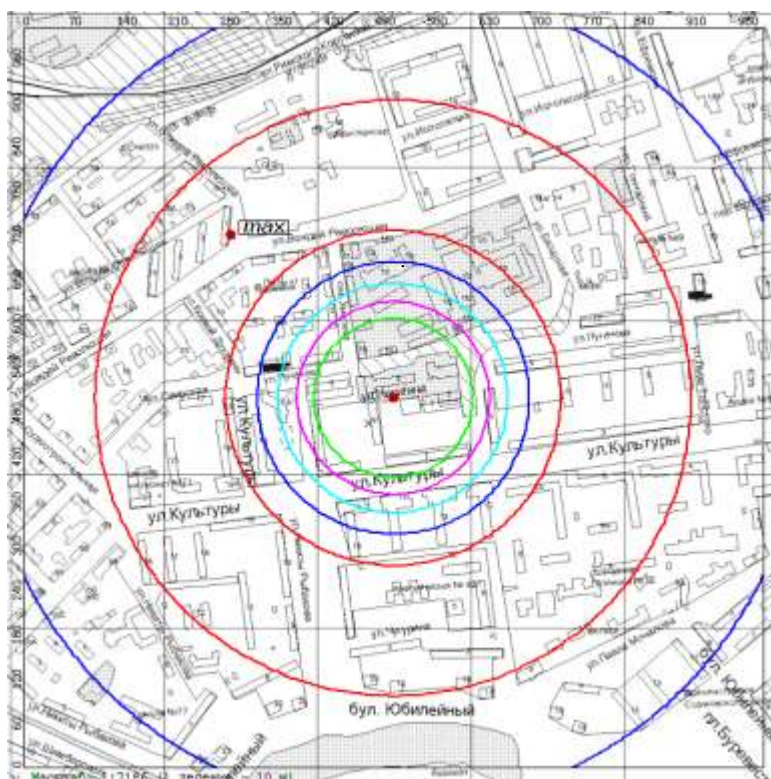


Рис. 2. Изолинии приземных концентраций выбросов NO₂, для мини-ТЭЦ с 4 газопоршневыми двигателями РУМО 8Г4Н22/28 мощностью 1 МВт высота трубы Н=35 м:
 координаты точки с максимальной приземной концентрацией– X=200м, Y=500 м;
 максимальная приземная концентрация – C_{max}=0,473 ПДК

Цвет изолиний приземных концентраций	Доли ПДК
	0,20
	0,26
	0,32
	0,38
	0,44

Основные климатические характеристики, необходимые для расчетов приземных концентраций вредных веществ, приняты по СНиП 23-01-99 "Строительная климатология". Расчетный прямоугольник имеет размеры 1000x1000м, шаг расчета рассеяния загрязняющих веществ выбран 50 м.

Перечень загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу мини-ТЭЦ, и санитарно-гигиенические характеристики загрязняющих веществ представлены в табл. 6. Предельно допустимые концентрации приняты согласно ГН 2.1.6.1338-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест».

На рис. 2 построены изолинии приземных концентраций основного вредного вещества (NO_2), которые показывают распределение концентраций в долях ПДК, и точка с максимальной приземной концентрацией, которая составляет 0,473 ПДК, а также приведен вариант расчета для газопоршневой мини-ТЭЦ с 4 двигателями РУМО с трубой 35 м, расположенной в жилом районе.

Выводы

1. Из трех видов агрегатов наибольшие выбросы загрязняющих веществ дают дизельные двигатели.

2. Расстояние от мини-ТЭЦ до жилых районов (санитарно-защитная зона) должно быть не менее 50 м.

3. Для мини-ТЭЦ с газопоршневыми двигателями должны выполняться следующие экологические требования:

- при мощности мини-ТЭЦ 1 и 2 МВт (при мощности одного двигателя 1 МВт) высоту дымовой трубы можно брать 10 м, при этом концентрации всех вредных веществ не превышают ПДК;
- при мощности мини-ТЭЦ 4 МВт (при мощности одного двигателя 1 МВт) высоту дымовой трубы можно брать 20 м, при этом концентрации всех вредных веществ не превышают ПДК;
- при мощности мини-ТЭЦ 6 МВт (при мощности одного двигателя 1 МВт) высоту дымовой трубы можно брать 30 м, при этом концентрации всех вредных веществ не превышают ПДК.

4. Для мини-ТЭЦ с газотурбинными двигателями достаточно строительство дымовой трубы высотой 10 м.

Библиографический список

1. Вагин, Г.Я. К вопросу о повышении надежности систем электроснабжения промышленных предприятий // Промышленная энергетика. 2006 № 3.
2. Вагин, Г.Я. Технические и экономические критерии выбора мини-ТЭЦ на промышленных предприятиях / Г.Я. Вагин [и др.] // Промышленная энергетика. 2006. № 4-5.
3. Вагин, Г.Я. Мини-ТЭЦ в экологическом аспекте / Г.Я. Вагин [и др.] // АКВА-ТЕРМ. 2006. №6.

*Дата поступления
в редакцию 26.04.2011*

O.V. Masleeva

THT INFLUENCE OF MINI-POWER-STATION ON THE LEVEL OF ATMOSPHERIC AIR POLLUTION

The environmental assessment of air pollution during the construction of mini-power stations with three different types of engines: gas-piston, gas turbine and diesel is given. The maximum surface concentrations at different height of chimneys are calculated.

Key words: ecology, mini-CHP, pollutants, ground-level concentrations, MPC.