

---

## ОЦЕНКА АТМОСФЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОТ ПАРОГАЗОТУРБИННЫХ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Д.М. Уханов<sup>1</sup>, С.О. Половых<sup>1</sup>,  
С.И. Юрченко<sup>2</sup>, В.П. Зволинский<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Российский университет дружбы народов  
ул. Подольское шоссе, 8/5, Москва, Россия, 113093

<sup>2</sup>НОУ ВПО «Академия МНЭПУ»  
ул. Космонавта Волкова, 20, Москва, Россия, 115230

<sup>3</sup>ФГБОУ ВПО «МАТИ — Российский государственный  
технологический университет им. К.Э. Циолковского»  
ул. Оршанская, 3, Москва, Россия, 121552

В статье представлены результаты расчета загрязнений атмосферы от парогазотурбинной теплоэлектростанции (ПГТЭС) «Терешково» для основных режимов: пиковый (при  $T_{\text{нв}} = -28$  °С); штатный зимний; летний; аварийный, с учетом многоэтажной застройки. Расчеты рассеивания показали, что концентрации загрязняющих веществ на границе нормативной СЗЗ, на границе с жилебной застройкой не превысят санитарно-гигиенических нормативов качества атмосферного воздуха. На основе расчета установлено: приземные концентрации загрязняющих веществ не превышают нормативов чистоты (ПДК) атмосферного воздуха в зоне жилой застройки; это определяет допустимость размещения объекта в непосредственной близости от природных комплексов и дает возможность сократить размер СЗЗ до границы со строящейся общеобразовательной школой (до 200 м в юго-восточном направлении) и до границы жилой застройки (до 280 м в южном направлении).

**Ключевые слова:** теплоэлектроэнергетика, парогазотурбинная электростанция, оценка атмосферного загрязнения.

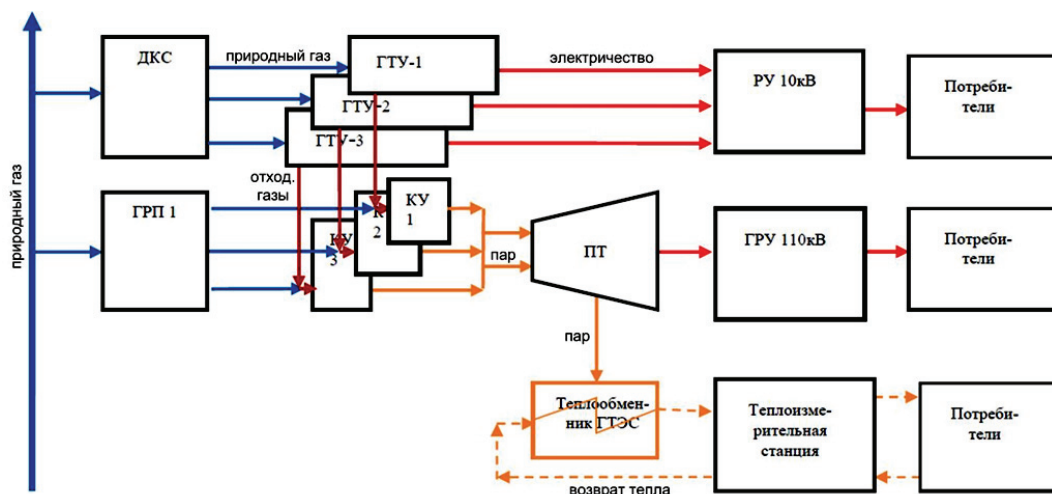
Антропогенное загрязнение атмосферы оказывает негативное влияние на здоровье населения, являясь причиной большого количества заболеваний, в том числе онкологических. Большое влияние на загрязнение воздуха наряду с автотранспортом оказывают теплоэлектростанции, которые являются наиболее распространенным способом получения электроэнергии.

В данной работе проведена оценка атмосферного загрязнения от парогазотурбинных электростанций на примере ПГТЭС «Терешково» (рис. 1).

При эксплуатации ПГТЭС основными источниками загрязнения атмосферы являются пять источников выбросов (табл. 1).

Первый источник — трехствольная дымовая труба от трех ГТУ + КУ, находящихся в главном корпусе. Источник работает по трем режимам: пиковый (максимальная нагрузка), штатный (зимний), штатный (летний).

Расчет выбросов через многоствольную трубу проводился согласно п. 5.7. ОНД-86 [1], при этом определялся эффективный диаметр трубы  $D_3 = D\sqrt{N}$ , где  $D$  — диаметр одной трубы,  $N$  — число труб, таким образом,  $D_3 = 2,8\sqrt{3} = 4,85$  м.



**Рис. 1.** Технологическая схема ПГТЭС:

ДКС — дожимная компрессорная станция; ГРП — газораспределительный пункт; ГТУ — газотурбинная установка; КУ — котел-утилизатор; ПТ — паровая турбина; РУ — распределительное устройство 10 кВ; ГРУ — газораспределительное устройство 110 кВ

Таблица 1

**Основные источники загрязнения атмосферы при эксплуатации ПГТЭС**

Источник загрязнения	Характеристика	Учитываемые выбросы
Трехствольная дымовая труба от трех ГТУ + КУ	Труба диаметром 2,8 м, высота 120 м	Оксиды азота, оксид углерода
Дымовая труба от мастерских	Диаметр трубы 0,25 м, высота 6 м	Оксид железа, абразивная пыль, древесная пыль, серная кислота
Дымовая труба от организованного поста электросварки	Диаметр трубы 0,25 м, высота 6 м	Оксид железа, марганец и его соединения, фтористый водород
Байпасные дымовые трубы	Диаметр трубы 2,5 м, высота 50 м	Оксиды азота, оксид углерода
Автомобильная стоянка	Вместимость 17 машиномест	Оксиды азота, оксид углерода

Второй источник — дымовая труба от мастерских, находящихся в здании. Дымовая труба эксплуатируется круглогодично и находится на крыше здания мастерских. В здании предусмотрено оборудование для механической обработки, ремонта трубопроводной арматуры, сварки и деревообработки. Заточный и фуговальный станки оборудованы пылеулавливающим агрегатом (ПУС-А) с эффективностью очистки 99,5%.

Третий источник — дымовая труба от организованного поста электросварки, находящегося в здании мастерских, который эксплуатируется круглогодично.

Четвертый источник — байпасные дымовые трубы, которые обеспечивают возможность работы турбин по открытому циклу и тем самым повышают надежность и маневренность парогазовых установок (ПГУ). Работа ГТУ через байпасные трубы характеризуется как работа в аварийном режиме, так как они предотвращают работу котла при критических параметрах пара или воды. Система байпаса выхлопного газа установлена до котла-утилизатора для возможного отключения котла-утилизатора и работы газовой турбины по открытому циклу.

Пятый источник — внутривоздушная открытая автомобильная стоянка на 17 единиц автотранспорта.

Объемы выбросов загрязняющих веществ от оборудования ПГТЭС «Терешково» (газотурбинные установки и водогрейные котлы) в разных режимах работы (летний, штатный, пиковый) определены в соответствии с исходными данными, представленными в технических условиях на проектирование.

В табл. 2 приведены наименования загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферный воздух в процессе эксплуатации ПГТЭС «Терешково». В графах 6 и 7 табл. 2 даны количественные характеристики выбрасываемых в атмосферу загрязняющих веществ, исходя из фактического усредненного времени работы предприятия в целом с учетом сменности, загрузки оборудования и продолжительности отдельных технологических процессов. Класс опасности указан для веществ, имеющих ПДК<sub>мр</sub> или ПДК<sub>сс</sub>.

Таблица 2

## Результаты расчета выбросов в атмосферу

Вещество	Критерии качества атмосферного воздуха				Выброс вещества, т/год	
	ПДК <sub>мр</sub>	ПДК <sub>сс</sub>	ОБУВ	Класс опасности	I этап строительства	II этап строительства
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , FeO (пер. на Fe)	0,000	0,040	0,000	3	$6\,322 \cdot 10^{-7}$	$6\,322 \cdot 10^{-7}$
MnO <sub>2</sub>	0,010	0,001	0,000	2	$588 \cdot 10^{-7}$	$588 \cdot 10^{-7}$
NO <sub>2</sub>	0,200	0,040	0,000	3	1 100,63	2 076,81
NO	0,400	0,060	0,000	3	178,85	337,48
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,300	0,100	0,000	2	$8 \cdot 10^{-7}$	$8 \cdot 10^{-7}$
SO <sub>2</sub>	0,500	0,050	0,000	3	$4\,886 \cdot 10^{-7}$	$4\,886 \cdot 10^{-7}$
CO	5,000	3,000	0,000	4	965,47	1557,75
HF (в пересчете на фтор)	0,020	0,005	0,000	2	$136 \cdot 10^{-7}$	$136 \cdot 10^{-7}$
Бензин (нефтяной, малосернистый) (в пер. на углерод)	5,000	1,500	0,000	4	$153\,842 \cdot 10^{-7}$	$153\,842 \cdot 10^{-7}$
Пыль абразивная (корунд белый, монокорунд)	0,000	0,000	0,040	4*	$9 \cdot 10^{-7}$	$9 \cdot 10^{-7}$
Пыль древесная	0,000	0,000	0,500	4*	$5\,040 \cdot 10^{-7}$	$5040 \cdot 10^{-7}$
Всего					2 244,95	3 972,06

\* (ПДК<sub>рз</sub> — 6 мг/м) относится к 4-му классу опасности [1].

Критерии качества атмосферного воздуха определялись в соответствии с документами [2; 5].

Согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 [6] при наличии в зоне максимального загрязнения жилых домов повышенной этажности высота дымовой трубы должна быть как минимум на 1,5 м выше конька крыши самого высокого жилого дома.

Анализ ситуационного плана, где показаны как существующая, так и перспективная застройки, позволяет сделать вывод, что самые высокие здания, находящиеся на расстоянии 655 м от площадки ПГТЭС, имеют высоту 66 м (22 этажа), что на 54 м ниже высот труб станции (высота трубы ГТУ 120 м).

Нами проведена оценка выбросов ПГТЭС «Терешково» на загрязнение воздушного бассейна прилегающей зоны. Для каждого  $j$ -го вещества, выбрасываемого источниками предприятия, требуется выполнение соотношения

$$q_j = \frac{C_j}{\text{ПДК}_j} \leq 1, \quad (1)$$

где  $q_j$  — безразмерная величина, характеризующая степень превышения концентрации загрязнителя над ПДК;  $C_j$  — расчетная концентрация вредного вещества в приземном слое воздуха.

Если в воздухе присутствует несколько ( $p$ ) вредных веществ с суммирующим вредным действием для их безразмерных концентраций ( $q_j$ ), определенных в соответствии с (1), должно выполняться условие

$$\sum_{j=1}^p q_j \leq 1. \quad (2)$$

При оценке влияния выбросов предприятия на качество атмосферного воздуха следует учитывать, что величина максимальной приземной концентрации,  $C_j$ , какого-либо ( $j$ -го) вещества, рассматриваемая в (1) и (2), является суммой двух составляющих:

$$C_j = C_{\text{мп},j} + C'_{\text{ф},j}, \quad (3)$$

где  $C_{\text{мп},j}$  — максимальная приземная концентрация этого вещества, создаваемая выбросами исследуемого предприятия;  $C'_{\text{ф},j}$  — фоновая концентрация рассматриваемого вещества, обусловленная наличием других источников загрязнения воздуха в городе и дальним переносом примесей.

С учетом (3) условие (1) согласно п. 8.2 ОНД-86 [1] можно переписать в виде

$$q_{\text{мп},j} + q_{\text{ф},j} \leq 1, \quad (4)$$

где  $q_{\text{мп},j} = \frac{C_{\text{мп},j}}{\text{ПДК}_j}$ ,  $q_{\text{ф},j} = \frac{C'_{\text{ф},j}}{\text{ПДК}_j}$ .

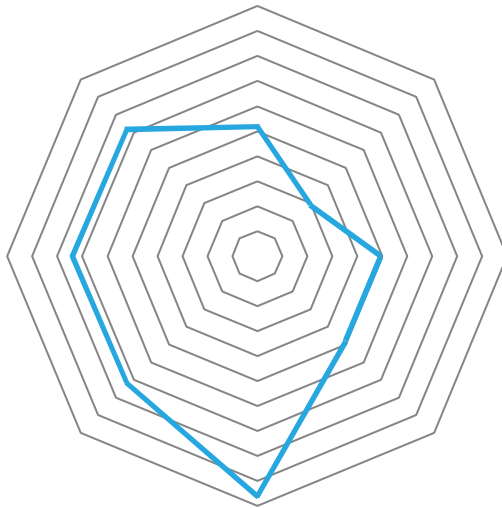
Величины  $C_{\text{мп},j}$  рассчитываются по формулам ОНД-86 [1] по данным МосЦГМС о параметрах источников выбросов предприятия и характеристиках рассеивания загрязняющих веществ в воздушном бассейне в районе проектируемого строительства (табл. 3).

Влияние выбросов загрязняющих веществ на приземный слой атмосферы весьма различно: имеются вещества, концентрации которых в приземном слое достаточно высоки, а для других веществ наблюдаются очень низкие концентрации, значительно ниже ПДК.

**Метеорологические характеристики и коэффициенты, определяющие условия рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере**

Характеристика	Величина
Коэффициент, зависящий от стратификации атмосферы А	140
Коэффициент рельефа местности η	1
Средняя температура наружного воздуха самого жаркого месяца в 13 часов дня, °С	25,0
Средняя температура наружного воздуха наиболее холодного месяца (для котельных, работающих по отопительному графику, °С	-9,0
Температура наиболее холодной пятидневки	-28
Скорость ветра ( $U^*$ ), повторяемость превышения которой составляет 5%, м/с	6,0

Согласно розе ветров (рис. 2) преобладают южные и юго-западные направления ветра.

**Рис. 2.** Среднегодовая роза ветров, %

Мы провели оценку влияния выбросов примесей на загрязнение атмосферы в соответствии с ОНД-86 [4] исходя из предположения, что для каждого вредного вещества выполняется соотношение

$$C'_{\phi} + \sum_{i=1}^N C_{Mi} \leq \text{ПДК}, \quad (5)$$

где  $C_{Mi}$  — максимальная приземная концентрация, создаваемая выбросом  $i$ -го источника  $M_i$  (г/с);  $N$  — число источников выбросов рассматриваемого вещества.

В табл. 4 приведены расчетные значения параметров  $q$  для веществ, выбрасываемых ПГТЭС. Расчеты производились в прямоугольной области размером  $6000 \times 6000$  м, охватывающей зону влияния выбросов проектируемой ПГТЭС и ближайшую прилегающую жилую застройку. Детальные расчеты, проведенные для всех выбрасываемых веществ, показали, что нормированию подлежат диоксид азота, оксид азота и оксид углерода.

Значения параметра  $q$  для предварительной оценки целесообразности расчетов

Характеристика вещества	$(\sum C_{mi})/ПДК_i = 1$
Наименование	
<b>I этап строительства</b>	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , FeO (пер. на Fe)	0,063
MnO <sub>2</sub>	0,052
NO <sub>2</sub>	0,053
NO	0,004
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$1 \cdot 10^{-5}$
SO <sub>2</sub>	0,002
CO	0,076
HF (в пересчете на фтор)	0,002
Бензин (нефтяной, малосернистый) (в пер. на углерод)	0,007
Пыль абразивная (корунд белый, монокорунд)	0,004
Пыль древесная	0,051
<b>II этап строительства</b>	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , FeO (пер. на Fe)	0,063
MnO <sub>2</sub>	0,052
NO <sub>2</sub>	0,088
NO	0,007
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$1 \cdot 10^{-5}$
SO <sub>2</sub>	0,002
CO	0,077
HF (в пересчете на фтор)	0,002
Бензин (нефтяной, малосернистый) (в пер. на углерод)	0,007
Пыль абразивная (корунд белый, монокорунд)	0,004
Пыль древесная	0,051

В каждой точке по формуле (5.28) из [4] рассчитывались концентрации смеси для различных скоростей и направлений ветра. Перебирались скорости ветра: 0,5 м/с;  $U_{м.с}$ ;  $0,5 U_{м.с}$ ;  $1,5 U_{м.с}$ ,  $U^*$ , где  $U_{м.с}$  — средневзвешенная опасная скорость ветра,  $U^*$  — скорость ветра, повторяемость превышения которой (по средним многолетним данным) не больше 5%. Шаг по углу перебора направлений ветра был принят равным 1°. Расчетные точки располагались в узлах прямоугольной сетки с шагом 200 × 200 м. Были выбраны 25 контрольных точек, расположенных на разных высотах.

Расчеты проведены для следующих режимов для первой и второй очереди строительства: пиковый (при  $T_{нв} = -28$  °С); штатный зимний; летний; аварийный (выброс через байпасные трубы), с учетом многоэтажной застройки (существующей и перспективной).

Согласно п. 1.3 приложения 2 ОНД-86 [4], расчет загрязнения воздуха с учетом влияния застройки производится в случаях, когда здание удалено от источника на расстояние менее  $x_m$  или когда источник расположен на здании или в зонах возможного образования ветровых теней. При этом высота здания  $H_z$  должна быть не менее 0,4 высоты источника  $H$  ( $H_z \geq 0,4H$ ). Если здание удалено от источника на расстояние большее, чем  $0,5 x_m$  и основание источника не размещается в зоне возможного образования ветровой тени, то учет влияния застройки производится в тех случаях, когда высота здания превышает высоту источника ( $H_z > 0,7H$ ).

Результаты компьютерных расчетов приземных концентраций выбросов от ПГТЭС «Терешково» в пределах расчетной области  $6000 \times 6000$  м приведены в табл. 5, из которой видно, что наибольшие значения приземных концентраций в жилой зоне и в точке максимальной концентрации формируются по диоксиду азота, когда высота здания превышает 0,7 высоты источника ( $H_z > 0,7H$ ).

Таблица 5

## Результаты расчета рассеивания ЗВ в атмосферном воздухе

Загрязняющие вещества	Наибольшая расчетная приземная концентрация, доли ПДК		
	На границе нормативной СЗЗ	На границе жилой застройки	В точке $C_{max}$
<b>I этап строительства</b>			
<b>Пиковый режим</b>			
NO <sub>2</sub>	0,012	0,018	0,043
NO	0,001	0,001	0,003
CO	0,006	0,012	0,044
<b>Зимний штатный режим</b>			
NO <sub>2</sub>	0,014	0,02	0,044
NO	0,001	0,002	0,004
CO	0,006	0,012	0,044
<b>Летний штатный режим</b>			
NO <sub>2</sub>	0,013	0,02	0,04
NO	0,001	0,002	0,003
CO	0,006	0,012	0,044
<b>II этап строительства</b>			
<b>Пиковый режим</b>			
NO <sub>2</sub>	0,019	0,031	0,078
NO	0,002	0,003	0,006
CO	0,006	0,012	0,044
<b>Зимний штатный режим</b>			
NO <sub>2</sub>	0,023	0,035	0,08
NO	0,002	0,003	0,007
CO	0,006	0,012	0,044
<b>Летний штатный режим</b>			
NO <sub>2</sub>	0,025	0,038	0,081
NO	0,002	0,003	0,007
CO	0,006	0,012	0,044

Приземные концентрации других рассчитываемых веществ не превышали 0,05 ПДК во всей области расчета.

Проведенные расчеты рассеивания на границе с лесным массивом Московской области показывают, что максимальные концентрации здесь формируются по оксиду углерода (выбросы в основном обусловлены выбросами от автотранспорта) и составляют 0,005 ПДК.

Согласно [3], если максимальная приземная концентрация на границе СЗЗ и (или) жилой зоны не превышает 0,1 ПДК, то фон можно не учитывать.

Данный факт определяет допустимость размещения проектируемой ПГТЭС «Терешково» в непосредственной близости от природных комплексов и лесозащитного пояса Москвы (Боровский лесопарк).

Согласно расчетам, даже при возможном втором этапе строительства ПГТЭС «Терешково» концентрации загрязняющих веществ как в приземных слоях атмосферы, так и на фасадах жилых домов не превысят гигиенических нормативов качества атмосферного воздуха для населенных мест.

В соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 [6] нормативная санитарно-защитная зона для данного проектируемого предприятия составляет 300 м. Сложившаяся архитектурно-планировочная организация рассматриваемой территории накладывает ограничения на нормативный размер СЗЗ проектируемой ПГТЭС «Терешково». С юго-восточной стороны от территории ПГТЭС на расстоянии 200 м строится общеобразовательная школа и размещена детская площадка. На расстоянии 230 м существуют два 12-этажных жилых дома. С южной стороны на расстоянии 290 м начинается многоэтажная (15-, 17-этажная) жилая застройка.

Проведенные расчеты рассеивания показывают, что концентрации загрязняющих веществ на границе нормативной СЗЗ — 300 м (0,025 ПДК по диоксиду азота), на границе с селитебной застройкой, описанной выше (0,038 ПДК по диоксиду азота) не превысят санитарно-гигиенических нормативов качества атмосферного воздуха (с учетом второго этапа строительства).

\*\*\*

В результате расчета рассеивания выбросов установлено, что приземные концентрации загрязняющих веществ не превышают нормативов чистоты (ПДК) атмосферного воздуха в зоне существующей и перспективной жилой застройки.

Расчеты для ПГТЭС «Терешково» показали возможность сокращения размера СЗЗ (по фактору загрязнения атмосферного воздуха) до границы со строящейся общеобразовательной школой (до 200 м в юго-восточном направлении) и до границы жилой застройки (до 280 м в южном направлении).

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] ГН 2.2.5.1313-03. Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
- [2] Дополнение № 2 к ГН 2.1.6.1338-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.1983-05. — 2006 г.



- [3] Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. — СПб., 2005.
- [4] ОНД 86 «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ содержащихся в выбросах предприятий» от 4.08.1986 г. № 192.
- [5] Перечень и коды веществ, загрязняющих атмосферный воздух. — СПб., 2006.
- [6] СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов».

#### LITERATURA

- [1] GN 2.2.5.1313-03. Predel'no dopustimye koncentracii vrednyh veshhestv v vozduhe rabochej zony.
- [2] Dopolnenie № 2 k GN 2.1.6.1338-03. Predel'no dopustimye koncentracii (PDK) zagryzajnjajushhih veshhestv v atmosfernom vozduhe naseleennyh mest. Gigienicheskie normativy GN 2.1.6.1983-05. — 2006 g.
- [3] Metodicheskoe posobie po raschetu, normirovaniyu i kontrolju vybrosov zagryzajnjajushhih veshhestv v atmosfernyj vozduh. — SPb., 2005.
- [4] OND 86 «Metodika rascheta koncentracij v atmosfernom vozduhe vrednyh veshhestv soderzhashhihsja v vybrosah predpriyatij» ot 4.08.1986 g. № 192.
- [5] Perechen' i kody veshhestv, zagryzajnjajushhih atmosfernyj vozduh. — SPb., 2006.
- [6] SanPiN 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Sanitarno-zashhitnye zony i sanitarnaja klassifikacija predpriyatij, sooruzhenij i inyh ob#ektov»

## ASSESSMENT OF AIR POLLUTION FROM CLOSED-CYCLE GAS TURBINE PLANT

D.M. Ukhanov<sup>1</sup>, S.O. Polovikh<sup>2</sup>,  
S.I. Yurchenko<sup>2</sup>, V.P. Zvolinski<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Peoples' Friendship University of Russia  
*Podol'skoe shose, 8/5, Moscow, Russia, 113093*

<sup>2</sup>Academy MNEPU  
*Kosmonavta Volkova str., 20, Moscow, Russia, 115230*

<sup>3</sup>MATI, Russian State Technological University  
*Orshanskaya str., 3, Moscow, Russia, 121552*

The paper presents the results of the calculation of air pollution from closed-cycle gas turbine plant (CCGT plant) “Tereshkovo” for basic conditions: peak; regular winter, summer, emergency taking into account the high-rise buildings. Dispersion calculations showed that the concentrations of pollutants at the border of SPZ and residential buildings will not exceed sanitary standards of air quality. On the basis of calculation found that surface concentrations of pollutants do not exceed the standards (MAC) of air cleanliness in the area of residential development; this determines the admissibility of the object in the vicinity of natural complexes and have shown the possibility of reduce the size of SPZ to the border with the construction of a school (up to 200 m in the south-east direction) and to the border of the residential development (up to 280 m in the southern direction)

**Key words:** heat and electrical power engineering, closed-cycle gas turbine plant, assessment of air pollution.