

# ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 621.165

*Н.А. Забелин, А.В. Лыков, В.А. Рассохин*

## **ЭМИССИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ОТ ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ОАО «ГАЗПРОМ»**

*N.A. Zabelin, A.V. Lykov, V.A. Rassokhin*

### **EMISSION OF CONTAMINANT FROM GAZPROM'S GAS-TRANSPORT SYSTEM**

В статье рассмотрено влияние загрязняющих веществ от единой газотранспортной системы России на окружающую среду. Представлены экологические характеристики газотурбинного оборудования эксплуатируемых в ОАО «Газпром». Произведена оценка мощности выбросов в атмосферу  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$  для различных типов газоперекачивающих агрегатов.

ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА. ЭКОЛОГИЯ. ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА. ГАЗОТРАНСПОРТНАЯ СЕТЬ. ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИЕ АГРЕГАТЫ.

In clause are viewed contaminant's influence on environment from unified gas supply system of Russia. Ecological characteristics of gas turbine engines, which are used by Gazprome, are presented. Evaluation of intensity of emissions  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$  to atmosphere for different gascompressor units are made.

ENVIRONMENT. ECOLOGY. CONTAMINANT. GAS PIPELINE. GASCOMPRESSOR UNITS.

ОАО «Газпром» — крупнейшая газовая компания в мире. Основные направления деятельности — геологоразведка, добыча, транспортировка, хранение, переработка и реализация газа и других углеводородов. Государство является собственником контрольного пакета акций Газпрома — 50,002 % [1]. Газпром располагает самыми богатыми в мире запасами природного газа.

Единая система газоснабжения (ЕСГ) России имеет более 162 тыс. км магистральных газопроводов и отводов, 215 линейных компрессорных станций с общей мощностью газоперекачивающих агрегатов в 42,1 тыс. МВт, 6 комплексов по переработке газа и газового конденсата, 25 объектов подземного хранения газа. Природный и попутный нефтяной газ — в настоящее время основной источник обеспе-

чения внутренних потребностей страны в первичных энергоресурсах [1]. По количеству потребляемого топлива газовая промышленность в России занимает второе место после электроэнергетики.

Хозяйственная деятельность компании затрагивает интересы миллионов людей. Воздействие на окружающую среду, оказываемое компанией при осуществлении своей деятельности, определяет ее ответственность перед обществом [2].

Сознавая эту ответственность, ОАО «Газпром» стало одной из первых в России компаний, принявших в 1995 году политику в области охраны окружающей среды. В настоящее время возрастает ответственность ОАО «Газпром» как глобальной энергетической компании за сохранение окружающей природной среды, безопасность и надежность поставок продукции при



исполнении экологических и социальных обязательств. 2013 год объявлен в ОАО «Газпром» Годом экологии.

ОАО «Газпром» ведет системную работу по снижению эмиссии парниковых газов в производственных процессах, участвует в специализированных исследованиях, проводит мониторинг выбросов. С 1992 года проводятся работы, связанные с проблемой выбросов основных парниковых газов (диоксид углерода и метан) в газовой промышленности.

Особенно актуальным становится вопрос, связанный с эмиссией загрязняющих веществ (ЗВ) от газотранспортной системы. Также большое значение приобретают экологические характеристики газотурбинных установок (ГТУ), которые применяются для привода газоперекачивающих агрегатов (ГПА).

Целями данной статьи являются:

исследование влияния  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$  на окружающую среду;

исследование парка ГПА ЕСГ России по экологическим характеристикам;

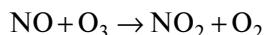
построение распределений мощностей выбросов  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$  в зависимости от типа ГПА и их количества;

определение ГПА с газотурбинным приводом с точки зрения наибольшей эмиссии парниковых газов и ЗВ;

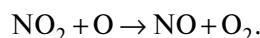
проведение оценки общей эмиссии парниковых газов и ЗВ от всего парка ГПА с газотурбинным приводом ЕСГ России.

Работающие ГТУ генерируют при горении вредные вещества, негативно влияющие на окружающую среду, включая человека. При использовании природного газа в качестве таких вредных веществ оказываются, прежде всего, оксиды азота  $\text{NO}_x$  и углерода  $\text{CO}_x$ . Масштабы вредных выбросов делают проблему борьбы с ними весьма актуальной.

Количество содержащихся в выхлопных газах окислов азота оказывается недопустимо большим. Окислы азота не только оказывают негативное влияние на человека, но и реагируют с атмосферным озоном, разрушая его. Механизм разрушения следующий:



и далее



Первая реакция — реакция разрушения озона, а вторая — воспроизведения  $\text{NO}$ .

Окислы азота ( $\text{NO}_x$ ) образуются в результате окисления азота, содержащегося в воздухе. Установлено, что влияние азота топлива достаточно мало. Основная доля окислов азота — окись  $\text{NO}$ . Отметим, что окись азота  $\text{NO}$  может окисляться до двуокиси азота  $\text{NO}_2$ , что имеет место при низких температурах. В камерах сгорания образование  $\text{NO}_2$  имеет место только на режимах малого газа. Тогда их доля может быть значительной.

Окись азота  $\text{NO}$  образуется в высокотемпературных зонах камеры сгорания при максимальных температурах газа, поэтому максимум ее концентрации наблюдается на режимах максимальной мощности. Этот процесс эндотермичен и идет с заметной скоростью при температурах выше 1800 К. Поэтому  $\text{NO}$  образуется в горячих газах и максимальной концентрации достигает на режимах максимальной мощности.

Окись азота  $\text{NO}$  бывает трех видов [3]:

термическая  $\text{NO}$ , образующаяся при окислении атмосферного азота в послепламенных газах;

сверхрывновесная  $\text{NO}$ , образующаяся в быстрых реакциях во фронте пламени;

топливная  $\text{NO}$ , образующаяся из-за окисления азота топлива.

Окись углерода  $\text{CO}$  воздействует прежде всего на людей. Это воздействие оказывает влияние на состав крови и внутренние органы.

При «богатой» смеси в зоне горения окись углерода  $\text{CO}$  образуется в больших количествах. Образование  $\text{CO}$  в этом случае определяется нехваткой кислорода для полного окисления топлива. Некоторое количество  $\text{CO}$  образуется и при «бедных» смесях, что объясняется диссоциацией диоксида углерода  $\text{CO}_2$  в зоне высоких температур за первичной зоной камеры сгорания.

Исследования показывают, что значительное количество окиси азота  $\text{NO}$  образуется на режимах малой мощности, когда температура газа понижена. В то же время при больших нагрузках количество  $\text{CO}$  в выхлопных газах ГТУ мало [3].

Углекислота  $\text{CO}_2$  не токсична и не взрывоопасна, однако при ее концентрациях в воздухе свыше 5 % (92 мг/м<sup>3</sup>) снижается доля кислорода, что может привести к кислородной недостаточности и удушью.

Метан  $\text{CH}_4$  — наиболее термически устойчивый насыщенный углеводород. Его широко

используют как бытовое и промышленное топливо и как сырье для промышленности. При неполном сгорании метана получают сажу, при катализитическом окислении — формальдегид, при взаимодействии с серой — сероуглерод.

В 1995 году вступила в действие разработанная во исполнение решения Генеральной Ассамблеи ООН № 46/169 от 19 декабря 1991 года об охране глобального климата в интересах нынешнего и будущих поколений человечества Рамочная конвенция ООН об изменении климата (РКИК), ратифицированная Российской Федерацией в 1994 году. В настоящее время сторонами Конвенции являются 195 стран мира, включая Россию [2].

Основная цель РКИК — «добиться во исполнение соответствующих положений Конвенции стабилизации концентраций парниковых газов в атмосфере на таком уровне, который не допускал бы опасного антропогенного воздействия на климатическую систему» [4]. В дополнение к РКИК ООН в 1997 году был принят Киотский протокол, который закрепляет за странами-участницами конкретные количественные обязательства по сокращению или ограничению объемов антропогенных выбросов парниковых газов. В своей деятельности компания ОАО «Газпром» руководствуется нормативными актами и корпоративными стандартами, обеспечивающими соблюдение требований РКИК ООН и Киотского протокола.

Следует отметить, что есть данные о научной несостоенности гипотезы парникового эффекта [5, 6], вызывающие возражения по поводу необходимости России быть членом Киотского протокола.

Для возможности сравнения выбросов различными ГТУ необходим пересчет на нормальные условия, определяемые концентрацией кислорода в выхлопных газах на уровне 15 %. Формула для пересчета имеет вид

$$C_i^{15} = C_i \frac{21-15}{21-O_2},$$

где  $C_i^{15}$  и  $C_i$  — соответственно приведенная и фактическая концентрации;  $O_2$  — объемная доля кислорода в сухих продуктах горения в процентах.

Нормативные требования по содержанию вредных веществ в продуктах сгорания энергетических ГТУ установлены в ГОСТ 29328 (при

0 °C; 0,1013 МПа и условной объемной концентрации кислорода 15 %) [7]:

содержание оксидов азота (при пересчете на  $\text{NO}_2$ ) в отработавших газах ГТУ при работе с нагрузкой от 0,5 до 1,0 номинальной не должно превышать 150 мг/м<sup>3</sup> на газообразном и жидким видах топлива;

для вновь разрабатываемых ГТУ, эксплуатируемых с 01.01.1995, содержание оксидов азота в отработавших газах ГТУ не должно превышать 50 мг/м<sup>3</sup> на газообразном топливе и 100 мг/м<sup>3</sup> на жидким топливе;

требования по концентрации оксида углерода отсутствуют.

В соответствии с СТО Газпром 2–3.5–138 содержание оксидов азота в отработавших газах (в сухих продуктах сгорания при 0 °C, 0,1013 МПа и условной концентрации кислорода 15 %) не должно превышать:

для низкоэмиссионных камер сгорания — 100 мг/м<sup>3</sup>;

малоэмиссионных камер сгорания — 50 мг/м<sup>3</sup>.

Экологические характеристики ГПА (ГТУ) по мощностям выбросов и концентрациям выбросов  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$  были определены в соответствии СТО Газпром 2–1.19–332–2009 [8] и сведены в таблицу 1. Диапазон величин указывает на значения от проектных до текущих технических нормативов выбросов ЗВ. Кроме того, в таблице 1 представлены количество ГПА, мощность ГТУ и эффективный КПД. Данные в таблице расположены в порядке убывания количества ГПА в зависимости от типа ГПА.

По данным таблицы можно заключить, что среди всех использующихся ГПА наибольшее распространение получили следующие типы: ГТК-10 (646 шт.), ГПА-Ц-16 (618), ГПА-Ц-6,3 (322 шт.), ГПУ-10 (268 шт.), ГТ-6–750 (129 шт.). Кроме того, эти агрегаты имеют сравнительно низкий эффективный КПД (29 % для ГПА-Ц-16; 27,4 % для ГПА-Ц-6,3; 24,0 % у ГПУ-10, 27,6 % у ГТ-6–750). Большую часть от общей эмиссии ЗВ составляет диоксид углерода  $\text{CO}_2$ , образующийся при использовании природного газа для топливных нужд ГПА КС. Известно, что количество выбросов  $\text{CO}_2$  пропорционально количеству сжигаемого топливного газа. Поэтому очевидно, что уменьшения выбросов  $\text{CO}_2$  можно достигнуть за счет снижения расхода газа на КС, замены ГПА на новые, малоэмиссионные агрегаты с КПД 35–39 %.

**Экологические характеристики ГПА и ГТУ по мощностям и концентрациям выбросов**

ГПА	ГТУ	n, шт.	N <sub>e</sub> , МВт	η <sub>e</sub> , %	Мощность выброса, г/с				Приведенная концентрация, мг/м <sup>3</sup>			
					NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>NO<sub>x</sub></sub> <sup>15</sup>	C <sub>CO</sub> <sup>15</sup>	C <sub>CH<sub>4</sub></sub> <sup>15</sup>	C <sub>CO<sub>2</sub></sub> <sup>15</sup>
ГТК-10	ГТК-10	646	10	29,0	5,16–23,3	5,16–18,5	1894	114.3	180,0–788,0	60,0–625,0	6,16037	66011,3
ГПА-Ц-16	НК-16СТ	618	16	27,4	7,3–10,7	14,5–42,6	3218	184.2	150,0–210,0	300,0–840,0	6,14302	66240,2
ГПА-Ц-6,3	НК-12СТ	322	6	24,0	3,1–3,3	6,6–7,5	1468	43.5	140,0–147,0	300,0–338,0	6,16141	67204,7
ГПУ-10	ДР-59Л	268	10	27,6	4,4–6,5	1,8–3	2035	49.8	145,0–212,5	60,0–99,2	6,16615	67516,8
ГТ-6-750	ГТ-6-750	129	6	24,0	2,8–3,7	2,1–13,4	1385	16.5	135,0–171,0	100,0–625,0	6,16054	66591,7
ГПА-16 Урал	ПС-90ГП-2	121	16	36,3	5,5–8,4	3,7–4	2460	27.3	150,0–217,0	100,0–105,0	6,16025	67086,6
ГТК-10И	МС-3002	120	10	25,9	7,6–8,5	2–2,2	2195	24.5	230,0–241,5	60,0–63,0	6,16017	66348,9
ГПА-Ц-16С	ДГ-90	109	16	34,0	5,9–9	11,8–22,5	2617	26.3	150/80–220,0	300/150–550,0	6,1614	66827,2
ГТ-750-6	ГТ-750-6	95	6	27,0	3,3–15,8	2–7	1250	10.8	180,0–841,0	110,0–372,0	6,16082	67592
ГПУ-16	ДЖ-59Л2	92	16	30,0	6,7–8,3	3,6–3,8	2988	25.2	150,0–182,3	80,0–84,0	6,16597	67343,9
ГПА-Ц-8	НК-14СТ-8	86	8	30,0	3,3–4,7	6,7–7,7	1493	11.8	150,0–204,0	300,0–330,0	6,16168	67271,3
ГТН-6	ГТН-6	80	6	24,0	3,3–3,7	5,4–5,9	1451	10.8	150,0–163,0	245,0–257,3	6,16141	66457,4
ГТН-16	ГТН-16	72	16	29,0	11,8–12,6	12,9–24,6	3061	20.4	250,0–262,5	280,0–510,0	6,16057	66679,2
ГТК-25ИР	МС-5002	72	22	34,5	12,3–14,2	7–8	3546	23.8	230,0–253,0	130,0–143,0	6,16056	66240,2
ГТН-25	ГТН-25	43	28	28,1	14,7–36,9	39,1–42,1	5457	21.6	180,0–430,0	480,0–490,0	6,16108	67023
ГПА-12Р Урал	ПС-90ГП-1	34	12	34,0	4,4–4,8	2,9–3,2	1986	6.2	150,0–157,5	100,0–105,0	6,1614	67616
ГТК-25И	МС-5002	33	24	27,7	12,6–14,5	3,6–4,1	4833	14.6	175,0–192,5	50,0–55,0	6,16133	67327
ГТК-10ИР	МС-3002R	30	10	33,0	5,5–9,5	3,6–6,2	369	4.4	230,0–241,5	150,0–157,5	6,16078	15420,8
ГПА-16МЖ	ДЖ-59Л2	28	17	30,0	6,7–8,2	3,6–4,1	2988	7.7	150,0–180,5	80,0–90,0	6,16597	67343,9
ГПА-Ц-18	НК-18СТ	27	18	29,4	7,1–7,9	5,1–9,5	3429	8.5	140,0–150,0	100,0–180,0	6,16086	67314,8

ГПА	ГТУ	n, шт.	$N_e$ , МВт	$\eta_e$ , %	Мощность выброса, г/с				Приведенная концентрация, мг/м <sup>3</sup>			
					NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	$C_{NO_x}^{15}$	$C_{CO}^{15}$	$C_{CH_4}^{15}$	$C_{CO_2}^{15}$
ГПА-10 Урал	ПС-90ГП-3	26	10	31,4	2,7-3,6	2,7-2,9	1758	4.2	100,0-130,0	100,0-105,0	0,0616	66365,2
ГПА-12 Урал	ПС-90ГП-1	25	12	34,0	4,4-4,7	2,9-3,2	1986	4.5	150,0-155,0	100,0-105,0	6,1614	67616
PGT-10	PGT-10	24	10	31,6	4-4,1	2,6-14,5	1781	3.9	150,0-155,0	100,0-525,0	6,16013	67380,4
ГТНР-25И(В)	М 5322 Р (В)	24	22	34,7	12,2-13,5	6,9-7,7	3493	7.9	230,0-241,5	130,0-136,5	6,1605	65618,2
Коберра-182	AVON-101	23	13	27,5	7,8-8,5	8,2-8,9	2650	5.5	200,0-210,0	210,0-220,5	6,16033	67905,3
ГПА-16МГ	ДГ-90	21	16	34,0	12-20	11,8-12,9	2617	5.1	150,0-487,0	300,0-315,0	6,1614	66827,2
Центавр Т-3002	Центавр Т-3002	20	3	25,3	1,7-1,8	0,6-0,7	567	1.1	195,0-204,8	70,0-73,5	6,15724	66318,8
ГПА-25 Днепр	ДН-80Л1	18	25	34,5	12-32,3	18,1-40,3	4054	6.7	150,0-508,0	300,0-635,0	6,16062	67240,4
ГПА-16Р АЛ	АЛ-31СТ	16	16	35,5	5,62-9,6	11,25-12,3	2518	3.7	150/110-244,0	300/300-315,0	6,16031	67152,6
ГПА-4 РМ	ГТД-4РМ	15	4	32,0	1,4-1,5	1,4-1,5	692	1.0	130,0-136,5	130,0-136,5	6,16054	66551,1
Центавр Т-4500	Центавр Т-4500	12	3	26,2	1,5-1,6	0,7-0,8	643	0.7	150,0-157,5	70,0-73,5	6,16286	66404,8
Коберра 16МГ	ДГ-90П1	12	16	34,0	5,9-6,5	11,8-12,9	2617	2.9	150,0-157,5	300,0-315,0	6,1614	66827,2
ГПА-16 Волга ДГ	ДГ-902,1	11	16	34,0	5,9-6,5	11,8-12,9	2617	2.7	150,0-157,5	300,0-315,0	6,1614	66827,2
ГПА-16Р Урал	ПС-90ГП-2	10	16	36,3	5,5-7,1	3,7-4	2460	2.3	150,0-185,0	100,0-105,0	6,16025	67086,6
ГПА-Ц-10	НК-14СТ-10	9	10	33,0	3,8-9,5	7,6-8,8	1689	1.4	150,0-355,0	300,0-330,0	6,16048	66976,3
ГПА-Ц-16 АЛ	АЛ-31СТ	8	16	35,5	5,62-9,6	5,6-9,6	2518	1.8	150/110-244,0	300/300-315,0	-	-
Центавр Т-4700	Центавр Т-4700	7	3	26,7	0,9-1	0,7-0,8	676	0.4	90,0-94,5	70,0-73,5	6,16189	66754,9
ГПА-Ц-25	НК-36СТ	7	25	34,5	9-15,8	18,1-37,6	4041	2.6	150,0-250,0	300,0-595,0	6,16062	67025,8

ГПА	ГТУ	<i>n</i> , шт.	<i>N<sub>e</sub></i> , МВт	$\eta_e$ , %	Мощность выброса, г/с				Приведенная концентрация, мг/м <sup>3</sup>			
					NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	<i>C<sub>NO<sub>x</sub></sub><sup>15</sup></i>	<i>C<sub>CO</sub><sup>15</sup></i>	<i>C<sub>CH<sub>4</sub></sub><sup>15</sup></i>	<i>C<sub>CO<sub>2</sub></sub><sup>15</sup></i>
ГТК-5	ГТК-5	6	4	26,0	6,9–7,2	2,5–2,6	978	0.5	490,0–514,5	180,0–189,0	6,16636	69475,7
ГПА-16 Нева	АЛ-31СТН	6	16	35,5	4,1–4,5	11,3–12,3	2518	1.4	110,0–115,5	300,0–315,0	6,16031	67152,6
ГТНР-25И(С)	MS-5322R(C)	6	25	35,4	13,6–15,6	6,9–8,2	3818	2.1	235,0–258,5	130,0–136,5	6,16066	66034,2
Балтика-25	GT10B2	6	25	35,0	2,9–3,2	5,8–6,5	3915	2.2	50,0–52,5	100,0–105,0	6,28673	67228
ГПА-25ДН Урал	ДН80Л1,1	6	25	35,0	4,8–5,3	8,9–9,9	4006	2.2	80,0–84,0	150,0–157,5	6,161	67404,2
Дон	ГТ-750-6	5	6	30,0	4,8–5	1,5–1,6	1137	0.5	290,0–304,5	90,0–94,5	6,16168	68344,7
ПЖТ-21С	АЛ-31	5	16	35,5	5,6–7,8	11,3–12,3	2518	1.2	150,0–200,0	300,0–315,0	6,16031	67152,6
ГПА-25Р НК	НК-36СТ	5	25	34,5	9–23,7	18,1–39,8	4041	1.9	150,0–375,0	300,0–630,0	6,16062	67025,8
Таурус-60S	Таурус	4	5	31,5	0,7–0,8	0,4–0,5	920	0.3	50,0–55,0	30,0–33,0	6,16201	66969,9
ГПА-16 Волга	НК-38СТ	4	16	36,5	5,5–16,8	5,5–27,1	2449	0.9	150,0–436,0	150,0–705,0	6,16025	67138,2
ГТН-25-1	ГТН-25	4	25	30,6	26,7–29,7	33,3–40,2	4439	1.6	400,0–420,0	500,0–568,0	6,16094	66640
ГТНР-16	ГТНР-16	3	16	32,5	3,3–3,6	4,2–4,5	2796	0.8	80,0–84,0	100,0–105,0	6,16103	67015,4
ГПА-Ц-25СД	ДУ80Л1	3	25	35,0	4,8–5,3	8,9–9,9	4006	1.1	80,0–84,0	150,0–157,5	—	—
ГПА-Ц-4	Д-336-2-4	2	4	24,0	0,8–0,9	0,7–0,8	937	0.2	60,0–66,0	50,0–55,0	—	—
ГТ-700-5	ГТ-700-5	2	4	25,0	6,9–7,5	2,6–2,8	943	0.2	490,0–514,5	180,0–189,0	6,16202	66640
ГПА-10 РМ	ГТД-10РМ	2	10	31,4	2,7–3,6	2,7–2,9	1758	0.3	100,0–130,0	100,0–105,0	0,0616	66365,2
ГПА-Ц-16Р НК38	НК-38СТ	2	16	36,5	5,5–16,2	5,5–6,1	2449	0.5	150,0–422,0	150,0–157,5	6,16025	67138,2
ГПА-25Р Урал	ПС-90ГП-25	2	25	38,7	8,1–9	5,4–6	3577	0.7	150,0–157,5	100,0–105,0	6,16047	66548,3
ГПА-4 Урал	Д-30	1	4	24,0	0,8–0,9	0,7–0,8	937	0.1	60,0–66,0	50,0–55,0	6,16168	67548,7
ГПА-Ц-6,3РМ	ГТД-6,3РМ	1	6	24,0	3,1–3,3	6,6–7,5	1468	0.1	140,0–147,0	300,0–338,0	6,16141	67204,7

Тип ГТУ (ГПА)

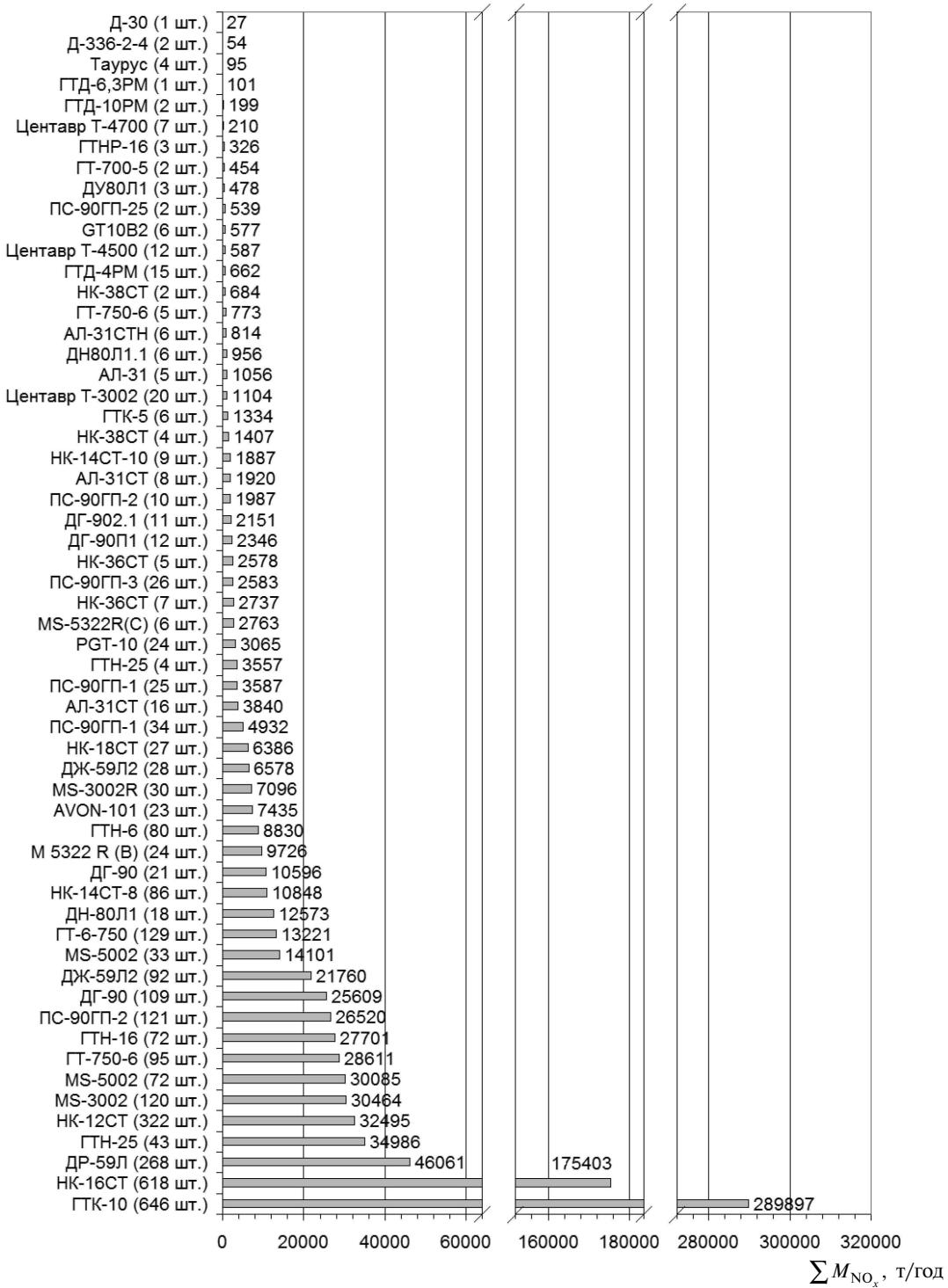


Рис. 1. Распределение мощности выбросов оксидов азота в зависимости от типа и количества ГТУ (ГПА)

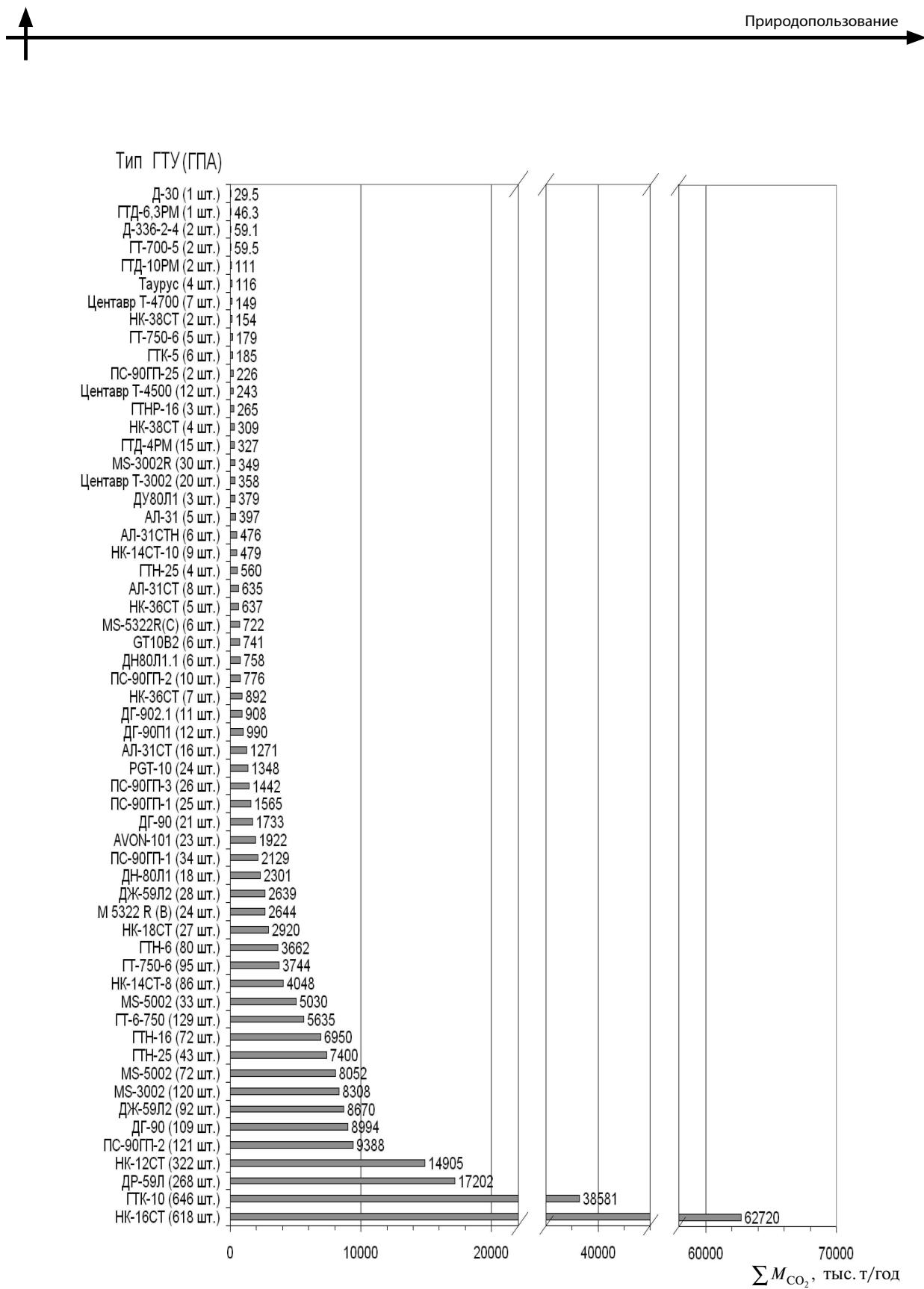


Рис. 2. Распределение мощности выбросов диоксида углерода в зависимости от типа и количества ГТУ (ГПА)

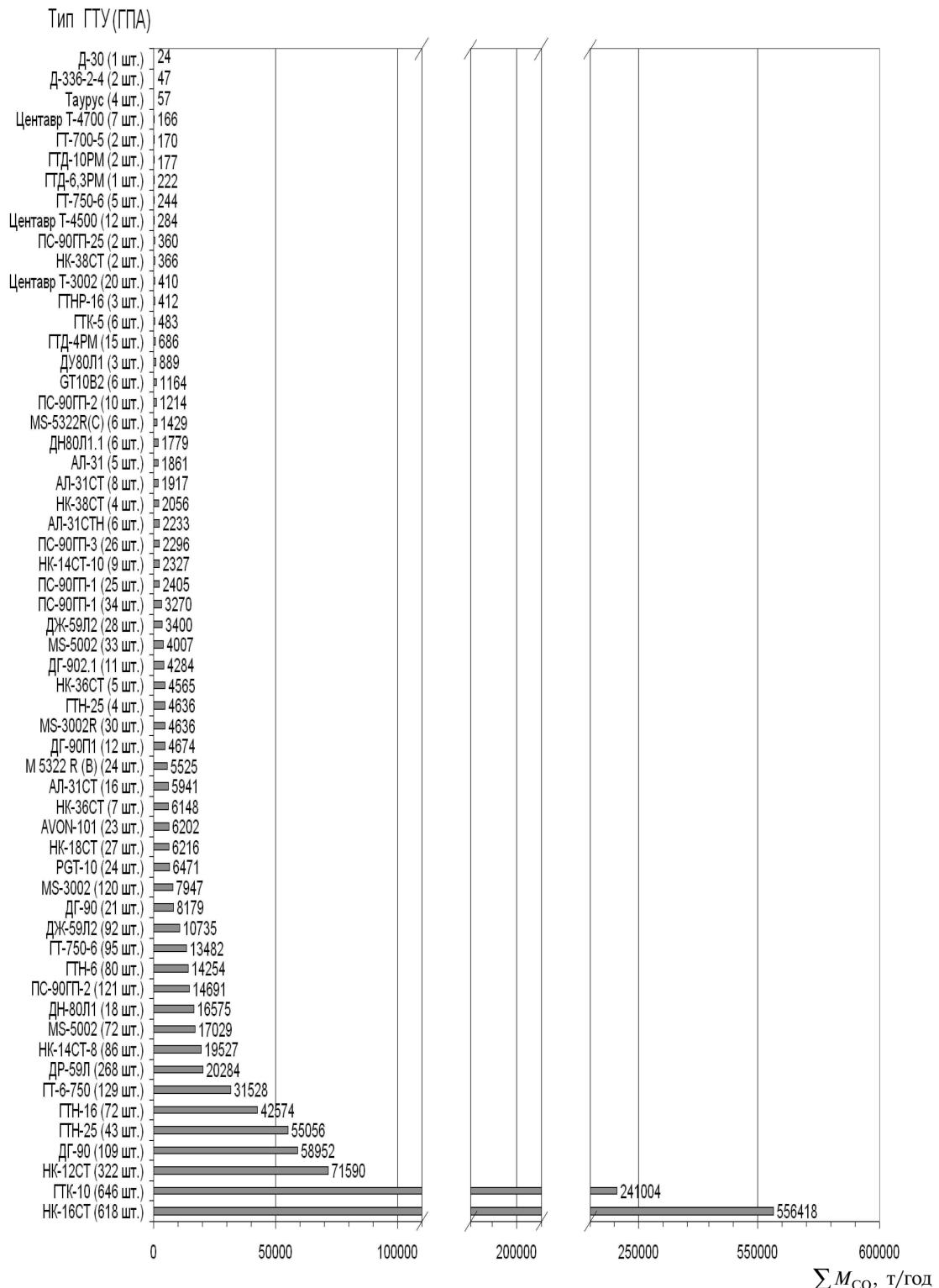


Рис. 3. Распределение мощности выбросов оксида углерода в зависимости от типа и количества ГТУ (ГПА)

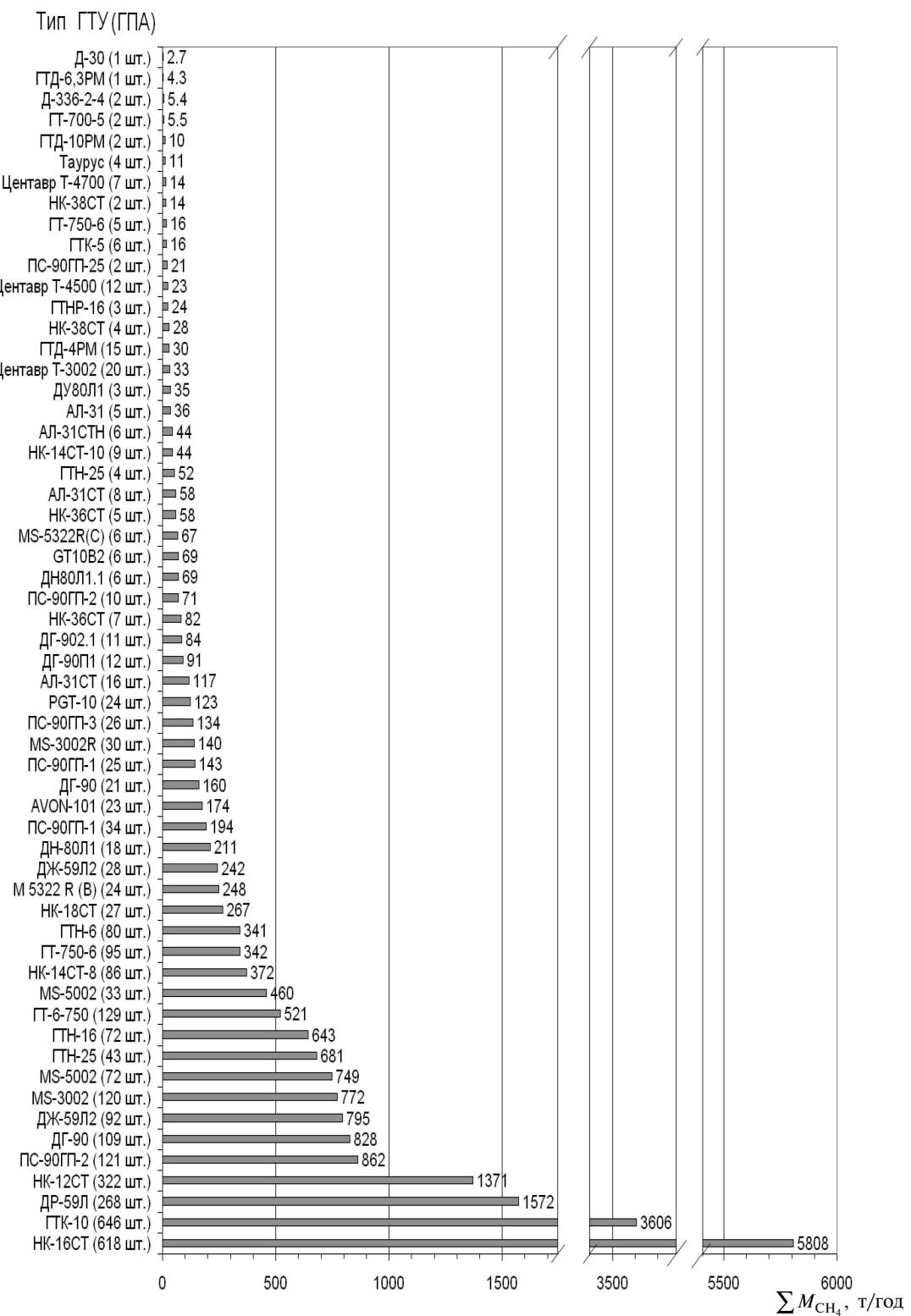
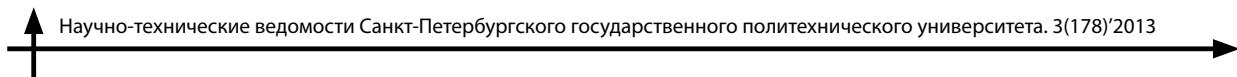


Рис. 4. Распределение мощности метана в зависимости от типа и количества ГТУ (ГПА)



Для определения наиболее значимых источников ЗВ по данным таблицы были рассчитаны годовые мощности выбросов  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$  в зависимости от типа и количества ГПА (ГТУ). Расчеты проводились по следующим формулам:

$$\sum M_{\text{NO}_{xi}} = n_i M_{\text{NO}_{xi}} k;$$

$$\sum M_{\text{CO}_{2i}} = n_i M_{\text{CO}_{2i}} k;$$

$$\sum M_{\text{CO}_i} = n_i M_{\text{CO}_i} k;$$

$$\sum M_{\text{CH}_{4i}} = n_i M_{\text{CH}_{4i}} k,$$

где  $i$  — тип ГПА (ГТУ);  $n_i$  — количество рассматриваемого типа ГПА (ГТУ);  $M_{\text{NO}_{xi}}$ ,  $M_{\text{CO}_{2i}}$ ,  $M_{\text{CO}_i}$ ,  $M_{\text{CH}_{4i}}$  — средние арифметические значения секундных мощности выбросов  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$  рассматриваемого типа ГПА (ГТУ);  $\sum M_{\text{NO}_{xi}}$ ,  $\sum M_{\text{CO}_{2i}}$ ,  $\sum M_{\text{CO}_i}$ ,  $\sum M_{\text{CH}_{4i}}$  — годовые мощности выбросов соответственно  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$  рассматриваемого типа ГПА (ГТУ);  $k$  — коэффициент пересчета секунд в годы.

Результаты проведенных расчетов представлены в виде распределения мощностей выбросов парниковых газов и ЗГ в зависимости от типа ГПА на рис. 1–4.

Из рис. 1 следует, что наиболее значительные мощности *выбросов оксидов азота* исходят от четырех типов ГТУ: ГТК-10 (289897 т/год), НК-16СТ (175403 т/год), ДР-59 Л (46061 т/год), ГТН-25 (34986 т/год).

Из рис. 2 следует, что наиболее значительные мощности *выбросов диоксида углерода* исходят от четырех типов ГТУ: НК-16СТ (62720 тыс. т/год), ГТК-10 (38581 тыс. т/год), ДР-59 Л (17202 тыс. т/год), НК-12СТ (14905 тыс. т/год).

Из рис. 3 следует, что наиболее значительные мощности *выбросов оксида углерода* идут от четырех типов ГТУ: НК-16СТ (556418 т/год), ГТК-10 (241004 т/год), НК-12СТ (71590 т/год), ДГ-90 Л (58952 т/год).

Из рис. 4 следует, что наиболее значительные мощности *выбросов метана* исходят от четырех типов ГТУ: НК-16СТ (556418 т/год), ГТК-10 (241004 т/год), НК-12СТ (71590 т/год), ДР-59 Л (1572 т/год).

В статье рассмотрено влияние загрязняющих веществ  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$  от ЕСГ России на окружающую среду. Представлены эффективные мощности, эффективные КПД, количество ГПА (ГТУ) в зависимости от типа ГПА (ГТУ), экологические характеристики парка ГПА (ГТУ) использующиеся в ОАО «ГАЗПРОМ» для провода ГПА и нормативные требования по содержанию ЗВ в продуктах сгорания ГТУ.

Были построены распределения годовых мощностей выбросов  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$  в зависимости от типа и количества ГТУ (ГПА). Распределения показали что, наибольшие мощности ЗВ исходят от следующих ГТУ (ГПА):

по окислам азота  $\text{NO}_x$  — от ГТК-10 (289897 т/год), НК-16СТ (175403 т/год), ДР-59 Л (46061 т/год), ГТН-25 (34986 т/год);

по диоксиду углерода  $\text{CO}_2$  — от НК-16СТ (62720 тыс. т/год), ГТК-10 (38581 тыс. т/год), ДР-59 Л (17202 тыс. т/год), НК-12СТ (14905 тыс. т/год);

по окиси углерода  $\text{CO}$  — от НК-16СТ (556418 т/год), ГТК-10 (241004 т/год), НК-12СТ (71590 т/год), ДГ-90 Л (58952 т/год);

по метану  $\text{CH}_4$  — от НК-16СТ (556418 т/год), ГТК-10 (241004 т/год), НК-12СТ (71590 т/год), ДР-59 Л (1572 т/год).

Была произведена оценка общей годовой мощности эмиссии ЗВ от всего парка ГПА с газотурбинным приводом, которая оказалась следующей:

по окислам азота  $\text{NO}_x$  — 929352 т/год;

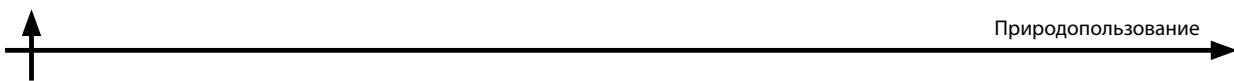
по диоксиду углерода  $\text{CO}_2$  — 247718 тыс. т/год;

по окиси углерода  $\text{CO}$  — 1295426 т/год;

по метану  $\text{CH}_4$  — 24994 т/год.

На основе проведенных исследований можно сделать вывод, что на долю четырех типов ГПА (ГТУ), а именно на ГТК-10, НК-16СТ, НК-12СТ ДР-59 Л, приходится основной вклад эмиссии ЗВ в окружающую среду. Это объясняется их наиболее широким применением в структуре ЕСГ России (ГТК-10 646 шт., НК-16СТ 618, НК-12СТ 322 шт., ДР-59 Л 268 шт.).

Таким образом, первостепенное внимание по снижению эмиссии ЗВ ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ), для двигателей, уже находящихся в эксплуатации на компрессорных станциях, должно быть уделено ГПА использующих в качестве привода ГТК-10, НК-16СТ, НК-12СТ ДР-59 Л.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Министерство энергетики Российской Федерации [Электрон. ресурс] // Режим доступа: <http://minenergo.gov.ru/activity/oilgas>
2. Концепция энергосбережения и повышения энергоэффективности на период 2011–2020 гг. [Электрон. ресурс] // Режим доступа: <http://www.gazprom.ru/nature/ecology/>
3. **Андреев, К.Д.** Рабочие процессы газо- и паротурбинных установок тепловых электрических станций. Рабочие процессы газотурбинных установок [Электронный ресурс] / К.Д. Андреев, С.Ю. Оленинников, В.Г. Полищук [и др.] // Режим доступа: <http://elib.spbstu.ru/dl/2/3086.pdf/info>
4. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации [Электрон. ресурс] // Режим доступа: [http://www.mnr.gov.ru/activities/list.php?part=148&phrase\\_id=310467](http://www.mnr.gov.ru/activities/list.php?part=148&phrase_id=310467)
5. **Горшков, С.П.** Киотский алармизм и его последствия для России [Текст] / С.П. Горшков, И.М. Мазурин, В.Я. Столяревский, Е.Ф. Уткин // Энергия, экономика, техника, экология.— 2013.— №1.— С. 48–55.
6. **Мазурин, И.М.** Спасая атмосферу, губим себя [Текст] / И.М. Мазурин // Энергия, экономика, техника, экология.— 1996.— №8.— С. 8–13.
7. **ГОСТ 29328–92.** Установки газотурбинные для привода турбогенераторов. Общие технические условия [Электрон. ресурс] // Режим доступа: <http://nordoc.ru/doc/8-8682>
8. **СТО Газпром 2–1.19–332–2009.** Технические нормативы выбросов. Газоперекачивающие агрегаты ОАО «Газпром» [Текст] / М.— 2009.

## REFERENCES

1. Ministerstvo energetiki Rossiiskoi Federatsii [Elektron. resurs] // Rezhim dostupa: <http://minenergo.gov.ru/activity/oilgas>. (rus.)
2. Kontseptsiiia energosberezeniiia i povysheniiia energoeffektivnosti na period 2011–2020gg. [Elektron. resurs]// Rezhim dostupa: <http://www.gazprom.ru/nature/ecology/> (rus.)
3. **Andreev, K.D.** Rabochie protsessy gazo- i paroturbinnyykh ustanovok teplovyykh elektricheskikh stantsii. Rabochie protsessy gazoturbinnyykh ustanovok [Elektronnyi resurs] / K.D. Andreev, S.Iu. Olenников, V.G. Polischuk [i dr.]// Rezhim dostupa: <http://elib.spbstu.ru/dl/2/3086.pdf/info>. (rus.)
4. Ministerstvo prirodnnykh resursov i ekologii Rossiiskoi Federatsii [Elektron. resurs] // Rezhim dostupa: [http://www.mnr.gov.ru/activities/list.php?part=148&phrase\\_id=310467](http://www.mnr.gov.ru/activities/list.php?part=148&phrase_id=310467). (rus.)
5. Gorshkov, S.P. Kiotskii alarmizm i ego posledstviia dlia Rossi. [Text] // Mazurin, I.M., Stoliarevskii V. Ia., Utkin E.F.// Energiia, ekonomika, tekhnika, ekologija.—2013. №1.—S. 48–55.
6. Mazurin, I.M. Spasaia atmosferu — gubim sebia [Tekst] // Energiia, ekonomika, tekhnika, ekologija.— №996.— №8.— S. 8–13. (rus.)
7. **GOST 29328–92.** Ustanovki gazoturbinnye dlia privoda turbogeneratorov. Obshchie tekhnicheskie usloviia [Elektron. resurs] // Rezhim dostupa: <http://nordoc.ru/doc/8-8682>. (rus.)
8. **СТО Gazprom 2–1.19–332–2009.** Tekhnicheskie normativy vybrosov. Gazoperekachivaiushchie agregaty OAO «Gazprom» [Tekst] / M., 2009. (rus.)

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ /AUTHORS

**ЗАБЕЛИН Николай Алексеевич** — кандидат технических наук директор института энергетики и транспортных систем Санкт-Петербургского государственного политехнического университета; 195251, ул. Политехническая, 29, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: n.zabelin.turbo@mail.ru  
**ZABELIN Nikolai A.** — St.-Petersburg State Polytechnical University; 195251, Politekhnicheskaya Str. 29, St.-Petersburg, Russia; e-mail: n.zabelin.turbo@mail.ru

**ЛЫКОВ Алексей Викторович** — аспирант Санкт-Петербургского государственного политехнического университета; 195251, ул. Политехническая, 29, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: Lykov\_AV@list.ru  
**LYKOV Aleksey V.** — St.-Petersburg State Polytechnical University; 195251, Politekhnicheskaya Str. 29, St.-Petersburg, Russia; e-mail: Lykov\_AV@list.ru

**РАССОХИН Виктор Александрович** — заведующий кафедрой турбин, гидромашин и авиационных двигателей Санкт-Петербургского государственного политехнического университета; 195251, ул. Политехническая, 29, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: v-rassokhin@yandex.ru

**RASSOKHIN Victor A.** — St.-Petersburg State Polytechnical University; 195251, Politekhnicheskaya Str. 29, St.-Petersburg, Russia; e-mail: v-rassokhin@yandex.ru