

УДК 621.165

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

ОЦЕНКА РАСПОЛАГАЕМОЙ ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ ЕДИНОЙ СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ РОССИИ

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

CALCULATION OF AVAILABLE HEAT POWER OF SMOKE FUMES OF GASOCOMPRESSOR UNITS OF RUSSIA'S UNITED GAS TRANSMISSION SYSTEM

В статье рассмотрена структура парка газоперекачивающих агрегатов ОАО «ГАЗПРОМ». Произведена оценка располагаемой тепловой мощности уходящих газов газотурбинных установок. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ. ГАЗОТРАНСПОРТНАЯ СЕТЬ. ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИЕ АГРЕГАТЫ. УХОДЯЩИЕ ДЫМОВЫЕ ГАЗЫ. ТЕПЛОВАЯ МОЩНОСТЬ.

In clause are viewed Gazprom's structure of fleet of gascompressor units. Heat power gascompressor units smoke fumes are estimated.

ENERGY SAVING. GAS PIPELINE. GASCOMPRESSOR UNITS. SMOKE FUMES. HEAT POWER.

ОАО «Газпром» — глобальная энергетическая компания. Основные направления деятельности ОАО «Газпром» — геологоразведка, добыча, транспортировка, хранение, переработка и реализация газа, газового конденсата и нефти, а также производство и сбыт тепло- и электроэнергии в России и за рубежом. ОАО «Газпром» принадлежат магистральные газопроводы, объединенные в Единую систему газоснабжения (ЕСГ) России.

ЕСГ России — крупнейшая в мире система транспортировки газа (рис. 1), уникальный технологический комплекс, включающий в себя объекты добычи, переработки, транспортировки, хранения и распределения газа. ЕСГ обеспечивает непрерывный цикл поставки газа от скважины до конечного потребителя.

В состав ЕСГ входят 161,7 тыс. км магистральных газопроводов и отводов, 215 линейных компрессорных станций (КС), 6 комплексов по переработке газа и газового конденсата, 25 объектов подземного хранения газа.

Деятельность ОАО «Газпром» в области энергосбережения и экологии происходит в соответствии с требованиями действующего за-

конодательства РФ, а также внутренними документами.

Распоряжением Правительства России №1715-р от 13.11.2009 г была принята «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года» [1]. В соответствии с этой стратегией одним из направлений развития газовой промышленности является развитие ЕСГ и ее расширение на восток России, усиление на этой основе интеграции регионов страны. При этом энергосбережение и энергоэффективность отнесены к одним из важнейших направлений.

В ОАО «Газпром» принят ряд нормативных документов в области энергосбережения, среди них — «Концепция энергосбережения и повышения энергоэффективности на период 2011–2020 гг.» [2]. Основная задача, сформулированная в концепции, — это максимальная реализация потенциала энергосбережения во всех видах деятельности и, как следствие, снижение техногенной нагрузки на окружающую среду. Компания продолжает проведение НИОКР и внедрение инновационных технологий, которые могут дать значительный эффект экономии энергоресурсов на собственные нужды. Одно из основных на-



Рис. 1. Единая система газоснабжения России

правлений — утилизация тепла уходящих газов газотурбинных установок (ГТУ).

Обеспечение линейных КС и других объектов ЕСГ электроэнергией на собственные нужды — одна из актуальных задач ОАО «Газпром». Зачастую подвод линий электропередач к объектам ЕСГ трудно выполним и дорогостоящ из-за их удаленности от крупных электростанций и единой электрической сети.

Теплота уходящих газов ГТУ может быть использована в комбинированных газопаровых установках (ГПУ) для выработки электроэнергии. Полученная электроэнергия может использоваться как на собственные нужды КС, так и другими находящимися по близости промышленными и гражданскими объектами. Таким образом решаются сразу две важные задачи: утилизация тепла уходящих газов ГТУ и обеспечение КС электроэнергией на собственные нужды.

Для оценки возможности применения таких ГПУ в ЕСГ должны быть известны структура парка газоперекачивающих агрегатов (ГПА) ЕСГ России, использующих в качестве привода ГТУ. Кроме того, должны быть известны следующие характеристики ГТУ: мощность ГТУ; расход,

температура и располагаемая тепловая мощность уходящих газов.

Задачами данной статьи являются: анализ парка ГПА ОАО «Газпром» (по России), использующих в качестве привода ГТУ; исследование характеристик ГПА (мощности ГТУ, расход и температура уходящих газов ГТУ);

общая оценка теоретической тепловой мощности уходящих газов ГТУ, которая может быть использована в ГПУ для выработки дополнительной электрической энергии турбиной малой мощности [3].

Состав, %, компрессорного парка ОАО «Газпром» по типу привода: газотурбинный — 87,2, электрический — 12,3, поршневой — 0,5. В структуре парка ГПА насчитывается до 58 типов ГПА с ГТУ [4], различающихся по следующим критериям: типу (стационарные, судовые, авиационные); изготовителю (отечественное и зарубежное производства); кинематической схеме; классу мощности; температуре уходящих газов за ГТУ.

Количество и характеристики ГПА с газотурбинным приводом представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика парка ГПА ОАО «Газпром»

ГПА	ГТУ	Количество агрегатов (шт.)	Мощность, МВт	Расход уходящих газов, кг/с	Температура уходящих газов за ГТУ, °С
ГТК-10	ГТК-10	646	10	86	510
ГПА-Ц-16	НК-16СТ	618	16	103,1	412
ГПА-Ц-6,3	НК-12СТ	322	6	57,6	317
ГПУ-10	ДР-59Л	268	10	81,5	330
ГТ-6-750	ГТ-6-750	129	6	47,5	415
ГПА-16 Урал	ПС-90ГП-2	121	16	58	540
ГТК-10И	MS-3002	120	10	51,8	533
ГПА-Ц-16С	ДГ-90	109	16	70	430
ГТ-750-6	ГТ-750-6	95	6	58,6	302
ГПУ-16	ДЖ-59Л2	92	16	97,6	358
ГПА-Ц-8	НК-14СТ-8	86	8	37,1	537
ГТН-6	ГТН-6	80	6	47,5	415
ГТН-16	ГТН-16	72	16	86,1	408
ГТК-25ИР	MS-5002	72	22	114	345
ГТН-25	ГТН-25	43	28	150	428
ГПА-12Р Урал	ПС-90ГП-1	34	12	48,2	540
ГТК-25И	MS-5002	33	24	118	491
ГТК-10ИР	MS-3002R	30	10	52,1	353
ГПА-16МЖ	ДЖ-59Л2	28	17	97,5	362
ГПА-Ц-18	НК-18СТ	27	18	101,2	460
ГПА-10 Урал	ПС-90ГП-3	26	10	45,7	476
ГПА-12 Урал	ПС-90ГП-1	25	12	48,2	540
PGT-10	PGT-10	24	10	42,3	472
ГТНР-25И(В)	М 5322 R (В)	24	22	114	345
Коберра-182	AVON-101	23	13	77,6	411
ГПА-16МГ	ДГ-90	21	16	70	430
Центавр Т-3002	Центавр Т-3002	20	3	16,5	410
ГПА-25 Днепр	ДН-80Л1	18	25	87	450
ГПА-16Р АЛ	АЛ-31СТ	16	16	64,5	490
ГПА-4 РМ	ГТД-4РМ	15	4	22	386
Центавр Т-4500	Центавр Т-4500	12	3	18,2	450
Коберра 16МГ	ДГ-90П1	12	16	70	430
ГПА-16 Волга ДГ	ДГ-902.1	11	16	70	430
ГПА-16Р Урал	ПС-90ГП-2	10	16	58	540
ГПА-Ц-10	НК-14СТ-10	9	10	37.6	507
ГПА-Ц-16 АЛ	АЛ-31СТ	8	16	64.5	490

Окончание табл. 1

ГПА	ГТУ	Количество агрегатов (шт.)	Мощность, МВт	Расход уходящих газов, кг/с	Температура уходящих газов за ГТУ, °С
Центавр Т-4700	Центавр Т-4700	7	3	18.5	450
ГПА-Ц-25	НК-36СТ	7	25	101	425
ГТК-5	ГТК-5	6	4	45.5	283
ГПА-16 Нева	АЛ-31СТН	6	16	64.5	490
ГТНР-25И(С)	MS-5322R(С)	6	25	119.3	349
Балтика-25	GT10B2	6	25	78.6	543
ГПА-25ДН Урал	ДН80Л1.1	6	25	87	450
Дон	ГТ-750-6	5	6	58.6	265
ПЖТ-21С	АЛ-31	5	16	66.3	490
ГПА-25Р НК	НК-36СТ	5	25	101	425
Таурус-60S	Taurus 60С	4	5	21.7	490
ГПА-16 Волга	НК-38СТ	4	16	53.7	448
ГТН-25-1	ГТН-25	4	25	102.2	500
ГТНР-16	ГТНР-16	3	16	91.5	327
ГПА-Ц-25СД	ДУ80Л1	3	25	101	425
ГПА-Ц-4	Д-336-2-4	2	4	27.5	407
ГТ-700-5	ГТ-700-5	2	4	45.5	283
ГПА-10 РМ	ГТД-10РМ	2	10	33	518
ГПА-Ц-16Р НК38	НК-38СТ	2	16	53.7	448
ГПА-25Р Урал	ПС-90ГП-25	2	25	83	543
ГПА-4 Урал	Д-30	1	4	18.9	439
ГПА-Ц-6,3РМ	ГТД-6,3РМ	1	6	21.75	430

Количество ГПА с газотурбинным приводом, как следует из табл. 1, составляет 3388 агрегатов.

По данным табл. 1 составлено распределение количества z ГТУ в зависимости от их типа, которое представлено на рис. 2.

Построенное распределение количества z ГТУ в зависимости от типа ГТУ показало, что широкое использование для привода ГПА получили следующие ГТУ: ГТК-10 (646 шт.); НК-16СТ (618 шт.); НК-12СТ (322 шт.); ДР-59Л (268 шт.). Из распределения следует, что для ГПА с газотурбинным приводом используются в основном ГТУ отечественного производства.

Далее на основе проведенного анализа структуры ГПА производится оценка располагаемой

тепловой мощности уходящих дымовых газов. В основу расчетов тепловой мощности положена формула

$$Q_T = G_T (h_4 - h_{y_{xT}}) z,$$

где G_T — расход дымовых газов; h_4 — энтальпия дымовых газов на выходе из ГТУ; $h_{y_{xT}}$ — энтальпия дымовых газов на выходе из теплообменника (ТО); z — количество ГТУ.

Для пояснения производимых расчетов на рис. 3 представлена упрощенная тепловая схема комбинированной ГПУ с котлом-утилизатором (КУ) и паровой турбиной (ПТ).

Выхлопные газы после ГТУ с температурой t_4 и энтальпией h_4 поступают в КУ, где они отдают свою теплоту теплоносителю второго контура.

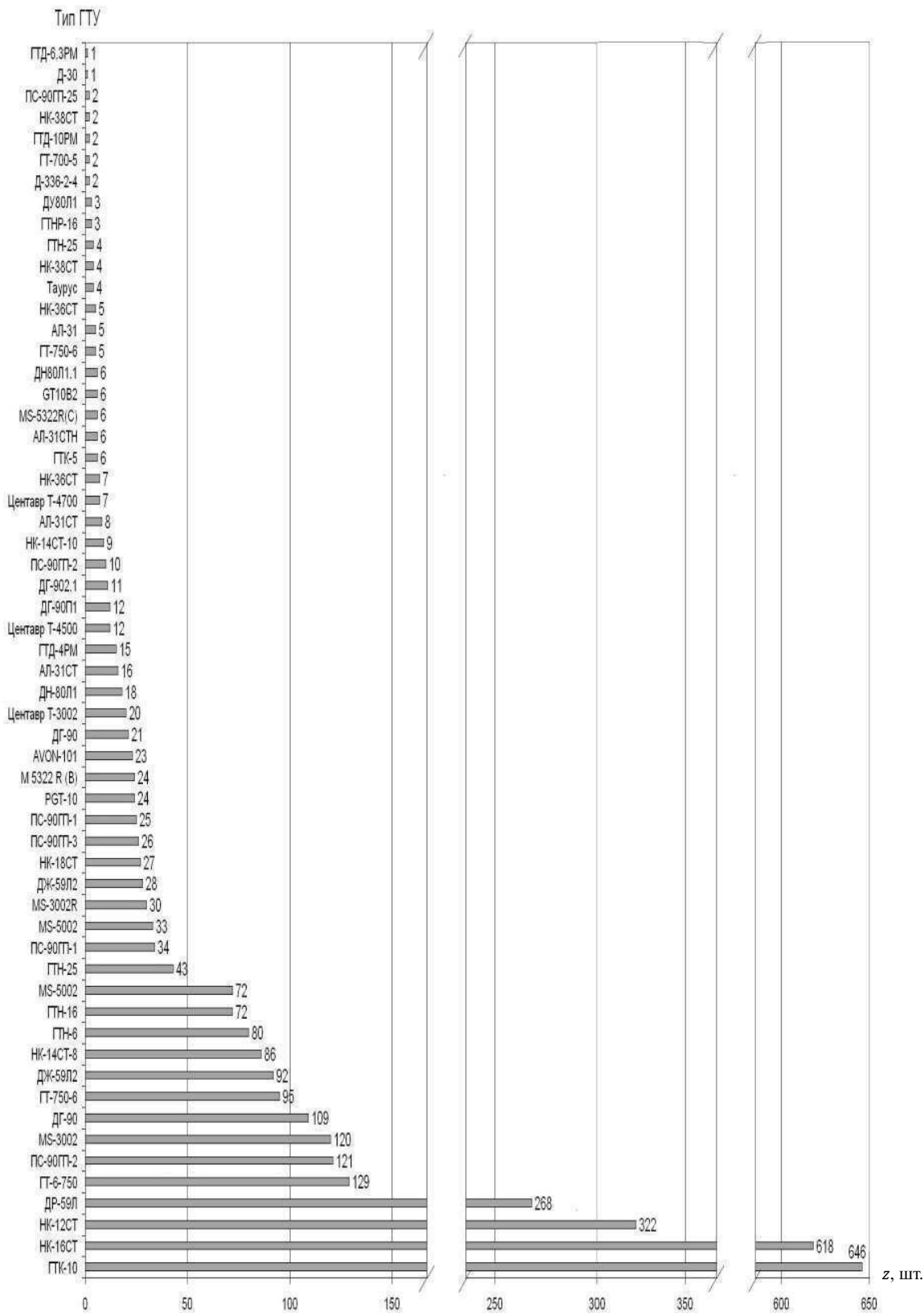


Рис. 2. Распределение количества z ГТУ в зависимости от типа ГТУ

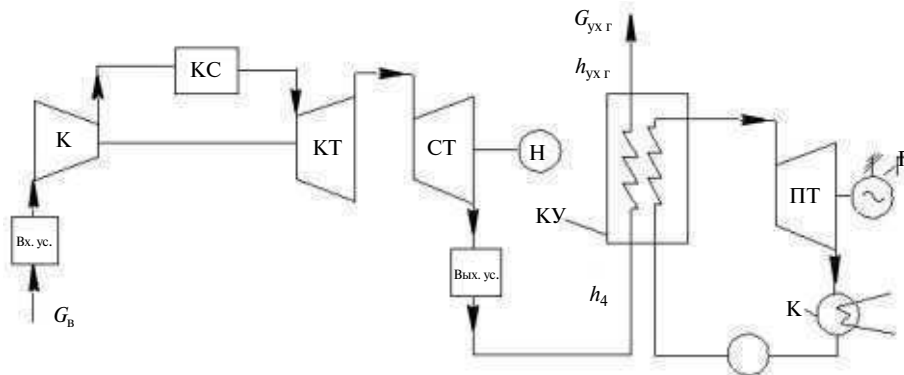


Рис. 3. Тепловая схема комбинированной ГТУ с КУ:

Вх. ус. и Вых. ус. — входное и выходное устройства; К — компрессор; КС — камера сгорания; КТ — компрессорная турбина; СТ — силовая турбина; Н — нагнетатель; КУ — котел-утилизатор; ПТ — паровая турбина; Г — электрический генератор; К_н — конденсатор; ПН — питательный насос

Пар теплоносителя второго контура после КУ направляется в ПТ, которая приводит в действие электрогенератор. После КУ дымовые газы направляются в окружающую среду с температурой $t_{ухГ}$ и энтальпией $h_{ухГ}$.

При оценке располагаемой тепловой мощности величина температуры выхлопных газов $t_{ухГ}$ на выходе из КУ была принята равной 110 °С. Значения температуры t_4 , в зависимости от типа ГТУ, определялись по таблицам удельных выбросов загрязняющих веществ, которые представлены в СТО Газпром XXX-2008 [5]. Значения энтальпий выхлопных газов $h_4 = h_4(t_4)$ и $h_{ухГ} = h_{ухГ}(t_{ухГ})$ определялись по таблицам теплофизических свойств продуктов сгорания стандартного углеводородного топлива при заданном коэффициенте избытка воздуха в камере сгорания $\alpha = 3$ [6, 7].

В результате проведенных расчетов было получено распределение располагаемой тепловой

мощности в зависимости от типа ГТУ (ГПА), которое представлено на рис. 4.

Распределение количества ГТУ в зависимости от класса мощности, а также располагаемая мощность дымовых газов в зависимости от класса мощности ГТУ представлены в табл. 2.

В результате проведенных расчетов суммарная величина располагаемой тепловой мощности уходящих газов всех рассмотренных ГТУ составила 87,9 ГВт.

В процессе исследований была подробно проанализирована структура парка ГПА ОАО «Газпром» по типу и количеству ГТУ. Установлено, что наиболее широкое использование для привода ГПА получили следующие ГТУ: ГТК-10 (646 шт.); НК-16СТ (618 шт.); НК-12СТ (322 шт.); ДР-59Л (268 шт.).

Также была проведена оценка суммарной величины располагаемой тепловой мощности

Таблица 2

Класса мощности ГТУ, МВт	Количество ГТУ, штук	Располагаемая тепловая мощность дымовых газов ГТУ, МВт
до 5 МВт	65	421
5–10 МВт	1701	39829
10–15 МВт	204	4702
15–20 МВт	1189	35108
20 МВт и более	229	7809

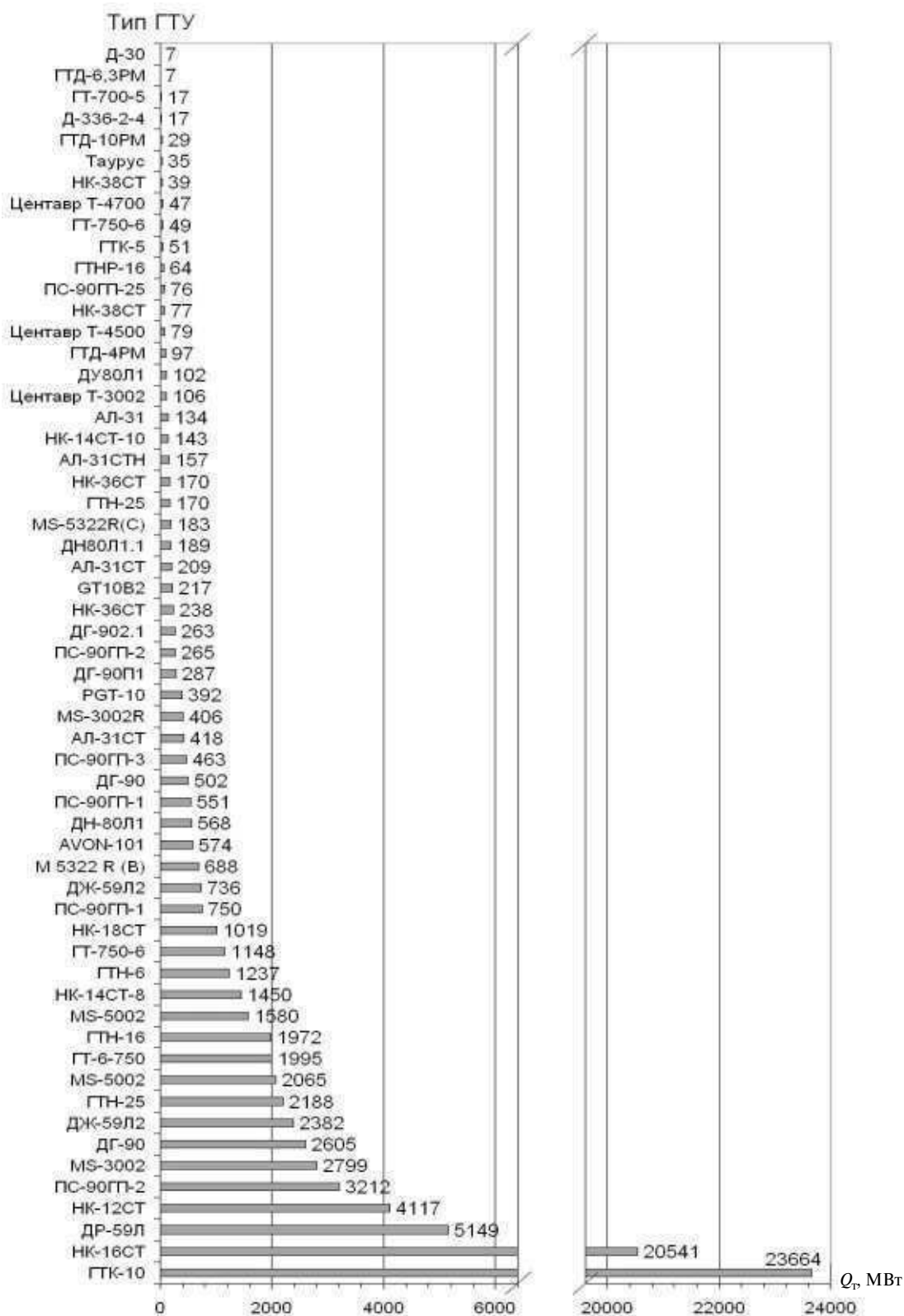


Рис. 4. Распределение располагаемой тепловой мощности в зависимости от типа ГТУ (ГПА)

уходящих газов всех рассмотренных ГТУ ЕСГ России, которая составила 87,9 ГВт. На основе этой оценки можно сделать вывод, что в ЕСГ

России имеются значительные возможности в области энергосбережения и повышения энергоэффективности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Министерство энергетики Российской Федерации [Электрон. ресурс] // Режим доступа: <http://minenergo.gov.ru/activity/energostrategy>.
2. Концепция энергосбережения и повышения энергоэффективности на период 2011–2020 гг. [Электрон. ресурс] // Режим доступа: <http://www.gazprom.ru/nature/energy>.
3. **Беседин, С.Н.** Разработка и создание автономных энергетических установок малой мощности с расширительной турбиной. [Текст] / Беседин С.Н., Забелин Н.А., Рассохин В.А. и др. // Наука и техника в газовой промышленности. — 2010. № 4. — С. 96–103.
4. Каталог газотурбинного оборудования: каталог энергетического оборудования [Текст]. Том 1. — М.: Издательский дом «Газотурбинные технологии», 2011. — 392 с.
5. **СТО Газпром XXX-2008.** Технические нормативы выбросов. Газоперекачивающие агрегаты ОАО «Газпром» [Текст]. — М., 2008.
6. **Арсеньев, Л.В.** Газотурбинные установки. Конструкции и расчет [Текст]: справочное пособие / Л.В. Арсеньев, Ф.Д. Бедчер, И.А. Богов [и др.]. — Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1978. — 232 с., ил.
7. **Костюк, А.Г.** Паровые и газовые турбины для электростанций [Текст]: учебник для вузов / А.Г. Костюк, В.В. Фролов, А.Д. Трухний [и др.] / Под ред. А.Г. Костюка. — М.: Издательский дом МЭИ, 2008. — 556 с., ил.

REFERENCES

1. Ministerstvo energetiki Rossiiskoi Federatsii [Elektron. resurs] // [Rezhim dostupa: http://minenergo.gov.ru/activity/energostrategy](http://Rezhim_dostupa:_http://minenergo.gov.ru/activity/energostrategy_rezhim_dostupa:_http://minenergo.gov.ru/activity/energostrategy). (rus.)
2. Kontseptsiiia energosberezheniia i povysheniia energoeffektivnosti na period 2011–2020 gg. [Elektron. resurs] // [Rezhim dostupa: http://www.gazprom.ru/nature/energy](http://www.gazprom.ru/nature/energy). (rus.)
3. **Besedin, S.N. Zabelin N.A., Rassokhin V.A. [i dr.].** Razrabotka i sozdanie avtonomnykh energeticheskikh ustanovok maloi moshchnosti s rasshiritel'noi turbinoi [Tekst] // *Nauka i tekhnika v gazovoi promyshlennosti.* — 2010. № 4. — S. 96–103. (rus.)
4. Katalog gazoturbinnogo oborudovaniia [Tekst]: katalog energeticheskogo oborudovaniia T. 1. — M.: zdatel'skii dom «Gazoturbinnye tekhnologii», 2011. — 392 s. (rus.)
5. **STO Gazprom XXX-2008.** Tekhnicheskie normativy vybrosov. Gazoperekachivaiushchie agregaty OAO «Gazprom» [Tekst]. — M., 2008.
6. **Arsen'ev L.V. Bedcher F.D., Bogov I.A. [i dr.].** Gazoturbinnye ustanovki. Konstruktsii i raschet [Tekst]: spravochnoe posobie. — L.: Mashinostroenie. Leningr. otd-nie, 1978. — 232 s., il. (rus.)
7. **Kostiuk A.G., Frolov V.V., Trukhnii A.D. [i dr.].** Parovye i gazovye turbiny dlia elektrostantsii [Tekst]: uchebnik dlia vuzov / Pod red. A.G. Kostiuka. — M.: Izdatel'skii dom MEI, 2008. — 556 s., il. (rus.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ЗАБЕЛИН Николай Алексеевич — кандидат технических наук доцент 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

ЛЫКОВ Алексей Викторович — аспирант Санкт-Петербургского государственного политехнического университета; 195251, ул. Политехническая, 29, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: Lykov_AV@list.ru

РАССОХИН Виктор Александрович — доктор технических наук профессор 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

AUTHORS

ZABELIN Nikolay A. — St. Petersburg State Polytechnical University; 195251, Politekhnikeskaya Str. 29, St. Petersburg, Russia; e-mail: n.zabelin.turbo@mail.ru

LYKOV Alexsey V. — St. Petersburg State Polytechnical University; 195251, Politekhnikeskaya Str. 29, St. Petersburg, Russia; e-mail: Lykov_AV@list.ru

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