

УДК 62–97

Предпроектная оценка и выбор оптимальных параметров низкотемпературных энергетических установок для криогенных систем аккумулирования энергии

Д-р техн. наук Д. А. УГЛАНОВ^{1*}, О. В. ТРЕМКИНА¹, ЛЮ ЮЙВЭЙ²

¹Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева
(Самарский университет)

²Китайская энергетическая строительная корпорация

*E-mail: dmitry.uglanov@mail.ru

В данной работе проведена предпроектная оценка одно-, двух- и трехконтурных низкотемпературных энергетических установок (НЭУ) для криогенных систем аккумулирования энергии с учетом их технических характеристик, проведено расчетное исследование показателей эффективности по уточненной общей методике комплексного проектирования НЭУ для выполнения расчета и анализа энергетических характеристик НЭУ с учетом их особенностей, а также выбрана наиболее эффективная НЭУ для криогенной системы аккумулирования энергии путем выбора оптимальных параметров низкотемпературных энергетических установок.

Ключевые слова: криогенная система аккумулирования энергии, низкотемпературная энергетическая установка, ожижение воздуха, ожижение азота, цикл Ренкина, цикл Брайтона.

Информация о статье:

Поступила в редакцию 22.03.2024, одобрена после рецензирования 23.04.2024, принята к печати 26.04.2024

DOI: 10.17586/1606-4313-2024-23-2-13-21

Язык статьи — русский

Для цитирования:

Угланов Д. А., Тремкина О. В., Лю Юйвэй. Предпроектная оценка и выбор оптимальных параметров низкотемпературных энергетических установок для криогенных систем аккумулирования энергии // Вестник Международной академии холода. 2024. № 2. С. 13–21. DOI: 10.17586/1606-4313-2024-23-2-13-21

Pre-design assessment and selection of optimal parameters for low-temperature power plants of cryogenic energy storage systems

D. Sc. D. A. UGLANOV^{1*}, O. V. TREMKINA¹, LIU YUWEI²

¹Samara National Research University named after academician S. P. Korolev (Samara University)

²China Energy Construction Group Co., Ltd

*E-mail: dmitry.uglanov@mail.ru

In the article, a pre-design assessment of single-, double-, and three-circuit low-temperature power plants (LPP) for cryogenic energy storage systems was carried out, taking into account their technical characteristics. A computational study of efficiency indicators was carried out using an improved general methodology for the integrated design of LPP to perform the calculation and analysis of the energy characteristics of the LPP taking into account their peculiarities. In addition, the most efficient LPP for a cryogenic energy storage system was selected in terms of the optimal parameters for low-temperature power plants.

Keywords: cryogenic energy storage system, low temperature power plant, air liquefaction, nitrogen liquefaction, Rankine cycle, Brayton cycle.

Article info:

Received 22/03/2024, approved after reviewing 23/04/2024, accepted 26/04/2024

DOI: 10.17586/1606-4313-2024-23-2-13-21

Article in Russian

For citation:

Uglanov D. A., Tremkina O. V., Yuwei Liu. Pre-design assessment and selection of optimal parameters for low-temperature power plants of cryogenic energy storage systems. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2024. No 2. p. 13-21. DOI: 10.17586/1606-4313-2024-23-2-13-21

Введение

Общее мировое потребление энергии продолжает расти и темпы роста мирового потребления первичной энергии за последние 10 лет составили 14,2%. Среди них Китай имеет самые высокие темпы роста потребления первичной энергии 45,9%, в то время как другие крупные экономики, такие как США, Япония и Европейский союз, имеют относительно низкие темпы роста потребления энергии 7,5, 6,7 и 8,8%, соответственно. Эти данные отражают стремительное развитие мировой экономики и непрерывный рост энергопотребления. В то же время они также свидетельствуют о том, что странам необходимо усилить меры по энергосбережению и инновациям для решения проблем глобального энергопотребления. В настоящее время основными источниками энергии

в мире являются нефть, природный газ, уголь, ядерная энергия и возобновляемые источники энергии. На рис. 1 приведены данные о потреблении первичной энергии в крупнейших мировых странах и регионах за период с 2012 по 2022 гг. [1, 2].

Криогенная система аккумулирования энергии

Криогенная система аккумулирования энергии — это способ хранения электрической энергии в виде низкопотенциальной энергии сжиженного воздуха или азота. Принципиальная схема криогенной системы аккумулирования энергии представлена на рис. 2.

Криогенная система аккумулирования энергии, как и любой другой накопитель электрической энергии имеет три рабочих режима.

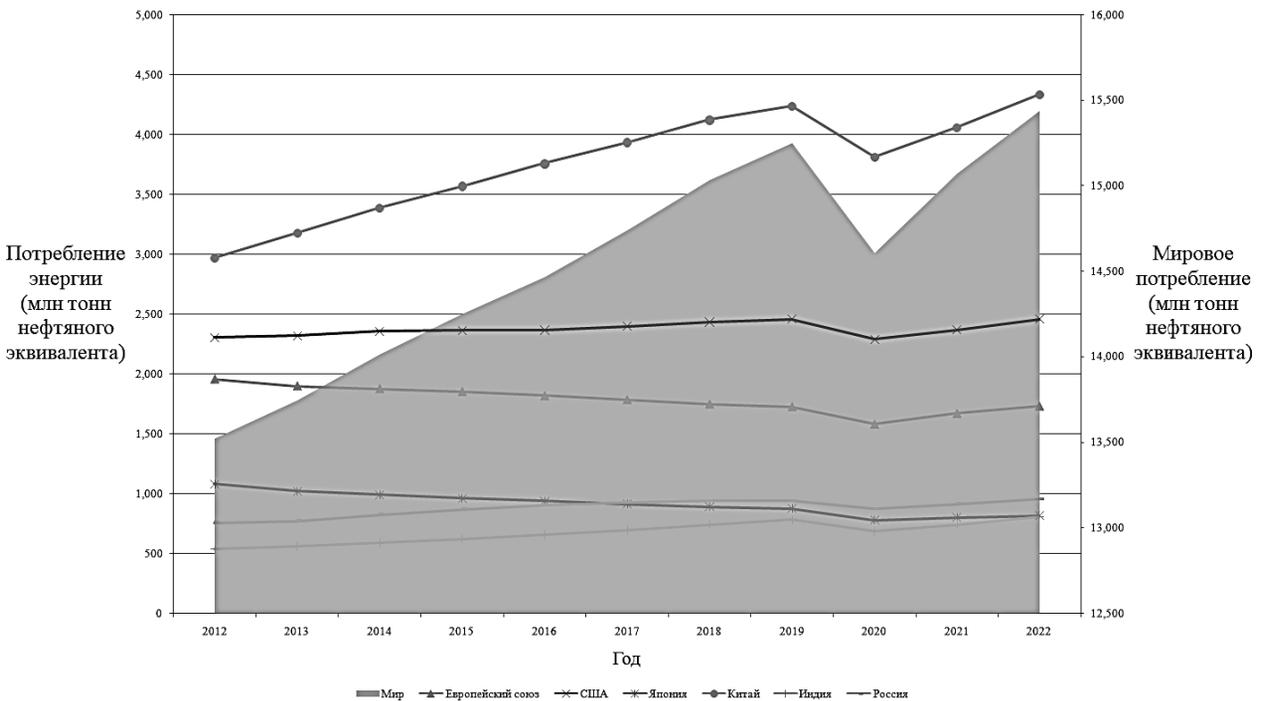


Рис. 1. Потребление энергии в крупнейших мировых странах и регионах
 Fig. 1. Energy consumption in the largest countries and regions of the world

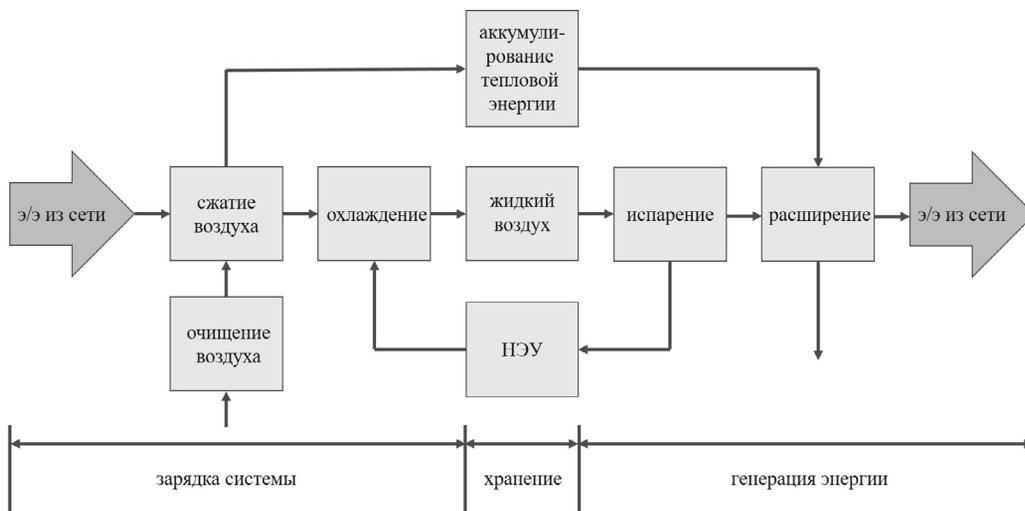


Рис. 2. Принципиальная схема криогенной системы аккумулирования энергии
 Fig. 2. Schematic diagram of cryogenic energy storage system

1. *Зарядка системы.* На данном этапе происходит очищение, сжатие и ожижение воздуха посредством использования внепиковой электрической энергии.

2. *Хранение.* На данном этапе жидкий воздух хранится в изолированном резервуаре при температуре $-196\text{ }^\circ\text{C}$ и давлении равном давлению окружающей среды.

3. *Генерация энергии.* На этом этапе энергия восстанавливается за счет откачки, повторного нагрева и расширения воздуха для регенерации электричества в пиковый спрос.

Также на втором этапе происходит накопление тепла от процесса сжатия воздуха на этапе 1, которая может быть использована для повторного нагрева на этапе 3, а низкопотенциальная энергия, отведенная во время нагрева воздуха на этапе 3 может использоваться на этапе 1 для ожижения воздуха [3].

Проблемы выбора оптимальных параметров низкотемпературных энергетических установок для криогенной системы аккумулирования энергии

На сегодняшний день выбор оптимальных параметров низкотемпературных энергетических установок (НЭУ) для криогенных систем аккумулирования энергии является сложным процессом, который требует учета большого количества факторов. Важно учитывать эффективность системы, ее емкость, затраты на строительство, эксплуатацию и обслуживание, а также воздействие на окружающую среду.

1. Для определения емкости накопителя энергии, необходимо учитывать фактический спрос на энергию, чтобы криогенная система аккумулирования могла удовлетворить потребности в хранении энергии. Недостаточная емкость может привести к недостаточному количеству хранимой энергии, что усложнит работу системы. С другой стороны, избыточная емкость может привести к излишним затратам на строительство и обслуживание системы.

2. Эффективность хранения энергии также является важным фактором выбора системы. В криогенных системах аккумулирования энергии неизбежны потери энергии,

поэтому необходимо выбирать систему с высокой эффективностью, чтобы максимально использовать имеющуюся энергию. Это поможет снизить издержки на обслуживание и эксплуатацию системы, а также уменьшить негативное воздействие на окружающую среду.

3. Затраты на строительство, эксплуатацию и обслуживание системы также являются важными факторами выбора системы. Применение новых технологий и материалов может снизить затраты на эти процессы. Необходимо также учитывать экономические аспекты, связанные с выбором криогенной системы, такие как долговечность и надежность системы.

4. Наконец, необходимо принимать во внимание воздействие на окружающую среду. В некоторых случаях, криогенная система может создавать избыточное тепло, которое может негативно повлиять на окружающую среду. Необходимо выбирать системы с наименьшим воздействием на окружающую среду, чтобы обеспечить устойчивость криогенной системы аккумулирования энергии.

Расчетное исследование параметров низкотемпературных энергетических установок для криогенной системы аккумулирования энергии

Одним из важных элементов и устройств криогенных систем аккумулирования энергии является система генерации энергии, поэтому главной задачей при проектировании криогенных систем аккумулирования является создание эффективной системы генерации энергии за счет разработки НЭУ. В соответствии с работой [4], НЭУ в составе криогенных систем аккумулирования энергии можно реализовать в одно-, двух- и трехконтурных вариантах.

На рис. 3–5 приведены принципиальные схемы таких одно-, двух- и трехконтурных НЭУ. Представленные НЭУ, в соответствии с предложенной в библиотеке НЭУ [5] классификацией, обозначаются следующим образом: I — 1B (83–143,577K) — R729; II — 1R (83–220,448K) — R729–2B (113–326,302K) — R740; III — 1R (83–159,462K) — R729–2B (113–238,663K) — R170–3R (172,345–381,532K) — R290, соответственно.

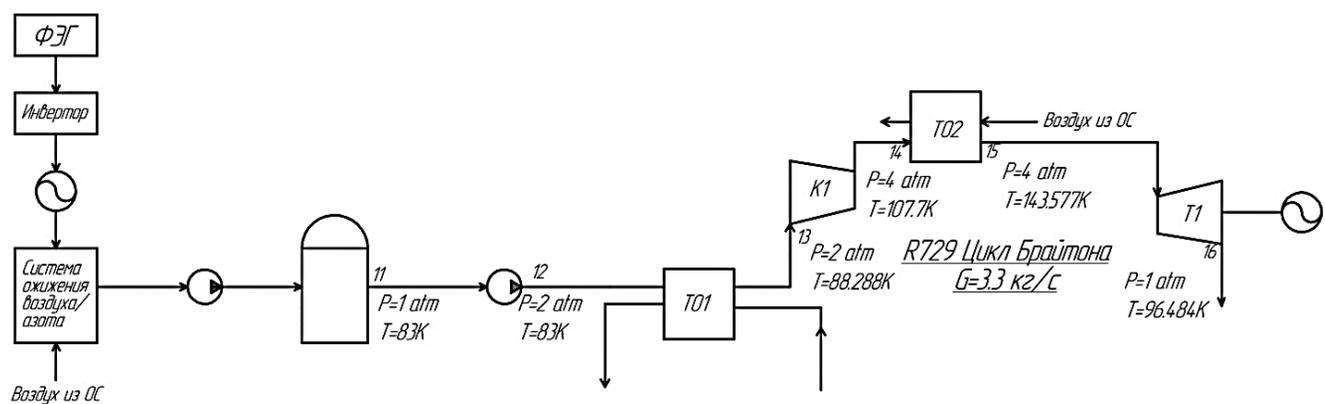


Рис. 3. Одноконтурная НЭУ: I — 1B (83–143,577K) — R729: Т — турбина, ТО — теплообменный аппарат, К — компрессор, ФЭГ — фотоэлектрический генератор

Fig. 3. Single-circuit LPP: I — 1B (83–143,577K) — R729: Т — turbine, ТО — heat-exchanger, К — compressor; ФЭГ — photoelectric generator

Таблица 1

**Результаты расчетного исследования
одноконтурных НЭУ
для криогенной системы аккумулирования энергии**

Table 1

**The results of the calculation study of single-circuit LPP
for a cryogenic energy storage system**

НЭУ		I-1R (83-159,462K)-R729	I-1R (83-195,64K)-R729	I-1B (83-143,577K)-R729
		НЭУ-1.1	НЭУ-1.2	НЭУ-1.3
11	P, атм	1	1	1
	T, К	83	83	83
12	P, атм	10	20	2
	T, К	83	83	83
13	P, атм	10	20	2
	T, К	159,462	195,64	88,288
14	P, атм	2	2	4
	T, К	100,517	101,094	107,7
15	P, атм	—	—	4
	T, К	—	—	143,577
16	P, атм	—	—	1
	T, К	—	—	96,484
Расход	G, кг/с	3,3	3,3	3,3

В табл. 1–3 приведены термодинамические параметры и расходы рассматриваемых НЭУ в зависимости от количества контуров.

**Выбор оптимальных параметров
низкотемпературных энергетических установок
для криогенной системы аккумулирования
энергии**

Выбор оптимальных параметров НЭУ для криогенных систем аккумулирования энергии заключается в проведении расчетного исследования показателей эффективности по уточненной общей методике комплексного проектирования НЭУ для выполнения расчета и анализа энергетических характеристик НЭУ с учетом их особенностей [4, 6]. Уточненная общая методика комплексного проектирования НЭУ включает в себя этапы проектирования: от выбора криопродукта и оценки его энергетического потенциала (предпроектный этап — I этап) до определения параметрических характеристик (технико-экономическое обоснование проекта — II этап) и проведения многопараметрического выбора НЭУ (разработка проектной документации — III этап). Предлагаемая методика позволяет провести предпроектную оценку и выбор оптимальных параметров НЭУ для криогенной системы аккумулирования энергии.

На рис. 6 представлены показатели эффективности одноконтурных НЭУ. Для их повышения необходимо

Таблица 2

**Результаты расчетного исследования двухконтурных НЭУ
для криогенной системы аккумулирования энергии**

Table 2

The results of the calculation study of double-circuit LPP for a cryogenic energy storage system

НЭУ		II-1R(83-159,462K)-R729-2R(113-274,078K)-R740	II-1R(83-195,64K)-R729-2R(113-326,414K)-R740	II-1R(83-220,448K)-R729-2R(113-362,302K)-R740	II-1R(83-159,462K)-R729-2B(113-238,663K)-R170	II-1R(83-195,64K)-R729-2B(113-326,414K)-R740	II-1R(83-220,448K)-R729-2B(113-326,414K)-R740	II-1B(83-143,577K)-R729-2B(137,7-182,839K)-R50	II-1B(83-143,577K)-R729-2R(137,7-274,520K)-R170
		НЭУ-2.1	НЭУ-2.2	НЭУ-2.3	НЭУ-2.4	НЭУ-2.5	НЭУ-2.6	НЭУ-2.7	НЭУ-2.8
11	P, атм	1	1	1	1	1	1	1	1
	T, К	83	83	83	83	83	83	83	83
12	P, атм	10	20	30	10	20	30	2	2
	T, К	83	83	83	83	83	83	83	83
13	P, атм	10	20	30	10	20	30	2	2
	T, К	159,462	195,64	220,448	159,462	195,64	220,448	88,288	88,288
14	P, атм	2	2	2	2	2	2	4	4
	T, К	100,517	101,094	101,41	100,517	101,094	101,41	107,7	107,7
15	P, атм	—	—	—	—	—	—	4	4
	T, К	—	—	—	—	—	—	143,577	143,577
16	P, атм	—	—	—	—	—	—	1	1
	T, К	—	—	—	—	—	—	94,484	96,484
21	P, атм	7,9482	7,9482	7,9482	0,0012	7,9482	7,9482	5,6071	0,029764
	T, К	113	113	113	113	113	113	137,7	137,7
22	P, атм	20	20	20	0,005	20	20	7	0,5
	T, К	113,589	113,589	113,589	142,345	163,467	163,467	145,048	137,73
23	P, атм	20	20	20	0,005	20	20	7	0,5
	T, К	274,078	326,414	362,302	238,663	326,414	326,302	182,839	274,520
24	P, атм	7,9482	7,9482	7,9482	0,0012	7,9482	7,9482	5,6071	0,029764
	T, К	189,462	225,64	250,448	189,462	225,64	250,448	173,577	173,577
Расход	G, кг/с	R729-3,3 R740-4,943	R729-3,3 R740-4,981	R729-3,3 R740-5,007	R729-3,3 R170-16,075	R729-3,3 R740-25,698	R729-3,3 R740-22,316	R729-3,3 R50-1,517	R729-3,3 R170-0,1099

**Результаты расчетного исследования трехконтурных НЭУ
для криогенной системы аккумулирования энергии**

Table 3

The results of the calculation study of three-circuit LPP for a cryogenic energy storage system

НЭУ		III-1B (83-143,577K)-R729-2R(137,7-274,52K)-R170-3B (167,73-347,267K)-R14	III-1R (83-159,462K)-R729-2B(113-238,663K)-R170-3R (172,34-381,532K)-R290	III-1R (83-159,462K)-R729-2R(113-274,078K)-R740-3R (144,13-373,760K)-R170	III-1B (83-143,577K)-R729-2B(137,7-182,839K)-R50-3R (175,05-248,125K)-R600	III-1B (83-143,577K)-R729-2R(137,7-198,776K)-R50-3R (168,10-348,771K)-R170	III-1R (83-159,462K)-R729-2B(113-274,078K)-R740-3B (193,47-337,542K)-R170	III-1R (83-159,462K)-R729-2R(113-267,114K)-R170-3B (143,0-375,428K)-R50	III-1B (83-143,577K)-R729-2B(137,7-182,839K)-R50-3B (150-229,189K)-R290
		НЭУ-3.1	НЭУ-3.2	НЭУ-3.3	НЭУ-3.4	НЭУ-3.5	НЭУ-3.6	НЭУ-3.7	НЭУ-3.8
11	P, атм	1	1	1	1	1	1	1	1
	T, К	83	83	83	83	83	83	83	83
12	P, атм	2	10	10	2	2	10	10	2
	T, К	83	83	83	83	83	83	83	83
13	P, атм	2	10	10	2	2	10	10	2
	T, К	88,288	159,462	159,462	88,288	88,288	159,462	159,462	88,288
14	P, атм	4	2	2	4	4	2	2	4
	T, К	107,7	100,517	100,517	107,7	107,7	100,517	100,517	107,7
15	P, атм	4	—	—	4	4	—	—	4
	T, К	143,577	—	—	143,577	143,577	—	—	143,577
16	P, атм	2	—	—	2	2	—	—	2
	T, К	117,698	—	—	117,698	117,698	—	—	117,698
21	P, атм	0,003	0,0012	7,948	5,607	5,607	7,9482	0,0012	5,607
	T, К	137,7	113	113	137,7	137,7	113	113	137,7
22	P, атм	0,5	0,005	20	7	10	20	0,01	7
	T, К	137,73	142,345	114,13	145,05	137,10	193,47	113,005	145,048
23	P, атм	0,5	0,005	20	7	10	20	0,01	7
	T, К	274,52	238,663	274,078	182,839	198,776	274,078	267,114	182,839
24	P, атм	0,003	0,0012	7,948	5,607	5,607	7,9482	0,0012	5,607
	T, К	173,577	189,462	189,462	173,577	173,577	189,462	189,462	173,577
31	P, атм	3,878	0,0267	0,0562	0,002	0,373	1,578	7,369	0,095
	T, К	167,73	172,34	144,13	175,05	168,10	193,47	143,0	150
32	P, атм	10	0,5	0,2	0,01	5	3	20	0,15
	T, К	191,275	172,385	144,145	175,049	168,451	214,759	180,699	161,522
33	P, атм	10	0,5	0,2	0,01	5	3	20	0,15
	T, К	347,267	381,532	373,760	248,125	348,771	337,542	375,428	229,189
34	P, атм	3,878	0,0267	0,0562	0,002	0,373	1,578	7,369	0,095
	T, К	304,52	268,663	304,078	212,839	288,776	304,078	297,114	212,839
Расход	G, кг/с	R729-3,3 R170-0,1099 R14-1,590	R729-3,3 R170-16,075 R290-1,927	R729-3,3 R740-4,943 R170-1,328	R729-3,3 R50-1,517 R600-0,131	R729-3,3 R50-0,129 R170-0,12	R729-3,3 R740-34,353 R170-12,39	R729-3,3 R170-1,225 R50-4,517	R729-3,3 R50-1,517 R290-1,581

рассмотреть различные способы оптимизации работы циклов и контуров [4, 6]. В качестве рекомендаций можно рассмотреть вопрос использования теплообменников-испарителей с большей площадью поверхности теплообмена, а также возможность применения современных методов управления и контроля параметров работы НЭУ [7]–[9].

На рис. 7, а, б представлены показатели эффективности контуров двухконтурных НЭУ. I контур НЭУ-2.7 и НЭУ-2.8 характеризуется меньшим тепловым КПД по сравнению с I контуром других двухконтурных НЭУ [4, 6].

Это объясняется тем, что цикл Ренкина наиболее эффективно реализуется в заданных температурных

уровнях, соответствующих положению контуров в схемах НЭУ.

Обозначения, показанные на рис. 6, 7, 8: η_c — КПД Карно, η_t — термический КПД, η_{ex} — эксергетический КПД, η_N — КПД Новикова, τ — отношение температур, $K_{вид}$ — максимальный коэффициент возврата НЭ криопродукта, K_B — коэффициент возврата НЭ криопродукта с учетом предполагаемых потерь.

Коэффициент возврата НЭ криопродукта с учетом предполагаемых потерь и максимальный коэффициент возврата НЭ криопродукта выше в контурах, работающих по циклу Ренкина, поскольку в нем затрачивается значительно меньше энергии (на 2–3 порядка) при оди-

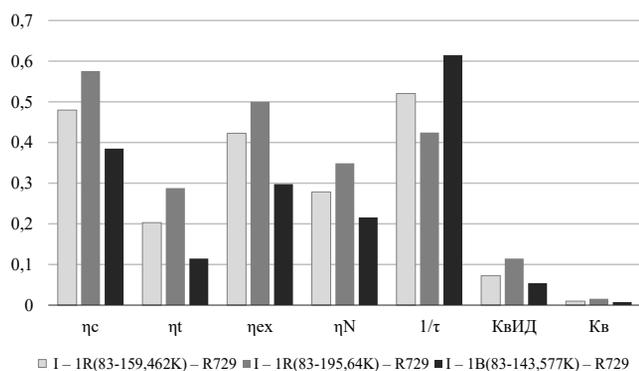


Рис. 6. Показатели эффективности контуров одноконтурных НЭУ при оценке по уточненной общей методике комплексного проектирования НЭУ

Fig. 6. Efficiency indicators for the circuits of single-circuit LPP evaluated using an improved general methodology for the integrated design of LPP

наковой степени повышения давления рабочего тела, чем в цикле Брайтона.

При проектировании трехконтурных НЭУ для достижения более высокой мощности возможно увеличить верхний температурный уровень путем подвода допол-

нительной тепловой энергии от внешних источников теплоты, в качестве которых могут выступать выхлопные газы или возобновляемые источники энергии. Это позволит получить большую мощность и повысить энергоэффективность как самого III контура НЭУ, так и НЭУ в целом.

На рис. 8 представлены показатели эффективности контуров трехконтурных НЭУ [4, 6]. Значения теплового КПД и, как следствие, эксергетического КПД напрямую зависят от температурных уровней в контурах.

В целом, анализ показателей эффективности энергетических установок является важным шагом для многопараметрического выбора НЭУ, оптимизации их работы и повышения энергоэффективности. Такие исследования позволяют сократить время на предпроектном этапе разработки криогенных систем аккумулирования энергии, выбрать наиболее эффективные циклы и энергетические установки при определенных условиях, а также предложить способы повышения характеристик предлагаемых НЭУ.

Таким образом, уточненная общая методика комплексного проектирования НЭУ применима для любых энергопроизводящих систем, а представленные в данной работе результаты расчетного исследования позволяют сделать выбор НЭУ для криогенных систем аккумулирования энергии под конкретный запрос.

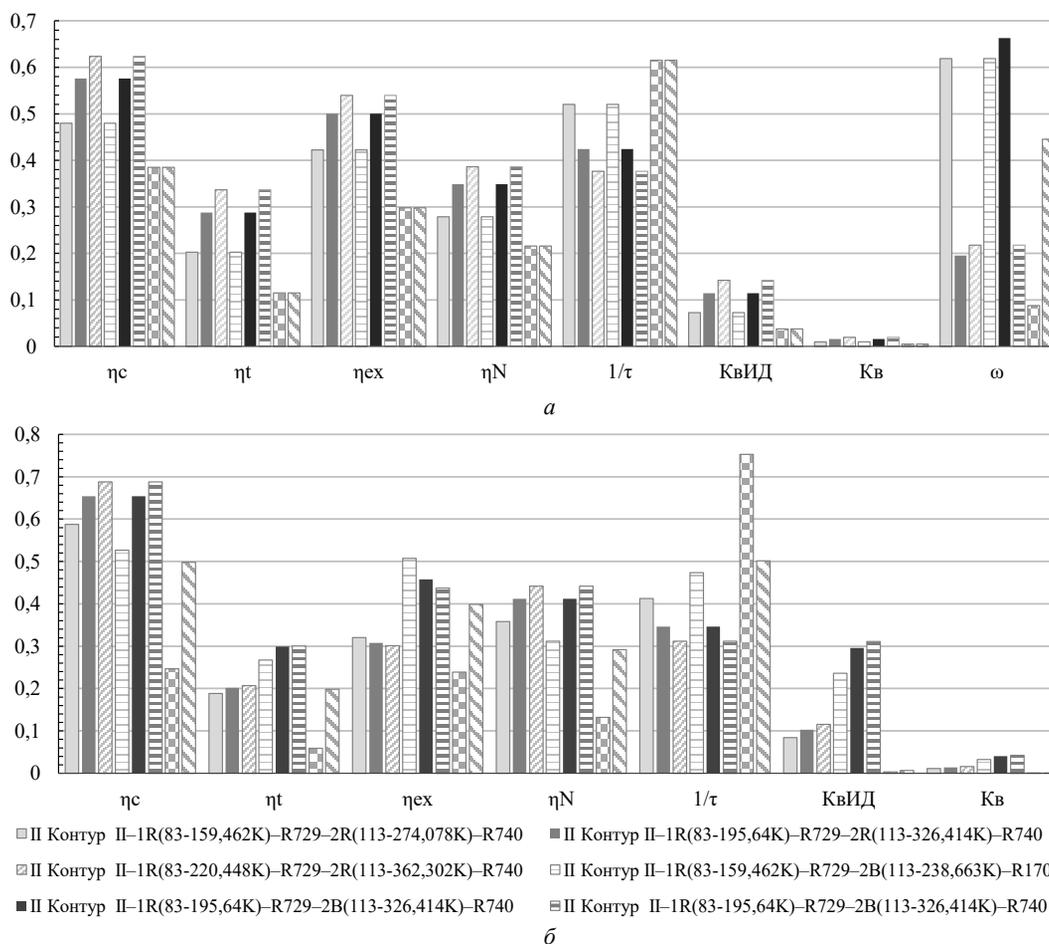


Рис. 7. Показатели эффективности контуров двухконтурных НЭУ при оценке по уточненной общей методике комплексного проектирования НЭУ: а — I контур; б — II контур

Fig. 7. Efficiency indicators for the circuits of double-circuit LPP evaluated using an improved general methodology for the integrated design of LPP: а — I circuit; б — II circuit

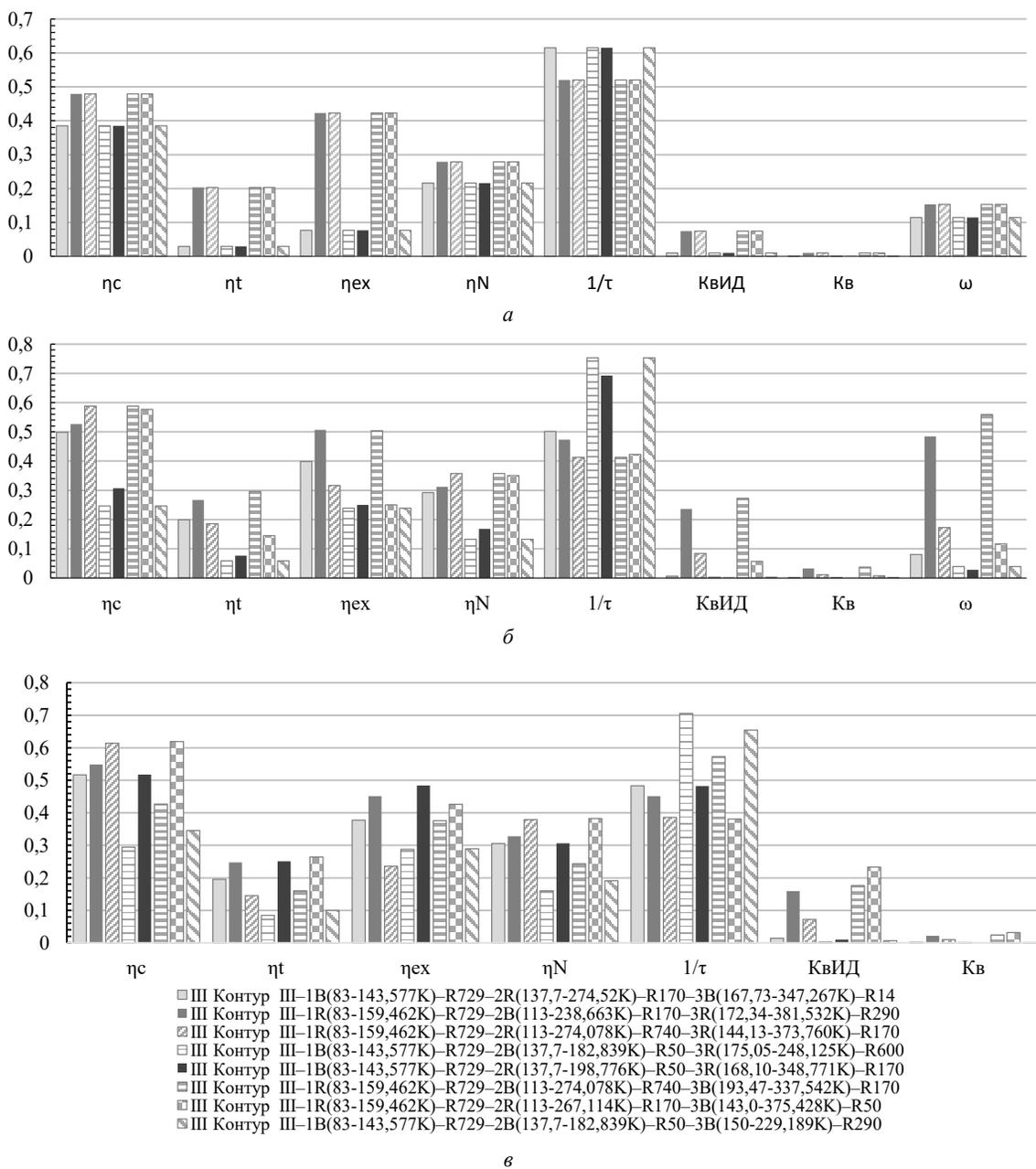


Рис. 8. Показатели эффективности контуров трехконтурных НЭУ при оценке по уточненной общей методике комплексного проектирования НЭУ: а — I контур; б — II контур; в — III контур

Fig. 8. Efficiency indicators for the circuits of three-circuit LPP evaluated using an improved general methodology for the integrated design of LPP: а — I circuit; б — II circuit; в — III circuit

Заключение

1. Проведена предпроектная оценка одно-, двух- и трехконтурных низкотемпературных энергетических установок для криогенных систем аккумулирования энергии с учетом их технических характеристик.

2. Проведено расчетное исследование показателей эффективности по уточненной общей методике комплексного проектирования НЭУ для выполнения расчета и анализа энергетических характеристик НЭУ с учетом их особенностей.

3. Полученные расчетные данные параметров НЭУ показывают, что максимальная удельная мощность в од-

ноконтурной НЭУ составляет 84,30 кВт/кг; в двухконтурной — 334,59 кВт/кг; в трехконтурной — 385,89 кВт/кг.

4. Наиболее эффективной низкотемпературной энергетической установкой для криогенной системы аккумулирования энергии является трехконтурная НЭУ III — 1R (83-159,462K) — R729-2B (113-274,078K) R740-3B (193,47-337,542K) — R170 с коэффициентом аккумуляции тепла 16,3%.

Благодарности

Результаты работы получены при финансовой поддержке Минобрнауки России (проект № FSSS-2024-0017).

Литература

1. National Economy Witnessed Momentum of Recovery with Solid Progress in High-quality Development in 2023 // OECD. 2023. [Электронный ресурс]: URL: <http://www.stats.gov.cn>
2. BP World Energy Statistics Report // OECD. 2023. [Электронный ресурс]: URL: https://www.bp.com.cn/zh_cn/china/home.html
3. Uglanov D. A. *Selection of the Optimal Method of Accumulation and Storage of Electricit / D. A. Uglanov, A. S. Filinova, N. Kedam* // International Scientific and Technical Engine Conference (EC). 2021. P. 1–5.
4. Трёмкина О. В. Совершенствование метода определения характеристик низкотемпературных энергоустановок летательных аппаратов: дисс. канд. техн. наук: 2.5.15. / Трёмкина Ольга Витальевна. Самара, 2023. 178 с.
5. Низкотемпературные энергетические установки, использующие низкопотенциальную энергию СПГ (Обзор публикаций по низкотемпературным энергетическим установкам с целью выявления схемных решений, состава и определения характеристик) / Благин Е. В., Манакова О. А., Трёмкина О. В., Угланов Д. А. Самара, 2023. 485 с.
6. Трёмкина О. В. Оценка показателей эффективности схемных решений установок когенерации на базе ГТУ при использовании СПГ в качестве топлива / И. А. Архаров, А. И. Довгялло, Д. А. Угланов, О. В. Трёмкина. // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2023. № 1. С. 25–30.
7. Алексеев Г. Н. Общая теплотехника: Учеб. пособие. М.: Высш. школа, 1980. 552 с.
8. Угланов Д. А. Энергоэффективные системы преобразования низкопотенциальной энергии криопродуктов: дисс. докт. техн. наук: 05.04.03 / Угланов Дмитрий Александрович. Санкт-Петербург, 2022. 688 с.
9. Довгялло А. И. и др. Эффективность цикла Ренкина при условии получения максимальной мощности применительно к низкотемпературной энергетической установке, использующей криопродукт как рабочее тело. // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2020. № 6. С. 3–7.

Сведения об авторах

Угланов Дмитрий Александрович

Д. т. н., профессор кафедры теплотехники и тепловых двигателей Самарского национального исследовательского университета им. академика С. П. Королева, 443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34, dmitry.uglanov@mail.ru

Трёмкина Ольга Витальевна

Ассистент кафедры теплотехники и тепловых двигателей Самарского национального исследовательского университета им. академика С. П. Королева, 443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34, t.olga.vit@bk.ru

Лю Юйвэй

Инженер Китайской энергетической строительной корпорации, Китай, Пекин, lyw37890@gmail.com

References

1. National Economy Witnessed Momentum of Recovery with Solid Progress in High-quality Development in 2023. *OECD*. 2023. [Electronic resource]: URL: <http://www.stats.gov.cn>
2. BP World Energy Statistics Report. *OECD*. 2023. [Electronic resource]: URL: https://www.bp.com.cn/zh_cn/china/home.html
3. Uglanov D. A. *Selection of the Optimal Method of Accumulation and Storage of Electricit / D. A. Uglanov, A. S. Filinova, N. Kedam*. *International Scientific and Technical Engine Conference (EC)*. 2021. P. 1–5.
4. Tremkina O. V. Improving the method of determining the characteristics of low -temperature power plants of aircraft: Diss. cand. tech. Sciences: 2.5.15. / Tremkina Olga Vitalievna. Samara, 2023. 178 p. (in Russian)
5. Low -temperature energy plants using low -potential energy LNG (overview of publications on low -temperature energy plants in order to identify schematic solutions, composition and determination of characteristics) / Blagin E. V., Manakova O. A., Tremkin O. V., Uglanov D. A. Samara, 2023. 485 p. (in Russian)
6. Tremkina O. V. Assessment of indicators of the effectiveness of schematic solutions for the installations of cogeneration on the basis of GTU when using LNG as fuel / I. A. Arkharov, A. I. Dovgyallo, D. A. Uglanov, O. V. Tremkina. *Chemical and oil and gas engineering*. 2023. No. 1.-P. 25–30. (in Russian)
7. Alekseev G. N. *General heat engineering: textbook. manual*. M.: Higher. School, 1980. 552 p. (in Russian)
8. Uglanov D. A. Energy efficient systems for converting low -potential energy of cryoproducts: Diss.doct. tech. Sciences: 05.04.03 / Uglanov Dmitry Alexandrovich. St. Petersburg, 2022. 688 p. (in Russian)
9. Dovgyallo A. I. ets al. The effectiveness of the Renkin cycle, provided that the maximum power is obtained in relation to a low -temperature energy installation using a cryoproduct as a working body. *Chemical and oil and gas engineering*. 2020. No. 6. p. 3–7. (in Russian)

Information about authors

Uglanov Dmitry A.

D. Sc., Professor of the Department of Heat engineering and thermal engines of the Samara National Research University named after academician S. P. Korolev, 34, Moskovskoye shosse, Russia, 443086, Samara, dmitry.uglanov@mail.ru

Tremkina Olga V.

Assistant of the Department of Heat engineering and thermal engines of the Samara National Research University named after academician S. P. Korolev, 34, Moskovskoye shosse, Samara, 443086, Russia, t.olga.vit@bk.ru

Liu Yuwei

Engineer of China Energy Construction Group Co., Ltd, China, Beijing, lyw37890@gmail.com



Статья доступна по лицензии
Creative Commons «Attribution-NonCommercial»