

УДК 62–623.1

## Энергетический комплекс на СПГ, интегрированный с воздуходелительной установкой и низкотемпературными энергоустановками

Канд. техн. наук Д. А. УГЛАНОВ<sup>1</sup>, О. В. ТРЕМКИНА<sup>2</sup>, О. А. МАНАКОВА<sup>3</sup>, А. Б. ШИМАНОВА

<sup>1</sup>dmitry.uglanov@mail.ru, <sup>2</sup>t.olga.vit@bk.ru, <sup>3</sup>olya.angel14@mail.ru

Самарский национальный исследовательский университет имени академика

С. П. Королева (Самарский университет)

*В данной работе представлено исследование энергетического комплекса, который включает в себя несколько рабочих контуров, с помощью которых можно обеспечить электроэнергией населенные пункты, объекты жизнедеятельности человека и т. д. В качестве основного топлива используется жидкий метан. Схема комплекса состоит из следующих контуров: основной контур (газопоршневая установка), вспомогательная энергетическая установка (воздухоразделительная установка (ВРУ)), многоступенчатое расширение и паросиловые установки с применением аргона и кислорода в качестве рабочих тел. Представлены расчеты энергетических характеристик паросиловых вспомогательных установок, работающих на криогенных рабочих телах, а также расчеты показателя влияния параметров теплообменных аппаратов на температуры рабочих тел.*

**Ключевые слова:** газопоршневая установка, воздухоразделительная установка, паросиловая установка, цикл Ренкина, цикл Стирлинга.

### Информация о статье:

Поступила в редакцию 23.05.2022, одобрена после рецензирования 06.07.2022, принята к печати 16.08.2022

DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-3-3-12

Язык статьи — русский

### Для цитирования:

Угланов Д. А., Тремкина О. В., Манакова О. А., Шиманова А. Б. Энергетический комплекс на СПГ, интегрированный с воздуходелительной установкой и низкотемпературными энергоустановками // Вестник Международной академии холода. 2022. № 3. С. 3–12. DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-3-3-12

## Energy complex on liquid methane integrated with air separation unit and low-temperature power plant

Ph. D. D. A. UGLANOV<sup>1</sup>, O. V. TREMKINA<sup>2</sup>, O. A. MANAKOVA<sup>3</sup>, A. B. SHIMANOVA

<sup>1</sup>dmitry.uglanov@mail.ru, <sup>2</sup>t.olga.vit@bk.ru, <sup>3</sup>olya.angel14@mail.ru

Samara National Research University (Samara University)

*This research looked at an energy complex comprising numerous functioning circuits that provide electricity to settlements or human living objects. Liquid methane is used as the main fuel. The scheme of this complex consists of the following circuits: the primary circuit (gas piston plant), auxiliary power plant (air separation plant), multistage expansion, and steam power plants using argon and oxygen as working fluids. The energy characteristics of auxiliary steam power plants operating on cryogenic working fluids were calculated, and an indicator of the influence of the parameters of heat exchangers on the temperatures of working substances was discovered.*

**Keywords:** gas piston plant, air separation plant, steam power plant, Rankine cycle, Stirling cycle.

### Article info:

Received 23/05/2022, approved after reviewing 06/07/2022, accepted 16/08/2022

DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-3-3-12

Article in Russian

### For citation:

Uglanov D. A., Tremkina O. V., Manakova O. A., Shimanova A. B. Energy complex on liquid methane integrated with air separation unit and low-temperature power plant. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2022. No 3. p. 3–12.

DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-3-3-12

## Введение

В данной работе проведено расчетное исследование модернизированного комплекса, который был представлен в ранее опубликованной статье [1], путем внесения изменений в работу вспомогательной энергетической установки. Целью модернизации энергетического комплекса на жидком метане, объединенного с воздухоразделительной установкой и низкотемпературными силовыми установками, работающего по открытому циклу Ренкина и циклу Стирлинга, является повышение эффективности и улучшение экологической составляющей энергетических установок. Достичь поставленной цели можно за счет увеличения количества дополнительных контуров, поскольку чем ниже температура выхлопных газов на выходе, тем меньше вреда для окружающей среды. Основным назначением разрабатываемого энергетического комплекса является обеспечение электроэнергией населенные пункты и другие объекты жизнедеятельности человека.

В силу того, что СПГ хранится при низкой температуре (112 К) [2], использование его низкопотенциальной энергии в воздухоразделительной установке (ВРУ) считается одним из оптимальных способов повышения эффективности. Схема комплекса состоит из следующих контуров: основной контур (газопоршневая установка (ГПУ)), вспомогательная энергетическая установка (воздухоразделительная установка (ВРУ)), многоступенчатое расширение и паросиловые установки. В качестве основного рабочего тела используется жидкий метан, в ВРУ, работающих по открытому циклу Ренкина — аргон и кислород, во вспомогательной энергетической установке, работающей по циклу Стирлинга, используется аргон (далее — хладагент R740).

Следует отметить, что дополнительную работу можно получить благодаря процессу многоступенчатого расширения, т. к. регазифицированный в теплообменниках метан находится в трубках под давлением 7 МПа. Для этого были выполнены расчетные исследования процесса многоступенчатого расширения криопродукта, в ходе которого была выявлена закономерность между суммарной работой каскада турбин и их количеством [3]. При помощи результатов расчета был сделан вывод, что максимальное количество энергии может быть по-

лучено с учетом гидравлических и тепловых потерь в многоступенчатой энергетической установке 3<sup>х</sup> или 4<sup>х</sup> каскадной системы.

## Расчет вспомогательных контуров

На основании данных, полученных из исследований для случая с давлением 7 МПа принимается схема расширения с 3 ступенями (турбинами). На рис. 1 представлена схема вспомогательной энергетической установки с применением в качестве рабочего тела жидкий метан и хладагент R740. Данная схема выполнена по открытому циклу Ренкина и циклу Стирлинга. С помощью  $T-S$  диаграммы рабочих веществ (рис. 2, 3, 4), справочных данных [4, 5] и алгоритма (рис. 5) было проведено расчетное исследование, результаты которого представлены в табл. 4. Также представлены в табл. 1, 2, 3 расчетные значения термодинамических параметров рабочих тел во всех контурах энергетического комплекса.

Принцип работы представленной силовой установки заключается в следующем: регазифицированный

Таблица 1  
Термодинамические параметры рабочего тела — метан

Table 1  
Thermodynamic parameters of the working fluid — methane

№ точки	$p$ , бар	$t$ , °С	$G$ , кг/с
M4	70	-66,62	38,42
M5	24,2	-120,64	
M6	24,2	-120,64	38,04
M7	24,2	-70	
M8	1	-161,7	
M9	24,2	-120,64	0,38
M9'	24,2	20	
M10	8,37	-47,75	
M10'	8,37	-42,52	
M11	2,89	-96,83	
M11'	2,89	-91,59	
M12	1	-134,17	
M13	1	20	

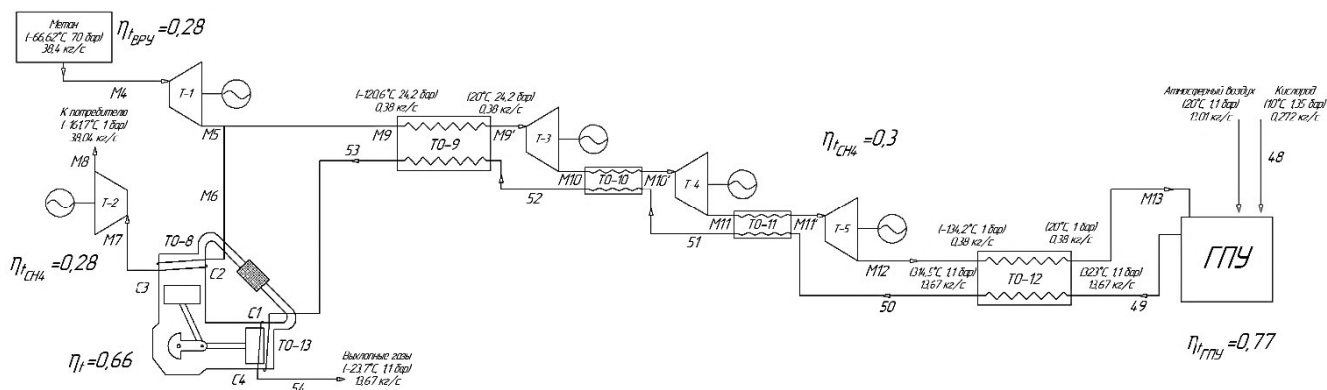


Рис. 1. Схема вспомогательной энергетической установки, работающей по циклу Ренкина и циклу Стирлинга (рабочее тело — метан и хладагент R740)

Fig. 1. Auxiliary power plant operating on Rankine and Stirling cycles (working fluids — methane and R740 cooling medium)

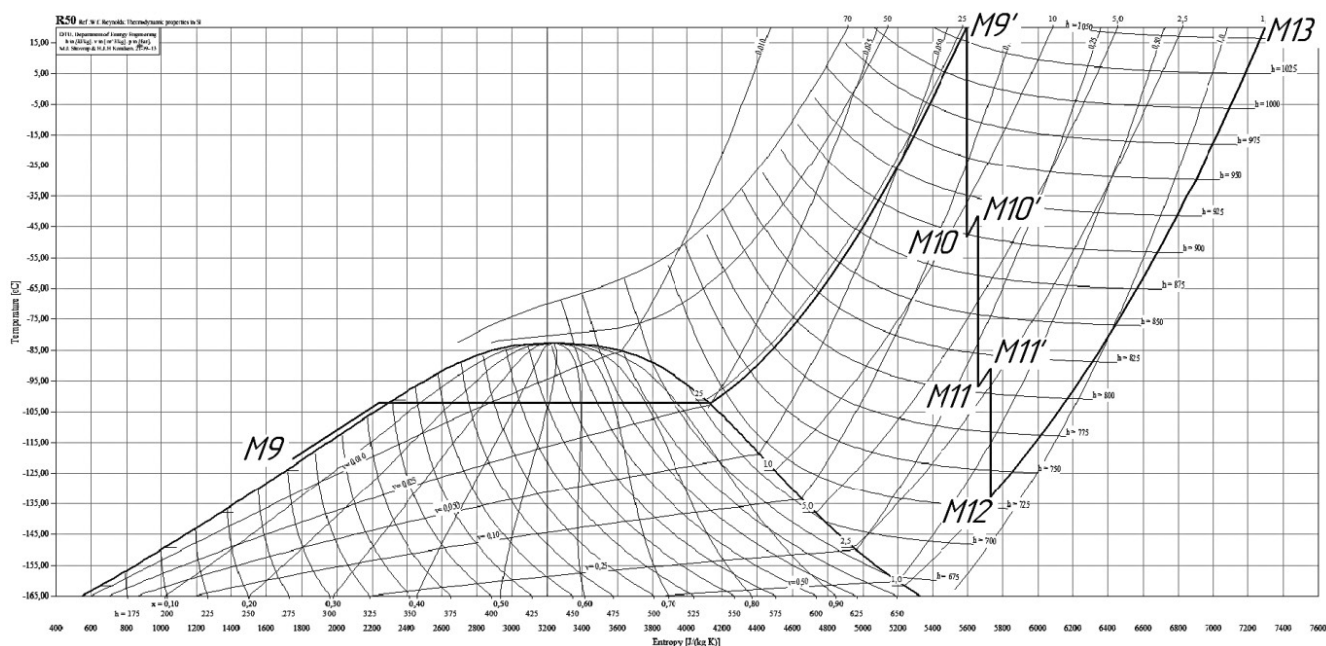


Рис. 2. Термодинамический цикл паросиловой установки (рабочее тело — метан)

Fig. 2. Thermodynamic cycle of steam power plant (working fluid — methane)

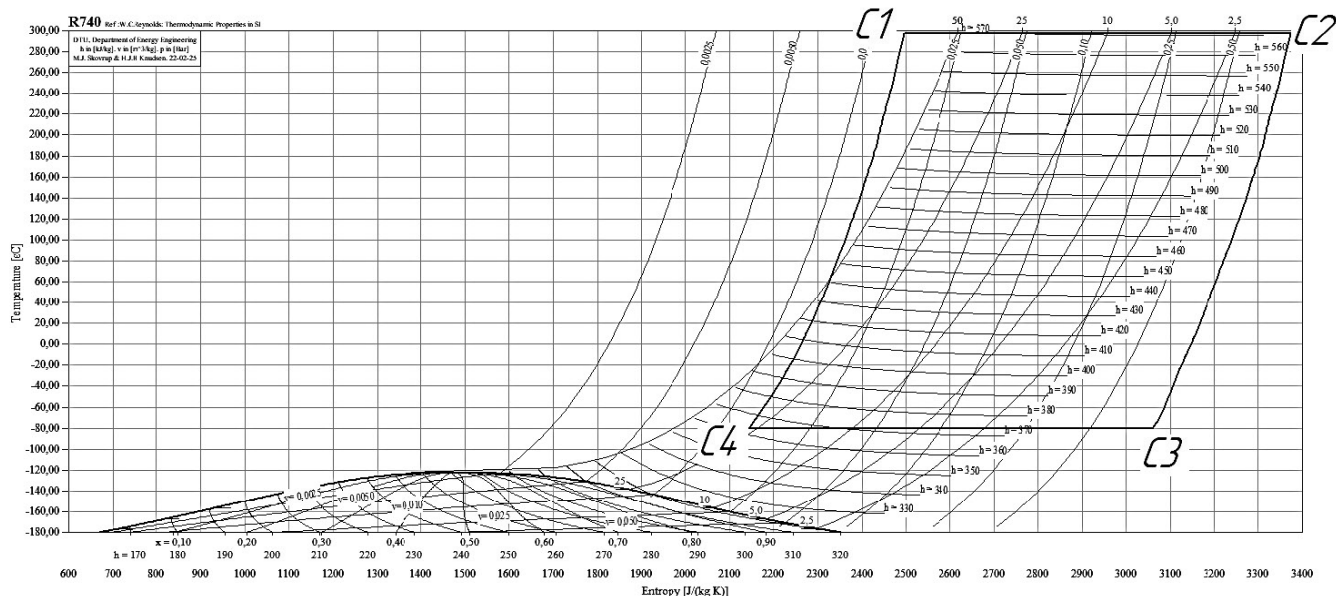


Рис. 3. Термодинамический цикл паросиловой установки (рабочее тело — хладагент R740)

Рис. 3. Thermodynamic cycle of steam power plant (working fluid — R740 cooling medium)

метан (M4) поступает из ВРУ (воздухоразделительной установки) в турбину (Т-1), после чего делится на два потока, один из которых (M6), проходя через теплообменник (ТО-8) цикла Стирлинга, нагревается и расширяется в турбине (Т-2), после чего отправляется к потребителю в жидком состоянии. Второй поток метана (M9) проходит через многоступенчатое расширение (M9' - M12), которое позволяет получить дополнительную работу турбин, после чего проходя через теплообменник (ТО-12) подается в ГПУ (газопоршневую установку), где происходит смешение метана (M13), атмосферного воздуха и кислорода (48), полученного из ВРУ.

Таблица 2  
Термодинамические параметры рабочего тела — хладагент R740 ( $G = 25,9$  кг/с)

Table 2  
Thermodynamic parameters of the working fluid — 740 cooling medium ( $G = 25.9$  kg/s)

№ точки	$p$ , бар	$t$ , °C
C1	75	295
C2	1,3	295
C3	0,5	-80
C4	25	-80

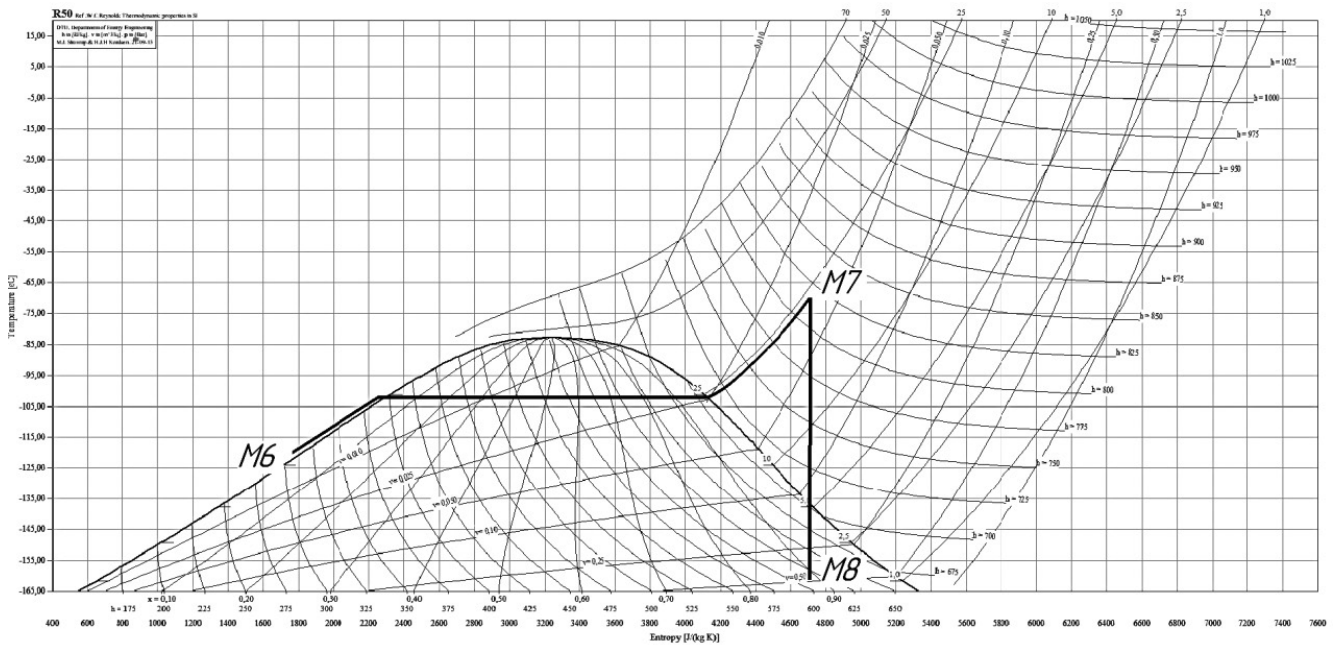


Рис. 4. Термодинамический цикл паросиловой установки (рабочее тело — метан)  
 Fig. 4. Thermodynamic cycle of steam power plant (working fluid — methane)

Таблица 3  
 Термодинамические параметры выхлопного газа  
 ( $G = 13,67 \text{ кг/с}$ )  
 Table 3  
 Thermodynamic parameters of combustion gas  
 ( $G = 13.67 \text{ kg/s}$ )

№ точки	$p$ , бар	$t$ , °C
49	1,1	323
50	1,1	314,47
51	1,1	314,19
52	1,1	313,91
53	1,1	305,57
54	1,1	-23,7

Благодаря тому, что выхлопные газы (49-53), отводящиеся из ГПУ, остужались во время процесса многоступенчатого расширения (M9'-M12) и в теплообменнике (ТО-13) цикла Стирлинга, то их отвод из установки, из-за низкой температуры, становится безопаснее для окружающей среды.

Одним из веществ, получаемым в воздухоразделительной установке, является жидкий аргон. Данное рабочее тело можно как поставлять потребителю, так и использовать по аналогии с регазифицированным метаном для выработки дополнительной энергии в энергетической установке [6, 7]. На рис. 6 представлена схема комбинированной вспомогательной энергетической установки

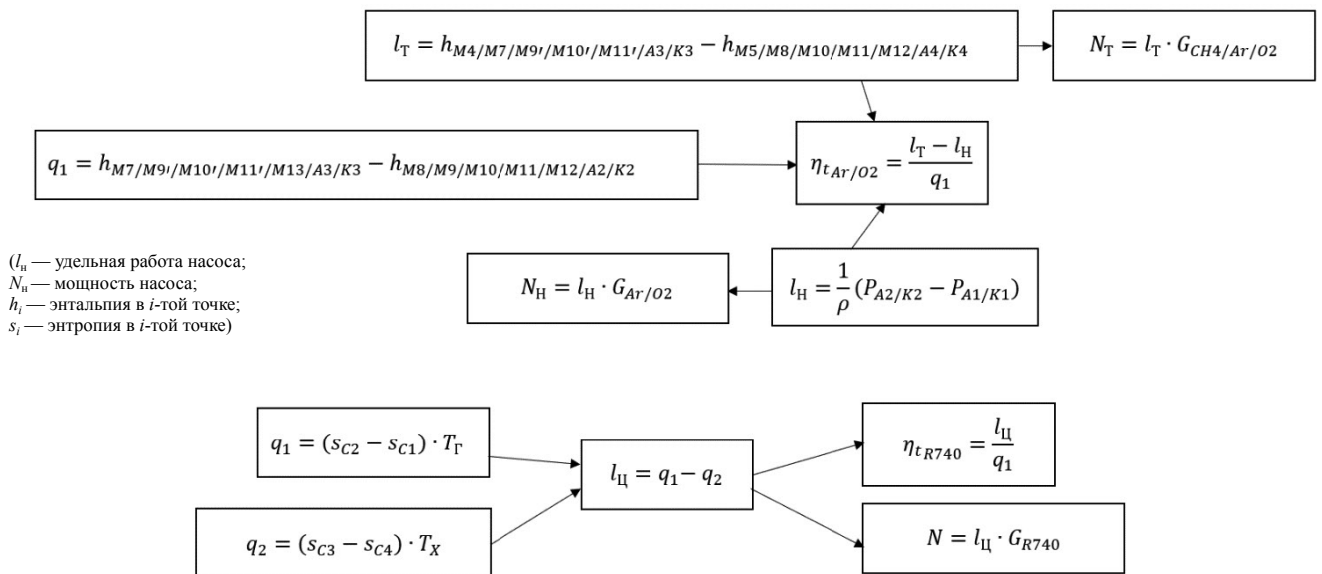


Рис. 5. Алгоритм определения параметров вспомогательных контуров энергетического комплекса  
 Fig. 5. Algorithm of calculating parameters for auxiliary circuits of energy complex

Таблица 4

Результаты расчетных исследований параметров идеального цикла Ренкина (рабочее тело — метан)

Table 4

Results of calculated analysis for the paraments of an ideal Rankin cycle (working fluid — methane)

	Количество подведенной теплоты $q_1$ , кДж/кг	Количество отведенной теплоты $q_2$ , кДж/кг	Удельная работа турбины $l_T$ , кДж/кг	Удельная работа цикла $l_{Ц}$ , кДж/кг	Расход рабочего тела $G$ , кг/с	Мощность турбины $N_T$ , кВт	Мощность цикла $N$ , кВт	Термический КПД $\eta_t$
Метан М4-М5	—	—	683,1	—	38,42	26248	—	—
Метан М6-М8	509,4	—	142,32	—	38,04	5413,8	—	0,28
Метан М9-М13	1084	—	328,63	—	0,38	126,28	—	0,3
Хладагент R740	505,5	173,7	—	331,8	25,9	—	8594,3	0,66

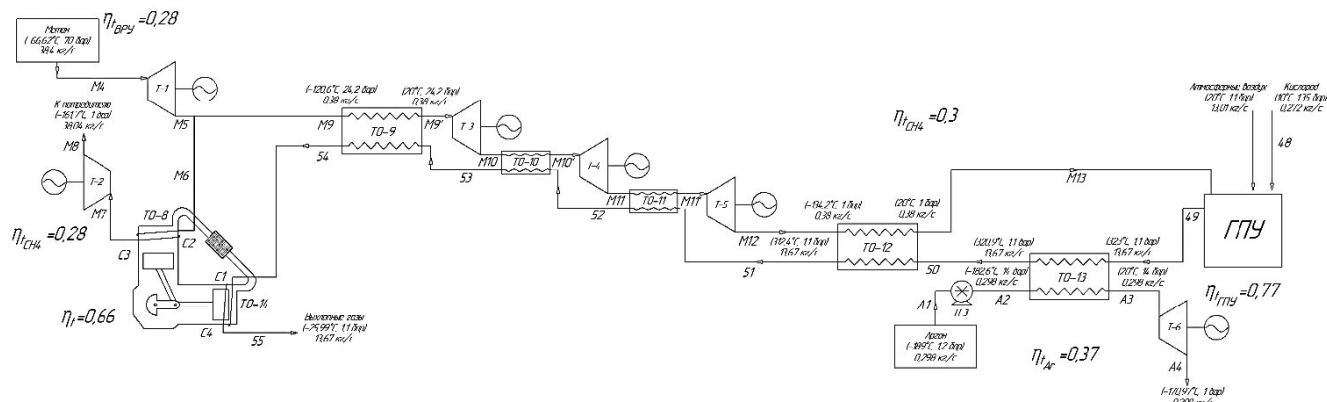


Рис. 6. Схема вспомогательной энергетической установки, работающей по циклу Ренкина и по циклу Стирлинга (рабочее тело — аргон, метан и хладагент R740)

Fig. 6. Auxiliary power plant operating on Rankine and Stirling cycles (working fluids — argon, methane, and R740 cooling medium)

Таблица 5

Термодинамические параметры выхлопного газа ( $G = 13,67$  кг/с)

Table 5

Thermodynamic parameters of combustion gas ( $G = 13.67$  kg/s)

№ точки	$p$ , бар	$t$ , °C
49	1,1	323
50	1,1	320,89
51	1,1	312,36
52	1,1	312,08
53	1,1	311,79
54	1,1	303,45
55	1,1	-25,99

с применением аргона, метана и хладагента R740 в качестве рабочих тел.

С помощью  $T-S$  диаграммы рабочих веществ (рис. 2, 3, 4, 7), справочных данных [4, 5] и алгоритма (рис. 5) было проведено расчетное исследование вспомога-

Таблица 6

Термодинамические параметры рабочего тела — аргон ( $G = 0,298$  кг/с)

Table 6

Thermodynamic parameters of working fluid — argon ( $G = 0.298$  kg/s)

№ точки	$p$ , бар	$t$ , °C
A1	1,2	-189
A2	14	-182,6
A3	14	20
A4	1	-170,97

ного контура энергетического комплекса, работающего по циклу Ренкина и циклу Стирлинга, результаты которого представлены в табл. 7. Термодинамические параметры, полученные в результате расчета, представлены в табл. 5 и 6.

Принцип работы представленной силовой установки аналогичен первой, за исключением дополнительного

Таблица 7

Результаты расчетных исследований параметров идеального цикла Ренкина (рабочее тело — аргон)

Table 7

Results of calculated analysis for the paraments of an ideal Rankin cycle (working fluid — argon)

Кол-во подведенной теплоты $q_1$ , кДж/кг	Удельная работа турбины $l_T$ , кДж/кг	Удельная работа насоса $l_N$ , кДж/кг	Расход рабочего тела $G$ , кг/с	Мощность турбины $N_T$ , кВт	Мощность насоса $N_N$ , кВт	Термический КПД $\eta_t$
269,6	99,37	0,009	0,298	29,61	0,003	0,37

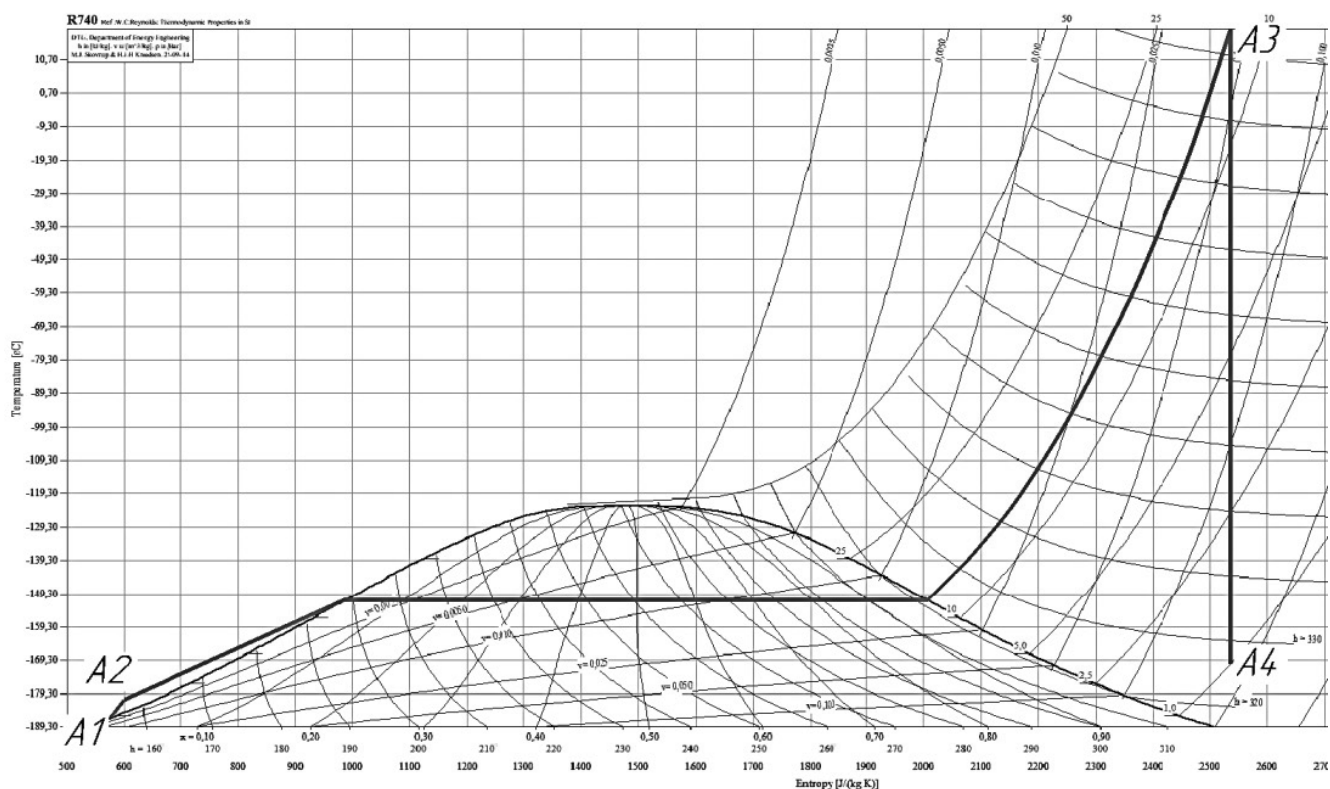


Рис. 7. Термодинамический цикл паросиловой установки (рабочее тело — аргон)

Рис. 7. Thermodynamic cycle of steam power plant (working fluid — argon)

цикла Ренкина (A1-A4), который работает на аргоне. Данное рабочее тело было получено из ВРУ.

Кроме аргона в ВРУ получают кислород, который по аналогии с аргонem тоже можно использовать для выработки дополнительной энергии, а также подавать в качестве добавки к топливно-воздушной смеси в газопоршневой установке [8], тем самым изменяя состав атмосферного воздуха, который поступает вместе с топливом в ГПУ, часть кислорода отправляется потребителю. На рис. 8 представлена схема комбинированной вспомогательной энергетической установки с применением кислорода, аргона, метана и хладагента R740 в ка-

честве рабочих тел. С помощью T-S диаграммы рабочих веществ (рис. 2, 3, 4, 7, 9), справочных данных [4, 5] и алгоритма (рис. 5) было проведено расчетное исследование энергетических параметров вспомогательного контура, работающего по открытому циклу Ренкина, результаты которого представлены в табл. 10. Термодинамические параметры, полученные в результате расчета, представлены в табл. 8 и 9.

Принцип работы представленной силовой установки аналогичен второй, только кислород, полученный из ВРУ (28), не напрямую поступает в ГПУ, а через дополнительный контур, который работает по циклу Рен-

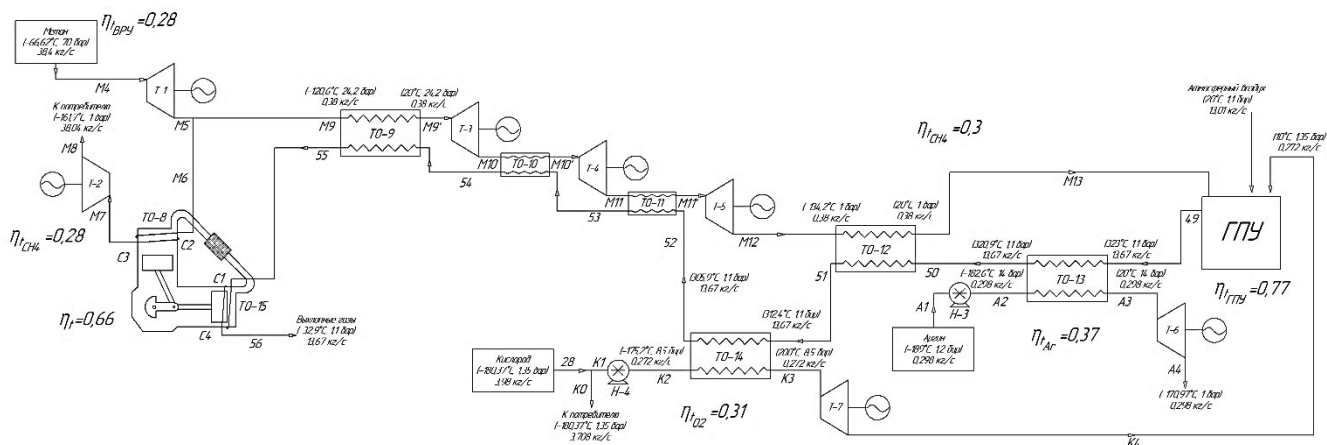


Рис. 8. Схема вспомогательной энергетической установки, работающей по открытому циклу Ренкина и по циклу Стирлинга (рабочее тело — кислород, аргон, метан и хладагент R740)

Fig. 8. Auxiliary power plant operating on open Rankine cycle and Stirling cycle (working fluids — oxygen, argon, methane, and R740 cooling medium)

Таблица 8  
Термодинамические параметры выхлопного газа  
( $G = 13,67$  кг/с)

Table 8  
Thermodynamic parameters of combustion gas  
( $G = 13.67$  kg/s)

№ точки	$p$ , бар	$t$ , °C
49	1,1	323
50	1,1	320,89
51	1,1	312,36
52	1,1	305,95
53	1,1	305,66
54	1,1	305,37
55	1,1	297,02
56	1,1	-32,94

Таблица 9  
Термодинамические параметры рабочего тела — кислород  
( $G = 0,272$  кг/с)

Table 9  
Thermodynamic parameters of working fluid — oxygen  
( $G = 0.272$  kg/s)

№ точки	$p$ , бар	$t$ , °C
K1	1,35	-180,37
K2	8,5	-175,2
K3	8,5	200
K4	1,35	10

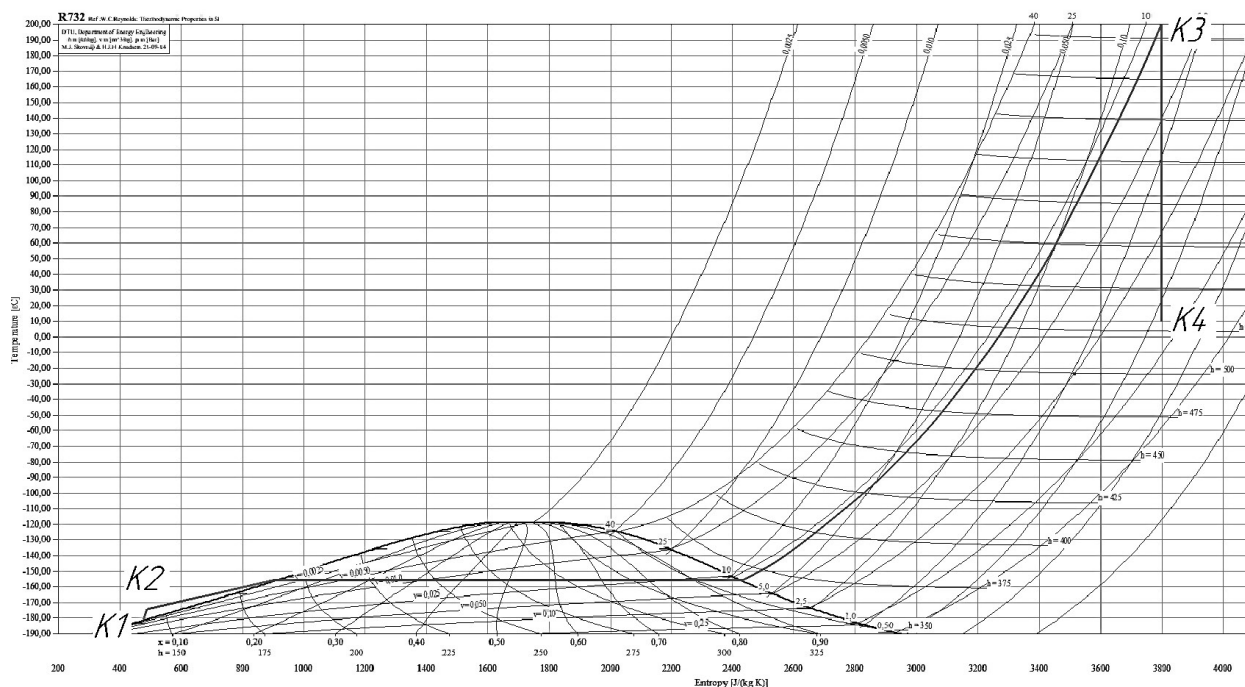


Рис. 9. Термодинамический цикл паросиловой установки (рабочее тело — кислород)  
Fig. 9. Thermodynamic cycle of steam power plant (working fluid — oxygen)

Таблица 10  
Результаты расчетных исследований параметров идеального цикла Ренкина (рабочее тело — кислород)

Table 10  
Results of calculated analysis for the parameters of an ideal Rankin cycle (working fluid — oxygen)

Кол-во подведенной теплоты $q_1$ , кДж/кг	Удельная работа турбины $l_T$ , кДж/кг	Удельная работа насоса $l_H$ , кДж/кг	Расход рабочего тела $G$ , кг/с	Мощность турбины $N_T$ , кВт	Мощность насоса $N_H$ , кВт	Термический КПД $\eta_t$
562,76	177,23	0,006	0,272	48,21	0,002	0,31

кина (K1-K4), благодаря чему можно получить дополнительную мощность и работу.

**Расчет показателя влияния теплообменных аппаратов на температуры рабочих тел**

Так как основным источником подвода теплоты в предыдущих циклах является теплообменники (ТО–8, ТО–9, ТО–10, ТО–11, ТО–12, ТО–13, ТО–14, ТО–15), в которых осуществляется нагрев криопродукта за счет теплоты выхлопных газов, выходящих из ГПУ. Для оцен-

ки эффективности нагрева и испарения криопродукта вводится коэффициент, отражающий отношение теплового потока к разнице температур и являющийся показателем влияния теплообменных аппаратов на температуры рабочих тел (рис. 10) [9, 10, 11]. Здесь:  $Q$  — теплота, сообщенная криопродукту;  $dT$  — разница температур;  $kF$  — абсолютный коэффициент, показывающий влияние теплообменных аппаратов на температуры рабочих тел;  $kF_{уд}$  — удельный коэффициент, показывающий влияние теплообменных аппаратов на температуры рабочих тел.

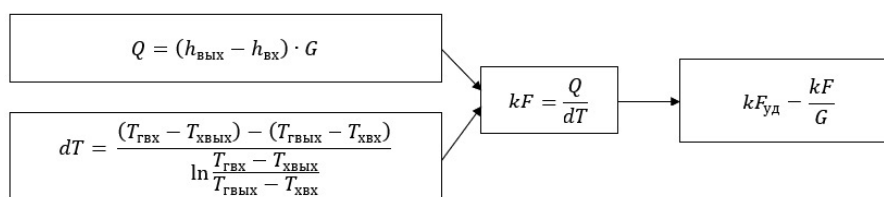


Рис. 10. Алгоритм расчета показателя влияния теплообменных аппаратов на температуры рабочих тел  
Fig. 10. Algorithm of calculating indicator of heat-exchange apparatus' influence on the temperatures of working fluids

Таблица 11

**Результаты расчета абсолютного и удельного показателя влияния теплообменных аппаратов на температуры рабочих тел (рабочее тело — метан и хладагент R740)**

Table 11

**Results of calculating absolute and relative indicators of heat-exchange apparatus' influence on the temperatures of working fluids (working fluids — methane and R740 cooling medium)**

№ теплообменного аппарата	ТО-8	ТО-9	ТО-10	ТО-11	ТО-12	ТО-13	Сумма
$kF$ , кВт/К	131,14	0,79	0,01	0,01	0,34	198,02	330,31
$kF_{уд}$ , кДж/(К·кг)	3,41	0,02	0,0003	0,0003	0,0089	5,15	8,60

Таблица 12

**Результаты расчета абсолютного и удельного показателя влияния теплообменных аппаратов на температуры рабочих тел (рабочее тело — аргон, метан и хладагент R740)**

Table 12

**Results of calculating absolute and relative indicators of heat-exchange apparatus' influence on the temperatures of working fluids (working fluids — argon, methane, and R740 cooling medium)**

№ теплообменного аппарата	ТО-8	ТО-9	ТО-10	ТО-11	ТО-12	ТО-13	ТО-14	Сумма
$kF$ , кВт/К	131,14	0,79	0,01	0,01	0,34	0,2	220,41	352,91
$kF_{уд}$ , кДж/(К·кг)	3,41	0,021	0,0003	0,0003	0,0089	0,005	5,74	9,18

Таблица 13

**Результаты расчета абсолютного и удельного показателя влияния теплообменных аппаратов на температуры рабочих тел (рабочее тело — кислород, аргон, метан и хладагент R740)**

Table 13

**Results of calculating absolute and relative indicators of heat-exchange apparatus' influence on the temperatures of working fluids (working fluids — oxygen, argon, methane, and R740 cooling medium)**

№ теплообменного аппарата	ТО-8	ТО-9	ТО-10	ТО-11	ТО-12	ТО-13	ТО-14	ТО-15	Сумма
$kF$ , кВт/К	131,14	0,81	0,01	0,01	0,34	0,2	0,6	378,48	511,61
$kF_{уд}$ , кДж/(К·кг)	3,41	0,021	0,0003	0,0003	0,0089	0,005	0,016	9,85	13,31

Результаты расчета данного коэффициента представлены в табл. 11, 12, 13.

### Заключение

На основании полученных данных в ходе проводимого исследования, можно определить общую удельную

работу, мощность и термический КПД всех установок. Результаты расчета сведены в табл. 14.

Таким образом, в работе была рассмотрена возможность применения полученных веществ в ВРУ (жидкий кислород и аргон) в качестве рабочих тел в дополнительных паросиловых установках, работающих по циклу Ренкина.

Таблица 14

**Результаты расчета суммарных значений установок**

Table 14

**Results of calculating integral parameters of the plants**

Рабочие тела	$N$ , МВт	$l$ , МДж/кг	$\eta$
метан и хладагент R740	32,75	1,64	0,341
аргон, метан и хладагент R740	32,78	1,73	0,342
кислород, аргон, метан и хладагент R740	32,82	1,91	0,340



Таблица 15

Сводные данные значений коэффициента, показывающий влияние теплообменных аппаратов на температуры рабочих тел

Table 15

Total values for the indicator of heat-exchange apparatus' influence on the temperatures of working fluids

Рабочие тела	$kF$ , кВт/К	$kF_{\text{уд}}$ , кДж/(К·кг)
метан и хладагент R740	330,31	8,6
аргон, метан и хладагент R740	352,91	9,2
кислород, аргон, метан и хладагент R740	511,61	13,3

Также был посчитан коэффициент, показывающий влияние теплообменных аппаратов на температуры рабочих тел. Сводная таблица данных коэффициента установок расположена ниже (табл. 15).

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что при одинаковых уровнях мощности, удельная работа и термический КПД установок отличаются незначительно. Однако анализ результатов абсолютных и удельных коэффициентов, показывающих

влияние теплообменных аппаратов на температуры рабочих тел, показывает, что энергетическая установка, в которой в качестве рабочих тел используются метан и хладагент R740, более компактная и дешевая.

Результаты работы получены с использованием оборудования центра коллективного пользования «Межкафедральный учебно-производственный научный центр САМ-технологий» при финансовой поддержке Минобрнауки России (проект № FSSS-2020-0019).

## Литература

- Uglanov Dmitry, Manakova Olga, Tremkina Olga, Sarmin Dmitry. LNG power complex integrated with air separation unit and low-temperature power plant // 2021 3rd International Conference on Electrical Engineering and Control Technologies (CEECT). 2021. Pp. 187–190. doi 10.1109/CEECT53198.2021.9672328
- Miyazaki T., Kang Y. T., Akisawa A., Kashiwagi T. A combined power cycle using refuse incineration and LNG cold energy. // *Energy*. 2000;25 (7):639–655.
- Борисов Д. Е., Воротынцева К. Е., Довгылло А. И., Угланов Д. А. Определение оптимальных параметров энергетического комплекса для получения энергии из криопродукта // *Насосы. Турбины. Системы*. 2019. № 3 (32). С. 66–78.
- Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей, М.: Наука, 1972. 720 с.
- Richard T. Jacobsen, Steven G. Penoncello, Eric W. Lemmon. Thermodynamic properties of Cryogenic Fluids. The international cryogenic monograph series, 1997. 323 p.
- Ebrahimi A., Ziabasharhagh M. Optimal design and integration of a cryogenic Air Separation Unit (ASU) with Liquefied Natural Gas (LNG) as heat sink, thermodynamic and economic analyses. // *Energy*. 2017;126:868–85.
- Карнаух В. В., Крылова А. Д., Лопатин А. Л., Мироненкова А. С., Трёмкина О. В., Угланов Д. А. Расчет и подбор оптимальной схемы гибридной криогенной энергетической установки, работающей на жидком водороде // *Вестник Международной академии холода*. 2020. № 2. С. 9–18.
- Wu F., Argyle M. D., Dellenback P. A., Fan M. Progress in O<sub>2</sub> separation for oxy-fuel combustion — A promising way for cost-effective CO<sub>2</sub> capture: a review. // *Prog. Energy Combust. Sci.* 2018. 67, 188–205.
- Бирюк В. В., Лукачев С. В., Угланов Д. А., Цыбизов Ю. И. Газ в моторах: монография. Самара: Издательство Самарского университета, 2021. 296 с.
- Манакова О. А., Угланов Д. А., Благин Е. В., Паншин Р. А., Трёмкина О. В. Оценка влияния различных факторов на эффективность работы низкотемпературных энергетических

## References

- Uglanov Dmitry, Manakova Olga, Tremkina Olga, Sarmin Dmitry. LNG power complex integrated with air separation unit and low-temperature power plant. 2021 3rd International Conference on Electrical Engineering and Control Technologies (CEECT). 2021. Pp. 187–190. doi 10.1109/CEECT53198.2021.9672328
- Miyazaki T, Kang YT, Akisawa A, Kashiwagi T. A combined power cycle using refuse incineration and LNG cold energy. *Energy*. 2000;25 (7):639–655.
- Borisov D. E., Vorotyntseva K. E., Dovgyallo A. I., Uglanov D. A. Determination of the optimal parameters of the energy complex for obtaining energy from a cryo-product. *Pumps. Turbines. Systems*. 2019. No. 3 (32). Pp. 66–78. (in Russian)
- Vargaftik N. B. Handbook on the thermophysical properties of gases and liquids. Moscow: Nauka, 1972. 720 p. (in Russian)
- Richard T. Jacobsen, Steven G. Penoncello, Eric W. Lemmon. Thermodynamic properties of Cryogenic Fluids. *The international cryogenic monograph series*. 1997. 323 p.
- Ebrahimi A., Ziabasharhagh M. Optimal design and integration of a cryogenic Air Separation Unit (ASU) with Liquefied Natural Gas (LNG) as heat sink, thermodynamic and economic analyses. *Energy*. 2017;126:868–85.
- Karnaukh V. V., Krylova A. D., Lopatin A. L., Mironenkova A. S., Tremkina O. V., Uglanov D. A. Calculation and selection of the optimal scheme of a hybrid cryogenic power plant running on liquid hydrogen. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2020. No 2. P. 9–18. (in Russian)
- Wu F., Argyle M. D., Dellenback P. A., Fan M. Progress in O<sub>2</sub> separation for oxy-fuel combustion — A promising way for cost-effective CO<sub>2</sub> capture: a review. *Prog. Energy Combust. Sci.* 2018. 67, 188–205.
- Biryuk V. V., Lukachev S. V., Uglanov D. A., Tsybizov Yu. I. Gas in motors: monograph. Samara: Samara University Publishing House, 2021. 296 p. (in Russian)
- Manakova O. A., Uglanov D. A., Blagin E. V., Panshin R. A., Tremkina O. V. Assessment of the influence of various factors

ческих установок // Международная научно-техническая конференция «Проблемы и перспективы развития двигателестроения», посвященная 110-летию со дня рождения генерального конструктора Н. Д. Кузнецова. 2021. Т. 2. С. 212–213.

11. Бармин И. В., Кунис И. Д. Сжиженный природный газ вчера, сегодня, завтра. / под ред. А. М. Архарова. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. 256 с.

on the efficiency of low-temperature power plants. International scientific and technical conference «Problems and prospects for the development of engine building», dedicated to the 110th anniversary of the birth of General Designer N. D. Kuznetsova. 2021. Vol. 2. Pp. 212–213. (in Russian)

11. Barmin I. V., Kunis I. D. Liquefied natural gas yesterday, today, tomorrow: edited by A. M. Arkharov. Moscow. MSTU. N. E. Bauman, 2009. 256 p. (in Russian)

### Сведения об авторах

#### Угланов Дмитрий Александрович

К. т. н, доцент 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

#### Тремкина Ольга Витальевна

Аспирант 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

#### Манаква Ольга А.

Магистрант кафедры теплотехники и тепловых двигателей Самарского национального исследовательского университета им. академика С. П. Королева, 443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34, olya.angel14@mail.ru

#### Шиманова Александра Борисовна

Научный сотрудник НОЦ ГДИ-209 Самарского национального исследовательского университета имени академика С. П. Королева, 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34, a\_tsapkova@mail.ru

### Information about authors

#### Uglanov Dmitry A.

Ph. D., Associate Professor of the Department of heat engineering and thermal engines of the Samara National Research University, 34, Moskovskoye shosse, Russia, 443086, Samara, dmitry.uglanov@mail.ru

#### Tremkina Olga V.

Post-graduate student of the Department of heat engineering and thermal engines of the Samara National Research University, 34, Moskovskoye shosse, Samara, 443086, Russia, t.olga.vit@bk.ru

#### Manakova Olga A.

Under-graduate student of the Department of heat engineering and thermal engines of the Samara National Research University, 34, Moskovskoye shosse, Samara, 443086, Russia olya.angel14@mail.ru

#### Shimanova Aleksandra B.

Research Associate of Department of Aircraft Engine Theory, Samara National Research University, Russia, 443086, Samara, Moskovskoe shosse, 34, a\_tsapkova@mail.ru



Статья доступна по лицензии  
Creative Commons «Attribution-NonCommercial»



## 27-я международная выставка «Оборудование, технологии, сырье и ингредиенты для пищевой и перерабатывающей промышленности» 10-14 октября 2022 г.

«Агропродмаш» – международная выставка оборудования, машин и ингредиентов для пищевой и перерабатывающей промышленности – на протяжении двух десятилетий демонстрирует лучшие мировые достижения, способствуя внедрению новых современных технологий российскими предприятиями пищевой и перерабатывающей промышленности.

#### Организатор выставки:

ЦВК «Экспоцентр», 123100, Россия, Москва, Краснопресненская набережная, 14

Телефон: +7 (499) 795-37-23

Факс: +7 (495) 609-41-68

E-mail: voronin@expocentr.ru

Web: <https://www.agroprod-mash-expo.ru/>

