

---

**УДК 621.316**

О.А. МАНАКОВА, студент гр. 2124 (Самарский университет)  
О.В. ТРЕМКИНА, аспирант кафедры теплотехники и тепловых  
двигателей (Самарский университет)  
Научный руководитель Д.А. УГЛАНОВ, к.т.н., доцент (Самарский  
университет)  
г. Самара

**РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НА СПГ,  
ИНТЕГРИРОВАННОГО С ВОЗДУХОРАЗДЕЛИТЕЛЬНОЙ  
УСТАНОВКОЙ И НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫМИ СИЛОВЫМИ  
УСТАНОВКАМИ**

Согласно современным требованиям экологии перед инженерами и учеными стоят задачи о нахождении способ уменьшения выбросов парниковых газов в атмосферу, состоящих из оксидов азота и углерода ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ). Так как кислород является окислителем в реакции горения метана, в данной работе предлагается идея изменения топливно-воздушной смеси с целью сохранения мощности при уменьшении выбросов вредных веществ. Идея заключается в том, что в составе воздушной смеси процент кислорода выше номинального. Исходя из того, что при сжигании более богатой кислородом смеси удельная теплота, подведенная к циклу, будет выше, следовательно, вырабатываемая мощность установки возрастет. Также при добавлении кислорода при общем расходе воздуха процентная доля азота будет сокращена, следовательно, после процесса горения доля вредных веществ ( $\text{NO}_x$ ) будет ниже, чем в случае изначальной топливно-воздушной смеси. В случае сохранения нового расхода, который получится в следствии дополнительного добавления кислорода, мощность установки возрастет.

Дополнительный кислород технологически выделяется из воздухоразделительной установки (рис.1) [1], также выделяется аргон, который тоже можно задействовать в установке. Таким образом получено 3 схемы вспомогательной энергетической установки (рис. 2,3,4).

Кроме того, сжиженный природный газ (М1-М4) регазифицируясь в воздухоразделительной установке (рис.1), попадает во вспомогательную энергетическую установку (рис.2,3,4), где с помощью этапа многоступенчатого расширения появилась возможность получить дополнительную мощность [2].

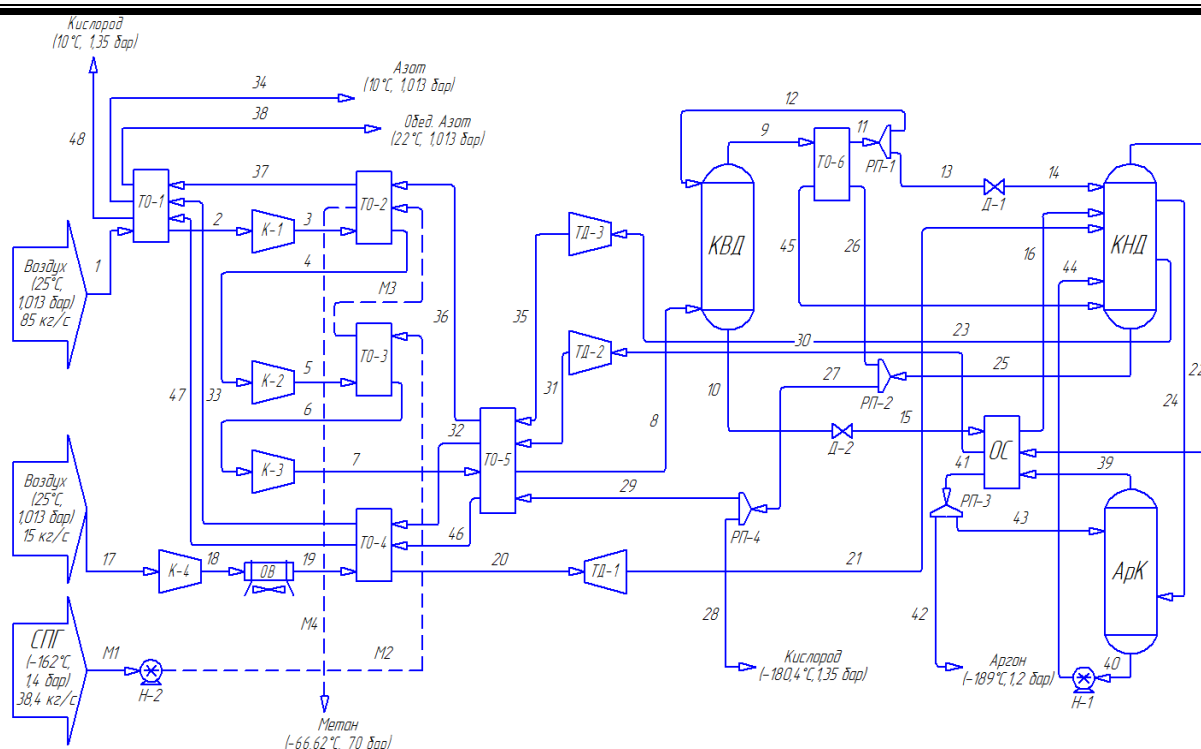


Рисунок 1 – Принципиальная схема воздухоразделительной установки  
КВД – колонна высокого давления; КНД – колонна низкого давления;  
АрК – аргонная колонная; ОВ – охладитель воздуха; ОС – охлаждаемая  
среда; ТО – теплообменник; ТД – турбодетандер; Д – дроссель; К –  
компрессор; Н – насос; РП – разделение потоков.

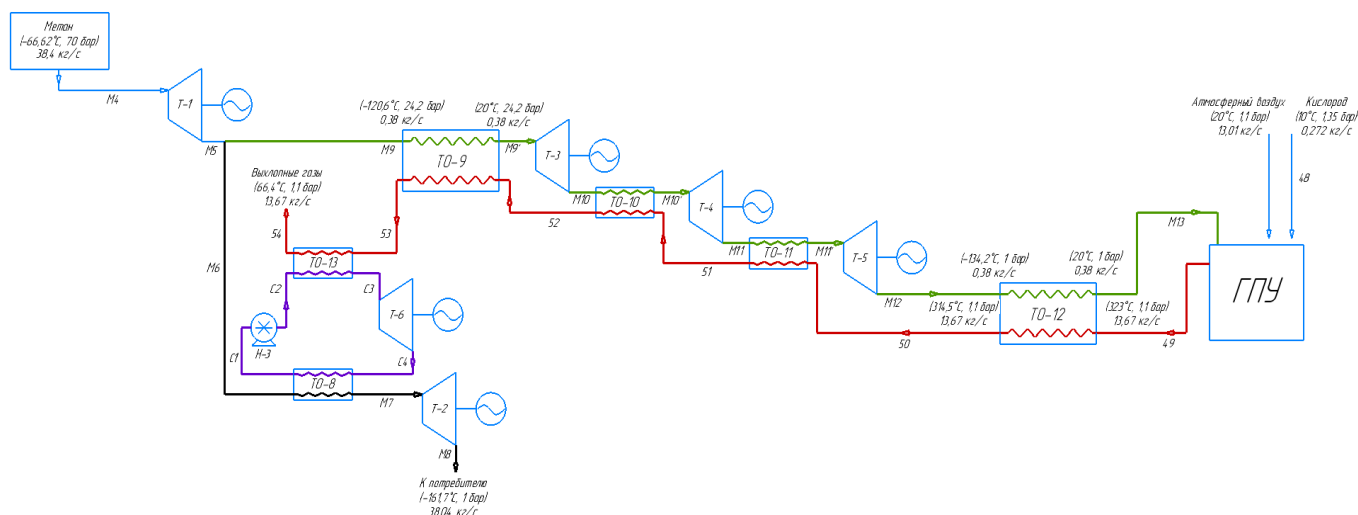


Рисунок 1 – Схема вспомогательной энергетической установки,  
работающая по открытому и закрытому циклу Ренкина (рабочее тело –  
метан и R22)

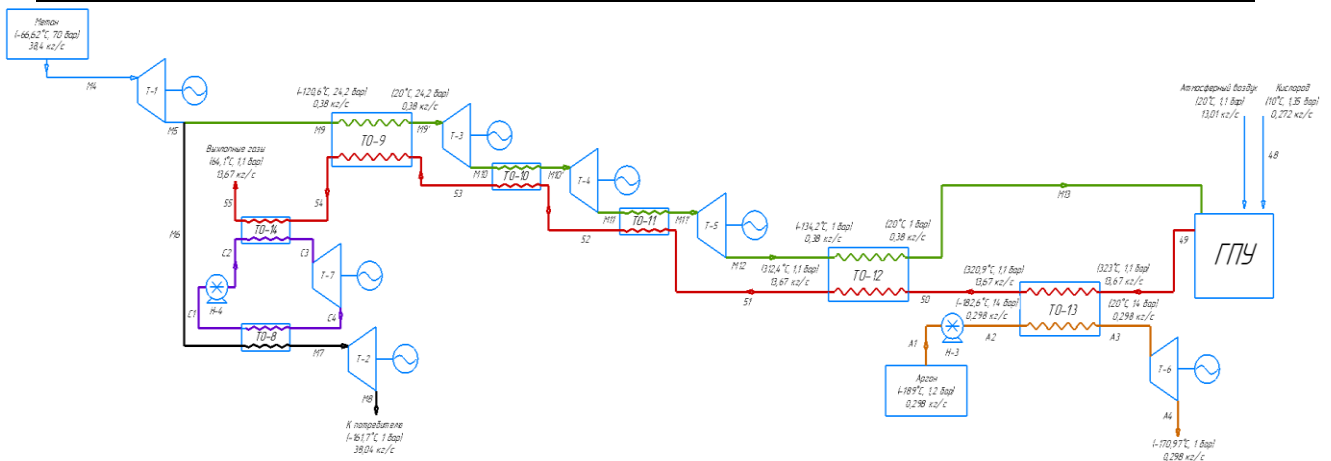


Рисунок 2 – Схема вспомогательной энергетической установки, работающая по открытому и закрытому циклу Ренкина (рабочее тело – аргон, метан и R22)

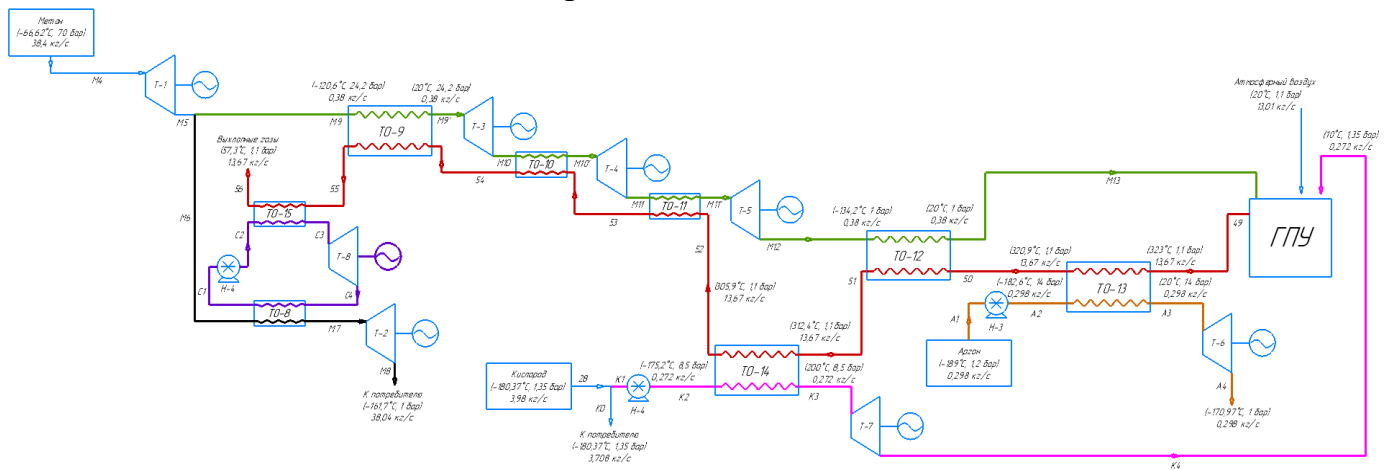


Рисунок 3 – Схема вспомогательной энергетической установки, работающая по открытому и закрытому циклу Ренкина (рабочее тело – кислород, аргон, метан и R22)

### Вывод:

На основании полученных данных можно получить общую работу, мощность и термический КПД всех установок. Результаты расчета сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты расчета суммарных значений установок

Рабочие тела	N, МВт	l, МДж/кг	$\eta_t$
метан и R22	47,74	2,05	0,81
аргон, метан и R22	47,76	2,15	0,88
кислород, аргон, метан и R22	47,78	2,33	0,92

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 открытому циклу Ренкина.

Также был посчитан коэффициент, показывающий влияние теплообменных аппаратов на температуры рабочих тел [3]. Сводная таблица данных коэффициента установок расположена ниже (таблица 2).

Таблица 2 – Сводные данные значений коэффициента, показывающий влияние теплообменных аппаратов на температуры рабочих тел

Рабочие тела	$kF, \frac{\text{кДж}}{\text{К}}$	$kF_{\text{уд}}, \frac{\text{кДж}}{\text{К} \cdot \text{кг}}$
метан и R22	384,98	9,36
аргон, метан и R22	389,83	10,1
кислород, аргон, метан и R22	406,25	12,49

#### Список литературы:

1. Mehdi Mehrpooya, Behrooz Golestani, S.M Ali Mousavian. Novel cryogenic argon recovery from the air separation unit integrated with LNG regasification and CO2 transcritical power cycle. Sustainable Energy Technologies and Assessments 40 (2020) 100767.
2. Борисов Д.Е., Воротынцева К.Е., Довгялло А.И., Угланов Д.А. Определение оптимальных параметров энергетического комплекса для получения энергии из криопродукта // Насосы. Турбины. Системы. — 2019. — № 3 (32). — С. 66-78.
3. В.В. Бирюк, С.В. Лукачев, Д.А. Угланов, Ю.И. Цыбизов Газ в моторах монография/ В.В. Бирюк, С.В. Лукачев, Д.А. Угланов [и др.]. – Самара: Издательство Самарского университета, 2021. – 296 с.: ил.

#### Информация об авторах:

Манакова Ольга Александровна, студент гр. 2124, Самарский университет, 443086, г. Самара, Московское шоссе, д. 34, [olya\\_angell4@mail.ru](mailto:olya_angell4@mail.ru)

Тремкина Ольга Витальевна, аспирант кафедры теплотехники и тепловых двигателей, Самарский университет, 443086, г. Самара, Московское шоссе, д. 34, [t.olga.vit@bk.ru](mailto:t.olga.vit@bk.ru)

Угланов Дмитрий Александрович, к.т.н., доцент, Самарский университет, 443086, г. Самара, Московское шоссе, д. 34, [dmitry.uglanov@mail.ru](mailto:dmitry.uglanov@mail.ru)