Обоснование

экономической и экологической целесообразности замены клапана - регулятора Mokveld RZD-RМX2 8”, ANSI-900 на клапан регулирующий РК-200-16 производства ООО «Регул» в технологической линии отбора газа.

**ВАЖНО!** Настоящий документ содержит основные соображения по заявленной теме и создан на основании ограниченных данных, предоставленных ООО “Газпром ПХГ”. Данные предоставлены на условиях использования только с согласия полномочных представителей ООО “Газпром ПХГ”

##

##

##

##

##

##

##

## г. Москва 2025

Введение

Настоящее «Обоснование» рассматривает два варианта определения экономических характеристик. Первое – статистика и оценка её на основание проведенной и завершенной опытно-промышленной эксплуатации изделия на объекте подземного хранения газа. Второе – исследование функционирования двух типов регулирующей арматуры на основании известных методов компьютерного моделирования и расчетов по характеристикам, подтвержденным эксплуатирующими организациями и не противоречащими заявленными производителями.

Исходя из вышесказанного «Обоснование» состоит из двух самостоятельных частей, каждая из которых даёт вывод согласно описанной методики.

## **Часть 1**

## Описание проблемы.

Подземное хранилище газа (далее - ПХГ) работает в двух основных режимах: закачки и отбора газа.

В процессе закачки, течение газа обеспечивается за счет перепада давления создаваемого газотурбинным агрегатом над давлением пласта, в который закачивается газ.

В процессе отбора, течение газа обеспечивается за счет превышения давления пласта, в котором храниться газ над давлением в магистральном газопроводе, в который осуществляется отбор.

Проблема заключается в снижении производительности ПХГ с 9,2 до 4,6 млн. нм3/сут при давлении в магистральном газопроводе 75 кгс/см2, по мере снижения остатка газа в пласте и, соответственно, падении пластового давления.

Решение проблемы.

Сокращение потерь давления в узлах технологической цепи.

Самый большой источник потерь, который можно заменить с минимальными затратами - регулятор, стоящий на выходе участка подготовки газа.

**ВАЖНО! Приведенные ниже замеры потерь давления на участках технологической цепи сделаны в конце отбора газа при полностью открытом регуляторе.**



Замена регулятора Mokveld RZD-RМX2 8”, ANSI-900 на клапан регулирующий РК-200-16 производства ООО «Регул» позволит сократить потери давления в технологической цепи с 43,3 до 24,1, за счет чего поднять давление выходе ПХГ с 66,91 до 83,11 кгс/см2. Это обусловлено пропускными характеристиками оборудования.



## Ожидаемый экономический эффект от внедрения.

Экономический эффект возникает за счет сокращения с 18% до 2% потерь полезной работы газоперекачивающих аппаратов (далее - ГПА) возникающих в результате падения давления на полностью открытом регуляторе.

Производительность ПХГ зависит от перепада давлений между пластом и магистральным газопроводом.

Максимальная производительность ПХГ достигается при перепаде давления не менее 43,3 кгс/см2 с регуляторм Mokveld RZD-RМX2 8” и не менее 24,1 кгс/см2 с регулятором РК-200-16.

По мере отбора газа давление пласта падает с 127 кгс/см2 до 94 кгс/см2 и в месте с ним производительность ПХГ.

В целях поддержания производительности на максимальном уровне, ПХГ вынуждено переключатся на магистральные газопроводы с меньшим давлением, теряя при этом энергию сообщенную пласту газоперекачивающими агрегатами (далее - ГПА) в период закачки. см. Таблицу 1

**Таблица 1: Период отбора в магистральные газопроводы и потери давления.**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Давление в магистральном газопроводе | Производи-тельность ПХГ | Потеря давления относительно максимального | Период отбора с Mokveld | Период отбора с РК-200-16 |
| кгс/см2 | млн.м2 / сут | кгс/см2 | суток | суток |
| 75 | 9,2 | 0 | 25 | 73 |
| 70 | 9,2 | 5 | 11 | 34 |
| 60 | 9,2 | 15 | 11 |  |
| 55 | 9,2 | 20 | 26 |  |
| 55 | 8,6 | 20 | 34 |  |
|  |  |  | 107 | 107 |

Период времени работы ГПА вычисляется для каждого типа регулятора, в зависимости от объема газа, отобранного в каждую магистраль с соответствующей потерей давления, см. Таблица 2., детальный расчет см. Таблица 4 и 5

$Σ $TN = K х Vо, где:

TN - время работы ГПА при закачке в магистральный газопровод N;

K - процент использования ГПА по давлению, относительно максимального 54 кгс/см2;

Vо - удельный объем газа, закачанного за период, от общего объема закачанного газа, 500 млн. м3

**Таблица 2: Время работы ГПА в зависимости от типа регулятора в % от общего времени всего периода закачки газа (100%).**

|  |  |
| --- | --- |
| Тип регулятора | работа ГПА |
| Mokveld RZD-RМX2 8” | 23,8% |
| РК-200-16 | 2,4% |

Оценка избыточной работы ГПА в денежном выражении осуществлялась перемножением затрат на эксплуатацию ГПА на процент потерянной работы. Затраты на эксплуатацию ГПА вычислялись на основании информации о удельной стоимости владения ГПА, мощности, времени работы за период закачки.

Затраты на эксплуатацию ГПА = УСВ х М х В = 109 695 099 руб/год, где

УСВ - удельная стоимость владения в ценах 2008 года = 618 руб/МВтч, умноженная на процент инфляции с 2008 по 2023 = 216%;

М - мощность ГПА = 32 Мвт;

T - время работы за период закачки газа 107 суток х 24 часа = 2568 часов / год.

**Таблица 3: Стоимость потерянной работы ГПА в зависимости от типа регулятора**

|  |  |
| --- | --- |
| Тип регулятора | Стоимость работы ГПАруб/год |
| Mokveld RZD-RМX2 8” | **26 089 151** |
| РК-200-16 | **2 652 996** |

##

## Ожидаемый экологический эффект от внедрения.

Оценка объема выбросов ГПА осуществлялась путем перемножения данных о выбросах компрессорной станции в составе 2х агрегатов на время фактической работы.

**Таблица 4: Объемы выбросов загрязняющих веществ во время потерянной работы ГПА в зависимости от типа регулятора**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Наименование загрязняющего вещества** | Ед.изм | **Mokveld RZD-RМX2 8”** |  **РК-200-16** |
| Азота диоксид (Азот (IV) оксид) | тн/год | 2,635 | 0,268 |
| Азот (II) оксид (Азота оксид) | тн/год | 1,571 | 0,160 |
| Углерод оксид | тн/год | 2,468 | 0,251 |
| ИТОГО |  | **6,674** | **0,679** |

##

## Выводы:

1.В результате замены регулятора Mokveld RZD-КМЧ 2 8” на РК-200-16 ПХГ получит возможность рационально использовать энергию пласта, отдавая газ в магистрали с давлением 75 и 70 кгс/см2, чем сократит на **21,3%** как затраты на его дальнейшее компримирование так и выбросы загрязняющих веществ.

2.Фактическое стоимость работы ГПА сократится на **23 436 155 руб/год** с 26 089 151 руб/год до **2 652 996** руб/год.

3.Избыточные выбросы загрязняющих веществ сократятся на **5,995 тн/год** с 6,674 тн/год до **0,679** тн/год.

4.Соотношение расходов как **1 к 9,8** говорит о том, что замена данного оборудования за 1й сезон эксплуатации не только полностью окупается, но и начинает приносить ощутимый экономический эффект.

**Таблица 5: Расчет процента потерянной работы ГПА с регулятором Mokveld RZD-RМX2 8”**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Интервал времени | Рмг = 55 | Рмг = 60 | Рмг = 70 | Рмг = 75 | Пластовое давление | Давление МГ | Перепад давления Пласт - МГ | Запас давления с Mokveld (кгс/см2) | Отбор за интервал | Отбор нарастающим итогом | Потери с регулятором Mokveld (кгс/см2) | Процент использования ГПА по давлению(кгс/см2) | Процентот объема закачанного газа | ИТОГОпроцент работы ГПА |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Пд | Уо | ПрN |
|  | сут | кгс/см2 | кгс/см2 | кгс/см2 | кгс/см2 | кгс/см2 | кгс/см2 | кгс/см2 | 40,4 | млн. м3 | млн. м3 |  | 54 |  |  |
| Декабрь | 10 | 9,2 | 9,2 | 9,2 | 9,2 | 121,7 | 75 | 46,7 | 6,4 | 48 | 48 | 0 | 0% | 9,60% | 0,0% |
|  | 15 | 9,2 | 9,2 | 9,2 | 9,2 | 115,0 | 75 | 40,0 | -0,4 | 72 | 120 | 0 | 0% | 14,40% | 0,0% |
|  | 6 | 9,2 | 9,2 | 9,2 | 8,8 | 112,9 | 70 | 42,9 | 2,6 | 29 | 149 | 5 | 9% | 5,76% | 0,5% |
| Январь | 5 | 9,2 | 9,2 | 9,2 |  | 110,5 | 70 | 40,5 | 0,1 | 29 | 178 | 5 | 9% | 5,76% | 0,5% |
|  | 11 | 9,2 | 9,2 | 8,5 |  | 105,9 | 60 | 45,9 | 5,6 | 63 | 241 | 15 | 28% | 12,66% | 3,5% |
|  | 11 | 9,2 | 8,9 |  |  | 101,5 | 55 | 46,5 | 6,2 | 63 | 304 | 20 | 37% | 12,66% | 4,7% |
|  | 4 | 9,1 |  |  |  | 100,3 | 55 | 45,3 | 5,0 | 23 | 327 | 20 | 37% | 4,60% | 1,7% |
| Февраль | 11 | 9,0 |  |  |  | 98,8 | 55 | 43,8 | 3,5 | 42 | 369 | 20 | 37% | 8,46% | 3,1% |
|  | 9 | 8,8 |  |  |  | 97,6 | 55 | 42,6 | 2,2 | 35 | 404 | 20 | 37% | 6,92% | 2,6% |
|  | 8 | 8,7 |  |  |  | 96,7 | 55 | 41,7 | 1,4 | 31 | 435 | 20 | 37% | 6,14% | 2,3% |
| Март | 10 | 8,6 |  |  |  | 95,5 | 55 | 40,5 | 0,1 | 38 | 473 | 20 | 37% | 7,68% | 2,8% |
|  | 7 | 8,5 |  |  |  | 94,6 | 55 | 39,6 | -0,8 | 27 | 500 | 20 | 37% | 5,38% | 2,0% |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 500 |  |  |  |  | **23,8%** |

**Таблица 6: Расчет процента потерянной работы ГПА с регулятором РК-200-16**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Интервал времени | Рмг = 55 | Рмг = 60 | Рмг = 70 | Рмг = 75 | Пластовое давление | Давление МГ | Перепад давления Пласт - МГ | Запас давления с РК-200-16 (кгс/см2) | Отбор за интервал | Отбор нарастающим итогом | Потери с регулятором РК-200-16 (кгс/см2) | Процент использования ГПА по давлению(кгс/см2) | Процентот объема закачанного газа | ИТОГОпроцент работы ГПА |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Пд | Уо | ПрN |
|  | сут | кгс/см2 | кгс/см2 | кгс/см2 | кгс/см2 | кгс/см2 | кгс/см2 | кгс/см2 | 24,1 | млн. м3 | млн. м3 |  | 54 |  |  |
| Декабрь | 10 | 9,2 | 9,2 | 9,2 | 9,2 | 121,7 | 75 | 46,7 | 22,6 | 48 | 48 | 0 | 0% | 9,60% | 0,0% |
|  | 15 | 9,2 | 9,2 | 9,2 | 9,2 | 115,0 | 75 | 40,0 | 15,9 | 72 | 120 | 0 | 0% | 14,40% | 0,0% |
|  | 6 | 9,2 | 9,2 | 9,2 | 9,2 | 112,9 | 75 | 37,9 | 13,8 | 29 | 149 | 0 | 0% | 5,76% | 0,0% |
| Январь | 5 | 9,2 | 9,2 | 9,2 | 9,2 | 110,5 | 75 | 35,5 | 11,4 | 29 | 178 | 0 | 0% | 5,76% | 0,0% |
|  | 11 | 9,2 | 9,2 | 9,2 | 9,2 | 105,9 | 75 | 30,9 | 6,8 | 63 | 241 | 0 | 0% | 12,66% | 0,0% |
|  | 11 | 9,2 | 9,2 | 9,2 | 9,2 | 101,5 | 75 | 26,5 | 2,4 | 63 | 304 | 0 | 0% | 12,66% | 0,0% |
|  | 4 | 9,2 | 9,2 | 9,2 | 9,2 | 100,3 | 75 | 25,3 | 1,2 | 23 | 327 | 0 | 0% | 4,60% | 0,0% |
| Февраль | 11 | 9,2 | 9,2 | 9,2 | 9,2 | 98,8 | 75 | 23,8 | -0,3 | 42 | 369 | 0 | 0% | 8,46% | 0,0% |
|  | 9 | 9,2 | 9,2 | 9,2 |  | 97,6 | 70 | 27,6 | 3,5 | 35 | 404 | 5 | 9% | 6,92% | 0,6% |
|  | 8 | 9,2 | 9,2 | 9,2 |  | 96,7 | 70 | 26,7 | 2,6 | 31 | 435 | 5 | 9% | 6,14% | 0,6% |
| Март | 10 | 9,2 | 9,2 | 9,2 |  | 95,5 | 70 | 25,5 | 1,4 | 38 | 473 | 5 | 9% | 7,68% | 0,7% |
|  | 7 | 9,2 | 9,2 | 9,2 |  | 94,6 | 70 | 24,6 | 0,5 | 27 | 500 | 5 | 9% | 5,38% | 0,5% |
| **ИТОГО** |  |  |  |  |  |  |  |  |  | **500** |  |  |  |  | **2,4%** |

**Часть 2.**

# Подход к оценке затрат энергии газа на преодоление сопротивления регулятора

В соответствии с уравнением неразрывности потока, массовый расход газа через любое сечение трубопровода будет одинаков и равен

G = F х С / Vm = const

где

G - Массовый расход газа (кг/с)

F - площадь сечения (м2)

С - скорость (м/с)

Vm - удельный объем газа (м3/кг)

Для того чтобы переместить газ в трубопроводе необходимо совершить работу, равную работе условного поршня, перемещающего 1 кг газа за 1 с через входное сечение трубопровода, равную

Авх = Рвх х Fвх х Lвх = Pвх х Vвх

где

Рвх - давление на входе (Па)

Fвх - площадь сечения (м2)

Lвх - расстояние, на которое перемещен газ (м)

Vвх - объем (м3)

В соответствии с уравнением неразрывности, с другого конца трубопровода, за 1 с будет вытеснен 1 кг газа, который совершит работу, вычисляемую по такой же логике и равную

Aвых = Pвых х Vвых

Сравнивая Авх и Авых можно оценить работу “проталкивания” 1 кг газа через трубопровод.

Апрот = Авх - Авых = Pвх х Vвх - Pвых х Vвых

учитывая что объем 1 кг газа будет обратно пропорционален его плотности

V 1кг газа = 1/р = Vm

где

р - плотность газа (кг/м3)

формула расчета работы “проталкивания” примет окончательный вид

Апрот = Pвх х Vm\_вх - Pвых х Vm\_вых

Вывод:

Поскольку движение газа через регулятор идет без подвода и отвода тепла, а также без совершения механической работы, потери энергии газа на регуляторе можно оценить через изменение его кинетической энергии и работу проталкивания.

В приведённых ниже расчетах показаны разные режимы загрузки регуляторов и дана оценка стоимости затрат за потерянную энергию.

Из анализа данных о стоимости излишне затраченной энергии следует то же соотношение эффективности оборудования, что и в Части 1**. Рациональность использования Регулятора «Регул» к Регулятору «Моквелд» 9,8 к 1.**

# Список литературы

1. Теплофикационные паровые турбины и турбоустановки. А.Д.Трухний, Б.В.Ломакин
2. Основы теории тепловых процессов и машин. Н.Е.Александров, А.И.Богданов, К.И.Костин и др.
3. Показатели изоэнтропы реального газа: особенности их применения в термогазодинамике В. А. Истомин
4. Термодинамические свойства метана. В.В.Сычев, А.А.Вассерман и др.

**Таблица 7: расход газа через регулятора 2 500 000 м3/сут; открытие 20%; постоянное давления на выходе 7 Мпа**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|   |   | Регулятор Mokveld RZD-RMX2 8" ANSI 900 RTJ |   | Регулятор Регул РРП-200-16 |
| Процент раскрытия  |   | **20%** |  | **20%** |
|   | ед.изм | Вход | Выход | Изм. абс | Изм % |   | Вход | Выход | Изм абс | Изм % |
| Вход 19,33кг Выход 7МПа  |   | Вход 19,33кг Выход 7МПа  |
| **Результаты инженерного анализа** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Расход газа | кг/с | 19,33 | 19,33 | 0,00 |   |   | 19,33 | 19,33 | 0,00 |   |
| Давление, p | МПа | 12,48 | 7,00 | -5,479 |   |   | 7,08 | 7,00 | -0,084 |   |
| Температура | К | 278,20 | 268,65 | -9,552 |   |   | 278,20 | 277,82 | -0,379 |   |
| Скорость | м/с | 8,56 | 10,85 | 2,283 |   |   | 10,61 | 10,65 | 0,040 |   |
| Среднерасходная плотность | кг/м3 | 80,18 | 62,33 | -17,849 |   |   | 59,25 | 58,58 | -0,669 |   |
| Удельный объем, Vm | м3/кг | 0,01 | 0,02 | 0,004 |   |   | 0,02 | 0,02 | 0,000 |   |
| Полная энтальпия в неподвижной системе координат  | Дж/кг | 270 355,32 | 270 365,28 | 9,965 |   |   | 297 564,00 | 297 573,68 | 9,680 |   |
| Поток полной энтальпии в неподвижной системе координат [W] | Вт | 5 225 968,24 | 5 226 162,94 | 194,705 |   |   | 5 751 912,14 | 5 752 099,46 | 187,321 |   |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| **Справочные данные** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Плотность Метана  | кг/м3 | 0,67 |   |   |   |   | 0,67 |   |   |   |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| **Изменение баланса энергии** |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Удельная кинетическая энергия | Дж/кг | 36,66 | 58,82 | 22,16 |   |   | 56,26 | 56,68 | 0,42 |   |
| Удельная работа проталкивания, p х Vm | Дж/кг | 155 643,99 | 112 310,25 | -43 333,74 | **-27,84%** |   | 119 555,09 | 119 486,77 | -68,32 | **-0,06%** |
| ИТОГО Изменение баланса энергии |   |   |   | -43 311,58 |   |   |   |   | -67,90 |   |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| **Экономические показатели** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Расход газа | нм3/сут | 2 499 419 |   |   |   |   | 2 499 419 |   |   |   |
|   | кг/сут | 1 670 112 |   |   |   |   | 1 670 112 |   |   |   |
| Потеря энергии | Дж | -72 335 195 127 |   |   |   |   | -113 400 102 |   |   |   |
|   | кВт/ч | -20 093,11 |   |   |   |   | -31,50 |   |   |   |
| Цена энергии | руб/кВт/ч | 4 |   |   |   |   | 4 |   |   |   |
| **Стоимость потерянной энергии** | **руб/сут** | **-80 372** |  |  |  |  | **-126** |  |  |  |

**Таблица 8: : расход газа через регулятора 2 000 000 м3/сут; открытие 20%; постоянное давления на выходе 7 МПа**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|   |   | Регулятор Mokveld RZD-RMX2 8" ANSI 900 RTJ |   | Регулятор Регул РРП-200-16 |
| Процент раскрытия  |   | **20%** |  | **20%** |
|   | ед.изм | Вход | Выход | Изм. абс | Изм % |   | Вход | Выход | Изм абс | Изм % |
| Вход 15,47 кг (2млн/сут) Выход 7МПа |   | Вход 15,47 кг (2млн/сут) Выход 7МПа |
| **Результаты инженерного анализа** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Расход газа | кг/с | 15,47 | 15,47 | 0,00 |   |   | 15,47 | 15,47 | 0,00 |   |
| Давление, p | МПа | 10,48 | 7,00 | -3,482 |   |   | 7,05 | 7,00 | -0,050 |   |
| Температура | К | 80,18 | 62,32 | -17,852 |   |   | 58,92 | 58,53 | -0,391 |   |
| Скорость | м/с | 6,85 | 8,68 | 1,829 |   |   | 8,53 | 8,52 | -0,007 |   |
| Среднерасходная плотность | кг/м3 | 278,20 | 268,65 | -9,546 |   |   | 278,20 | 277,82 | -0,379 |   |
| Удельный объем, Vm | м3/кг | 0,01 | 0,02 | 0,004 |   |   | 0,02 | 0,02 | 0,000 |   |
| Полная энтальпия в неподвижной системе координат  | Дж/кг | 270 341,80 | 270 362,44 | 20,633 |   |   | 297 995,69 | 297 949,36 | -46,329 |   |
| Поток полной энтальпии в неподвижной системе координат [W] | Вт | 4 182 187,72 | 4 182 505,63 | 317,911 |   |   | 4 609 993,33 | 4 609 276,59 | -716,732 |   |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| **Справочные данные** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Плотность Метана  | кг/м3 | 0,67 |   |   |   |   | 0,67 |   |   |   |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| **Изменение баланса энергии** |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Удельная кинетическая энергия | Дж/кг | 23,45 | 37,65 | 14,20 |   |   | 36,39 | 36,33 | -0,06 |   |
| Удельная работа проталкивания, p х Vm | Дж/кг | 130 732,14 | 112 315,29 | -18 416,85 | **-14,09%** |   | 119 644,12 | 119 591,04 | -53,08 | **-0,04%** |
| ИТОГО Изменение баланса энергии |   |   |   | -18 402,65 |   |   |   |   | -53,14 |   |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| **Экономические показатели** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Расход газа | нм3/сут | 2 000 311 |   |   |   |   | 2 000 311 |   |   |   |
|   | кг/сут | 1 336 608 |   |   |   |   | 1 336 608 |   |   |   |
| Потеря энергии | Дж | -24 597 133 197 |   |   |   |   | -71 030 188 |   |   |   |
|   | кВт/ч | -6 832,54 |   |   |   |   | -19,73 |   |   |   |
| Цена энергии | руб/кВт/ч | 4 |   |   |   |   | 4 |   |   |   |
| **Стоимость потерянной энергии** | **руб/сут** | **-27 330** |  |  |  |  | **-79** |  |  |  |

**Таблица 9: расход газа через регулятора 5 000 000 м3/сут; открытие 50%; постоянное давления на выходе 7 МПа**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|   |   | Регулятор Mokveld RZD-RMX2 8" ANSI 900 RTJ |   | Регулятор Регул РРП-200-16 |
| Процент раскрытия  |   | **50%** |  | **50%** |
|   | ед.изм | Вход | Выход | Изм. абс | Изм % |   | Вход | Выход | Изм абс | Изм % |
| Вход 38,67 кг (5 млн/сут) Выход 7МПа  |   | Вход 38,67 кг (5 млн/сут) Выход 7МПа  |
| **Результаты инженерного анализа** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Расход газа | кг/с | 38,67 | 38,67 | 0,00 |   |   | 38,67 | 38,67 | 0,00 |   |
| Давление, p | МПа | 10,89 | 7,00 | -3,885 |   |   | 7,03 | 7,00 | -0,026 |   |
| Температура | К | 80,18 | 62,34 | -17,839 |   |   | 58,70 | 58,49 | -0,208 |   |
| Скорость | м/с | 17,17 | 21,69 | 4,517 |   |   | 21,48 | 21,25 | -0,231 |   |
| Среднерасходная плотность | кг/м3 | 278,20 | 268,62 | -9,576 |   |   | 278,20 | 278,08 | -0,121 |   |
| Удельный объем, Vm | м3/кг | 0,01 | 0,02 | 0,004 |   |   | 0,02 | 0,02 | 0,000 |   |
| Полная энтальпия в неподвижной системе координат  | Дж/кг | 270 468,78 | 270 472,68 | 3,903 |   |   | 298 505,57 | 299 343,18 | 837,605 |   |
| Поток полной энтальпии в неподвижной системе координат [W] | Вт | 10 459 027,55 | 10 459 188,56 | 161,010 |   |   | 11 543 210,05 | 11 543 044,69 | -165,360 |   |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| **Справочные данные** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Плотность Метана  | кг/м3 | 0,67 |   |   |   |   | 0,67 |   |   |   |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| **Изменение баланса энергии** |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Удельная кинетическая энергия | Дж/кг | 147,46 | 235,22 | 87,77 |   |   | 230,61 | 225,68 | -4,93 |   |
| Удельная работа проталкивания, p х Vm | Дж/кг | 135 764,53 | 112 291,02 | -23 473,51 | **-17,29%** |   | 119 707,31 | 119 684,15 | -23,16 | **-0,02%** |
| ИТОГО Изменение баланса энергии |   |   |   | -23 385,74 |   |   |   |   | -28,09 |   |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| **Экономические показатели** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Расход газа | нм3/сут | 5 000 132 |   |   |   |   | 5 000 132 |   |   |   |
|   | кг/сут | 3 341 088 |   |   |   |   | 3 341 088 |   |   |   |
| Потеря энергии | Дж | -78 133 828 793 |   |   |   |   | -93 859 105 |   |   |   |
|   | кВт/ч | -21 703,84 |   |   |   |   | -26,07 |   |   |   |
| Цена энергии | руб/кВт/ч | 4 |   |   |   |   | 4 |   |   |   |
| **Стоимость потерянной энергии** | **руб/сут** | **-86 815** |  |  |  |  | **-104** |  |  |  |

**Таблица 10: расход газа через регулятора 3 000 000 м3/сут; открытие 50%; постоянное давления на выходе 7 МПа**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|   |   | Регулятор Mokveld RZD-RMX2 8" ANSI 900 RTJ |   | Регулятор Регул РРП-200-16 |
| Процент раскрытия  |   | **50%** |  | **50%** |
|   | ед.изм | Вход | Выход | Изм. абс | Изм % |   | Вход | Выход | Изм абс | Изм % |
| Вход 23,20 кг Выход 7МПа  |   | Вход 23,20 кг Выход 7МПа  |
| **Результаты инженерного анализа** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Расход газа | кг/с | 23,20 | 23,20 | 0,00 |   |   | 23,20 | 23,20 | 0,00 |   |
| Давление, p | МПа | 8,56 | 7,00 | -1,560 |   |   | 7,01 | 7,00 | -0,010 |   |
| Температура | К | 278,20 | 271,32 | -6,882 |   |   | 278,20 | 278,16 | -0,044 |   |
| Скорость | м/с | 11,18 | 13,27 | 2,089 |   |   | 12,90 | 12,74 | -0,156 |   |
| Среднерасходная плотность | кг/м3 | 73,77 | 62,22 | -11,550 |   |   | 58,53 | 58,46 | -0,076 |   |
| Удельный объем, Vm | м3/кг | 0,01 | 0,02 | 0,003 |   |   | 0,02 | 0,02 | 0,000 |   |
| Полная энтальпия в неподвижной системе координат  | Дж/кг | 278 414,06 | 278 405,95 | -8,106 |   |   | 298 575,88 | 298 574,37 | -1,511 |   |
| Поток полной энтальпии в неподвижной системе координат [W] | Вт | 6 459 206,11 | 6 459 019,58 | -186,527 |   |   | 6 926 960,31 | 6 926 925,67 | -34,635 |   |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| **Справочные данные** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Плотность Метана  | кг/м3 | 0,67 |   |   |   |   | 0,67 |   |   |   |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| **Изменение баланса энергии** |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Удельная кинетическая энергия | Дж/кг | 62,47 | 88,00 | 25,54 |   |   | 83,15 | 81,15 | -2,00 |   |
| Удельная работа проталкивания, p х Vm | Дж/кг | 116 030,05 | 112 501,77 | -3 528,28 | **-3,04%** |   | 119 751,74 | 119 742,90 | -8,84 | **-0,01%** |
| ИТОГО Изменение баланса энергии |   |   |   | -3 502,74 |   |   |   |   | -10,84 |   |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| **Экономические показатели** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Расход газа | нм3/сут | 2 999 820 |   |   |   |   | 2 999 820 |   |   |   |
|   | кг/сут | 2 004 480 |   |   |   |   | 2 004 480 |   |   |   |
| Потеря энергии | Дж | -7 021 181 344 |   |   |   |   | -21 727 129 |   |   |   |
|   | кВт/ч | -1 950,33 |   |   |   |   | -6,04 |   |   |   |
| Цена энергии | руб/кВт/ч | 4 |   |   |   |   | 4 |   |   |   |
| **Стоимость потерянной энергии** | **руб/сут** | **-7 801** |  |  |  |  | **-24** |  |  |  |

**Таблица 11: расход газа через регулятора 9 000 000 м3/сут; открытие 100%; постоянное давления на выходе 7 МПа**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|   |   | Регулятор Mokveld RZD-RMX2 8" ANSI 900 RTJ |   | Регулятор Регул РРП-200-16 |
| Процент раскрытия  |   | **100%** |  | **100%** |
|   | ед.изм | Вход | Выход | Изм. абс | Изм % |   | Вход | Выход | Изм абс | Изм % |
| Вход 69,6 кг (9 млн/сут) Выход 7МПа  |   | Вход 69,6 кг (9 млн/сут) Выход 7МПа  |
| **Результаты инженерного анализа** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Расход газа | кг/с | 69,60 | 69,60 | 0,00 |   |   | 69,60 | 69,60 | 0,00 |   |
| Давление, p | МПа | 10,66 | 7,00 | -3,663 |   |   | 7,00 | 7,00 | -0,003 |   |
| Температура | К | 80,18 | 62,37 | -17,810 |   |   | 58,47 | 58,45 | -0,023 |   |
| Скорость | м/с | 30,98 | 39,03 | 8,049 |   |   | 38,90 | 38,54 | -0,366 |   |
| Среднерасходная плотность | кг/м3 | 278,20 | 268,56 | -9,641 |   |   | 278,20 | 278,19 | -0,012 |   |
| Удельный объем, Vm | м3/кг | 0,01 | 0,02 | 0,004 |   |   | 0,02 | 0,02 | 0,000 |   |
| Полная энтальпия в неподвижной системе координат  | Дж/кг | 270 810,07 | 270 810,73 | 0,654 |   |   | 299 355,88 | 299 343,18 | -12,702 |   |
| Поток полной энтальпии в неподвижной системе координат [W] | Вт | 18 848 380,86 | 18 848 420,97 | 40,110 |   |   | 20 835 167,84 | 20 834 282,40 | -885,440 |   |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| **Справочные данные** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Плотность Метана  | кг/м3 | 0,67 |   |   |   |   | 0,67 |   |   |   |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| **Изменение баланса энергии** |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Удельная кинетическая энергия | Дж/кг | 480,00 | 761,79 | 281,78 |   |   | 756,74 | 742,58 | -14,15 |   |
| Удельная работа проталкивания, p х Vm | Дж/кг | 132 995,46 | 112 239,13 | -20 756,32 | **-15,61%** |   | 119 769,25 | 119 767,15 | -2,10 | **0,00%** |
| ИТОГО Изменение баланса энергии |   |   |   | -20 474,54 |   |   |   |   | -16,26 |   |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| **Экономические показатели** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Расход газа | нм3/сут | 8 999 461 |   |   |   |   | 8 999 461 |   |   |   |
|   | кг/сут | 6 013 440 |   |   |   |   | 6 013 440 |   |   |   |
| Потеря энергии | Дж | -123 122 432 675 |   |   |   |   | -97 748 949 |   |   |   |
|   | кВт/ч | -34 200,68 |   |   |   |   | -27,15 |   |   |   |
| Цена энергии | руб/кВт/ч | 4 |   |   |   |   | 4 |   |   |   |
| **Стоимость потерянной энергии** | **руб/сут** | **-136 803** |  |  |  |  | **-109** |  |  |  |

**Таблица 11: расход газа через регулятора 4 000 000 м3/сут; открытие 100%; постоянное давления на выходе 7 МПа**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|   |   | Регулятор Mokveld RZD-RMX2 8" ANSI 900 RTJ |   | Регулятор Регул РРП-200-16 |
| Процент раскрытия  |   | **100%** |  | **100%** |
|   | ед.изм | Вход | Выход | Изм. абс | Изм % |   | Вход | Выход | Изм абс | Изм % |
| Вход 30,94 кг Выход 7МПа  |   | Вход 30,94 кг Выход 7МПа  |
| **Результаты инженерного анализа** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Расход газа | кг/с | 30,94 | 30,94 | 0,00 |   |   | 30,94 | 30,94 | 0,00 |   |
| Давление, p | МПа | 9,26 | 7,00 | -2,263 |   |   | 7,00 | 7,00 | -0,001 |   |
| Температура | К | 278,20 | 268,64 | -9,559 |   |   | 278,20 | 278,20 | -0,003 |   |
| Скорость | м/с | 13,73 | 17,27 | 3,543 |   |   | 17,24 | 17,11 | -0,131 |   |
| Среднерасходная плотность | кг/м3 | 80,18 | 62,33 | -17,846 |   |   | 58,45 | 58,44 | -0,006 |   |
| Удельный объем, Vm | м3/кг | 0,01 | 0,02 | 0,004 |   |   | 0,02 | 0,02 | 0,000 |   |
| Полная энтальпия в неподвижной системе координат  | Дж/кг | 270 414,25 | 270 436,80 | 22,546 |   |   | 298 760,25 | 298 760,26 | 0,008 |   |
| Поток полной энтальпии в неподвижной системе координат [W] | Вт | 8 366 616,93 | 8 367 287,37 | 670,434 |   |   | 9 243 642,02 | 9 243 641,85 | -0,169 |   |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| **Справочные данные** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Плотность Метана  | кг/м3 | 0,67 |   |   |   |   | 0,67 |   |   |   |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| **Изменение баланса энергии** |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Удельная кинетическая энергия | Дж/кг | 94,24 | 149,16 | 54,92 |   |   | 148,60 | 146,36 | -2,25 |   |
| Удельная работа проталкивания, p х Vm | Дж/кг | 115 532,99 | 112 305,05 | -3 227,94 | **-2,79%** |   | 119 774,60 | 119 774,50 | -0,10 | **0,00%** |
| ИТОГО Изменение баланса энергии |   |   |   | -3 173,02 |   |   |   |   | -2,35 |   |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| **Экономические показатели** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Расход газа | нм3/сут | 4 000 623 |   |   |   |   | 4 000 623 |   |   |   |
|   | кг/сут | 2 673 216 |   |   |   |   | 2 673 216 |   |   |   |
| Потеря энергии | Дж | -8 482 162 625 |   |   |   |   | -6 271 326 |   |   |   |
|   | кВт/ч | -2 356,16 |   |   |   |   | -1,74 |   |   |   |
| Цена энергии | руб/кВт/ч | 4 |   |   |   |   | 4 |   |   |   |
| **Стоимость потерянной энергии** | **руб/сут** | **-9 425** |  |  |  |  | **-7** |  |  |  |