

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ «НПО «ПОИСК»

Отчёт о проведенном эксперименте

«Газификация метана в Криогенной
Системе Обеспечения Газом

КСОГ – 1»

1 Термины и определения

«КСОГ» - криогенная система обеспечения газом РУГИ.10.014.000.00 СБ.

«Тёплая заправка» - заливка жидкого метана в КСОГ, газификатор которой имеет температуру окружающей среды.

«Холодная заправка» - называть вторую и последующие заливки жидкого метана, при которых газификатор КСОГ имеет температуру ниже температуры окружающей среды.

«Захолаживание» - процесс охлаждения КСОГ жидким азотом (метаном) до температуры, при которой возможно накопление массы жидкого азота/метана в баллоне-газификаторе.

«Баллон накопления» - баллон, в котором накапливается исключительно газообразный продукт.

«Баллон газификации (газификатор)» - баллон, содержащий в себе сварную ёмкость (стакан) из тонкостенной аустенитной стали для приема и испарения жидкой фазы.

«Жидкий метан» - по ГОСТ Р 56021-2014 «Газ горючий природный сжиженный. Топливо для двигателей внутреннего сгорания и энергетических установок. Технические условия» марок А, Б или В.

«Жидкий азот» - по ГОСТ 9293-74 «Азот газообразный и жидкий. Технические условия», азот жидкий технический.

2 Описание установки

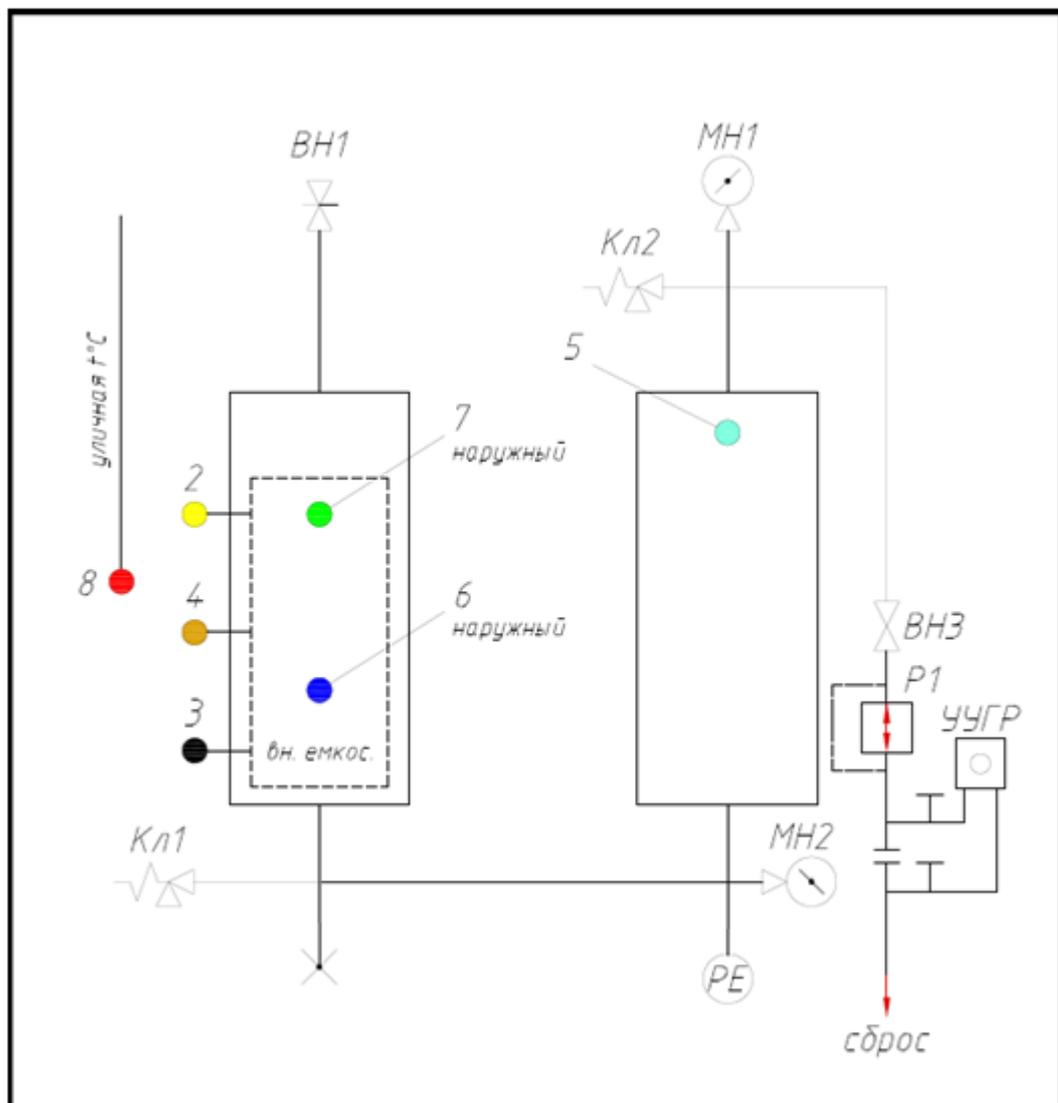


Рисунок 1. Расположение и порядок соединения элементов КСОГ

Таблица 1

Спецификация		
№	Аббревиатура	Расшифровка
1	ВН1	Вентиль заправки Т114
2	2-8	Термопары
3	КЛ1, КЛ2	Стравливающие клапаны
4	МН1, МН2	Стрелочные манометры
5	РЕ	Аналоговый датчик давления
6	ВН3	Вентиль сброса ВМА2000
7	Р1	Редуктор БКО-50-12.5
8	УУГР	Газовый счётчик типа «Владимир»

Таблица 2

Характеристики установки		
№	Параметр	Значение
1	Суммарная вместимость КСОГ	4.5 литра
2	Вместимость баллона накопления	2 литра
3	Масса порожнего КСОГ	18.370 кг
4	Габаритные размеры, мм	400x500x600
5	Теплопроводность материала стакана газификатора и системы трубопроводов (нержавеющая сталь X18H10T)	16 Вт/(м*град)
6	Теплопроводность газификатора и баллона накопления (АМг6М)	43 Вт/(м*град)

3 Подготовка к эксперименту.

Для фиксации значений датчиков было использовано программное обеспечение "MasterSCADA". Данные были сохранены в формате XML. Для построения по ним нужных графиков было разработано собственное программное обеспечение. Для тестирования работоспособности установки было проведено около 20 экспериментов с жидким азотом перед тем, как приступить к работам с жидким метаном.

Во время эксперимента были проведены «тёплые» и «холодные» заливки жидкого метана.

Масса заливаемого жидкого метана контролировалась весами электронными ВПА-50-1.

Результаты выборочного взвешивания жидкой фазы и соответствующего давления после газификации приведены в таблице 3. Составы жидких фаз азота и метана приведены в сертификатах (Приложение 1).

Таблица 3

Показания давления азота и метана в зависимости от массы заливки и температуры окружающей среды					
Азот (1 литр жидкого азота = 804 г)			Метан (1 литр жидкого метана = 465 г)		
Температура окружающей среды, С°	Масса заливки, М (г)	Давление Р, (кгс/см ²)	Температура окружающей среды, С°	Масса заливки, М (г)	Давление Р, (кгс/см ²)
-8	860 г (тепл.)	Через 30 мин. Р = 100	+2	410 г (тепл.)	Через 60 мин. Р = 60
-12	850 г (тепл.)	Через 53 мин. Р = 100	+3	440 г (хол.)	Через 60 мин. Р = 67
-10	840 г (хол.)	Через 55 мин. Р = 100	+5	400 г (тепл.)	Через 60 мин. Р = 55
-6	850 г (хол.)	Через 56 мин. Р = 100	+12	500 г (тепл.)	Через 90 мин. Р = 70
-3	840 г (хол.)	Через 60 мин. Р = 97	+11	540 г (хол.)	Через 90 мин. Р = 75

4 Эксперимент. Графики усредненных показателей.

4.1 Теплая заправка азота.

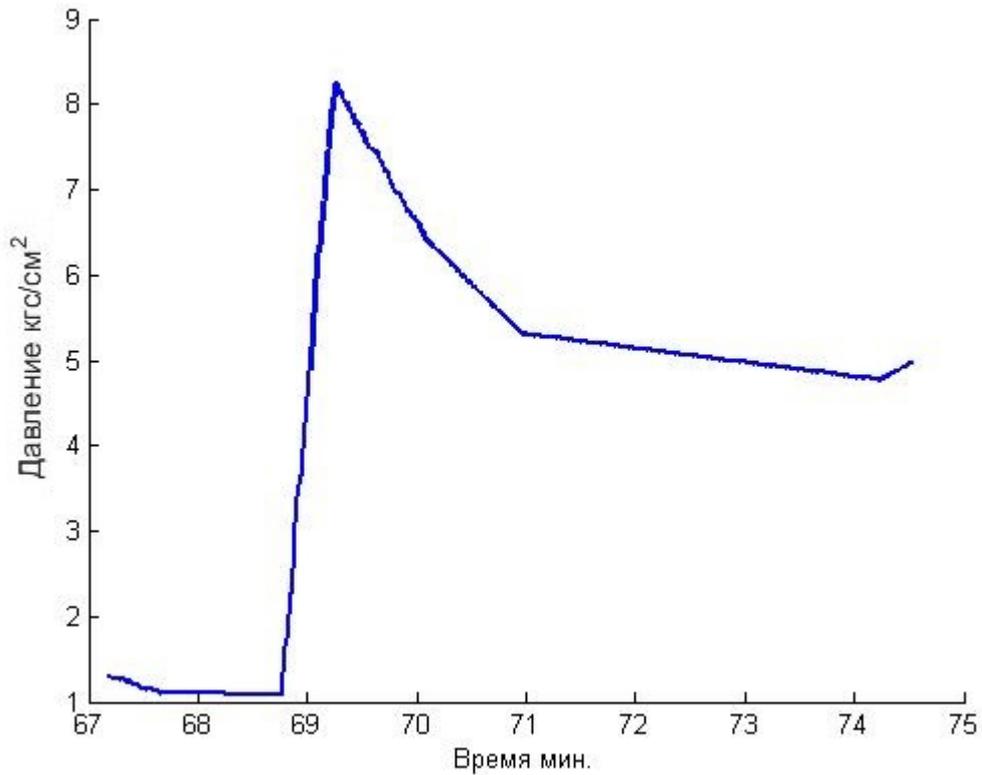


Рисунок 2. График давления, возникающего в КСОГ во время тёплой заправки азота (в кг/см²)

Продолжительность заправки, как видно из графика, 5 минут.

Продолжительность захлаживания – 1 минута.

Атмосферное давление во время эксперимента в пределах точности датчика равно 1 кг/см².

4.2 Тёплая газификация азота.

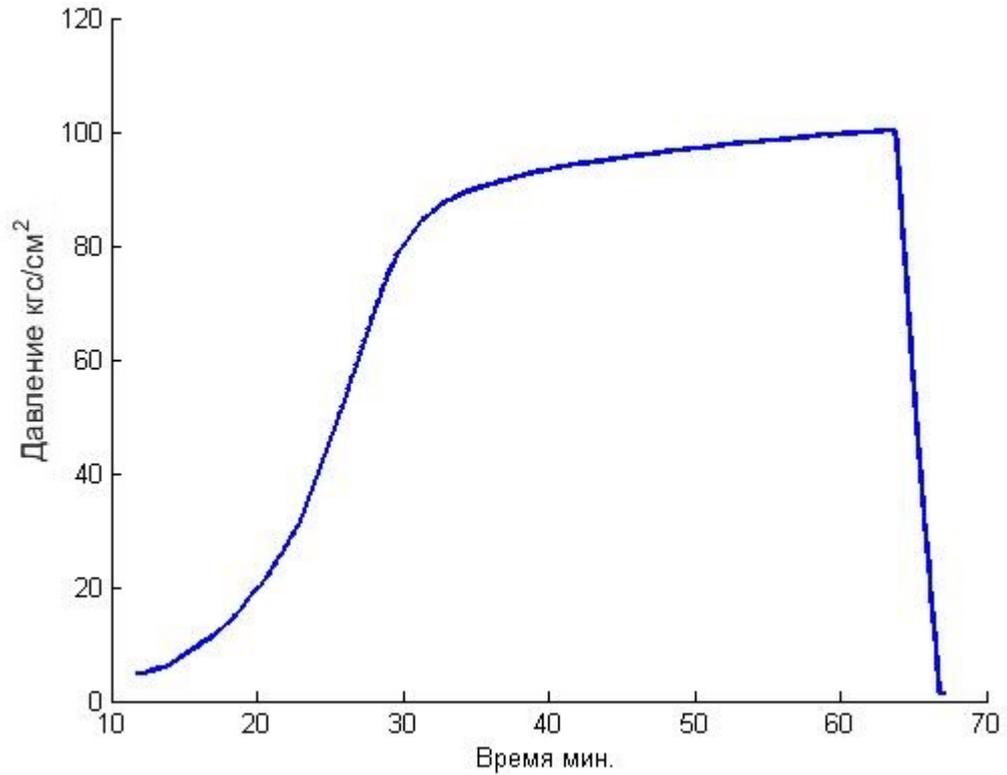
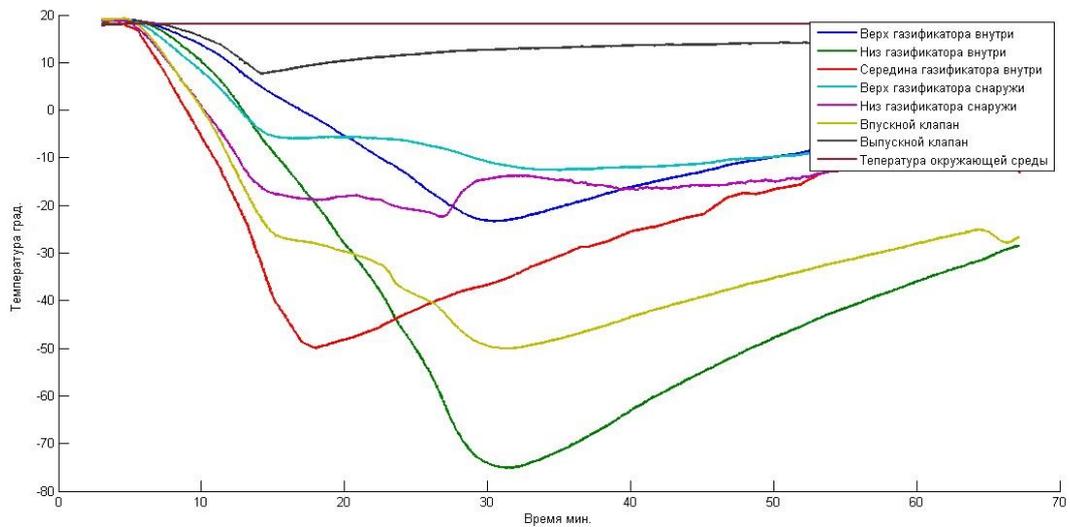
Рисунок 3. График давления во время тёплой газификации азота (в кг/см²)

Рисунок 4. Температуры КСОГ и окружающей среды во время теплой газификации азота (в градусах Цельсия)

4.3 Холодная заправка азота.

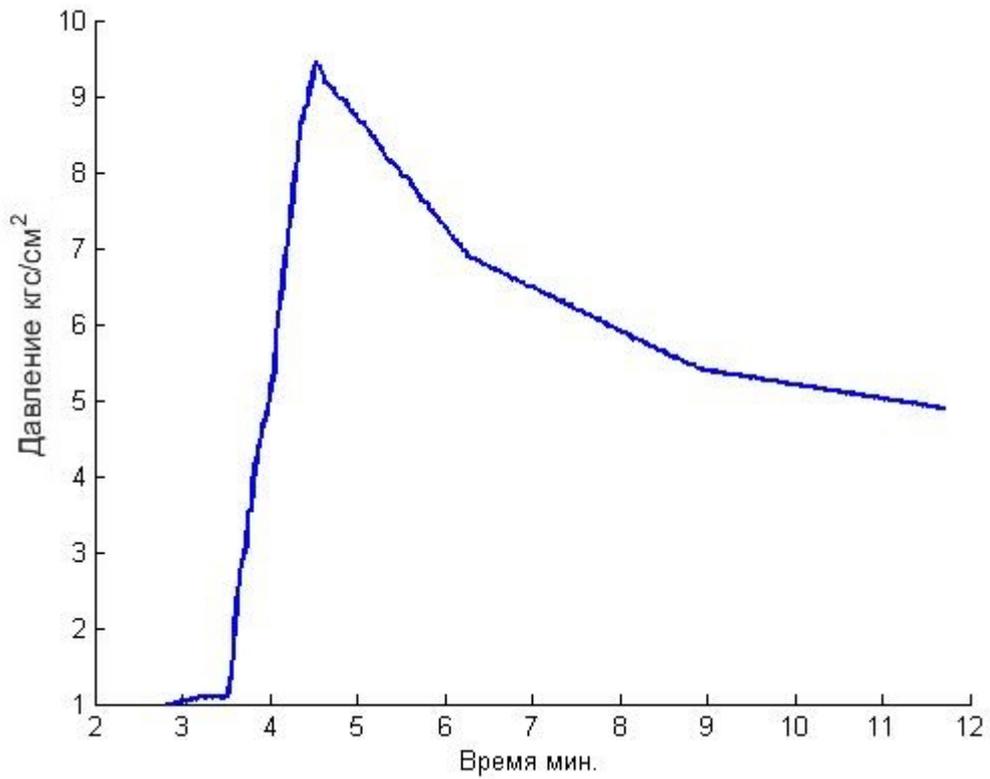


Рисунок 5. График давления, возникающего в КСОГ во время холодной заправки азота

Продолжительность заправки, как видно из графика, 9 минут.
Продолжительность захолаживания – 1.5 минуты.

4.4 Холодная газификация азота.

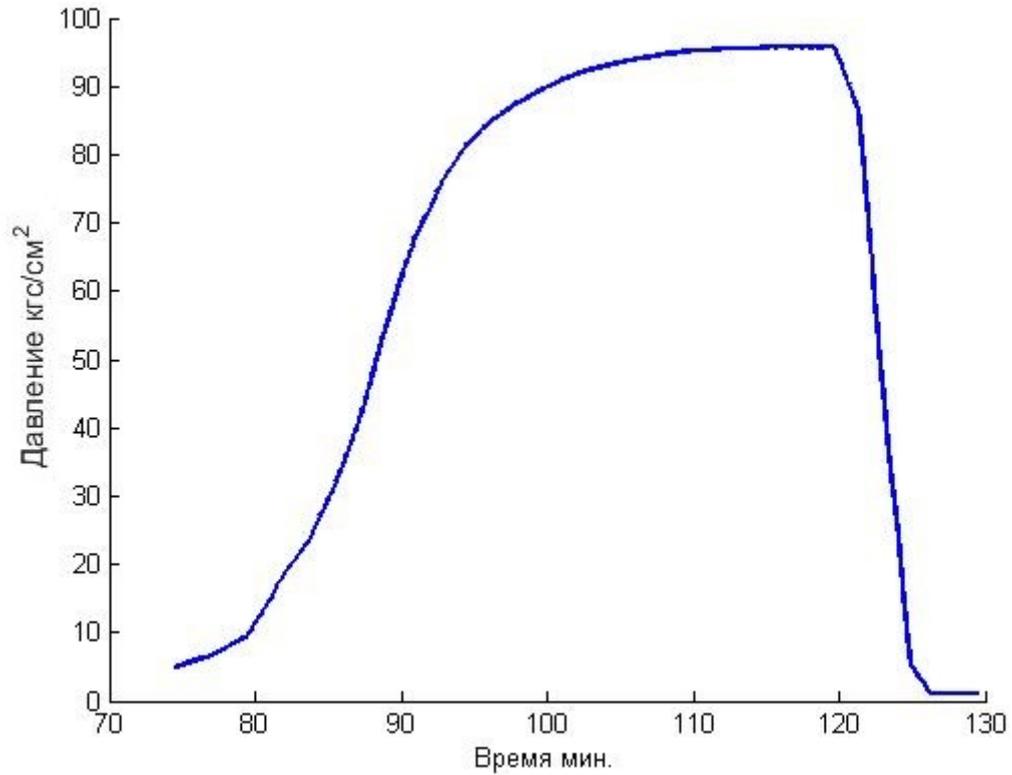


Рисунок 6. График давления во время холодной газификации азота (в кгс/см²)

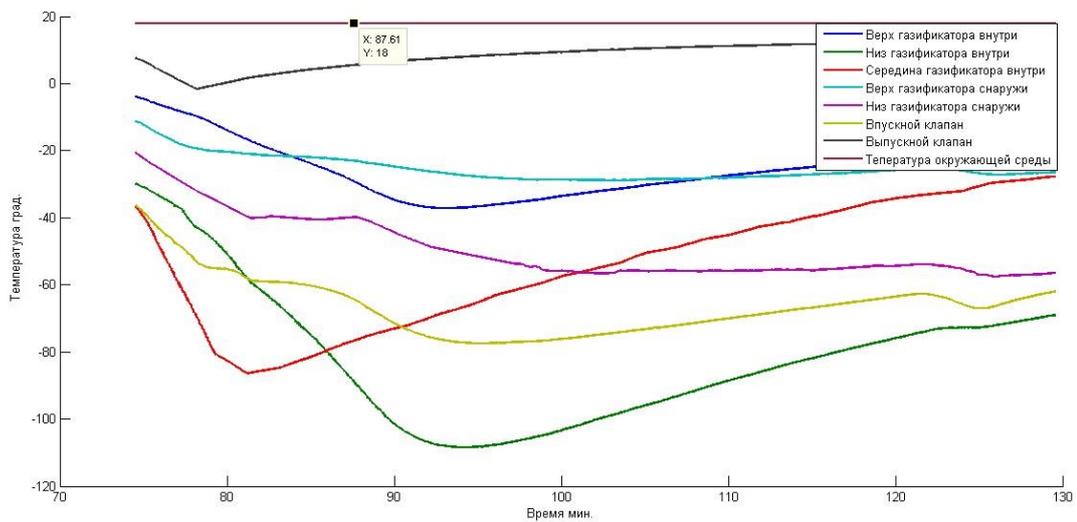


Рисунок 7. Температуры КСОГ и окружающей среды во время газификации азота (в градусах Цельсия)

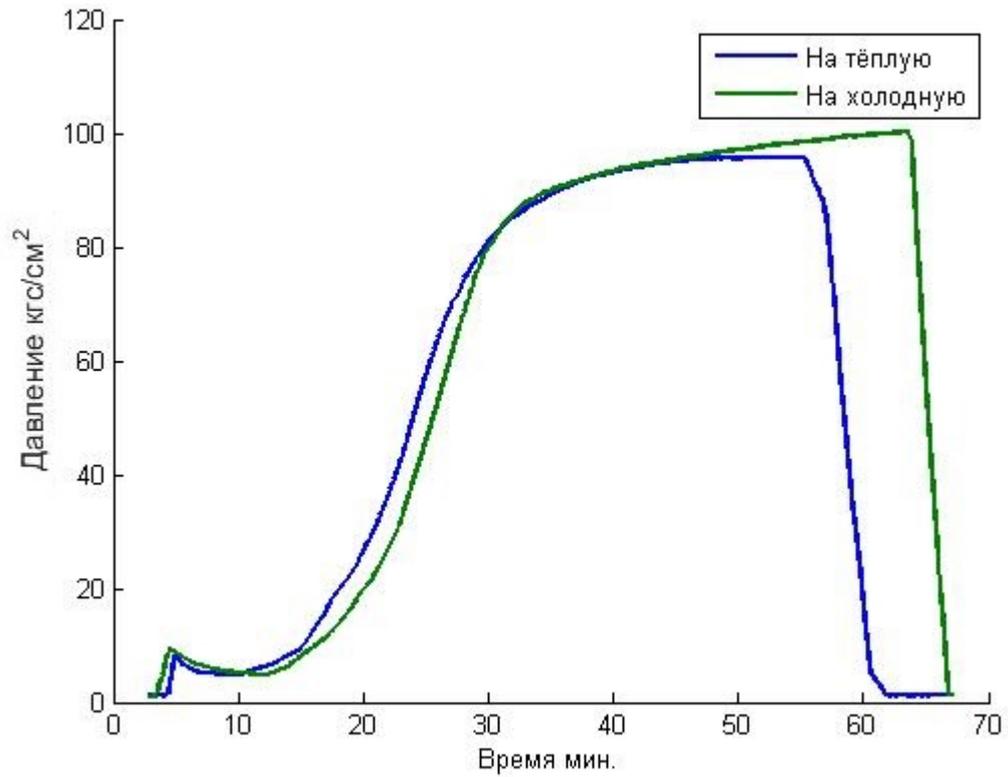


Рисунок 8. Совмещённые графики давления во время тепловой и холодной газификации азота

4.5 Тёплая заправка метана.

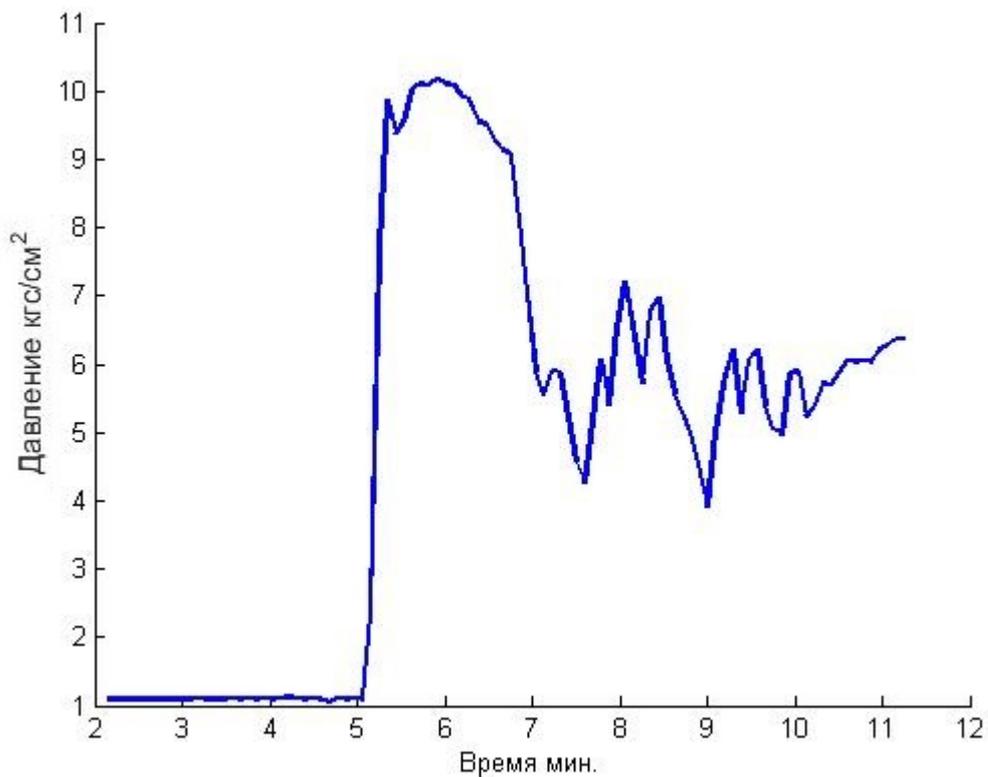


Рисунок 9. График давления, возникающего в КСОГ во время тепловой заправки метана (в кгс/см²)

Продолжительность заправки, как видно из графика, около 7 минут.

Продолжительность захлаживания - 2 минуты.

Атмосферное давление во время эксперимента в пределах точности датчика равно 1 кг/см^2 .

4.6 Тёплая газификация метана

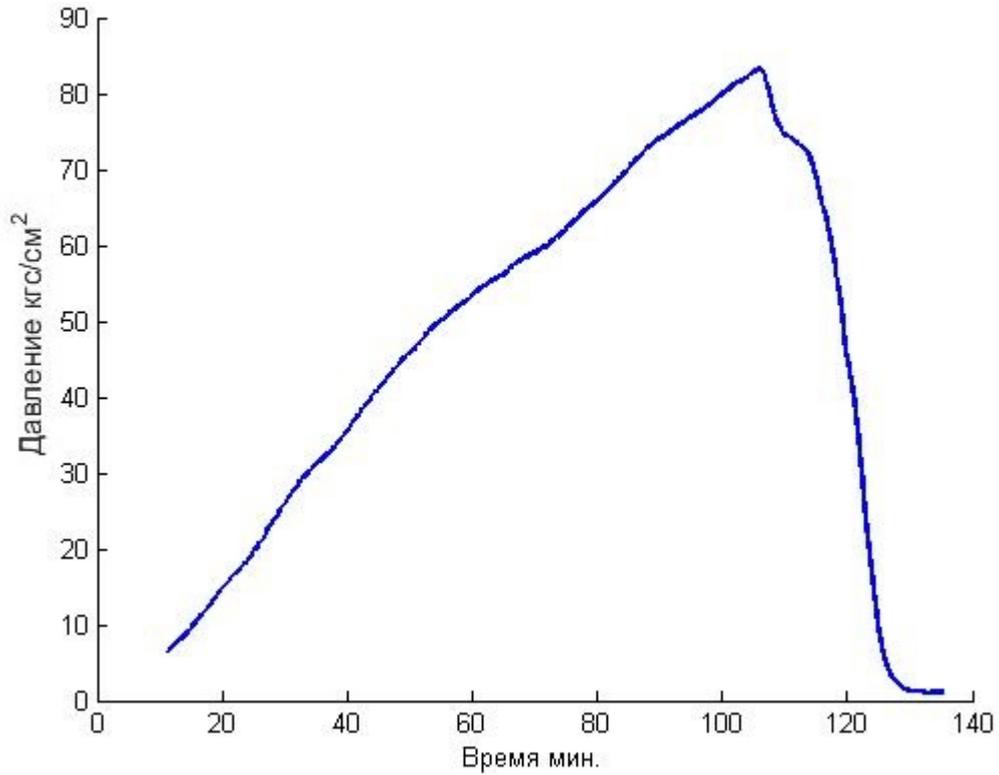


Рисунок 10. График давления во время тёплой газификации метана (в кг/см^2)

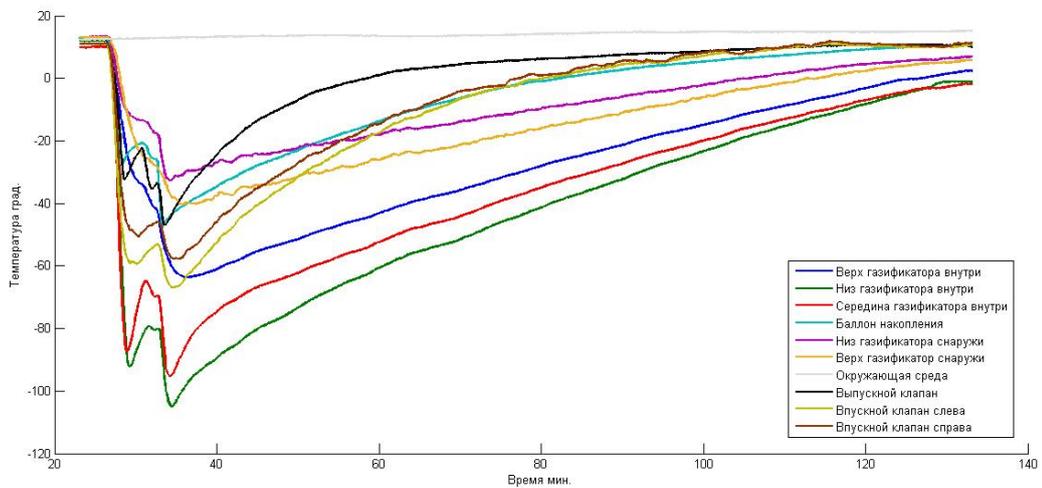


Рисунок 11. Температуры КСОГ и окружающей среды во время тёплой газификации метана (в градусах Цельсия)

4.7 Холодная заправка метана

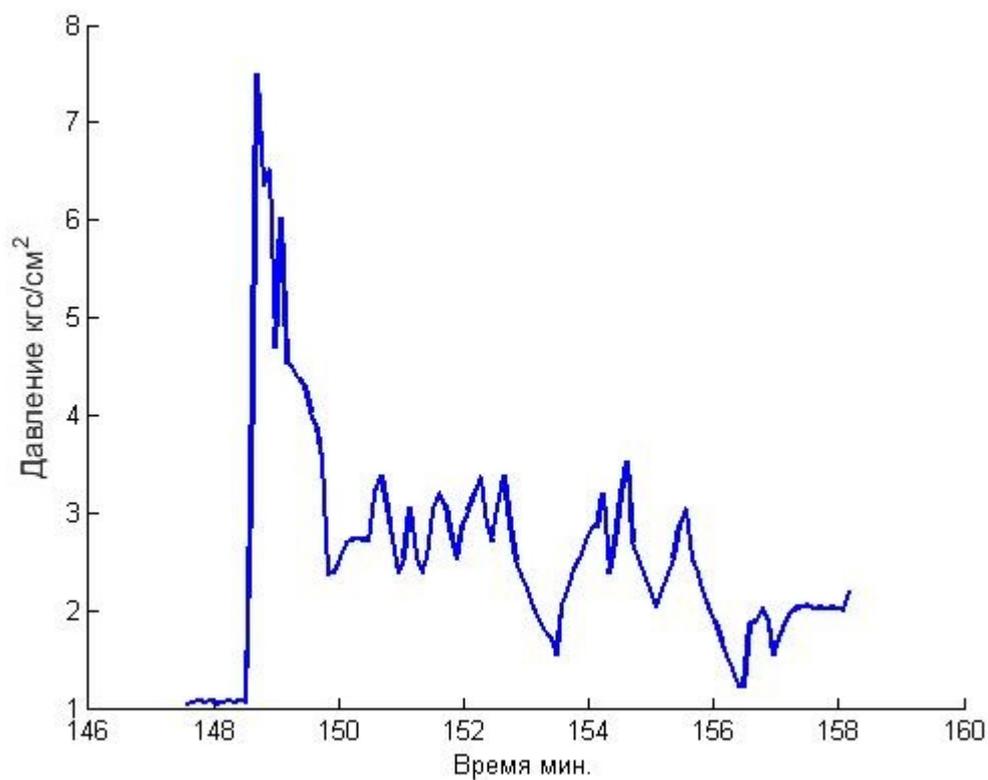


Рисунок 12. График давления, возникающего в КСОГ во время холодной заправки метана (кгс/см²)

Продолжительность заправки, как видно из графика, 10 минут.

Продолжительность захолаживания – 1,5 минуты.

4.8 Холодная газификация метана

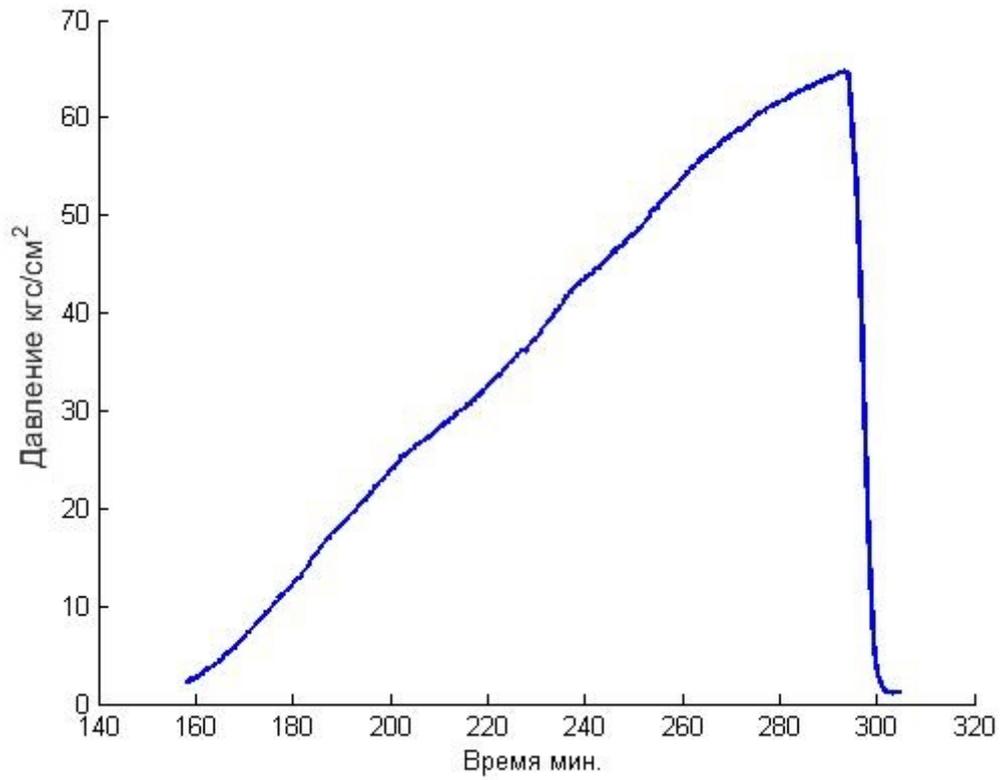
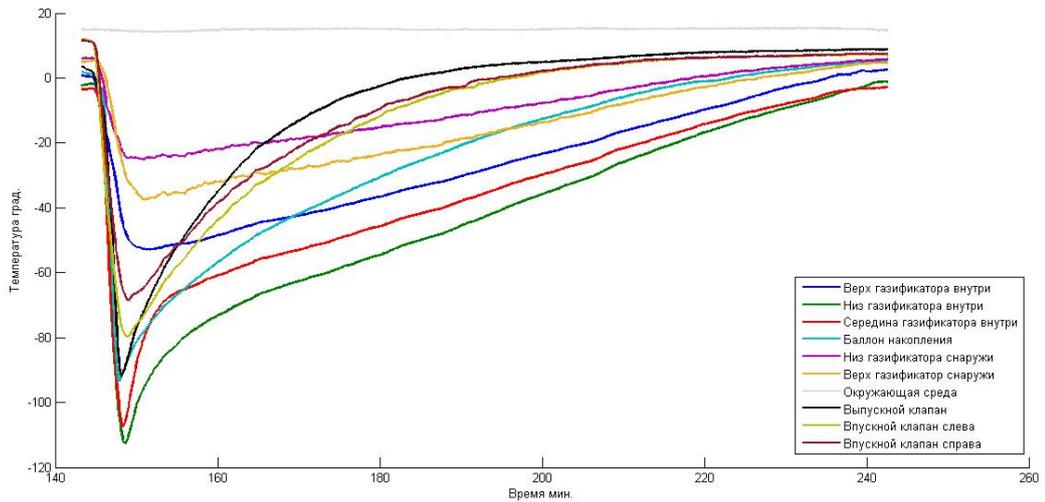
Рисунок 13. График давления во время холодной газификации метана (в кгс/см²)

Рисунок 14. Температуры КСОГ и окружающей среды во время холодной газификации метана (в градусах Цельсия)

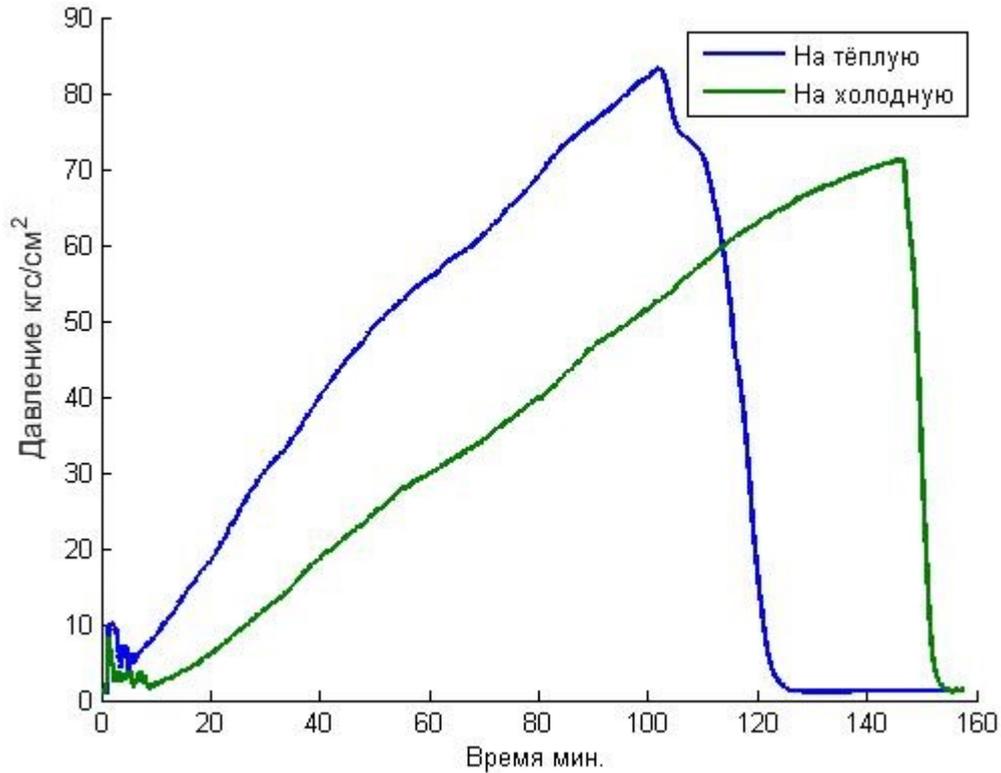


Рисунок 15. Совмещённые графики давления во время тепловой и холодной газификации метана(кгс/см²)

5 Выводы

- Для получения давления в 100 кгс/см² по метану вместимости стакана газификатора КСОГ недостаточно, при полной холодной загрузке получено давление около 80 атмосфер.
- Во время газификации азот и метан ведут себя по-разному: у метана гораздо длиннее участок линейного роста давления.
- Время газификации метана до 80 атм. примерно в 3 раза больше времени газификации азота.
- Поставляемый жидкий метан довольно грязный и имеет разный процент примесей в разных партиях, поэтому, даже при одинаковых внешних условия и весе жидкой фазы, процесс газификации проходит по-разному. Тем не менее, общая динамика остаётся неизменной. График роста давления при каждом эксперименте имеет вид аperiodического процесса второго порядка.
- При проектировании натурального опытного образца КСОГ (на базе баллона БДМТ-400-24,5) целесообразно ограничиться только баллоном-газификатором для получения необходимого уровня давления газообразной среды (24,5 МПа). Также необходимо разработать систему удаления жидких примесей, остающихся в газификаторе в процессе газификации.
- Герметизацию соединений целесообразно выполнять либо с помощью сварки, либо с применением торцевых уплотнений с прокладками из алюминия технического АД0 (ГОСТ 4784-97).

Приложение 1. Сертификаты качества на сжиженные газы.

СЕРТИФИКАТ КАЧЕСТВА № 100-К

от 18.05.2016 г.

Газ природный горючий сжиженный по ТУ 51-03-03-85

Анализ природного газа по ГОСТ 31371.7-2008

Организация поставщик: ЗАО «Криогаз»

Партия № К-04.16/2

Образец СПГ отобран переносным пробоотборником

Температура: 0 °С

Компонентный состав партии сжиженного природного газа (СПГ):

Название компонента	об. %	масс. %	мол. %
Двуокись углерода	0,1660	0,4353	0,1665
Кислород	0,0813	0,1544	0,0812
Этан	2,0300	3,6490	2,0420
Азот	1,3360	2,2200	1,3340
Пропан	0,5537	1,4720	0,5618
И-бутан	0,0990	0,3516	0,1018
Н-бутан	0,0952	0,3390	0,0981
И-пентан	0,0183	0,0822	0,1916
Н-пентан	0,0131	0,0591	0,0138
Неопентан	0,0019	0,0084	0,0019
Н-гексан	0,0268	0,1490	0,0291
Гелий	0,0013	0,0003	0,0013
Водород	0,0009	0,0001	0,0009
Сумма:	4,4214	8,9200	4,4495

Расчет по ГОСТ 31369-2008:

Норма: 100

Плотность воздуха: 1,2047

Расчетное значение метана: **95,5686 Об.%, 91,0800 Масс.%, 95,5505 Мол. %**Табличные данные метана: плотность – 0,6669 кг/м³, фактор сжимаемости – 0,9981

Относительная плотность газа по воздуху: 0,5821

Число Воббе: низшее 10631 ккал/м³, высшее 11789 ккал/м³.Теплота сгорания: низшая 8111 ккал/м³, высшая 8944 ккал/м³Плотность газа при стандартных условиях: 0,7011 кг/м³

Фактор сжимаемости при стандартных условиях: 0,9980

Расчет по ISO 6976-2005:

(Температура: 0°С)

Теплота сгорания: низшая 33,960 МДж/м³, высшая 37,660 МДж/м³Плотность СПГ: 401,6 кг/м³

Технический директор ЗАО «Криогаз»

Машканцев М. А.

Начальник АГНКС г. Кингисепп

Пинежко В. В.

СЕРТИФИКАТ КАЧЕСТВА № 59-Кот 29.03.2016 г.

Газ природный горючий сжиженный по ТУ 51-03-03-85
 Анализ природного газа по ГОСТ 31371.7-2008
 Организация поставщик: ЗАО «Криогаз»

Партия № К-01.16/1

Образец СПГ отобран переносным пробоотборником
 Температура: 0 °С

Компонентный состав партии сжиженного природного газа (СПГ):

Название компонента	об. %	масс. %	мол. %
Двуокись углерода	0,2723	0,6985	0,2730
Кислород	0,0048	0,0090	0,0048
Этан	4,2697	7,4838	4,2995
Азот	0,1930	0,3151	0,1925
Пропан	0,8737	2,2457	0,8898
И-бутан	0,1609	0,5451	0,1674
Н-бутан	0,1421	0,4814	0,1480
И-пентан	0,0265	0,1114	0,0282
Н-пентан	0,0187	0,0786	0,0203
Неопентан	0,0032	0,0187	0,0034
Н-гексан	0,0188	0,0944	0,0210
Гелий	0,0000	0,0000	0,0000
Водород	0,0000	0,0000	0,0000
Сумма:	5,9837	12,0820	6,0479

Расчет по ГОСТ 31369-2008:

Норма: 100

Плотность воздуха: 1,2047

Расчетное значение метана: **94,0163 Об.%, 87,9180 Масс.%, 93,9521 Мол. %**Табличные данные метана: плотность – 0,6669 кг/м³, фактор сжимаемости – 0,9981

Относительная плотность газа по воздуху: 0,5943

Число Воббе: низшее 11715 ккал/м³, высшее 13005 ккал/м³.Теплота сгорания: низшая 9032 ккал/м³, высшая 10026 ккал/м³Плотность газа при стандартных условиях: 0,7159 кг/м³

Фактор сжимаемости при стандартных условиях: 0,9972

Расчет по ISO 6976-2005:

(Температура: 0 °С)

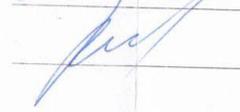
Теплота сгорания: низшая 37,815 МДж/м³, высшая 41,980 МДж/м³Плотность СПГ: 396,3 кг/м³

Технический директор ЗАО «Криогаз»

Начальник АГНКС г. Кингисепп



 Машканцев М. А.


 Пинежко В. В.

ELME MESSER GAAS

Продавец:
AS «ELME MESSER GAAS»
Reg. nr. 10488333
KOPLI 103, 11712 TALLINN, ESTONIA

Покупатель:
ООО Елме Мессер К
ИНН 3907024721
Россия, 236011, г. Калининград, ул. Судостроительная, 75
Грузополучатель: Филиал ООО "Елме Мессер К" в городе Санкт-Петербурге
Россия, 196210, г. Санкт-Петербург, ул. Внуковская, 2
Счет-фактура (Invoice): 041-001119

ПАСПОРТ КАЧЕСТВА (СЕРТИФИКАТ) № 1-202

ПРОДУКЦИЯ: АЗОТ ЖИДКИЙ ОХЛАЖДЕННЫЙ
22 UN 1977, 2.2
CAS № 7727-37-9
Код по ТН ВЭД 2804300000

Наименование продукции: Азот жидкий охлажденный
Дата изготовления: 19.01.2016
Номер партии: 1-202
Объем партии, т./ м³: 20,5/17521
Автоцистерна № 281 YJK

Наименование показателя	По норме	Фактически
Объемная доля азота, %, не менее	99,999	≥ 99,999
Объемная доля кислорода, % не более	0,0005	< 0,0005
Содержание масла, механических примесей и влаги	выдерживает испытание по п.3.8	выдерживает испытание по п.3.8
Объемная доля водорода, % не более	0,0002	< 0,0002
Объемная доля суммы углеродсодержащих соединений в пересчете на CH ₄ , % не более	0,0003	< 0,0003

Объемная доля азота включает в себя примеси инертных газов (аргон, неон, гелий)
Азот жидкий получен методом низкотемпературной ректификации, в связи с этим содержание влаги менее 1 ppm. Анализ произведен в соответствии с требованиями инструкции по тех. процессу и контролю качества.

Продукция произведена на воздухоразделительном заводе в Аувере, Эстония.
Заключение: Качество продукции соответствует требованиям ГОСТ 9293-74 (с изм. 1,2,3) на азот жидкий особой чистоты первый сорт, условиям Договора № 07 - 15 от 16.11.15
Применяется только для технических целей.

Свидетельство о государственной регистрации вещества АТ № 000128
Товар может быть отгружен на экспорт.

Оператор склада
AS «ELME MESSER GAAS»

(подпись)

19 января 2016 г.

