



Челябинский металлургический комбинат

\_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

## РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Программы «Учет энергоресурсов» и «Калькулятор расхода (ДГ, КГ, ПГ) - 2017»

СОГЛАСОВАНО:

Начальник УВСИТЦУ

\_\_\_\_\_ К.С.Теличко

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

к Руководству пользователя по программам «Учет энергоресурсов» и «Калькулятор расхода (ДГ, КГ, ПГ) - 2017».

СОГЛАСОВАНО:

УВСИТЦУ:

Начальник отдела автоматизации

И.Н.Резепин

Начальник бюро ДПиУЭ

А.В.Суковицин

РАЗРАБОТАЛ:

Математик

Н.А.Иванов

## Оглавление

Аннотация .....	4
1. Описание программы «Учет энергоресурсов» .....	5
1.1. Общий вид программы .....	5
1.2. Формулы.....	5
1.3. Константы химического состава газа .....	7
1.4. Точки учета .....	9
1.5. Обсчет формул.....	13
2. Описание программы «Калькулятор расхода (ДГ, КГ, ПГ) - 2017» .....	19
2.1. Ввод входных параметров.....	19
2.2. Расчет физических свойств .....	20
2.3. Создание метрологической таблицы .....	26
Приложение №1 «Сравнение результатов расчета программами Расходомер ИСО и Калькулятор расхода» .....	28
Приложение №2 «Пример расчета расхода коксового газа программой Расходомер ИСО» .....	29
Приложение №3 «Пример расчета расхода доменного газа программой Расходомер ИСО» .....	35
Приложение №4 «Пример расчета расхода природного газа программой Расходомер ИСО» .....	41
Список используемой литературы.....	47

## **Аннотация**

В настоящем документе приводятся: методика настройки точек учета (ТУ) в программе «Учет энергоресурсов»; работа в программе «Калькулятор расхода (ДГ, КГ, ПГ) – 2017» написанной на Microsoft Excel 2010; таблицы сверки значений расхода, вычисленных при помощи «Калькулятор расхода (ДГ, КГ, ПГ) – 2017» и программного комплекса «Расходомер ИСО» версии 1.40 от 13.05.2010; расчеты программным комплексом «Расходомер ИСО» физических свойств и расходов доменного, коксового и природного газов.

## 1. Описание программы «Учет энергоресурсов»

### 1.1. Общий вид программы

Программное обеспечение Администратор системы «Учет энергоресурсов», предназначен для введения исходных данных по системе учета и для мониторинга технологических параметров. На рис.1 представлен общий вид, для выбора параметров настройки.

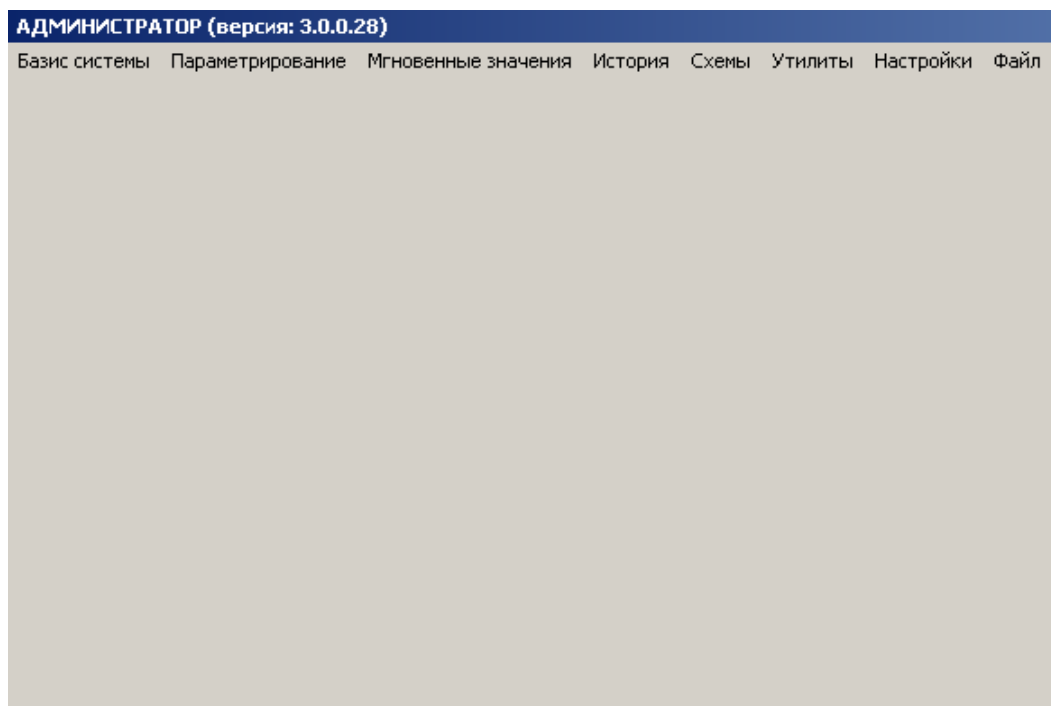


Рисунок 1.

### 1.2. Формулы

Для того чтобы запараметрировать ТУ по новым формулам, необходимо эти формулы добавить. Для этого в главном меню заходим во вкладку «базис системы/ формулы». Как показано на рис. 2. Открывается окно «список формул». В нем переходим во вкладку «точки учета» (рис. 3).

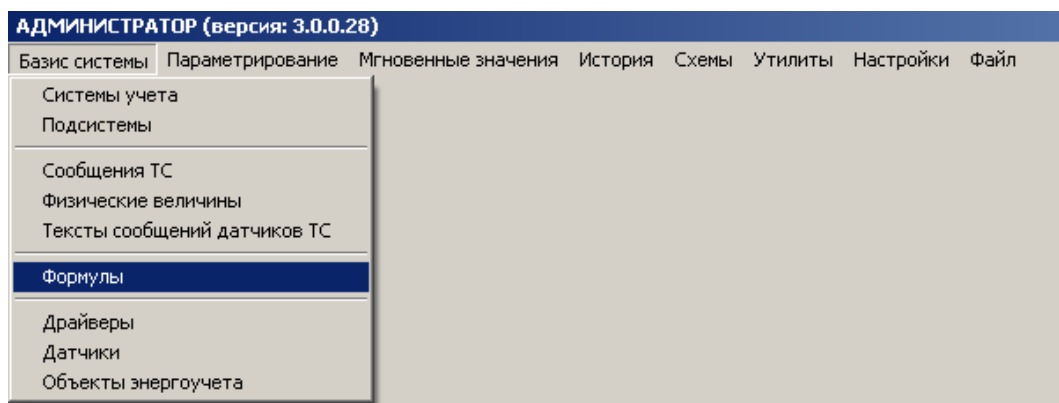


Рисунок 2.

СПИСОК ФОРМУЛ		
Выход ГАЗ		Датчики
Добавить Изменить Удалить		Датчики
		Точки учета
		Группы
№	Наименование	Кор. назван
1	Коэффициент нормализации КТС ЭНЕРГИЯ	К-нт нормы
2	Коэффициент нормализации (от тока)	К-нт нормы
3	Коэффициент нормализации (от импульса) $t, Q$	К-нт нормы
4	Показание датчика средне/часовое	Датчик
5	текущий ток по каналу	Ток(текущ)
6	Аналог без поправки, УСД	К-нт норма
7	Коэффициент нормализации (от импульса) $Q, F$	К-нт норм
8	Показания с контролера (посл. за час, сумм с пок. ( $Q, F$ ))	
9	Показания с контролера (ср. час, ср. сутк)	пок. ( $P, t$ )
10	Показания с контролера архив (посл.показани	показ. архи
91	Показания датчика(ср.час, ср.сут)	датчик
92	Показания датчика(ср.час, сум.сут)	датчик
93	Показания датчика(ср.час, посл.сут)	датчик
101	Опер. Ток с датчика	
104	Опер.сумма/среднее за предыдущий час	
105	Опер.Сумма/среднее за текущие сутки	
106	Опер. сумма/среднее за текущ.месяц	
107	Опер. сумма/среднее за текущий час	

Рисунок 3.

Для создания новой формулы нажимаем кнопку «добавить» и появляется окно настроек (рис.4). В нем необходимо указать номер, название, заголовок, номер входного и выходного поля диспетчера данных (выбираем из свободных), саму формулу (имя функции и параметры). После этого необходимо описать параметры. Для этого в главном меню заходим во вкладку «базис системы/ физические величины» (рис. 5). Открывается окно «физические величины» (рис. 6) в нем выбираем вкладку «константы», для добавления новой записи нажимаем «+» вводим данные (символы должны соответствовать параметрам функции) и «сохранить», кнопка «-» удаляет запись.

СПИСОК ФОРМУЛ				
Отмена		Сохранить		
№	Наименование	Занятые выходы ДД		
22	Расход ПГ (функция, ГОСТ 8.586.1-2005, Физ.Св. 2017	68		
Заголовок	вхДД	выхДД	Запись часовых и мониторинг QNX	
Q ПГ 2017	86	86	Усреднять данные	
Показ в QNX		Вести историю		Запись суток
Формула		Добавить функцию		Суммировать данные
$Q = PG_{2016}(P_{izb}, P_{bar}, T_{cel}, dP, D_{it\_20}, D_{cy\_20}, nt, nd, rn, Ra, data, method)$				
		<div> <div>68</div> <div>70</div> <div>75</div> <div>76</div> <div>78</div> <div>79</div> <div>80</div> <div>81</div> <div>82</div> <div>83</div> <div>84</div> <div>85</div> <div>86</div> </div>		

Рисунок 4.

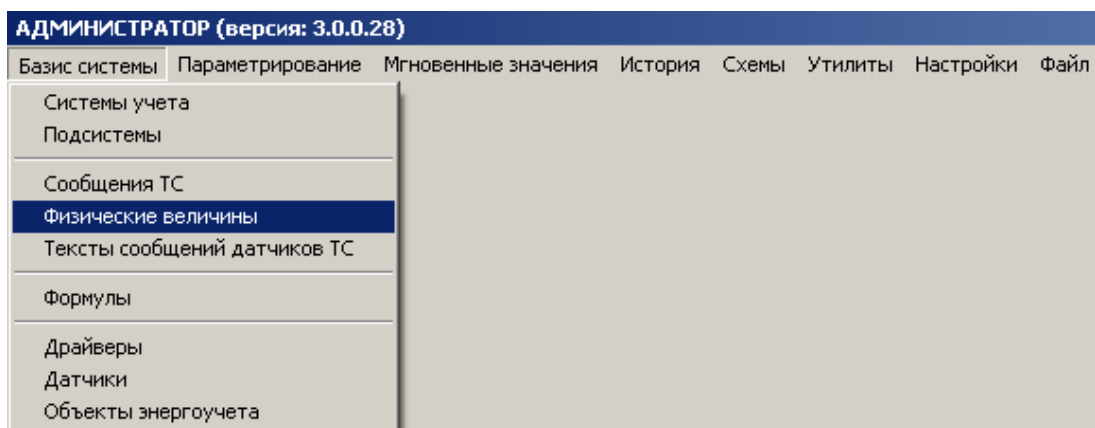


Рисунок 5.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ		
Выход	Сохранить	ГАЗ
		Константы
Наименование	Символ	Величина
Показатель адиабаты	кара	
Коэффициент сжимаемости	K	
Плотность газа в нормальных условиях	Ro	кг/куб.м
время накопления информации (мин)	n	
Калорийность ДГ	K_dg	ккал/кг
Калорийность КГ	K_kg	ккал/кг
Калорийность ПГ	K_pg	ккал/кг
Коэффициент расхода для воды	kr	
Диаметр трубопровода	d20t	мм
тип материала трубопровода	Nt	
тип материала диафрагмы	Nc	
коэффициент притупления кромки	Kp	
коэффициент шероховатости	Kh	
Перепад давления (max) по паспорту датчика	dP_max	кгс/кв.м
Расход (max) по шкале прибора	dQ_max	куб.м
к-нт Т расширения диафрагмы	beta	б/р
Диаметр отверстия диафрагмы	d20	мм
Лимит	L	
начальный радиус закругления кромки,мм	rn	мм
время эксплуатации расходомерного узла, год	data	год
► метод отбора(Угловой=0 Трехрадиусный=1 Фланцевый=2	method	
способ измерения (Диафрагма=0 Сопло_ИСА1932=1)	device	
индекс трубы (Цельнотянутые трубы из .....	indTr	
Множитель для перевода из тыс.куб.м ----> куб.м	mnogitel	1000
Множитель для перевода из куб.м ----> тыс.куб.м	mnogitel_0	0,001

Рисунок 6.

### 1.3. Константы химического состава газа

Информация о реальном химическом составе газов раз в день обновляется для расчета калорийности газа, во вкладке «утилиты/ сервис/ расчет калорийности» (рис. 7,8). Затем значения этих переменных автоматически присваиваются константам, которые заведены во вкладке «параметрирование/ константы» (рис. 9,10). Для того чтобы изменить, добавить новые или удалить старые константы необходимо нажать соответствующие кнопки и заполнить поля данных в появившемся окне. Для того чтобы значения констант обновлялись автоматически, необходимо изменить управляющий триггер. Теперь можно приступить к параметрированию ТУ.

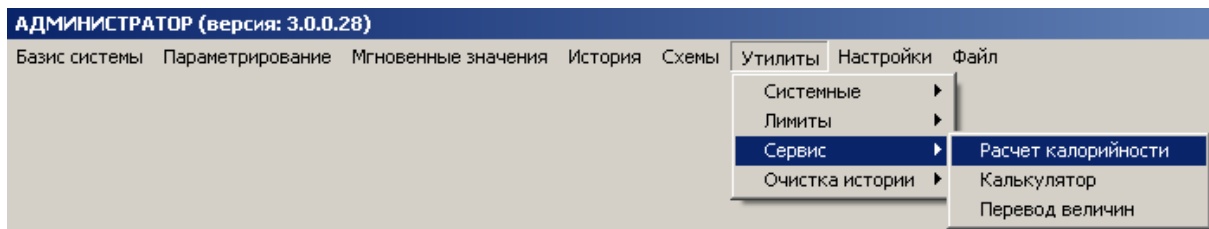


Рисунок 7.

Рисунок 8.

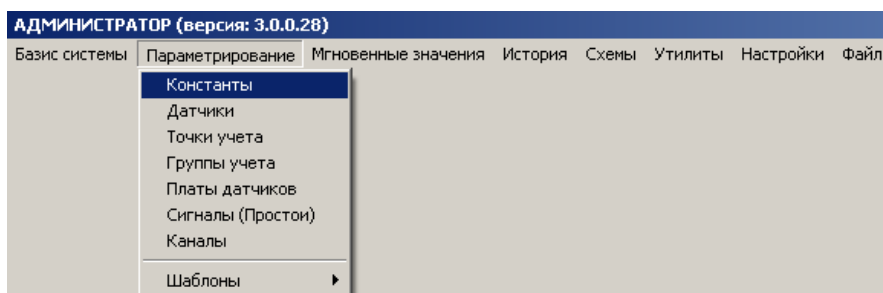


Рисунок 9.

ПЕРЕЧЕНЬ КОНСТАНТ		
Выход Добавить Изменить Удалить		
Наименование	Символ	Значение
Калорийность ДГ	K_dg	28,44879
Калорийность КГ	K_kg	47,37598
Нулевое значение	NUL_	95,19873
объемная доля в ДГ (%) CH4_dg	CH4_dg	0,4
объемная доля в ДГ (%) N2_dg	N2_dg	0
объемная доля в ДГ (%) CO2_dg	CO2_dg	17,7
объемная доля в ДГ (%) H2_dg	H2_dg	6
объемная доля в ДГ (%) CO_dg	CO_dg	23,2
объемная доля в КГ (%) CH4_kg	CH4_kg	21,51
объемная доля в КГ (%) N2_kg	N2_kg	0
объемная доля в КГ (%) CO2_kg	CO2_kg	1
объемная доля в КГ (%) H2_kg	H2_kg	59,5
объемная доля в КГ (%) CO_kg	CO_kg	8
объемная доля в КГ (%) O2_kg	O2_kg	1
объемная доля в КГ (%) CnHn_kg	CnHn_kg	

ПЕРЕЧЕНЬ КОНСТАНТ

Отмена Сохранить

Наименование

объемная доля в КГ (%) CH4\_kg

Символ Значение

CH4\_kg 21,51

Рисунок 10.



## 1.4. Точки учета

Для того чтобы начать запараметрировать ТУ необходимо зайти во вкладку «параметрирование/ точки учета» (рис. 11). Открывается окно в котором перечислены все точки учета (рис. 13). При помощи кнопки «шаблон» можно отсортировать список, выбрав нужный энергоресурс (рис. 12).

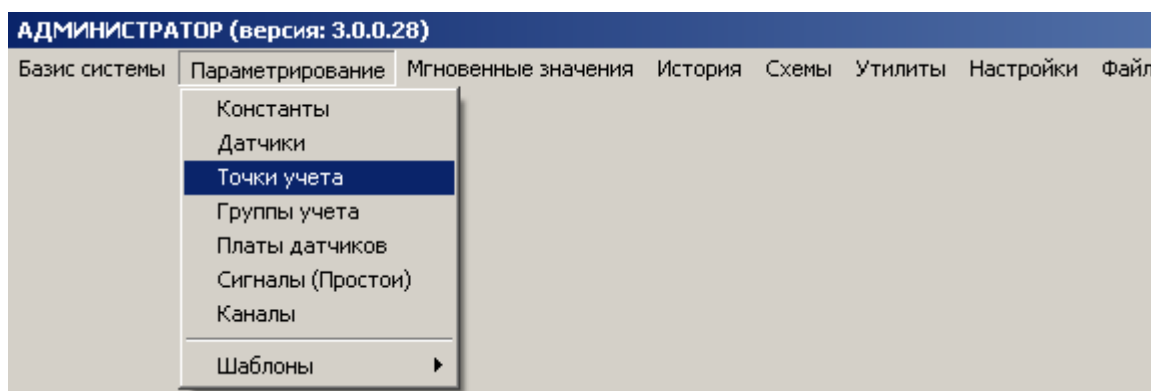


Рисунок 11.

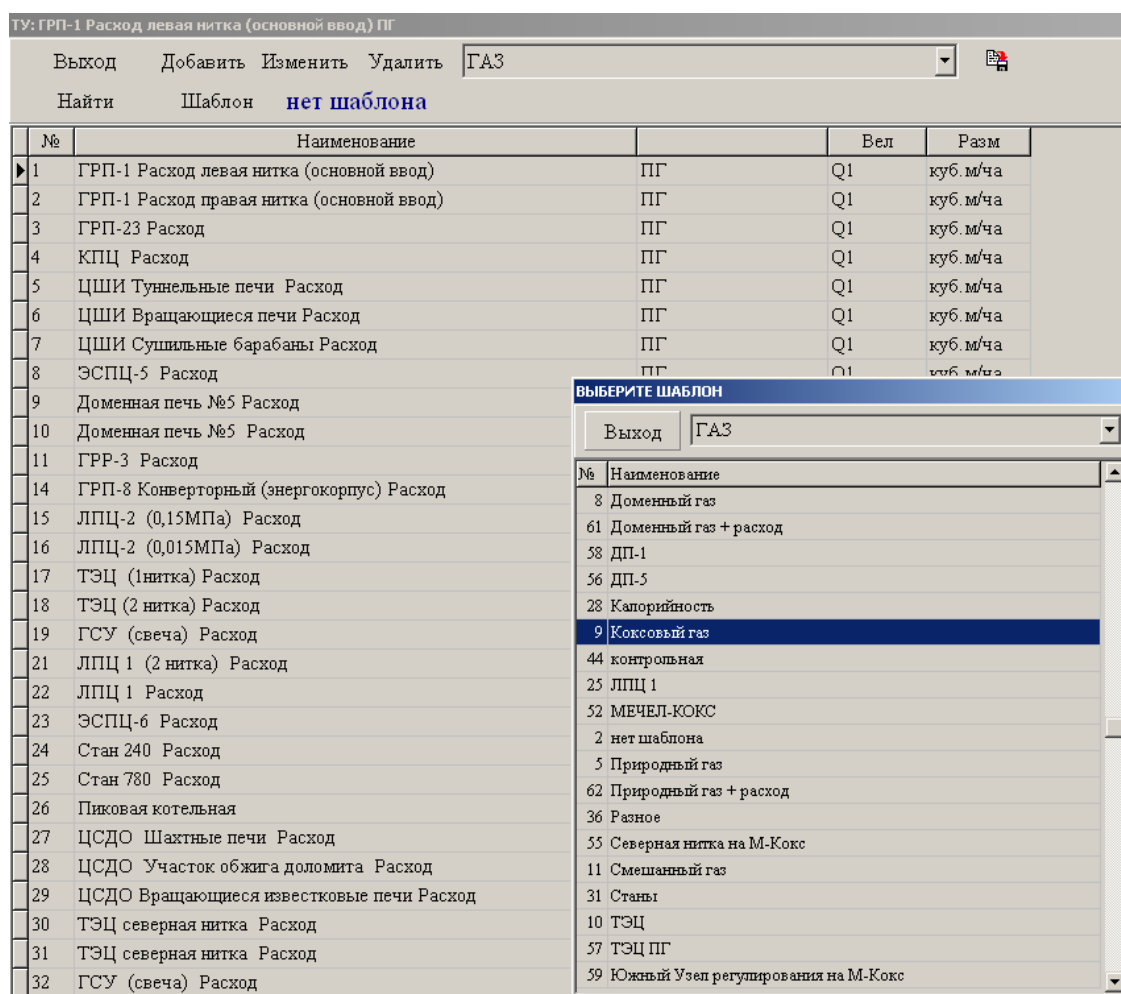


Рисунок 12.

ТУ: ТЭЦ северная нитка Расход КГ

Выход Добавить Изменить Удалить ГАЗ

Найти Шаблон Коксовый газ

№	Наименование		Вел	Разм
1	ГРП-1 Расход левая нитка (основной ввод)	ПГ	Q1	куб. м/ча
2	ГРП-1 Расход правая нитка (основной ввод)	ПГ	Q1	куб. м/ча
3	ГРП-23 Расход	ПГ	Q1	куб. м/ча
4	КПЦ Расход	ПГ	Q1	куб. м/ча
5	ЦШИ Туннельные печи Расход	ПГ	Q1	куб. м/ча
6	ЦШИ Вращающиеся печи Расход	ПГ	Q1	куб. м/ча
7	ЦШИ Сушильные барабаны Расход	ПГ	Q1	куб. м/ча
8	ЭСПЦ-5 Расход	ПГ	Q1	куб. м/ча
9	Доменная печь №5 Расход	ПГ	Q1	куб. м/ча
10	Доменная печь №5 Расход	ДГ	Qn(m3/ch)	т.н.куб.
11	ГРР-3 Расход	ПГ	Q1	куб. м/ча
14	ГРП-8 Конверторный (энергокорпус) Расход	ПГ	Q1	куб. м/ча
15	ЛПЦ-2 (0,15МПа) Расход	ПГ	Q1	куб. м/ча
16	ЛПЦ-2 (0,015МПа) Расход	ПГ	Q1	куб. м/ча
17	ТЭЦ (1нитка) Расход	ПГ	Q1	куб. м/ча
18	ТЭЦ (2 нитка) Расход	ПГ	Q1	куб. м/ча
19	ГСУ (свеча) Расход	КГ	Q1	куб. м/ча
21	ЛПЦ 1 (2 нитка) Расход	ПГ	Q1	куб. м/ча
22	ЛПЦ 1 Расход	СмГ	Q1	куб. м/ча
23	ЭСПЦ-6 Расход	ПГ	Q1	куб. м/ча
24	Стан 240 Расход	ПГ	Q1	куб. м/ча
25	Стан 780 Расход	ПГ	Q1	куб. м/ча
26	Пиковая котельная	ПГ	Q1	куб. м/ча
27	ЦСДО Шахтные печи Расход	ПГ	Q1	куб. м/ча
28	ЦСДО Участок обжига доломита Расход	ПГ	Q1	куб. м/ча
29	ЦСДО Вращающиеся известковые печи Расход	ПГ	Q1	куб. м/ча
30	ТЭЦ северная нитка Расход	ДГ	Q1	куб. м/ча
31	ТЭЦ северная нитка Расход	КГ	Q1	куб. м/ча
32	ГСУ (свеча) Расход	ДГ	Q1	куб. м/ча

№	ТУ: ТЭЦ северная нитка Расход КГ	Символ	Вр.хран	Мин. значение	Лимит мин.	Исп
1	Давление абсолютное	Pa	Нет истории	0	0	
2	Расчёт перепада давления по Датчику РАСХОДА	dP	1 минута			
9	Показание датчика	D	1 минута	50000	15900	1
15	Поправка (для расчета газа (РД 50-213-80))	E	Нет истории			
33	Расход газа (РД 50-213-80)	Q	1 минута	15	ТЭЦ сев.н."Q" КГ	
59	Расход газа за 15с	Qi	Нет записи			
60	Расход по нарастающей	SMQ	Нет записи			
61	Прогноз на конец часа	Qp	Нет истории			

Нач.значение: 0, Лимит макс.: 15 секунд, Вр.хранения(сут): 7

Показывать мгно.значения

номер: бр.1 Иванов, телесигнализация, аварии, помощь, опрос есть

Рисунок 13.

Для того чтобы перепараметрировать старую ТУ (забить в неё новые формулы) необходимо произвести следующий набор действий:

- 1) Найти информацию о старой ТУ (номера используемых датчиков, значения констант). Эту информацию можно получить двойным кликом мышки по конкретной ТУ (рис. 14).
- 2) Создать новую точку учета, нажав кнопку «добавить» и заполнив пустые поля в появившемся окне (рис. 15). Указывается номер ТУ, наименование, расчетная величина, сокращение, название формулы.
- 3) Добавить необходимые формулы в новую ТУ (рис.16) из появляющегося окна (рис. 17), которые затем обчислить (рис. 18).
- 4) Удалить формулы в старой ТУ (рис. 26) и скопировать формулы из новой ТУ (рис. 27) в старую (рис. 28). Перезапустить программы нижнего уровня (для этого на основном сервере Газового цеха запустить файлы energo/StopProgram и energo/StartProgram).

ТУ: ТЭЦ северная нитка Расход КГ					
Выход				Удалить	
Символ	Тип	Значение	Наименование		подт
alfa	Константа	0,67962	Константа: Коэффициент расхода для газа / воды□□		
d20d	Константа	681,75403	Диаметр отверстия диафрагмы		
D20t	Константа	1004	Диаметр трубопровода		
dP_max	Константа	101,972	Константа: Перепад давления (max) по паспорту датч		
dQ_max	Константа	50000	Константа: Расход (max) по шкале прибора□□		
K	Константа	0,9997	Константа: Коэффициент сжимаемости□□		
кара	Константа	1,38	Константа: Показатель адиабаты□□		
Kt	Константа	0,9967	Константа: Коэффициент теплового расширения диафра		
Ro	Константа	0,40646	ТУ: Плотность газа (расчетная)□□Константа:		
DetchTP	Датчик	683	ТЭЦ северная нитка Рабочий расход КГ	КГ	
dQ	Датчик	683	ТЭЦ северная нитка Рабочий расход КГ	КГ	
P	Датчик	679	ТЭЦ северная нитка Давление КГ	КГ	
Pb	Датчик	7	ГРП №1 Барометрическое давление	ПГ	
t	Датчик	681	ТЭЦ северная нитка Температура КГ	КГ	
n	Время	60			
L	Мак лимит	15900			
SMQ1	Пред знач	31	SMQ		60

Рисунок 14.

ТУ: (Тест)Расход КГ ТЭЦ север новая математика КГ					
Отмена		Сохранить			
№	Наименование				
575	(Тест)Расход КГ ТЭЦ север новая математика				КГ
Вел	Сокращение	Контроль			
Q1	ТЭЦсеверКГ	В работе		15 секунд	
Разм	Min	Max	Лмин	Лмакс	Период изм
куб. м/ча	0		0		15
Формула MinMax	Вр. хранения				
Расход КГ (функция, ГОСТ 8.586.1-2005, Физ	Нет показа мгн.			7 суток	
Обычный учет					
Режимы					
1:	0	2:	0	3:	0
4:	0	5:	0	6:	0
7:	0	8:	0	9:	0
10:	0				

Рисунок 15.



575	(Тест)Расход КГ ТЭЦ север новая математика	КГ			
1023	Калорийность природного газа	Разное			
1024	Калорийность доменного газа	Разное			
1025	Калорийность коксового газа	Разное			
1026	Показание БАРОМЕТРА	Разное			
1027	Калорийность СГ на ГСС 1 (расчет)	Разное			
1028	Калорийность СГ на ГСС 2 (расчет)	Разное			
1029	Калорийность СГ на ГСС 4 (расчет)	Разное			
1030	Калорийность ДГ на ГРП 3	Разное			
1031	Калорийность ДГ на север Мечел-Кокс	Разное			
1032	Калорийность СГ на ГСС 1(датчик)	Разное			
1033	Калорийность СГ на ГСС 2(датчик)	Разное			
1034	Калорийность ДГ на юг Мечел-Клкс	Разное			
1040	Давление в магистрали ДГ	Разное			
1041	Давление в магистрали КГ	Разное			

№	ТУ: (Тест)Расход КГ ТЭЦ север новая математика	Символ	Вр.хран	Мин. значение	Лимит мин.	Макс. значение	Лимит макс.	Исп	Период измер	Сокращение	Нач.значение	Контроль	Вр.хранения(сут)
2	Расчёт перепада давления по Датчику РАСХОДА	dP	1 минута	0	0			1	15	ТЭЦсеверКГ	0	15 секунд	
24	Расход КГ (функция, ГОСТ 8.386.1-2005, Физический расход)												

Добавить формулу  
 Добавить все формулы  
 Скопировать параметры  
 Вставить параметры  
 Удалить формулу  
 Удалить все формулы  
 Обсчитать формулы

Не показывать мин. значения

Рисунок 18.

## 1.5. Обсчет формул

Обсчет формул производится следующим образом. Система выдает сообщение в окне, где спрашивает относительно каждого параметра формулы – что это такое?

- 1) Если параметр получает данные с датчика то необходимо выбрать соответствующий тип (рис.19). Откроется окно со списком всех датчиков (рис. 20), выбираем необходимый и нажимаем «выход». Даём согласие на продолжение.
- 2) Если параметр является константой (рис. 21), то вводим нужное значение и ждем «ок». Даём согласие на продолжение.
- 3) Если параметр является именем функции (рис. 22), то выбираем нужную функцию из списка. Даём согласие на продолжение.
- 4) Если параметр является объёмной долей газа (рис. 23), то выбираем тип «константа», далее из списка выбираем нужную нам и ждем кнопку «занести константу». Даём согласие на продолжение.
- 5) Если параметр является типом материала сужающего устройства или трубопровода (рис.24), то выбираем тип «марка стали», нужную нам марку находим в списке. Даём согласие на продолжение.

После окончания обсчета параметры ТУ примут вид (рис. 25). Для того чтобы увидеть мгновенные значения расчета поступающие с ТУ необходимо зайти во вкладку «мгновенные значения/ точек учета и групп», откроется окно (рис. 29). Выбираем из списка сверху нужную нам величину (например «расчет расхода коксового газа»), нажимаем правой кнопкой мыши по нижнему полю и выбираем «добавить параметр». Появятся показания расхода на всех ТУ. Для сортировки нужно нажать кнопку «шаблон» и выбрать нужную группу ТУ.

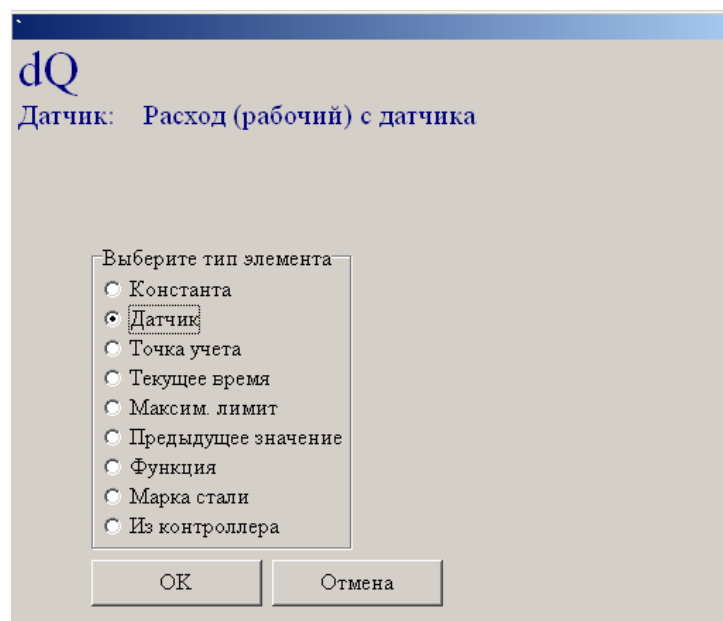


Рисунок 19.

**ДАТЧИК: ТЭЦ северная нитка Рабочий расход КГ КГ**

Выход    Добавить    Изменить    Удалить   

Найти    Шаблон    **Доменный газ**    Номер нового датчика: 2002

№	Наименование	Тип	Вел.	Размерн.	Формула
659	Г/О №2 ДП №4 Брызг. система-верх Расход (вода)	Вода	dQ	куб. м/час	$K=(dP_{max}-dP_{min})/(Im_{max}-Im_{min})$
661	Г/О №2 ДП №4 Расход пара на пропарку.	Разное	Q	н.куб. м/ч	$K=(dP_{max}-dP_{min})/(Im_{max}-Im_{min})$
673	ТЭЦ северная нитка Температура ДГ	ДГ	T1	град. С	$K=(dP_{max}-dP_{min})/(Im_{max}-Im_{min})$
675	ТЭЦ северная нитка Давление ДГ	ДГ	P	кгс/кв. см	$K=(dP_{max}-dP_{min})/(Im_{max}-Im_{min})$
677	ТЭЦ северная нитка Перепад (давления) ДГ	ДГ	dP	кгс/кв. м	$K=(dP_{max}-dP_{min})/(Im_{max}-Im_{min})$
679	ТЭЦ северная нитка Давление КГ	КГ	P	кгс/кв. см	$K=(dP_{max}-dP_{min})/(Im_{max}-Im_{min})$
681	ТЭЦ северная нитка Температура КГ	КГ	T1	град. С	$K=(dP_{max}-dP_{min})/(Im_{max}-Im_{min})$
683	ТЭЦ северная нитка Рабочий расход КГ	КГ	dQ	куб. м/час	$K=(dP_{max}-dP_{min})/(Im_{max}-Im_{min})$
701	ДП №1 Расход дутья воздуха	Разное	Qgdv	куб. м/мин	$K=(dP_{max}-dP_{min})/(Im_{max}-Im_{min})$
705	ГПС-2 ГСС-1 Калорийность(датчик)	Разное	K_pg	Кколл/куб.	$K=(dP_{max}-dP_{min})/(Im_{max}-Im_{min})$
707	ГПС-2 ГСС-2 Калорийность(датчик)	Разное	K_pg	Кколл/куб.	$K=(dP_{max}-dP_{min})/(Im_{max}-Im_{min})$
721	Прокат-2 Расход СмГ	СмГ	dQ	куб. м/час	$K=(dP_{max}-dP_{min})/(Im_{max}-Im_{min})$
723	Прокат-2 Давление СмГ	СмГ	P	кгс/кв. см	$K=(dP_{max}-dP_{min})/(Im_{max}-Im_{min})$

Мин. шкалы    Нижний порог    Мин. имп    Период измер.    Сокращение    В работе    Хранение(сут)

Макс. шкалы    Верхний порог    Макс. имп    Контроль    KU    KI    KR    Коэфф

в мгн. значения датчик    Усреднять данные    Интервал записи: 1 минута

Рисунок 20.

**dQ\_max**  
Датчик: Расход(мах) по шкале датчика  
Константа: Расход (мах) по шкале прибора

Выберите тип элемента

- ☒ Константа
- ☐ Датчик
- ☐ Точка учета
- ☐ Текущее время
- ☐ Максим. лимит
- ☐ Предыдущее значение
- ☐ Функция
- ☐ Марка стали
- ☐ Из контроллера

Калорийность ДГ

Занести константу

Введите значение

50000

Отмена ОК

Рисунок 21.

**KG\_2016**  
**НЕТ описания параметра**

Выберите тип элемента

- ☐ Константа
- ☐ Датчик
- ☐ Точка учета
- ☐ Текущее время
- ☐ Максим. лимит
- ☐ Предыдущее значение
- ☒ Функция
- ☐ Марка стали
- ☐ Из контроллера

Расход ДГ (функция, ГОСТ 8.586.1-2005(ИСО5167-1:2003))

Расход КГ (функция, ГОСТ 8.586.1-2005(ИСО5167-1:2003))

Расход ПГ (функция, ГОСТ 8.586.1-2005(ИСО5167-1:2003))

Расход перенасыщенного пара (функция, ГОСТ 8.586.1-2005(ИСО5167-1:2003))

Отмена ОК

Рисунок 22.

**CO\_kg**  
Константа: объёмная доля в КГ (%) CO\_kg

Выберите тип элемента

- ☒ Константа
- ☐ Датчик
- ☐ Точка учета
- ☐ Текущее время
- ☐ Максим. лимит
- ☐ Предыдущее значение
- ☐ Функция
- ☐ Марка стали
- ☐ Из контроллера

объёмная доля в КГ (%) CO\_kg

Занести константу

Введите значение

8

Отмена ОК

Рисунок 23.

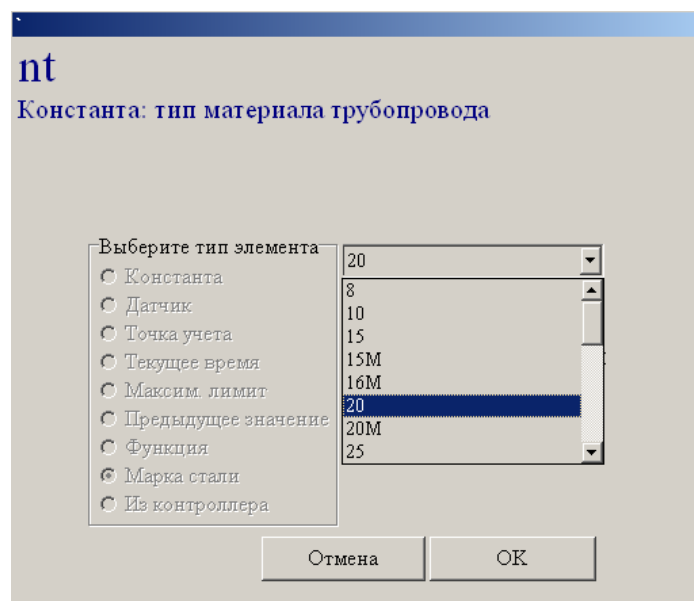


Рисунок 24.

TY: (Тест)Расход КГ ТЭЦ север новая математика КГ					
Выход				Удалить	
Символ	Тип	Значение	Наименование		подт
CH4_kg	Константа	21,51	Константа: объемная доля в КГ (%) CH4_kg□□		
CnHn_kg	Константа	1,9	Константа: объемная доля в КГ (%) CnHn_kg□□		
CO_kg	Константа	8	Константа: объемная доля в КГ (%) CO_kg□□		
CO2_kg	Константа	1	Константа: объемная доля в КГ (%) CO2_kg□□		
D_cy_20	Константа	681,75	Константа: диаметр сужающего устройства в (мм) при		
D_it_20	Константа	1004	Константа: диаметр измерительного трубопровода в (		
data	Константа	2	Константа: время эксплуатации расходомерного узла,		
dP_max	Константа	101,972	Константа: Перепад давления (max) по паспорту датч		
dQ_max	Константа	50000	Датчик: Расход(max) по шкале датчика □□Констант		
H2_kg	Константа	59,5	Константа: объемная доля в КГ (%) H2_kg□□		
method	Константа	0	Константа: метод отбора(Угловой=0 Трехрадиусный=1		
nd	Марка ста	17	12X18H10T		
nt	Марка ста	6	20		
Ra	Константа	0,00251	Константа: коэффициент шероховатости2016□□		
rn	Константа	0,1	Константа: начальный радиус закругления кромки,мм□		
dQ	Датчик	683	ТЭЦ северная нитка Рабочий расход КГ	КГ	
P_bar	Датчик	7	ГРП №1 Барометрическое давление (основной ввод)	ПГ	
P_izb	Датчик	679	ТЭЦ северная нитка Давление КГ	КГ	
T_cel	Датчик	681	ТЭЦ северная нитка Температура КГ	КГ	
KG_2016	Функция	31	Расход КГ (функция, ГОСТ 8.586.1-2005,Физ.Св.2015г		

Рисунок 25.



25	Стан 780 Расход	ПГ	Q1	куб. м/ча
26	Пиковая котельная	ПГ	Q1	куб. м/ча
27	ЦСДО Шахтные печи Расход	ПГ	Q1	куб. м/ча
28	ЦСДО Участок обжига доломита Расход	ПГ	Q1	куб. м/ча
29	ЦСДО Вращающиеся известковые печи Расход	ПГ	Q1	куб. м/ча
30	ТЭЦ северная нитка Расход	ДГ	Q1	куб. м/ча
31	ТЭЦ северная нитка Расход	КГ	Q1	куб. м/ча
32	ГСУ (свеча) Расход	ДГ	Q1	куб. м/ча

№	ТУ: ТЭЦ северная нитка Расход КГ	Символ	Вр.хран	Мин. значение	Лимит мин.
1	Давление абсолютное	Pa	Нет истории	0	0
2	Расчёт перепада давления по Датчику РАСХОДА	dP	1 минута	Макс. значение	Лимит макс.
9	Показание	D	1 минута	50000	15900
15	Поправка (	E	Нет истории	Период измер	Сокращение
33	Расход газа	Q	1 минута	15	ТЭЦ сев.н."Q" КГ
59	Расход газа	Qi	Нет записи	Нач.значение	Контроль
60	Расход по н	SMQ	Нет записи	0	15 секунд
61	Прогноз на	Qp	Нет истории	Вр.хранения(сут)	7
			Обсчитывать формулы	МГН.значения	

Рисунок 26.

575	(Тест)Расход КГ ТЭЦ север новая математика	КГ	Q1	куб. м/ча
1023	Калорийность природного газа	Разное	K_pg	ккал/куб
1024	Калорийность доменного газа	Разное	K_dg	ккал/куб
1025	Калорийность коксового газа	Разное	K_kg	ккал/куб
1026	Показание БАРОМЕТРА	Разное	Pb(mm.v.ct	мм.в.ст
1027	Калорийность СГ на ГСС 1 (расчет)	Разное	K_pg	ккал/куб
1028	Калорийность СГ на ГСС 2 (расчет)	Разное	K_dg	ккал/куб
1029	Калорийность СГ на ГСС 4 (расчет)	Разное	K_dg	ккал/куб
1030	Калорийность ДГ на ГРП 3	Разное	K_kg	ккал/куб
1031	Калорийность ДГ на север Мечел-Кокс	Разное	K_kg	ккал/куб
1032	Калорийность СГ на ГСС 1(датчик)	Разное	K_pg	ккал/куб
1033	Калорийность СГ на ГСС 2(датчик)	Разное	K_pg	ккал/куб
1034	Калорийность ДГ на юг Мечел-Клкс	Разное	K_dg	ккал/куб
1040	Давление в магистрали ДГ	Разное	Pb(mm.v.ct	мм.в.ст
1041	Давление в магистрали КГ	Разное	Pb(mm.v.ct	мм.в.ст

№	ТУ: (Тест)Расход КГ ТЭЦ север новая математика	Символ	Вр.хран	Мин. значение	Лимит мин.
2	Расчёт перепада давления по Датчику РАСХОДА	dP	Нет записи	0	0
24	Расход КГ (функция)	Q	1 минута	Макс. значение	Лимит макс.
					Исп
				Период измер	Сокращение
				15	ТЭЦсеверКГ
				Нач.значение	Контроль
				0	15 секунд
				Вр.хранения(сут)	7
				Показывать МГН.значения	

Рисунок 27.

31	ТЭЦ северная нитка Расход	КГ	Q1	куб.м/ча
32	ГСУ (свеча) Расход	ДГ	Q1	куб.м/ча
33	ГРП-9/1 Расход	ПГ	Q1	куб.м/ча
34	Расход	ПГ	Q1	куб.м/ча
35	ДП-4 Расход на каупер №8	ДГ	Q1	куб.м/ча
36	ГРП-16 Расход	ПГ	Q1	куб.м/ча
37	ГРП-3 (Аглофабрика) Расход	ПГ	Q1	куб.м/ча
38	ГРП-3 (подмешивание) Расход	ПГ	Q1	куб.м/ча
39	ГРП-3 Расход	ДГ	Q1	куб.м/ча
40	ТЭЦ южная нитка Расход	ДГ	Q1	куб.м/ча
41	ТЭЦ южная нитка Расход	КГ	Q1	куб.м/ча
42	Обжимной №3 (хоз.нужды) Расход	ПГ	Q1	куб.м/ча
43	Обжимной №3 (СПЦ-2) Расход	ПГ	Q1	куб.м/ча
44	Обжимной №3 (коло;	ПГ	Q1	куб.м/ча

Добавить формулу  
Добавить все формулы  
Скопировать параметры  
**Вставить параметры**  
Удалить формулу  
Удалить все формулы  
Обсчитать формулы

№	Наименование	Символ	Вр.хран	Мин. значение	Лимит мин.	Макс. значение	Лимит макс.	Исп	Период измер	Сокращение	Нач.значение	Контроль	Вр.хранения(сут)
1	Давление абсолютное		Нет истории	0	0								
2	Расчёт перепада давления по датчику		1 минута										
9	Показание датчика		1 минута	50000	15900								
15	Поправка (для расчета газа)		Нет истории										
33	Расход газа (РД 50-213-80)	Q	1 минута	15						ТЭЦ сев.н "Q" КГ			
59	Расход газа за 15с	Qi	Нет записи										
60	Расход по нарастающей	SMQ	Нет записи										
61	Прогноз на конец часа	Qp	Нет истории										

Показывать мгно.значения

7

Рисунок 28.

**МГНОВЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ТОЧЕК УЧЕТА**

Выход ГАЗ Точки учета Расчёт перепада давления по Датчику I

Расходы за час Найти Шаблон **Коксовый газ** 16.05.2017 11:30:45 43.5 10:31:17

T	хТЭЦсеверКГ	7,203125	D	ГРУ№3 перепад I	71742,75	T	ГРП№23 "Q" ПГ	78667,203	D	ДП №4 перепад П	71742,75
	ТЭЦсеверКГ	7,203125	D	ГРП1 Расход лн I	71742,75	T	КПЦ "Q" ПГ	78667,203	T	ДП-4 "Q" на к8 I	78667,203
D	ДП4 "P" к8 ДГ	71742,75	D	ГРП1 Расход лн I	71742,75	D	ГРП1 Расход лн I	71742,75	D	ДП4 "P" к8 ДГ	71742,75

№	Наименование		dP	dP_1	Q КГ 2017	dP_2
19	ГСУ (свеча) Расход	КГ	0	0	0	0
31	ТЭЦ северная нитка Расход	КГ	94,135	93,747	0	93,747
41	ТЭЦ южная нитка Расход	КГ	0	0	0	0
56	ГПС-2 ГСС1 Расход	КГ	38,662	36,031	0	36,031
58	ГПС-2 ГСС2 Расход	КГ	1,0142	1,3981	0	1,3981
60	Коксовая батарея №6 (маш.стор.) Р	КГ	0	0	0	0
61	Коксовая батарея №6 (кокс.стор.) Р	КГ	0	0	0	0
62	Коксовая батарея №8 (маш.стор.) Р	КГ	0	0	0	0
63	Коксовая батарея №8 (кокс.стор.) Р	КГ	0	0	0	0
550	хТЭЦсевер КГ	КГ	94,135	40865	40800	93,747
575	(Тест)Расход КГ ТЭЦ север новая м	КГ	94,135	61041	60945	93,747

Добавить параметр  
Удалить параметр  
Добавить все параметры  
Удалить все параметры  
Сменить цвет колонки  
Сменить цвет шрифта

Рисунок 29.

## 2. Описание программы «Калькулятор расхода (ДГ, КГ, ПГ) - 2017»

Для проверки правильности вычислений была создана программа расчета физических свойств и расхода доменного, коксового и природного газов по алгоритму, описанному в [1], написанная на Microsoft Excel 2010. Документ включает в себя три листа. Часть величин рассчитаны при помощи макросов, поэтому перед началом работы необходимо их включить.

### 2.1. Ввод входных параметров

Параметры необходимые для расчета нужно вводить в поля выделенные тёмным цветом (рис. 30,31). Для расчета перепада давления по известному рабочему и максимальному расходу, и максимальному перепаду используется таблица «расчета перепада давления» (рис. 31). Если давление или перепад задан в Паскалях, используется таблица перевода величин (рис. 31). После ввода данных нажимаем кнопки «рассчитать d(CY) и D(ИТ) в рабочих условиях» и «проверить введенные данные на соответствие ограничениям».

Граничные условия представлены на рисунке 32. Если произошёл выход за границу, программа выдаст сообщение об ошибке с указанием, что не так.

d(рабочее)	0,650080477	м	доменный газ(ДГ)	M(кг/моль)	$z_{ci}$	$\rho_{ci}(кг/м^3)$	$T_{ci}(K)$	$P_{ci}(Па)$	$k_i$	$r_i(\%)$	$x_i$	$\mu_i(Па^*с)$
D(рабочее)	1,59973973	м	CH <sub>4</sub>	0,016043	0,9981	0,66692	190,6	4587579,2	1,295	0,4	0,0040029	0,0002729
Ra	7,99363E-05	м	N <sub>2</sub>	0,028135	0,9997	1,16455	126,2	3385108	1,4	52,7	0,5265443	0,0005339
гв	0,00004	м	CO <sub>2</sub>	0,04401	0,9947	1,82954	304,2	7356294,4	1,285	17,7	0,1777359	0,0002721
гг	1	год	H <sub>2</sub>	0,0020159	1,0006	0,083803	33,2	1293414,4	1,405	6	0,0598942	0,0004469
(CY)d20	650,229	мм	CO	0,02801	0,9996	1,1644	132,9	3486156	1,4	23,2	0,2318226	0,0005082
(ИТ)D20	1600	мм	коксовый газ(КГ)	M(кг/моль)	$z_{ci}$	$\rho_{ci}(кг/м^3)$	$T_{ci}(K)$	$P_{ci}(Па)$	$k_i$	$r_i(\%)$	$x_i$	$\mu_i(Па^*с)$
Rш	0,251	мм	CH <sub>4</sub>	0,016043	0,9981	0,66692	190,6	4587579,2	1,295	21,6	0,2161831	0,0002729
гв	0,04	мм	N <sub>2</sub>	0,028135	0,9997	1,16455	126,2	3385108	1,4	4,1	0,0409691	0,0005339
№Марки(CY)	17	nd	CO <sub>2</sub>	0,04401	0,9947	1,82954	304,2	7356294,4	1,285	1	0,0100427	0,0002721
№Марки(ИТ)	6	nt	H <sub>2</sub>	0,0020159	1,0006	0,083803	33,2	1293414,4	1,405	59,4	0,5930181	0,0004469
МетодОтбора	0	method	CO	0,02801	0,9996	1,1644	132,9	3486156	1,4	8	0,0799477	0,0005082
			O <sub>2</sub>	0,0319988	0,9993	1,33022	154,6	5032190,4	1,395	4,1	0,040985	0,000472
			C.H <sub>n</sub>	0,0650923	0,9537	2,435467	493,1	4984192,6	1,225	1,8	0,018854	0,000192
Рассчитать d(CY) и D(ИТ) в рабочих условиях												
ИТ - измерительный трубопровод												
CY - сужающее устройство												
d - диаметр CY												
D - диаметр ИТ												
Метод отбора давления: 0-угловой; 1-трёх радиусный; 2-фланцевый.												

Рисунок 30.

ΔP	163,1552	кгс/м <sup>2</sup>	Таблица перевода (ввод в закрашенные ячейки)				
P <sub>c</sub>	101325	Па	МПа	0,0016	0,9709568	0,0016	0,256345
T <sub>c</sub>	293,15	К	кгс/см <sup>2</sup>	0,0163155	9,901004	0,016316	2,612156
R	8,31451	Дж/моль*К	кгс/м <sup>2</sup>	163,1552	99010,04	163,1552	26140,01
ΔP	1600,005942	Па	Па	1600	970956,81	1600,006	256345
P <sub>бар.</sub>	99047,165	Па					
P <sub>изб.</sub>	9,901004	кгс/см <sup>2</sup>	Таблица расчета перепада давления				
t(C)	5,4	С	Q <sub>раз</sub> =	17957	м <sup>3</sup> /ч		
P <sub>абс.</sub>	1070003,974	Па	Q <sub>мах</sub> =	50000	м <sup>3</sup> /ч		
T(K)	278,56	К	ΔP <sub>мах</sub> =	101,172	кгс/м <sup>2</sup>		
P <sub>бар.</sub>	1,01	кгс/см <sup>2</sup>	ΔP =	13,04932	кгс/м <sup>2</sup>		
Проверить введенные данные на соответствие ограничениям							

Рисунок 31.

<b>Границы применения методик:</b>	
<p>Для углового и трёхрадиусного способа отбора давления</p> $d_{20} \geq 12,5 \text{ мм}$ $50 \text{ мм} \leq D_{20} \leq 1000 \text{ мм}$ $0,1 \leq \beta \leq 0,75$ $Re \geq 5000 \text{ при } \beta \leq 0,56$ $Re \geq 16000\beta^2 \text{ при } \beta > 0,56$ $(\Delta P)/P \leq 0,25$	<p>Для фланцевого отбора давления</p> $d_{20} \geq 12,5 \text{ мм}$ $50 \text{ мм} \leq D_{20} \leq 1000 \text{ мм}$ $0,1 \leq \beta \leq 0,75$ $Re \geq 5000 \text{ при } \beta \leq 0,56$ $Re \geq 1,7 \cdot 10^5 \beta^2 D \text{ при } \beta > 0,56$ $(\Delta P)/P \leq 0,25$
<p>Для методик вычисления расхода и физических свойств природного газа</p> $20 \leq H, \text{ МДж/м}^3 \leq 48$ $0,66 \leq \rho_c, \text{ кг/м}^3 \leq 1,05$ $0 \leq x_a \leq 0,20$ $0 \leq x_y \leq 0,20$ $250 \leq T, \text{ К} \leq 350$ $0,1 \leq p, \text{ МПа} \leq 7,5$	

## 2.2. Расчет физических свойств

Расчет величин производится по формулам выделенным рамками. Поля со значениями расчетных физических величин выделены жирными рамками.

**ВНИМАНИЕ!** При расчете критерия Рейнольдса (рис. 38) определенного газа нужно нажимать **соответствующую ему** кнопку, т.е. для коксового газа кнопку «вычислить Re (КГ)», так как при расчете значения для всех трёх газов записываются в одно поле.

<b>Плотность</b> $\rho = \frac{\rho_c PT_c}{P_c TK}$	$\rho_{ДГ} = 13.67188793 \text{ кг/м}^3$ $\rho_{КГ} = 5.038302458 \text{ кг/м}^3$ $\rho_{ПГ} = 7.649804927 \text{ кг/м}^3$	$\rho_c = \frac{\sum x_i \rho_{ci}}{z_c}$	$\rho_{с\_ДГ} = 1.217142 \text{ кг/м}^3$ $\rho_{с\_КГ} = 0.45346 \text{ кг/м}^3$ $\rho_{с\_ПГ} = 0.673558 \text{ кг/м}^3$	с - стандартные условия пк - псевдокритические параметры к - критические параметры ки - критический параметр юго компонента
<b>Коэффициент сжимаемости</b> $K = \frac{z}{z_c}$	$K_{ДГ} = 0.989355941$ $K_{КГ} = 1.000217545$ $K_{ПГ} = 0.978508183$			
<b>Фактор сжимаемости в рабочих условиях</b> $Z = \frac{1}{3} + 2 \cdot 3 \sqrt{-\frac{q}{2}}$	$Z_{ДГ} = 0.98841603$ $Z_{КГ} = 1.00027645$ $Z_{ПГ} = 0.976669815$	$q = \frac{A - B - B^2 - 3AB}{3} - \frac{2}{27}$	$q_{ДГ} = -0.07028$ $q_{КГ} = -0.07417$	$x_i = \left( \frac{r_i / z_{ci}}{\sum_j r_j / z_j} \right)$ г - объемная доля(ОД) х -молярная доля(МД)
$A = \frac{aP}{R^2 T^{2.5}}$	$A_{ДГ} = 0.024962038$ $A_{КГ} = 0.010948069$	$\alpha = \frac{\Omega_a R^2 T_{nk}^{2.5}}{P_{nk}}$	$a_{ДГ} = 2.0886461$ $a_{КГ} = 0.9160566$	
$B = \frac{bP}{RT}$	$B_{ДГ} = 0.012487143$ $B_{КГ} = 0.010755686$	$b = \frac{\Omega_b R T_{nk}}{P_{nk}}$	$b_{ДГ} = 2.703E-05$ $b_{КГ} = 2.328E-05$	$T_{nk\_ДГ} = 152,52212 \text{ К}$ $T_{nk\_КГ} = 97,25706 \text{ К}$
		$\Omega_a = 0.427480233$ $\Omega_b = 0.08664035$		
			$T_{nk} = \left( \frac{\left[ \sum_i x_i \left( \frac{T_{ki}^{2.5}}{P_{ki}} \right)^{0.5} \right]^2}{\sum_i x_i \left( \frac{T_{ki}}{P_{ki}} \right)} \right)^{\frac{2}{3}}$	

# Фактор сжимаемости в стандартных условиях

$$Z_c = \frac{1}{3} + 2 \cdot \sqrt[3]{-\frac{q_c}{2}}$$

$$\begin{aligned} Z_{c\_ДГ} &= 0,999049977 \\ Z_{c\_КГ} &= 1,000058892 \\ Z_{c\_ПГ} &= 0,998121254 \end{aligned}$$

$$q_c = \frac{A_c - B_c - B_c^2 - 3A_c B_c}{3} - \frac{2}{27}$$

$$\begin{aligned} q_{c\_ДГ} &= -0,073757851 \\ q_{c\_КГ} &= -0,074093707 \end{aligned}$$

$$A_c = \frac{a P_c}{R^2 T_c^{2,5}}$$

$$\begin{aligned} A_{c\_ДГ} &= 0,002080575 \\ A_{c\_КГ} &= 0,000912517 \end{aligned}$$

$$B_c = \frac{b P_c}{R T_c}$$

$$\begin{aligned} B_{c\_ДГ} &= 0,00112363 \\ B_{c\_КГ} &= 0,000967828 \end{aligned}$$

$$P_{nk} = \left( \frac{T_{nk}}{\sum_i x_i \left( \frac{T_{ki}}{P_{ki}} \right)} \right)$$

$$\begin{aligned} P_{nk\_ДГ} &= 4064963 \text{ Па} \\ P_{nk\_КГ} &= 3009330,1 \text{ Па} \end{aligned}$$

## Коэффициент расширения

$$\varepsilon = 1 - (0,351 + 0,256\beta^4 + 0,93\beta^8) \left( 1 - \left( 1 - \frac{\Delta P}{P} \right)^{\frac{1}{k}} \right)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\_ДГ} &= 0,9996111 \\ \varepsilon_{\_КГ} &= 0,99961 \\ \varepsilon_{\_ПГ} &= 0,9995906 \end{aligned}$$

$$\beta = \frac{d}{D} \quad \beta = 0,406366$$

k - показатель адиабаты (ПА)

$$k = \sum_i x_i k_i$$

$$\begin{aligned} k_{\_ДГ} &= 1,379439532 \\ k_{\_КГ} &= 1,375606588 \\ k_{\_ПГ} &= 1,310389637 \end{aligned}$$

## Коэффициент скорости выхода

$$E = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^4}}$$

$$E = 1,013919905$$

## Расчет диаметров СУ и ИГ в рабочих условиях

$$\begin{aligned} d &= d_{20} K_{cy} \quad D = D_{20} K_T \\ K_{cy} &= 1 + \alpha_t (t - 20) \\ K_T &= 1 + \alpha_t (t - 20) \\ \alpha_t &= 10^{-6} (a_0 + a_1 (t/1000) + a_2 (t/1000)^2) \end{aligned}$$

Рисунок 34.

## Коэффициент истечения

$$C(Re) = 0,5961 + 0,0261\beta^2 - 0,216\beta^8 + 0,000521 \left( \frac{10^6 \beta}{Re} \right)^{0,7} + (0,0188 + 0,0063A) \beta^{3,5} \left( \frac{10^6}{Re} \right)^{\frac{1}{15}} + (0,043 + 0,08e^{-10L_1} - 0,0123e^{-7L_1}) (1 - 0,11A) \frac{\beta^4}{1 - \beta^4} - 0,031(M_1 - 0,8M_1^{1,1}) \beta^{1,3} + M_2$$

$$C = 0,604182585$$

$$A = 0,011950569$$

$$M_1 = \frac{2L_2}{1 - \beta}$$

$$M_1 = 0$$

$$L_1 = 0$$

$$L_2 = 0$$

$$\begin{cases} M_2 = 0,011(0,75 - \beta) \left( 2,8 - \frac{D}{0,0254} \right) \text{ при } D < 0,07112 \text{ м} \\ M_2 = 0 \text{ при } D \geq 0,07112 \text{ м} \end{cases}$$

$$M_2 = 0$$

$$\begin{cases} L_1 = L_2 = 0 - \text{для углового метода отбора давления} \\ L_1 = 1; L_2 = 0,47 - \text{для трёхрадиусного способа отбора давления} \\ L_1 = L_2 = \frac{0,0254}{D} - \text{для фланцевого способа отбора давления} \end{cases}$$

## Коэффициент шероховатости

$$K_{ш} = 1, \text{ если } Ra \in [Ra_{\min}; Ra_{\max}] \quad [\blacksquare]$$

$$Ra_{\max} = \begin{cases} \frac{(0,718866\beta^{-3,887} + 0,364)}{10^4} D \text{ при } Re \leq 10^4 \\ \frac{(A_0 \beta^{A_1} + A_2)}{10^4} D \text{ при } Re > 10^4 \text{ и } \beta < 0,65 \\ \frac{(A_0 0,65^{A_1} + A_2)}{10^4} D \text{ при } Re > 10^4 \text{ и } \beta \geq 0,65 \end{cases}$$

$$A_i = \sum_{k=0}^3 B_k [\lg(Re)]^k$$

$$\text{Если } Ra_{\max} \geq \frac{15D}{10^4}, \text{ то принимаем } Ra_{\max} = \frac{15D}{10^4}$$

$$\begin{aligned} K_{ш} &= 1 \\ Ra_{\max} &= 0,0006635 \\ Ra_{\min} &= 0 \end{aligned}$$

	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
	Re ∈ (10 <sup>4</sup> ; 10 <sup>5</sup> )		
B <sub>0</sub>	8,87	6,7307	-10,244
B <sub>1</sub>	-3,7114	-5,5844	5,7094
B <sub>2</sub>	0,41841	0,732485	0,76477
B <sub>3</sub>	0	0	0
	Re ∈ (10 <sup>5</sup> ; 3 × 10 <sup>6</sup> )		
B <sub>0</sub>	27,23	-25,928	1,7622
B <sub>1</sub>	-11,458	12,426	-3,8765
B <sub>2</sub>	1,6117	-2,09397	1,05567
B <sub>3</sub>	-0,07567	0,106143	-0,076764
	Re ∈ (3 × 10 <sup>6</sup> ; 10 <sup>8</sup> )		
B <sub>0</sub>	16,5416	322,594	-92,029
B <sub>1</sub>	-6,60709	-132,2	37,935
B <sub>2</sub>	0,88147	17,795	-5,1885
B <sub>3</sub>	-0,039226	-0,799765	0,23583

Рисунок 35.

$$Ra_{\min} = \begin{cases} (7,1592 - 12,387\beta - (2,0118 - 3,469\beta) \lg(Re) + (0,1382 - 0,23762\beta)(\lg(Re))^2) \frac{D}{10^4} & \text{при } \beta < 0,65 \\ (-0,892353 + 0,24308 \lg(Re) - 0,0162562(\lg(Re))^2) \frac{D}{10^4} & \text{при } \beta \geq 0,65 \end{cases}$$

если  $Ra_{\min} \leq 0$  или  $Re < 3 \cdot 10^6$ , то принимаем  $Ra_{\min} = 0$ .

Если [■] не выполняется, то  $K_{ш}(Re) = 1 + 5,22\beta^{3,5}(\gamma - \gamma^*)$

$$\begin{cases} \gamma = (1,74 - 2 \lg(\frac{2A_{ш}}{D} - \frac{37,36 \lg(K_d + 3,33333K_r)}{Re}))^{-2} \\ \gamma^* = (1,74 - 2 \lg(\frac{2A_{ш}}{D} - \frac{37,36 \lg(K_d + 3,33333K_r)}{Re}))^{-2} \end{cases}$$

$\gamma = 0,0169108$   
 $\gamma^* = 0,0169108$

	$\gamma$	$\gamma^*$
$A_{ш}$	$\pi Ra$	$\pi Ra_{\max}$ при $Ra > Ra_{\max}$ $\pi Ra_{\min}$ при $Ra < Ra_{\min}$
$K_d$	$\frac{0,26954 \pi Ra}{D}$	$\frac{0,26954 \pi Ra_{\max}}{D}$ при $Ra > Ra_{\max}$ $\frac{0,26954 \pi Ra_{\min}}{D}$ при $Ra < Ra_{\min}$
$K_r$	$\frac{5,035}{Re}$	$\frac{5,035}{Re}$

#### Коэффициент притупления входной кромки диафрагмы

$K_n = 1$ , если  $r_k \leq 4 \cdot 10^{-4} d$  (где  $r_k$  радиус входной кромки диафрагмы)

Иначе,  $(r_k > 4 \cdot 10^{-4} d) K_n = 0,9826 + (\frac{r_k}{d} + 0,0007773)^{0,6}$

$r_k = a - (a - r_n) e^{-t/t_0}$ ,

где  $a = 0,000195$

$r_n$  — начальный радиус входной кромки диафрагмы

$t$  — текущее время эксплуатации с момента определения  $r_n$ , измеренное в годах.

$$K_n = 1$$

$$r_k = 8,39376E-05$$

Рисунок 36.

#### Динамическая вязкость

$$\mu = \sum_i \left[ \frac{x_i \mu_i}{\sum_j x_j \Phi_{ij}} \right]$$

$$\Phi_{ij} = \frac{\left[ 1 + \left( \frac{\mu_i}{\mu_j} \right)^{1/2} * \left( \frac{M_j}{M_i} \right)^{1/4} \right]^2}{\left[ 8 * \left( 1 + \frac{M_j}{M_i} \right) \right]^{1/2}}$$

$$\mu_i = \begin{cases} \mu_{ki} T_{pri}^{0,965} & \text{при } T_{pri} < 1 \\ \mu_{ki} T_{pri}^{(0,71 + \frac{0,29}{T_{pri}})} & \text{при } T_{pri} > 1 \end{cases}$$

$$\mu_{ki} = \frac{3,5 * M_i^{0,5} * P_i^2}{10^7 * T_{ki}^{1/6}} \quad T_{pri} = \frac{T}{T_{ki}}$$

расчет динамической  
Вязкости  
(Доменного Газа)

расчет динамической  
Вязкости  
(Коксового Газа)

$$\mu_{ДГ} = 1,73E-03 \text{ Па*с}$$

$$\mu_{КТ} = 2,13E-05 \text{ Па*с}$$

$$\mu_{ПГ} = 1,06E-05 \text{ Па*с}$$

Рисунок 37.

#### Критерий Рейнольдса

$Re = \frac{Re^*}{C' K'_{ш}}$  - общая итерационная формула

где  $C' = C(Re = 10^6)$  - коэффициент истечения рассчитанный для  $Re = 10^6$

$K'_{ш} = K_{ш}(Re = 10^6)$ , аналогично.

$Re^* = \frac{1}{D \mu} d^2 C' E K'_{ш} K_n \varepsilon (2 \Delta P p)^{0,5}$

1.) рассчитываем  $C'$ ,  $K'_{ш}$  и  $Re^*$

2.) вычисляем  $C = C(Re = Re^*)$ ,  $K_{ш} = K_{ш}(Re = Re^*)$  и подставляем в

$Re_1 = \frac{Re^*}{C' K'_{ш}}$  - получаем первое приближение для числа  $Re$

3.)  $\delta_1 = \frac{Re_1 - Re^*}{Re_1}$ , если  $|\delta_1| \leq 10^{-4}$ , то  $Re = Re_1$ .

Иначе  $Re_2 = \frac{Re^*}{C' K'_{ш}}$   $C_{ш}$ , где  $C = C(Re = Re_1)$ ,  $K_{ш} = K_{ш}(Re = Re_1)$

$\delta_2 = \frac{Re_2 - Re_1}{Re_2}$ , если  $|\delta_2| \leq 10^{-4}$ , то  $Re = Re_2$ .

Иначе  $C = C(Re = Re_n)$ ,  $K_{ш} = K_{ш}(Re = Re_n)$

$Re_{n+1} = \frac{Re^*}{C' K'_{ш}}$   $C_{ш}$ , при  $\left| \frac{Re_{n+1} - Re_n}{Re_{n+1}} \right| \leq 10^{-4}$  принимаем  $Re = Re_{n+1}$

Далее определяем истинные значения  $C$  и  $K_{ш}$ , подставляя в них найденное  $Re$ .

$$C' = 0,6044328$$

$$K'_{ш} = 1$$

$$Re^*_{ДГ} = 1954859,2$$

$$Re^*_{КТ} = 965673,49$$

$$Re^*_{ПГ} = 2388846,7$$

$$\delta = 2,183E-07$$

3 итерации

Вычислить Re  
(ДГ)

Вычислить Re  
(КТ)

Вычислить Re  
(ПГ)

$$Re = 1954049,9$$

Рисунок 38.



Объёмный расход приведённый к стандартным условиям			
$Q_c = \frac{3600\pi d^2}{4\rho_c} K_{ш} K_{п} E C \varepsilon (2\rho \Delta P)^{0,5}$		Qc_ДГ = 1845,646165	м³/ч
		Qc_КГ = 2999,136369	м³/ч
		Qc_ПГ = 2494,678531	м³/ч
Массовый расход			
$Q_m = \frac{3600\pi d^2}{4} K_{ш} K_{п} E C \varepsilon (2\rho \Delta P)^{0,5}$		Qm_ДГ = 2246,412864	кг/ч
		Qm_КГ = 1361,918783	кг/ч
		Qm_ПГ = 1683,908008	кг/ч

Рисунок 39.

марка стали	a <sub>0</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	α <sub>t</sub>	K <sub>cy</sub>	K <sub>T</sub>	d(мм)	D(мм)
1) 8	10,9	7,7	2,4	1,09416E-05	0,999840252	0,999840252	650,1251272	1599,744403
2) 10	10,8	9	4,2	1,08487E-05	0,999841609	0,999841609	650,1260094	1599,746574
3) 15	11,1	7,9	3,9	1,11428E-05	0,999837316	0,999837316	650,1232178	1599,739705
4) 15M	10,7	13	13	1,07706E-05	0,99984275	0,99984275	650,1267512	1599,748399
5) 16M	11,1	8,4	3,7	1,11455E-05	0,999837276	0,999837276	650,1231922	1599,739642
6) 20	11,1	7,7	3,4	1,11417E-05	0,999837331	0,999837331	650,1232282	1599,73973
7) 20M	10,7	13	13	1,07706E-05	0,99984275	0,99984275	650,1267512	1599,748399
8) 25	12,2	0	0	0,0000122	0,99982188	0,99982188	650,1131812	1599,715008
9) 30	10,2	10,4	5,6	1,02563E-05	0,999850258	0,999850258	650,1316332	1599,760412
10) 35	10,2	10,4	5,6	1,02563E-05	0,999850258	0,999850258	650,1316332	1599,760412
11) X6CM	10,1	2,7	0	1,01146E-05	0,999852327	0,999852327	650,1329788	1599,763723
12) X7CM	10,1	2,7	0	1,01146E-05	0,999852327	0,999852327	650,1329788	1599,763723
13) 12MX	11,3	3,8	0	1,13205E-05	0,99983472	0,99983472	650,1215304	1599,735553
14) 12X1MΦ	10	9,6	6	1,0052E-05	0,999853241	0,999853241	650,1335728	1599,765185
15) 12X17	9,4	7,4	6	9,44013E-06	0,999862174	0,999862174	650,1393816	1599,779478
16) 12X18H9T	15,6	8,3	6,5	1,5645E-05	0,999771583	0,999771583	650,0804766	1599,634533
17) 12X18H10T	15,6	8,3	6,5	1,5645E-05	0,999771583	0,999771583	650,0804766	1599,634533
18) 14X17H2	9,4	7,5	7,8	9,44073E-06	0,999862165	0,999862165	650,1393759	1599,779465
19) 15XMA	11,1	8,5	5,2	1,11461E-05	0,999837268	0,999837268	650,1231867	1599,739628
20) 15X1M1Φ	10,4	8,1	4,4	1,04439E-05	0,99984752	0,99984752	650,1298528	1599,756031
21) 15X5M	10,1	2,7	0	1,01146E-05	0,999852327	0,999852327	650,1329788	1599,763723
22) 15X12ENMΦ	9,8	3	0	9,8162E-06	0,999856683	0,999856683	650,1358114	1599,770694
23) 15X18H9	15,7	5,7	0	1,57308E-05	0,999770331	0,999770331	650,0796623	1599,632529
24) 20X23H13	15,5	1,7	0	1,55092E-05	0,999773566	0,999773566	650,081766	1599,637706
25) 36X18H25C2	12	10	5,4	1,20542E-05	0,999824009	0,999824009	650,1145657	1599,718415

Рисунок 40.

Природный газ (ПГ)		$z_{ci}$	$M(\text{кг/кмоль})$	$r_i(\%)$	$x_i$	$\sqrt{b_i}$
$\text{CH}_4(\text{э})$		0,9981	16,043	99,09	0,99091	0,0436
$\text{N}_2(\text{а})$		0,9997	28,135	0,79	0,00789	0,0173
$\text{CO}_2(\text{у})$		0,9947	44,01	0,12	0,0012	0,0728

**Фактор сжимаемости при стандартных условиях**

$$Z_c = 1 - (0,0741 \rho_c - 0,006 - 0,063 x_a - 0,0575 x_y)^2$$

$Z_c = 0,99812$

**Плотность при стандартных условиях**

$$\rho_c = \frac{10^{-3} \cdot P_c \cdot \sum_i x_i M_i}{R \cdot T_c \cdot Z_{\text{смеси}}}$$

$\rho_c = 0,673558 \text{ кг/м}^3$

$$Z_{\text{смеси}} = 1 - \left( \sum_i x_i \sqrt{b_i} \right)^2$$

$Z_{\text{смеси}} = 0,998114$

**Фактор сжимаемости в рабочих условиях**

$$Z = 1 + B_m \cdot \rho_m + C_m \cdot \rho_m^2 = \frac{\left( 1 + A_2 + \frac{A_1}{A_2} \right)}{3}$$

$Z = 0,97667$

$$A_2 = \sqrt[3]{A_0 - \sqrt{A_0^2 - A_1^3}}$$

$A_2 = 0,929005$

$$A_1 = 1 + B_0$$

$A_1 = 0,9299381$

$$A_0 = 1 + 1,5 \cdot (B_0 + C_0)$$

$A_0 = 0,9023973$

Рисунок 41.

$B_0 = b \cdot B_m$	$B_0 = -0,053209$				
$C_0 = b^2 \cdot C_m$	$C_0 = 0,0040851$				
$b = \frac{10^{-3} \cdot p}{2,7715 \cdot T}$	$b = 1,3092046$				
$B_m = x_3^2 \cdot B_1 + x_3 x_a B \cdot (B_1 + B_2) - 1,73 x_3 x_y (B_1 B_3)^{0,5} +$ $+ x_a^2 B_2 + 2 x_a x_y B_{23} + x_y^2 B_3,$	$B_m = -0,040642283$				
$C_m = x_3^3 C_1 + 3 x_3^2 x_a C \cdot (C_1^2 C_2)^{1/3} + 2,76 x_3^2 x_y (C_1^2 C_3)^{1/3} +$ $+ 3 x_3 x_a^2 C \cdot (C_1 C_2^2)^{1/3} + 6,6 x_3 x_a x_y (C_1 C_2 C_3)^{1/3} + 2,76 x_3 x_y^2 (C_1 C_3^2)^{1/3} +$ $+ x_a^3 C_2 + 3 x_a^2 x_y C_{223} + 3 x_a x_y^2 C_{233} + x_y^3 C_3,$	$C_m = 0,002383364$				
$B_1 = -0,425468 + 2,865 \cdot 10^{-3} T - 4,62073 \cdot 10^{-6} T^2 +$ $+ (8,77118 \cdot 10^{-4} - 5,56281 \cdot 10^{-6} T + 8,81514 \cdot 10^{-9} T^2) \cdot H_3 +$ $+ (-8,24747 \cdot 10^{-7} + 4,31436 \cdot 10^{-9} T - 6,08319 \cdot 10^{-12} T^2) \cdot H_3^2,$	$B_1 = -0,040984909$				
$B_2 = -0,1446 + 7,4091 \cdot 10^{-4} \cdot T - 9,1195 \cdot 10^{-7} \cdot T^2$	$B_2 = -0,003799388$				
$B_{23} = -0,339693 + 1,61176 \cdot 10^{-3} \cdot T - 2,04429 \cdot 10^{-6} \cdot T^2$	$B_{23} = -0,038954326$				
$B_3 = -0,86834 + 4,0376 \cdot 10^{-3} \cdot T - 5,1657 \cdot 10^{-6} \cdot T^2$	$B_3 = -0,119059934$				

Рисунок 42.



$C_1 = -0,302488 + 1,95861 \cdot 10^{-3}T - 3,16302 \cdot 10^{-6}T^2 + (6,46422 \cdot 10^{-4} - 4,22876 \cdot 10^{-6}T + 6,88157 \cdot 10^{-9}T^2) \cdot H_3 + (-3,32805 \cdot 10^{-7} + 2,2316 \cdot 10^{-9}T - 3,67713 \cdot 10^{-12}T^2) \cdot H_3^2,$	$C_1 =$	0,002393076
$C_2 = 7,8498 \cdot 10^{-3} - 3,9895 \cdot 10^{-5}T + 6,1187 \cdot 10^{-8}T^2$	$C_2 =$	0,001379
$C_3 = 2,0513 \cdot 10^{-3} + 3,4888 \cdot 10^{-5}T - 8,3703 \cdot 10^{-8}T^2$	$C_3 =$	0,004935
$C_{223} = 5,52066 \cdot 10^{-3} - 1,68609 \cdot 10^{-5}T + 1,57169 \cdot 10^{-8}T^2$	$C_{223} =$	0,001854
$C_{233} = 3,58783 \cdot 10^{-3} + 8,06674 \cdot 10^{-6}T - 3,25798 \cdot 10^{-8}T^2$	$C_{233} =$	0,003039
$B^* = 0,72 + 1,875 \cdot 10^{-5}(320 - T)^2$	$B^* =$	0,725317
$C^* = 0,92 + 0,0013 \cdot (T - 270)$	$C^* =$	0,963108
$H_3 = 128,64 + 47,479 \cdot M_3$	$H_3 =$	890,397
$M_3 = (24,05525 \cdot z_c \rho_c - 28,0135x_a - 44,01x_y) / x_3$	$M_3 =$	16,04408

Рисунок 43.

#### Плотность в рабочих условиях

$$\rho = \frac{10^3 \cdot M_m \cdot P}{R \cdot T \cdot z}$$

$$\rho = 7,6498049 \text{ кг/м}^3$$

$$M_m = 2405525 z_c \rho_c$$

$$M_m = 16,172164 \text{ кг/кмоль}$$

#### Высшая теплота сгорания

$$H = 92,819(0,51447\rho_c + 0,05603 - 0,65689x_a - x_y)$$

$$H = 36,77211 \text{ МДж/м}^3$$

#### Показатель адиабаты

$$k = 1,556(1 + 0,074x_a) - 3,9 \cdot 10^{-4}T(1 - 0,68x_a) - 0,208\rho_c + (p/T)^{1,43}[384(1 - x_a)(p/T)^{0,8} + 26,4x_a],$$

$$k = 1,31039$$

#### Коэффициент сжимаемости

$$K = \frac{Z}{Z_c}$$

$$K = 0,97850818$$

Рисунок 44.

<u>Динамическая вязкость</u>			
$\mu = \mu_T * C_\mu$	$\mu = 10.5991608$ мкПа*с		
$\mu_T = 3,24 * \frac{\sqrt{T} + 1,37 - 9,09 * \rho_c^{0,125}}{\sqrt{\rho_c} + 2,08 - 1,5 * (x_a + x_y)}$	$\mu_T = 10,55835$	$C_\mu = 1 + \frac{P_n^2}{30 * (T_n - 1)}$	$C_\mu = 1,00387$
$T_n = \frac{T}{T_{нк}}$	$T_n = 1,4601027$		
$P_n = \frac{P}{P_{нк}}$	$P_n = 0,2309906$		
$T_{нк} = 88,25 * (0,9915 + 1,759 * \rho_c - x_y - 1,681 * x_a)$	$T_{нк} = 190,781$ К		
$P_{нк} = 2,9585 * (1,608 - 0,05994 * \rho_c + x_y - 0,392 * x_a)$	$P_{нк} = 4,63224$ МПа		

Рисунок 45.

### 2.3. Создание метрологической таблицы

Также программа позволяет произвести расчет таблицы метрологических данных по всем ТУ, в которых используется новая математика (список этих ТУ вместе со всеми их характеристиками находится на листе «Global»). Для того чтобы произвести расчет необходимо на листе «Promgaz» в поле «№ ТУ» указать нужную ТУ и нажать на кнопку «Расчет метрологической таблицы» (рис. 46). После этого на листе «Global» появится таблица, в которой перечислены: №ТУ, наименование ТУ, тип энергоносителя, сила тока с датчиков (давления, температуры, барометрического давления, перепада), рассчитанные величины (абсолютное давление, температура, перепад давления, расход). Всего производится 40 вычислений (рис. 47).

Расчет метрологической таблицы		
№ ТУ	Tmax	Tmin
77	100	0
	ImaxQ	IminQ
	20	4
	ImaxPizb	IminPizb
	20	4
	ImaxT	IminT
	20	4
	ImaxPbar	IminPbar
	20	4
	Imax_dP	Imin_dP
	20	4
	Pизбmax	Pизбmax
	0,2549	1,63155

Рисунок 46.

№ ТУ	77	Наименование		Г/О №1 ДП №1 (выход чистого газа)расход				ДГ
№ Измерения	IdP(mA)	I <sub>Ризб</sub> (mA)	I <sub>T</sub> (mA)	I <sub>Рбар</sub> (mA)	T(°C)	Рабс(кгс/см²)	dP(кгс/м²)	Q(м³/ч)
1	7,2	8	6	5,6	12,5	0,227	203,9400024	112224,5
2	10,4	8	6	5,6	12,5	0,227	407,8800049	153367,5
3	13,6	8	6	5,6	12,5	0,227	611,8200073	181095,2
4	16,8	8	6	5,6	12,5	0,227	815,7600098	201060,1
5	20	8	6	5,6	12,5	0,227	1019,700012	215437
6	7,2	12	8	8,8	25	0,617	203,9400024	185015,8
7	10,4	12	8	8,8	25	0,617	407,8800049	258535,5
8	13,6	12	8	8,8	25	0,617	611,8200073	312802,3
9	16,8	12	8	8,8	25	0,617	815,7600098	356724,3
10	20	12	8	8,8	25	0,617	1019,700012	393785,8
11	7,2	16	10	15,2	37,5	1,333	203,9400024	268305,7
12	10,4	16	10	15,2	37,5	1,333	407,8800049	377352,8
13	13,6	16	10	15,2	37,5	1,333	611,8200073	459616,2
14	16,8	16	10	15,2	37,5	1,333	815,7600098	527779,6
15	20	16	10	15,2	37,5	1,333	1019,700012	586781,7
16	7,2	20	12	20	50	1,886	203,9400024	313583,7
17	10,4	20	12	20	50	1,886	407,8800049	441737,3
18	13,6	20	12	20	50	1,886	611,8200073	538910,2
19	16,8	20	12	20	50	1,886	815,7600098	619855,7
20	20	20	12	20	50	1,886	1019,700012	690309,7
21	7,2	8	14	5,6	62,5	0,227	203,9400024	103888,1
22	10,4	8	14	5,6	62,5	0,227	407,8800049	141903
23	13,6	8	14	5,6	62,5	0,227	611,8200073	167516,2
24	16,8	8	14	5,6	62,5	0,227	815,7600098	185955,3
25	20	8	14	5,6	62,5	0,227	1019,700012	199230,8
26	7,2	12	16	8,8	75	0,617	203,9400024	171661,9
27	10,4	12	16	8,8	75	0,617	407,8800049	239785,5
28	13,6	12	16	8,8	75	0,617	611,8200073	290060,8
29	16,8	12	16	8,8	75	0,617	815,7600098	330748
30	20	12	16	8,8	75	0,617	1019,700012	365105,1
31	7,2	16	18	15,2	87,5	1,333	203,9400024	249531,3
32	10,4	16	18	15,2	87,5	1,333	407,8800049	350842,9
33	13,6	16	18	15,2	87,5	1,333	611,8200073	427323,8
34	16,8	16	18	15,2	87,5	1,333	815,7600098	490694,2
35	20	16	18	15,2	87,5	1,333	1019,700012	545546
36	7,2	20	20	20	100	1,886	203,9400024	292373,7
37	10,4	20	20	20	100	1,886	407,8800049	411775,1
38	13,6	20	20	20	100	1,886	611,8200073	502355,2
39	16,8	20	20	20	100	1,886	815,7600098	577807,2
40	20	20	20	20	100	1,886	1019,700012	643478,5

Рисунок 47.

## Приложение №1 «Сравнение результатов расчета программами Расходомер ИСО и Калькулятор расхода»

Расчет расхода ДГ в Excel и Расходомер ИСО по параметрам указанным в Приложении №3.

Абсолютное давление, мПа	Температура, Град. Цельсия	Перепад давления, кПа	Объёмный расход при ст. условиях (Расходомер ИСО), м³/ч	Объёмный расход при ст. условиях (Excel), м³/ч	Относительная погрешность, %
1,07	5,4	1,6	125000	125741,45	0,59
1,07	5,4	1,024	100026	100619,68	0,59
1,07	5,4	0,784	87535	88054,44	0,59
1,07	5,4	0,4	62544,8	62916,14	0,59
1,07	5,4	0,256	50046,2	50343,31	0,59
1,07	5,4	0,144	37545	37768	0,59

Расчет расхода КГ в Excel и Расходомер ИСО по параметрам указанным в Приложении №2.

Абсолютное давление, мПа	Температура, Град. Цельсия	Перепад давления, кПа	Объёмный расход при ст. условиях (Расходомер ИСО), м³/ч	Объёмный расход при ст. условиях (Excel), м³/ч	Относительная погрешность, %
1,07	5,4	1,6	8000	8024,25	0,302
1,07	5,4	1,024	6402,53	6422,36	0,308
1,07	5,4	0,784	5603,49	5621,11	0,313
1,07	5,4	0,4	4004,86	4018	0,327
1,07	5,4	0,256	3205,27	3216,12	0,337
1,07	5,4	0,144	2405,45	2414	0,354

Расчет расхода ПГ в Excel и Расходомер ИСО по параметрам указанным в Приложении №4.

Абсолютное давление, мПа	Температура, Град. Цельсия	Перепад давления, кПа	Объёмный расход при ст. условиях (Расходомер ИСО), м³/ч	Объёмный расход при ст. условиях (Excel), м³/ч	Относительная погрешность, %
1,07	5,37	0,919	4620,08	4666,66	0,998
1	-20	0,0827	1412,91	1426,93	0,982
1	30	0,5882	3417,58	3451,84	0,992
1,1	-20	0,2297	2470,17	2494,67	0,982
1,1	30	0,147	1796,62	1814,16	0,967

**Приложение №2 «Пример расчета расхода коксового газа программой Расходомер ИСО»**

**Программный комплекс Расходомер ИСО версии 1.40 от 13.05.2010**

**Владелец данной копии программы:**

**ОАО «ЧМК» ПКЦ КИПиА**

**Расчет № 0 от 26.04.2017**

**выполнен в соответствии с ГОСТ 8.586.(1-5)-2005**

**К/Б №8. Коксовый газ**

**Вид расчета - Расчёт сужающего устройства**

**ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗМЕРЯЕМОЙ СРЕДЫ**

Измеряемая среда - Коксовый газ

Абсолютное давление.....1,07 МПа

Температура.....5,4 ° С

Плотность в рабочих условиях.....4,791 кг/м<sup>3</sup>

Плотность в стандартных условиях.....0,4307 кг/м<sup>3</sup>

Относительная погрешность определения плотности в стандартных условиях  
основная.....0,05 %

дополнительная.....0 %

Динамическая вязкость.....14,2 мкПа\*с

Показатель адиабаты.....1,37

**ХАРАКТЕРИСТИКА СУЖАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА**

Сужающее устройство:

Диафрагма с угловым способом отбора давления

\* Диаметр сужающего устройства при 20° С.....127,798 мм

\* Диаметр сужающего устройства при рабочих условиях.....127,767 мм

\* Относительный диаметр отверстия сужающего устройства

в рабочих условиях.....0,3102

Материал сужающего устройства - Сталь 12Х18Н12Т, 12Х18Н10Т(15Х25Т)

Коэффициент линейного расширения материала

сужающего устройства.....1,624E-5 1/°C

\* Поправочный коэффициент на расширение  
материала сужающего устройства.....0,99976

Способ определения радиуса входной кромки диафрагмы.....Оценивается визуально

Начальный радиус закругления входной кромки.....0,04 мм

Период поверки диафрагмы, в годах.....1

\* Средний радиус закругления входной кромки диафрагмы.....0,06319 мм

\* Поправочный коэффициент на неостроту входной кромки диафрагмы..1,00091

Способ отбора давления - через камеру усреднения или соединенные отверстия

Смещение оси отверстия сужающего  
устройства относительно оси трубопровода.....0 мм

Отклонение от плоскостности входного торца.....0, мм

\* Допустимые значения толщины диафрагмы от.....2,84899 мм  
до.....20,5966 мм

\* Допустимые значения цилиндрической части диафрагмы (e) от.....2,06 мм  
до.....8,239 мм

\* Наибольшее значение шероховатости  
поверхности входного торца.....0,01278 мм

\* Наибольшее значение шероховатости  
поверхности выходного торца.....0,1 мм

\* Рекомендуемый допуск на изготовление диаметра СУ.....0,0511 мм

Модуль упругости при заданной температуре.....198 ГПа

Предел текучести.....240 МПа

**ХАРАКТЕРИСТИКА ТРУБОПРОВОДА**

Диаметр трубопровода при 20° С.....412 мм

К/Б №8. Коксовый газ Страница № 1 от 26.04.2017

\* Диаметр трубопровода в рабочих условиях.....411,933 мм

Материал трубопровода - Сталь 20

Коэффициент линейного расширения материала трубопровода.....1,114E-5 1/°C

\* Поправочный коэффициент на расширение материала трубопровода...0,99984

Эквивалентная шероховатость стенок трубопровода.....0,25 мм

Тип и состояние трубы - стальная ржавая

\* Поправочный коэффициент на шероховатость трубопровода.....1

Способ определения шероховатости трубопровода.....Выбирается из таблицы

### КОМПЛЕКСНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РАСХОДОМЕРА

Верхний предел перепада давления.....1,6 кПа

\* Коэффициент скорости входа.....1,00466

\* Число Рейнольдса.....208333

\* Коэффициент расширения.....0,99961

\* Коэффициент истечения.....0,59979

\* Коэффициент расхода.....0,60259

\* Потери давления.....1425 Па

Заданный нижний предел измеряемого расхода.....3600 м<sup>3</sup>/ч

Заданный верхний предел измеряемого расхода.....8000 м<sup>3</sup>/ч

Расчет расхода (проверка) при верхнем пределе перепада давления:

\* Массовый расход.....3445,6 кг/ч

\* Объёмный расход в стандартных условиях.....8000 м<sup>3</sup>/ч

### ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО УЧАСТКА

На расстоянии 100D до сужающего устройства местных сопротивлений нет

После сужающего устройства нет местных сопротивлений

Гильзы термометра нет

\*\*\*\*\*

Длины прямолинейных участков трубопровода соответствуют ГОСТ 8.586.1-5.2005

\*\*\*\*\*

### РАСЧЁТ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ

\* Расширенная неопределенность коэффициента истечения.....0,5 %

\* Расширенная неопределенность коэффициента шероховатости.....0 %

\* Расширенная неопределенность коэффициента притупления кромки...0,14 %

\* Расширенная неопределенность диаметра сужающего устройства.....0,04 %

\* Расширенная неопределенность диаметра трубопровода.....0,2 %

\* Расширенная неопределенность определения перепада давления.....0,36 %

\* Расширенная неопределенность определения температуры.....0,11 %

\* Расширенная неопределенность определения абсолютного давления..0,27 %

\* Расширенная неопределенность определения показателя адиабаты...0,05 %

\* Расширенная неопределенность определения плотности  
в стандартных условиях.....0,05 %

\* Расширенная неопределенность определения плотности.....0,05 %

\* Расширенная неопределенность коэффициента расширения.....0,0038 %

\* Расширенная неопределенность массового расхода газа.....0,57 %

\* Расширенная неопределенность объемного расхода газа,  
приведенного к стандартным условиям.....0,57 %

Верхний предел измерения 1-го дифманометра.....1,6 кПа

Функция преобразования измерительного преобразователя  
(дифманометра) - с извлечением корня  
приведенная погрешность, % измерительного преобразователя (дифманометра)

Основная.....0,15 %

Дополнительная.....0,0 %

\* Массовый расход при верхнем пределе измерения 1-го дифманометра.....3445,6 кг/ч

\* Объемный расход в стандартных условиях  
при верхнем пределе измерения 1-го дифманометра.....8000 м3/ч

К/Б №8. Коксовый газ Страница № 2 от 26.04.2017

Функция преобразования 1-го преобразователя  
1-го дифманометра - линейная  
приведенная погрешность, % 1-го преобразователя

Основная.....0,1 %

Дополнительная.....0 %

Верхний предел измерения абсолютного давления.....1,6 МПа

приведенная погрешность, % измерительного преобразователя (манометра)

Основная.....0,15 %

Дополнительная.....0,00 %



приведенная погрешность, % 1-го преобразователя абсолютного давления

Основная.....0,1 %

Дополнительная.....0 %

Верхний предел измерения средства измерения температуры.....150 ° C

Нижний предел измерения средства измерения температуры.....0 ° C

абсолютная погрешность измерительного преобразователя

(задается формулой) -  $0,25 + 0,0035 * t$

приведенная погрешность, % 1-го преобразователя температуры

Основная.....0,1 %

Дополнительная.....0 %

Нижняя граница измерения 1-го преобразователя температуры.....0

Верхняя граница измерения 1-го преобразователя температуры.....65

относительная погрешность вычисления расхода контроллером (вычислителем)

Основная.....0,1 %

Дополнительная.....0 %

\*\*\*\*\*

Стандартные условия - 293,15 К и 0,101325 МПа

\*\*\*\*\*

Таблица расчёта неопределенностей измерения расхода при заданных отклонениях температуры и давления среды и заданных значениях перепада давления.

Температура, ° С	5,4				
Абс. давление, МПа	1,07				
Перепад давления, кПа (%)	Объёмный расход, в стандартных условиях, м <sup>3</sup> /ч Относительная расширенная неопределенность, (%)				
1,6 (100)	8000	–	–	–	–
	0,57	–	–	–	–
1,024 (64)	6402,53	–	–	–	–
	0,61	–	–	–	–
0,784 (49)	5603,49	–	–	–	–
	0,65	–	–	–	–
0,4 (25)	4004,86	–	–	–	–
	0,9	–	–	–	–
0,256 (16)	3205,27	–	–	–	–
	1,25	–	–	–	–
0,144 (9)	2405,45	–	–	–	–
	2,07	–	–	–	–

Максимально-допустимая расширенная неопределенность определения расхода 4 %

Исполнитель: \_\_\_\_\_ Захарова Н.А.

**Приложение №3 «Пример расчета расхода доменного газа программой Расходомер ИСО»**

**Программный комплекс Расходомер ИСО версии 1.40 от 13.05.2010**

**Владелец данной копии программы:**

**ОАО «ЧМК» ПКЦ КИПиА**

**Расчет № 0 от 26.04.2017**

**выполнен в соответствии с ГОСТ 8.586.(1-5)-2005**

**ДП №1. Доменный газ на блок воздухонагревателей**

**Вид расчета - Расчёт сужающего устройства**

**ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗМЕРЯЕМОЙ СРЕДЫ**

Измеряемая среда - Доменный газ

Абсолютное давление.....1,07 МПа

Температура.....5,4 ° С

Плотность в рабочих условиях.....13,66 кг/м<sup>3</sup>

Плотность в стандартных условиях.....1,2175 кг/м<sup>3</sup>

Относительная погрешность определения плотности в стандартных условиях  
основная.....0,05 %

дополнительная.....0 %

Динамическая вязкость.....16,4 мкПа\*с

Показатель адиабаты.....1,39

**ХАРАКТЕРИСТИКА СУЖАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА**

Сужающее устройство:

Диафрагма с угловым способом отбора давления

\* Диаметр сужающего устройства при 20° С.....650,229 мм

\* Диаметр сужающего устройства при рабочих условиях.....650,075 мм

\* Относительный диаметр отверстия сужающего устройства  
в рабочих условиях.....0,4064

Материал сужающего устройства - Сталь 12Х18Н12Т, 12Х18Н10Т(15Х25Т)

Коэффициент линейного расширения материала

сужающего устройства.....1,624E-5 1/°C

\* Поправочный коэффициент на расширение  
материала сужающего устройства.....0,99976

Способ определения радиуса входной кромки диафрагмы.....Оценивается визуально

Начальный радиус закругления входной кромки.....0,04 мм

Период поверки диафрагмы, в годах.....1

\* Средний радиус закругления входной кромки диафрагмы.....0,06319 мм

\* Поправочный коэффициент на неостроту входной кромки диафрагмы..1

Способ отбора давления - через камеру усреднения или соединенные отверстия

Смещение оси отверстия сужающего  
устройства относительно оси трубопровода.....0 мм

Отклонение от плоскостности входного торца.....0, мм

\* Допустимые значения толщины диафрагмы от.....11,5352 мм  
до.....79,987 мм

\* Допустимые значения цилиндрической части диафрагмы (e) от.....7,999 мм  
до.....31,995 мм

\* Наибольшее значение шероховатости  
поверхности входного торца.....0,06501 мм

\* Наибольшее значение шероховатости  
поверхности выходного торца.....0,1 мм

\* Рекомендуемый допуск на изготовление диаметра СУ.....0,26 мм

Модуль упругости при заданной температуре.....198 ГПа

Предел текучести.....240 МПа

**ХАРАКТЕРИСТИКА ТРУБОПРОВОДА**

Диаметр трубопровода при 20° С.....1600 мм

ДП №1. Доменный газ на блок воздухонагревателей Страница № 1 от 26.04.2017

\* Диаметр трубопровода в рабочих условиях.....1599,74 мм

Материал трубопровода - Сталь 20

Коэффициент линейного расширения материала трубопровода.....1,114E-5 1/°C

\* Поправочный коэффициент на расширение материала трубопровода...0,99984

Эквивалентная шероховатость стенок трубопровода.....0,25 мм

Тип и состояние трубы - стальная ржавая

\* Поправочный коэффициент на шероховатость трубопровода.....1

Способ определения шероховатости трубопровода.....Выбирается из таблицы

### **КОМПЛЕКСНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РАСХОДОМЕРА**

Верхний предел перепада давления.....1,6 кПа

\* Коэффициент скорости входа.....1,01392

\* Число Рейнольдса.....2051603

\* Коэффициент расширения.....0,99961

\* Коэффициент истечения.....0,60107

\* Коэффициент расхода.....0,60943

\* Потери давления.....1309 Па

Заданный нижний предел измеряемого расхода.....80000 м<sup>3</sup>/ч

Заданный верхний предел измеряемого расхода.....125000 м<sup>3</sup>/ч

Расчет расхода (проверка) при верхнем пределе перепада давления:

\* Массовый расход.....152188 кг/ч

\* Объемный расход в стандартных условиях.....125000 м<sup>3</sup>/ч

### **ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО УЧАСТКА**

На расстоянии 100D до сужающего устройства местных сопротивлений нет

После сужающего устройства нет местных сопротивлений

Гильзы термометра нет

\*\*\*\*\*

Длины прямолинейных участков трубопровода соответствуют ГОСТ 8.586.1-5.2005

\*\*\*\*\*

### **РАСЧЁТ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ**

\* Расширенная неопределенность коэффициента истечения.....0,5 %

\* Расширенная неопределенность коэффициента шероховатости.....0 %

\* Расширенная неопределенность коэффициента притупления кромки...0 %

\* Расширенная неопределенность диаметра сужающего устройства.....0,04 %

\* Расширенная неопределенность диаметра трубопровода.....0,2 %

\* Расширенная неопределенность определения перепада давления.....0,36 %

\* Расширенная неопределенность определения температуры.....0,11 %

\* Расширенная неопределенность определения абсолютного давления..0,27 %

\* Расширенная неопределенность определения показателя адиабаты...0,05 %

\* Расширенная неопределенность определения плотности  
в стандартных условиях.....0,05 %

\* Расширенная неопределенность определения плотности.....0,05 %

\* Расширенная неопределенность коэффициента расширения.....0,0038 %

\* Расширенная неопределенность массового расхода газа.....0,55 %

\* Расширенная неопределенность объемного расхода газа,  
приведенного к стандартным условиям.....0,55 %

Верхний предел измерения 1-го дифманометра.....1,6 кПа

Функция преобразования измерительного преобразователя  
(дифманометра) - с извлечением корня  
приведенная погрешность, % измерительного преобразователя (дифманометра)

Основная.....0,15 %

Дополнительная.....0,0 %

\* Массовый расход при верхнем пределе измерения 1-го дифманометра..... 152188 кг/ч

\* Объемный расход в стандартных условиях  
при верхнем пределе измерения 1-го дифманометра.....125000 м3/ч

ДП №1. Доменный газ на блок воздухонагревателей Страница № 2 от 26.04.2017

Функция преобразования 1-го преобразователя  
1-го дифманометра - линейная  
приведенная погрешность, % 1-го преобразователя

Основная.....0,1 %

Дополнительная.....0 %

Верхний предел измерения абсолютного давления.....1,6 МПа

приведенная погрешность, % измерительного преобразователя (манометра)

Основная.....0,15 %

Дополнительная.....0,00 %

приведенная погрешность, % 1-го преобразователя абсолютного давления

Основная.....0,1 %

Дополнительная.....0 %

Верхний предел измерения средства измерения температуры.....150 ° C

Нижний предел измерения средства измерения температуры.....0 ° C

абсолютная погрешность измерительного преобразователя

(задается формулой) -  $0,25 + 0,0035 * t$

приведенная погрешность, % 1-го преобразователя температуры

Основная.....0,1 %

Дополнительная.....0 %

Нижняя граница измерения 1-го преобразователя температуры.....0

Верхняя граница измерения 1-го преобразователя температуры.....65

относительная погрешность вычисления расхода контроллером (вычислителем)

Основная.....0,1 %

Дополнительная.....0 %

Стандартные условия - 293,15 К и 0,101325 МПа

Таблица расчёта неопределенностей измерения расхода при заданных отклонениях температуры и давления среды и заданных значениях перепада давления.

Температура, ° С	5,4				
Абс. давление, МПа	1,07				
Перепад давления, кПа (%)	Объемный расход, в стандартных условиях, м <sup>3</sup> /ч Относительная расширенная неопределенность, (%)				
1,6 (100)	125000	–	–	–	–
	0,55	–	–	–	–
1,024 (64)	100026	–	–	–	–
	0,59	–	–	–	–
0,784 (49)	87535	–	–	–	–
	0,64	–	–	–	–
0,4 (25)	62544,8	–	–	–	–
	0,89	–	–	–	–
0,256 (16)	50046,2	–	–	–	–
	1,24	–	–	–	–
0,144 (9)	37545	–	–	–	–
	2,07	–	–	–	–

\*\*\*\*\*  
Расход рассчитан в соответствии с рекомендациями МИ 3152–2008  
(без учета силы тяжести)  
\*\*\*\*\*

Максимально-допустимая расширенная неопределенность определения расхода 4 %

Исполнитель: \_\_\_\_\_ Захарова Н.А.



**Приложение №4 «Пример расчета расхода природного газа программой Расходомер ИСО»**

**Программный комплекс Расходомер ИСО версии 1.40 от 13.05.2010**

**Владелец данной копии программы:**

**ОАО «ЧМК» ПКЦ КИПиА**

**Расчет № 0 от 11.10.2016**

**выполнен в соответствии с ГОСТ 8.586.(1-5)-2005**

**Природный газ.**

**Вид расчета - Расчёт расхода**

**ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗМЕРЯЕМОЙ СРЕДЫ**

Измеряемая среда - Природный газ

молярные % азота(N<sub>2</sub>).....0,79 %

Относительная погрешность определения азота

основная.....0,05 %

дополнительная.....0 %

молярные % двуокиси углерода(CO<sub>2</sub>).....0,12 %

Относительная погрешность определения двуокиси углерода

основная.....0,05 %

дополнительная.....0 %

Абсолютное давление.....1,07 МПа

Температура.....5,373 ° C

Метод расчета коэффициента сжимаемости - NX-19 мод. (ГОСТ 30319-96)

\* Фактор сжимаемости в рабочих условиях.....0,97638

\* Фактор сжимаемости в стандартных условиях.....0,99811

\* Коэффициент сжимаемости.....0,97822

\* Плотность в рабочих условиях.....7,6694 кг/м<sup>3</sup>

Плотность в стандартных условиях.....0,675 кг/м<sup>3</sup>

Относительная погрешность определения плотности в стандартных условиях

основная.....0,05 %

дополнительная.....0 %

\* Динамическая вязкость.....10,5923 мкПа\*с

\* Показатель адиабаты.....1,31011

## **ХАРАКТЕРИСТИКА СУЖАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА**

Сужающее устройство:

Диафрагма с угловым способом отбора давления

Диаметр сужающего устройства при 20° С.....122,38 мм

\* Диаметр сужающего устройства при рабочих условиях.....122,351 мм

\* Относительный диаметр отверстия сужающего устройства

в рабочих условиях.....0,4762

Материал сужающего устройства - Сталь 12Х18Н12Т, 12Х18Н10Т(15Х25Т)

Коэффициент линейного расширения материала

сужающего устройства.....1,624E-5 1/°С

\* Поправочный коэффициент на расширение

материала сужающего устройства.....0,99976

Способ определения радиуса входной кромки диафрагмы.....Оценивается визуально

Начальный радиус закругления входной кромки.....0,04 мм

Период поверки диафрагмы, в годах.....1

\* Средний радиус закругления входной кромки диафрагмы.....0,06319 мм

\* Поправочный коэффициент на неостроту входной кромки диафрагмы..1,0011

Способ отбора давления - через камеру усреднения или соединенные отверстия

Смещение оси отверстия сужающего

устройства относительно оси трубопровода.....0 мм

Отклонение от плоскостности входного торца.....0, мм

## **ХАРАКТЕРИСТИКА ТРУБОПРОВОДА**

Природный газ. Страница № 1 от 11.10.2016

Диаметр трубопровода при 20° С.....257 мм

\* Диаметр трубопровода в рабочих условиях.....256,958 мм

Материал трубопровода - Сталь 20

Коэффициент линейного расширения материала трубопровода.....1,114E-5 1/°С

\* Поправочный коэффициент на расширение материала трубопровода...0,99984  
 Эквивалентная шероховатость стенок трубопровода.....0,00251 мм  
 \* Поправочный коэффициент на шероховатость трубопровода.....1  
 Способ определения шероховатости трубопровода.....Измеряется

## КОМПЛЕКСНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РАСХОДОМЕРА

Перепад давления.....0,919 кПа  
 \* Коэффициент скорости входа.....1,02674  
 \* Число Рейнольдса.....405236  
 \* Коэффициент расширения.....0,99976  
 \* Коэффициент истечения.....0,6039  
 \* Коэффициент расхода.....0,62004  
 \* Потери давления.....694 Па  
 \* Массовый расход.....3118,55 кг/ч  
 \* Объёмный расход в стандартных условиях.....4620,08 м3/ч

## ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО УЧАСТКА

На расстоянии 100D до сужающего устройства местных сопротивлений нет  
 После сужающего устройства нет местных сопротивлений  
 Гильзы термометра нет

\*\*\*\*\*

Длины прямолинейных участков трубопровода соответствуют ГОСТ 8.586.1-5.2005

\*\*\*\*\*

## РАСЧЁТ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ

\* Расширенная неопределенность коэффициента истечения.....0,5 %  
 \* Расширенная неопределенность коэффициента шероховатости.....0 %  
 \* Расширенная неопределенность коэффициента притупления кромки...0,15 %  
 \* Расширенная неопределенность диаметра сужающего устройства.....0,04 %  
 \* Расширенная неопределенность диаметра трубопровода.....0,2 %  
 \* Расширенная неопределенность определения перепада давления.....0,22 %  
 \* Расширенная неопределенность определения температуры.....0,07 %  
 \* Расширенная неопределенность определения абсолютного давления..0,17 %

\* Расширенная неопределенность определения показателя адиабаты...2,31 %

\* Расширенная неопределенность определения плотности  
в стандартных условиях.....0,05 %

\* Расширенная неопределенность определения плотности.....0,23 %

\* Расширенная неопределенность коэффициента расширения.....0,0024 %

\* Расширенная неопределенность массового расхода газа.....0,56 %

\* Расширенная неопределенность объемного расхода газа,  
приведенного к стандартным условиям.....0,56 %

Верхний предел измерения 1-го дифманометра.....0,919 кПа

Функция преобразования измерительного преобразователя  
(дифманометра) - с извлечением корня

приведенная погрешность, % измерительного преобразователя (дифманометра)

Основная.....0,1 %

Дополнительная.....0,05 %

\* Массовый расход при верхнем пределе измерения 1-го дифманометра.....3118,55 кг/ч

\* Объёмный расход в стандартных условиях  
при верхнем пределе измерения 1-го дифманометра.....4620,08 м3/ч

Верхний предел измерения абсолютного давления.....1,6 МПа

приведенная погрешность, % измерительного преобразователя (манометра)

Основная.....0,1 %

Природный газ. Страница № 2 от 11.10.2016

Дополнительная.....0,05 %

Верхний предел измерения средства измерения температуры.....50 ° C

Нижний предел измерения средства измерения температуры.....-50 ° C

абсолютная погрешность измерительного преобразователя  
(задается формулой) -  $0,15 + 0,002 \cdot t$

приведенная погрешность, % 1-го преобразователя температуры

Основная.....0,1 %

Дополнительная.....0 %

Нижняя граница измерения 1-го преобразователя температуры.....-50

Верхняя граница измерения 1-го преобразователя температуры.....50

относительная погрешность вычисления расхода контроллером (вычислителем)

Основная.....0,1 %

Дополнительная.....0 %

\*\*\*\*\*

Стандартные условия - 293,15 К и 0,101325 МПа

\*\*\*\*\*

Таблица расчёта неопределенностей измерения расхода при заданных отклонениях температуры и давления среды и заданных значениях перепада давления.

Температура, ° С	-20	-20	5,37	30	30
Абс. давление, МПа	1	1,1	1,07	1	1,1
Перепад давления, кПа (%)	Объемный расход, в стандартных условиях, м3/ч Относительная расширенная неопределенность, (%)				
0,919 (100)	4696,48 0,56	4933,27 0,56	4620,08 0,56	4269,79 0,56	4481,62 0,56
0,5882 (64)	3758,91 0,58	3948,36 0,58	3697,81 0,58	3417,58 0,58	3587,06 0,58
0,4503 (49)	3289,96 0,6	3455,74 0,6	3236,52 0,6	2991,31 0,6	3139,62 0,6
0,2297 (25)	2351,72 0,71	2470,17 0,71	2313,59 0,71	2138,45 0,71	2244,41 0,71
0,147 (16)	1882,4 0,89	1977,18 0,89	1851,93 0,89	1711,82 0,89	1796,62 0,89
0,0827 (9)	1412,91 1,36	1484,02 1,36	1390,11 1,36	1285,02 1,36	1348,65 1,36

Максимально-допустимая расширенная неопределенность определения расхода 4 %

Исполнитель: \_\_\_\_\_ Захарова Н.А.

### **Список используемой литературы**

1. Математическое обеспечение. Алгоритм расчета доменного, коксового и природного газов. Челябинск, 2017.
2. Автоматизированная система диспетчерского управления газообразным топливом на ОАО "МЕЧЕЛ" (газовый цех) том 3. Программное обеспечение. Книга 4. Руководство по ведению базы данных. Челябинск, 2004.
3. Г. З. Гарбер. Основы программирования на Visual Basic и VBA в Excel 2007. Москва, 2008.