
По вопросам продаж и поддержки обращайтесь:

Архангельск (8182)63-90-72
Астана +7(7172)727-132
Белгород (4722)40-23-64
Брянск (4832)59-03-52
Владивосток (423)249-28-31
Волгоград (844)278-03-48
Вологда (8172)26-41-59
Воронеж (473)204-51-73
Екатеринбург (343)384-55-89
Иваново (4932)77-34-06
Ижевск (3412)26-03-58
Казань (843)206-01-48

Калининград (4012)72-03-81
Калуга (4842)92-23-67
Кемерово (3842)65-04-62
Киров (8332)68-02-04
Краснодар (861)203-40-90
Красноярск (391)204-63-61
Курск (4712)77-13-04
Липецк (4742)52-20-81
Магнитогорск (3519)55-03-13
Москва (495)268-04-70
Мурманск (8152)59-64-93
Набережные Челны (8552)20-53-41

Нижний Новгород (831)429-08-12
Новокузнецк (3843)20-46-81
Новосибирск (383)227-86-73
Орел (4862)44-53-42
Оренбург (3532)37-68-04
Пенза (8412)22-31-16
Пермь (342)205-81-47
Ростов-на-Дону (863)308-18-15
Рязань (4912)46-61-64
Самара (846)206-03-16
Санкт-Петербург (812)309-46-40
Саратов (845)249-38-78

Смоленск (4812)29-41-54
Сочи (862)225-72-31
Ставрополь (8652)20-65-13
Тверь (4822)63-31-35
Томск (3822)98-41-53
Тула (4872)74-02-29
Тюмень (3452)66-21-18
Ульяновск (8422)24-23-59
Уфа (347)229-48-12
Челябинск (351)202-03-61
Череповец (8202)49-02-64
Ярославль (4852)69-52-93

сайт: www.flow.nt-rt.ru || эл. почта: fwo@nt-rt.ru

Преобразователь расчетно-измерительный ТЭКОН-19

Алгоритмы расчета

Т10.06.116 РР



По вопросам продаж и поддержки обращайтесь:

Архангельск (8182)63-90-72
Астана +7(7172)727-132
Белгород (4722)40-23-64
Брянск (4832)59-03-52
Владивосток (423)249-28-31
Волгоград (844)278-03-48
Вологда (8172)26-41-59
Воронеж (473)204-51-73
Екатеринбург (343)384-55-89
Иваново (4932)77-34-06
Ижевск (3412)26-03-58
Казань (843)206-01-48

Калининград (4012)72-03-81
Калуга (4842)92-23-67
Кемерово (3842)65-04-62
Киров (8332)68-02-04
Краснодар (861)203-40-90
Красноярск (391)204-63-61
Курск (4712)77-13-04
Липецк (4742)52-20-81
Магнитогорск (3519)55-03-13
Москва (495)268-04-70
Мурманск (8152)59-64-93
Набережные Челны (8552)20-53-41

Нижний Новгород (831)429-08-12
Новокузнецк (3843)20-46-81
Новосибирск (383)227-86-73
Орел (4862)44-53-42
Оренбург (3532)37-68-04
Пенза (8412)22-31-16
Пермь (342)205-81-47
Ростов-на-Дону (863)308-18-15
Рязань (4912)46-61-64
Самара (846)206-03-16
Санкт-Петербург (812)309-46-40
Саратов (845)249-38-78

Смоленск (4812)29-41-54
Сочи (862)225-72-31
Ставрополь (8652)20-65-13
Тверь (4822)63-31-35
Томск (3822)98-41-53
Тула (4872)74-02-29
Тюмень (3452)66-21-18
Ульяновск (8422)24-23-59
Уфа (347)229-48-12
Челябинск (351)202-03-61
Череповец (8202)49-02-64
Ярославль (4852)69-52-93

сайт: www.flow.nt-rt.ru || эл. почта: flow@nt-rt.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 ИЗМЕРЕНИЕ И ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН	7
1.1 ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ, ТОКА И СОПРОТИВЛЕНИЯ	7
1.2 ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ И КОЛИЧЕСТВА ИМПУЛЬСОВ	9
1.3 ТОКОВЫЙ ЛИНЕЙНЫЙ ДАТЧИК.....	10
1.4 ТОКОВЫЙ КВАДРАТИЧНЫЙ ДАТЧИК	11
1.5 ЧАСТОТНЫЙ ЛИНЕЙНЫЙ ДАТЧИК	12
1.6 ВЫЧИСЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ.....	12
1.7 ВЫЧИСЛЕНИЕ АБСОЛЮТНОГО ДАВЛЕНИЯ.....	14
1.8 ВЫБОР И СОГЛАСОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕПАДА.....	15
1.9 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ НАСЫЩЕННОГО ПАРА	16
1.10 ОГРАНИЧЕНИЕ ПАРАМЕТРА.....	18
2 ПРИНЦИПЫ НАКОПЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ	19
2.1 ИНТЕГРИРОВАНИЕ.....	19
2.2 ВЫЧИСЛЕНИЕ СРЕДНИХ ЗНАЧЕНИЙ.....	21
3 РАСЧЕТ РАСХОДА МЕТОДОМ ПЕРЕМЕННОГО ПЕРЕПАДА	22
3.1 ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЛГОРИТМОВ РАСЧЕТА	22
3.2 ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСХОДОМЕРНОГО УЗЛА	23
3.3 ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ	25
3.3.1 <i>Абсолютная температура</i>	25
3.3.2 <i>Псевдокритические и приведенные параметры</i>	25
3.3.3 <i>Динамическая вязкость</i>	26
3.3.4 <i>Плотность в рабочих условиях</i>	30
3.3.5 <i>Показатель адиабаты</i>	33
3.3.6 <i>Коэффициент расширения</i>	35
3.3.7 <i>Коэффициент сжимаемости</i>	35
3.4 ПОПРАВКА НА ПРИТУПЛЕНИЕ И ШЕРОХОВАТОСТЬ	37
3.4.1 <i>Коэффициент притупления</i>	37
3.4.2 <i>Коэффициент поправки на шероховатость</i>	37
3.5 РАСЧЕТ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОГО РАСХОДА	40
3.6 КОНТРОЛЬ ГРАНИЦ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА	42
4 ПРИМЕНЕНИЕ ДАТЧИКОВ РАСХОДА С ЧАСТОТНЫМ ИЛИ ТОКОВЫМ ВЫХОДОМ	43
4.1 ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЛГОРИТМОВ.....	43
4.2 РАСЧЕТ И НАКОПЛЕНИЕ МАССОВОГО И ОБЪЕМНОГО РАСХОДОВ.....	45
4.3 РАСЧЕТ РАСХОДА С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ИРВИС-К-300	46
5 ПРИМЕНЕНИЕ ЧИСЛОИМПУЛЬСНЫХ ДАТЧИКОВ РАСХОДА	48

5.1 ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЛГОРИТМОВ.....	48
5.2 РАСЧЕТ И НАКОПЛЕНИЕ МАССОВОГО И ОБЪЕМНОГО РАСХОДОВ.....	50
5.3 РАСЧЕТ И НАКОПЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ.....	51
6 РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ.....	54
6.1 ВЫЧИСЛЕНИЕ ЭНТАЛЬПИИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ.....	54
6.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В ТРУБОПРОВОДЕ.....	55
6.3 ЗАКРЫТАЯ ВОДЯНАЯ СИСТЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ.....	56
6.4 ОТКРЫТАЯ ВОДЯНАЯ СИСТЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ.....	57
6.5 УЧЕТ СУММАРНОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ГВС С УТЕЧКАМИ.....	58
7 РАСЧЕТ РАСХОДА С ПОМОЩЬЮ ТРУБКИ TORBAR.....	60
8 УЧЕТ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА.....	63
8.1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АЛГОРИТМОВ.....	63
8.2 РАСТВОР ПРОПИЛЕНГЛИКОЛЯ.....	64
8.3 АММИАК ЖИДКИЙ.....	68
8.4 УГЛЕКИСЛОТА ЖИДКАЯ.....	71
9 РАСХОД ВЛАЖНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА.....	73
9.1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АЛГОРИТМОВ.....	73
9.2 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАТЧИКА ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ НА СУ.....	76
9.3 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧИСЛОИМПУЛЬСНОГО ДАТЧИКА ОБЪЕМНОГО РАСХОДА.....	77
9.4 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ «МОЩНОСТНОГО» ДАТЧИКА ОБЪЕМНОГО РАСХОДА.....	78
10 РАСХОД УМЕРЕННО СЖАТОЙ СМЕСИ ГАЗОВ.....	80
10.1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АЛГОРИТМОВ.....	80
10.2 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАТЧИКА ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ НА СУ.....	82
10.3 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧИСЛОИМПУЛЬСНОГО ДАТЧИКА ОБЪЕМНОГО РАСХОДА.....	84
10.4 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ «МОЩНОСТНОГО» ДАТЧИКА ОБЪЕМНОГО РАСХОДА.....	85
11 РАСХОД ЧИСТЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ГАЗОВ.....	87
11.1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АЛГОРИТМОВ.....	87
11.2 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАТЧИКА ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ НА СУ.....	89
11.3 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧИСЛОИМПУЛЬСНОГО ДАТЧИКА ОБЪЕМНОГО РАСХОДА.....	90
11.4 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ «МОЩНОСТНОГО» ДАТЧИКА ОБЪЕМНОГО РАСХОДА.....	91
12 РАСЧЕТ РАСХОДА С ПРИМЕНЕНИЕМ ТРУБКИ ANNUBAR 485.....	93
ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОЧНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	96

ВВЕДЕНИЕ

Настоящий документ содержит сведения обо всех расчетных формулах, применяемых в преобразователях расчетно-измерительных ТЭКОН-19 (далее по тексту ТЭКОН-19) исполнений с 01 по 10 (базовых) и с 01М по 10М (модернизированных) при вводе информации с измерительных преобразователей (датчиков), ее преобразовании, вычислении и накоплении расхода и количества тепловой энергии в трубопроводах, а также для расчета количества электроэнергии.

В документе описан способ расчета расхода для следующих сред:

- вода,
- пар перегретый (сухой),
- пар насыщенный (сухой и влажный),
- газ природный (сухой),
- диоксид углерода газообразный (углекислый газ),
- кислород газообразный,
- воздух сжатый,
- влажный нефтяной газ,
- умеренно сжатая смесь 18 газов,
- азот,
- аргон,
- водород,
- аммиак,
- ацетилен,
- произвольный технический газ с вводимыми характеристиками.

Расход вычисляется как с использованием датчиков расхода, так и использованием датчиков перепада давления на сужающем устройстве (СУ) или в осредняющих напорных трубках TORBAR и ANNUBAR 485. В качестве СУ может служить только диафрагма, способы отбора перепада – угловой, фланцевый, трехрадиусный; вычисления проводятся в соответствии с ГОСТ 8.586.(1-5)-2005. Вычисление расхода с помощью напорной трубки TORBAR выполняется согласно МИ 3173-2008 [20].

Описан способ расчета количества тепловой энергии для следующих сред:

- вода,
- пар перегретый (сухой),
- пар насыщенный (сухой и влажный),

При применении стандартных формульных зависимостей в тексте сделаны ссылки на номер источника согласно перечню ссылочной документации, и, в ряде случаев, на конкретный номер формулы в нем.

Описан способ расчета количества электроэнергии при использовании счетчиков с числоимпульсным выходом при однотарифной и двухтарифной схемам учета.

Сокращенные названия отдельных конструктивных модулей ТЭКОН-19 применяются согласно «Руководству по эксплуатации ТЭКОН-19» [19].

Данный документ соответствует версиям алгоритмов расчета 02 и 03, версиям программы не ниже 40 для базовых исполнений ТЭКОН-19 и не ниже 58 для модернизированных исполнений. Алгоритм 03 отличается от алгоритма 02 тем, что в его состав введены дополнительные возможности. К ним относятся:

- Расчет и накопление расхода, как при перепадном методе измерения расхода, так и с применением датчиков объемного расхода, для новых сред:
 - влажный нефтяной газ;
 - умеренно сжатая смесь технически важных газов;
 - азот, аргон, водород, аммиак, ацетилен;
 - уточненные алгоритмы для кислорода и диоксида углерода.
- Расчет и накопление количества холода, отводимого холодильными установками, в которых в качестве рабочей среды используется водный раствор пропиленгликоля или жидкий аммиак, а расход среды измеряется расходомерами объемного расхода.
- Расчет и накопление массового расхода жидкой двуокиси углерода (жидкой углекислоты) по измеренному объемному расходу.
- Расчеты расхода некоторых сред с помощью осредняющей трубки TORBAR и преобразователя ИРВИС-К-300.
- Расчет расхода воды, пара и природного газа с помощью осредняющей трубки ANNUBAR 485.

1 ИЗМЕРЕНИЕ И ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

1.1 Измерение напряжения, тока и сопротивления

1.1.1 Измерение аналоговых параметров силы тока ИП и сопротивления ИП производится, с точки зрения базы данных системы ТЭКОН-19, в постоянно присутствующем алгоритме 02bn «измерения аналоговые», где n=1..9 – номер исполнения ТЭКОН-19. В исполнениях 4 и 9 аналоговые параметры не измеряются. В остальных исполнениях, с точки зрения программы ТЭКОН-19, алгоритм измерения присутствует; он разбит на ряд самостоятельных подпрограмм, выполняющихся под управлением базовой операционной системы в различные моменты времени.

1.1.2 Для измерения аналоговых параметров в ТЭКОН-19 используется аналого-цифровой преобразователь (АЦП), работающий по так называемому «сигма-дельта» принципу с перестраиваемым коэффициентом усиления и временем преобразования (с учетом калибровки) от 20 до 180 мс. Все измерительные каналы последовательно, один за другим, подключаются ко входу АЦП, и производится их аналого-цифровое преобразование. Запуск АЦП, считывание полученного кода и его запоминание производятся через систему прерываний микропроцессора.

1.1.3 На каждом фоновом цикле программы вычисляются реальные значения измеренных на данном цикле входных напряжений. Мгновенное значение входного напряжения на каждом измерительном канале вычисляется по формуле:

$$U_{i\text{ИЗМ}} = \text{float} (Z_i / 2^{15}) * U_{\text{оп}} / K_{\text{ус}} - dK_{\text{ус}} - dU_i, \quad (1.1)$$

где

$U_{i\text{ИЗМ}}$ - измеренное входное напряжение канала «i», мВ

Z_i - двоичный код АЦП на канале «i»

float - функция перевода целого числа в формат с плавающей точкой

$U_{\text{оп}}$ - опорное напряжение АЦП, мВ

$K_{\text{ус}}$ - текущий коэффициент усиления АЦП

$dK_{\text{ус}}$ - смещение коэффициента усиления АЦП, мВ

dU_i - смещение нуля канала с номером «i», мВ.

Опорное напряжение $U_{\text{оп}}$ является заводской константой (параметр 0102), величина которой близка к 2500 мВ. Для повышения точности преобразования весь диапазон измеряемых напряжений от 0 до 2500 мВ разбит на три поддиапазона, ширина которых регулируется заводской константой «порог переключения» (параметр 0103). Расчетное значение коэффициента усиления АЦП равно 1 для больших напряжений, 4 при средних напряжениях и 16 для малых. Точное значение коэффициента усиления и его возможное смещение задается заводскими константами $K_{\text{ус}}$ (параметры 0104-0106) и $dK_{\text{ус}}$ (параметры 0108-010A). Заводские константы dU_i (параметры 0110+i) компенсируют возможное смещение нуля данного канала и обычно близки к нулю.

Измеренные значения напряжений на каналах $U_{i\text{ИЗМ}}$ помещаются в кольцевые буфера на 8 позиций каждый как U_{ij} , где «j» при каждом замере последовательно принимает значения от 0 до 7.

1.1.4 Для сглаживания шумов и случайных выбросов производится цифровая фильтрация напряжения каждого канала. В начале каждого фонового цикла вычисляется среднеарифметическое значение напряжения U_i по последним 8 замерам, взятым из кольцевого буфера:

$$U_i = (\sum_{j=0}^7 U_{ij})/8 \quad (1.2)$$

Значение U_i запоминается на данный цикл в качестве служебного параметра с номером 011C+i, где $i=0..7$.

1.1.5 Далее, в зависимости от реального назначения канала, для каждого из них вычисляется один из двух основных параметров – сопротивление ИП или сила тока от ИП. Параметр силы тока существует только для каналов измерения тока, к которым подключены ИП с токовым выходом – это датчики давления, перепада давления, расхода и т.п. Параметр сопротивления существует только для каналов измерения температуры, к которым подключены измерительные преобразователи сопротивления. Полученные параметры могут являться входными для задач вычисления физических параметров, реально измеряемых подключенными к каналам датчиками.

1.1.6 Определение силы тока, поступающего с выхода ИП (датчика), выполняется путем замера падения напряжения на встроенном в данный измерительный канал токопреобразующем резисторе известного номинала. Мгновенное значение силы тока $I_{\text{ДАТ}i}$ определяется по формуле:

$$I_{\text{ДАТ}i} = (U_i - U_{\text{КАЛИБ}i})/R_{\text{КАН}i}, \quad (1.3)$$

где

$I_{\text{ДАТ}i}$ – ток датчика, мА (расчетный параметр 0400-0403);

$U_{\text{КАЛИБ}i}$ – напряжение калибровки датчика, мВ, компенсирующее возможное смещение нуля самого датчика (настроечный параметр пользователя 0118-011В);

$R_{\text{КАН}i}$ – номинал токопреобразующего резистора, Ом (заводская константа, параметр 010С-010F).

1.1.7 Определение текущего значения сопротивления термопреобразователя измерителя температуры $R_{\text{ТС}i}$ выполняется с учетом известной величины протекающего через него измерительного тока по формуле:

$$R_{\text{ТС}i} = U_i/I_{\text{ИЗМ}}, \quad (1.4)$$

где

$R_{\text{ТС}}$ – сопротивление термопреобразователя, Ом (расчетный параметр 0404-0407);

Изм – номинальное значение измерительного тока через ТС, мА (заводская константа, близкая к 0.5 мА, параметр 0101).

1.2 Измерение частоты и количества импульсов

1.2.1 Измерение частоты и количества импульсов производится, с точки зрения базы данных системы ТЭКОН-19, в постоянно присутствующем алгоритме 027n «измерения импульсные», где n=1..9 – номер исполнения ТЭКОН-19. С точки зрения программы ТЭКОН-19, этот алгоритм существует, но разбит на ряд самостоятельных подпрограмм, выполняющихся под управлением базовой операционной системы в различные моменты времени.

1.2.2 Для каждого из имеющихся импульсных входов программно - аппаратно ведется три независимых счетчика количества входных импульсов для подсчета числа импульсов и частоты.

1.2.3 Первый счетчик (параметр 0410-0417) определяет число импульсов, поступившее на вход «i» в течение последнего цикла основной программы. Он представляет собой целое двухбайтовое число без знака $N_{импци}$, счет ведется на каждом цикле программы с нуля. Параметр обновляется один раз в начале каждого цикла программы и может использоваться алгоритмами расчета расхода по показаниям датчиков с числоимпульсными выходами.

1.2.4 Второй счетчик (параметр 0208-020F) имеет чисто служебное назначение и является общим счетчиком пришедших по каждому каналу импульсов. Он представляет собой целое двухбайтовое число без знака, счет ведется по кольцу от 0 до 65535, и снова с нуля. Параметр обновляется один раз в течение каждого цикла программы.

1.2.5 Третий счетчик используется для определения частоты входных импульсов и подсчитывает число импульсов, поступившее на вход в течение последней секунды. По окончании каждой секунды его значение копируется в параметры 0210-0217 как мгновенное значение частоты на соответствующем канале, используемое только в отладочных целях. Кроме того, эти же значения частоты для каждого канала каждую секунду записываются в кольцевые буфера на 8 позиций каждый как F_{ij} , где «i» - номер канала от 0 до максимально имеющегося, а индекс «j» каждую секунду последовательно принимает значения от 0 до 7.

Один раз в начале каждого фонового цикла данные из буферов приводятся к виду с плавающей точкой и подвергаются цифровой фильтрации путем вычисления среднего арифметического из 8 последних отсчетов частоты по формуле:

$$F_i = \left(\sum_{j=0}^7 F_{ij} \right) / 8 \quad (1.5)$$

Результат усреднения – текущая частота F_i , Гц, сохраняется до окончания цикла как параметр 0408-040F и может использоваться в алгоритмах расчета расхода по показаниям датчиков расхода с частотными выходами.

1.3 Токовый линейный датчик

1.3.1 Алгоритм токового линейного датчика имеет номер 0191 по базе данных и позволяет вычислить любую физическую величину X , зависимость которой от тока ИП имеет линейный характер согласно рисунку 1.1. Попутно алгоритм проверяет измерительный канал на обрыв по току.

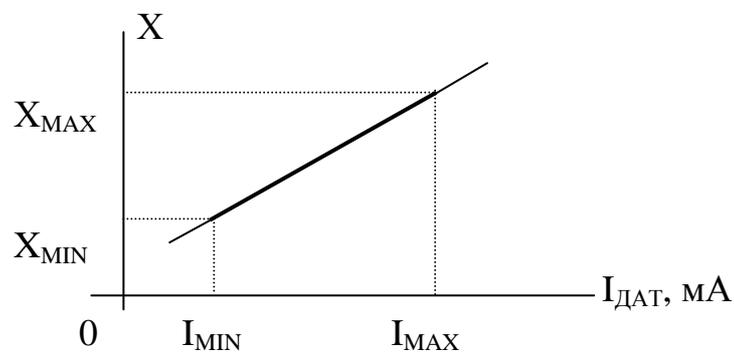


Рисунок 1.1

Выходной величиной « X », в зависимости от типа ИП, может быть абсолютное или избыточное давление в единицах градуировки датчика, перепад давления на СУ, объемный расход с датчика расхода, температура в градусах Цельсия с датчика температуры с токовым унифицированным выходом, плотность газа и т. п.

1.3.2 Входным параметром алгоритма является измеренное значение силы тока в миллиамперах с требуемого канала $I_{\text{ДАТ}}$. Настройка алгоритма на характеристики датчика производится заданием паспортных граничных значений тока I_{MIN} , I_{MAX} и соответствующих им значений измеряемого параметра X_{MIN} , X_{MAX} .

1.3.3 Вычисления производятся по формуле:

$$X_{\text{РАСЧ}} = X_{\text{MIN}} + (X_{\text{MAX}} - X_{\text{MIN}}) * (I_{\text{ДАТ}} - I_{\text{MIN}}) / (I_{\text{MAX}} - I_{\text{MIN}}) \quad (1.6)$$

где

$$I_{\text{MIN}} = \begin{cases} 0 & \text{для ИП 0-5 мА, 0-20 мА} \\ 4 & \text{для ИП 4-20 мА} \end{cases} \quad (1.7)$$

$$I_{\text{MAX}} = \begin{cases} 5 & \text{для ИП 0-5 мА} \\ 20 & \text{для ИП 0-20 мА, 4-20 мА} \end{cases} \quad (1.8)$$

1.3.4 Проводится контроль обрыва измерительной цепи и устанавливается выходной битовый признак обрыва Y по условию:

$$Y = \begin{cases} 0 & \text{при } I_{\text{ДАТ}} \geq I_{\text{МИН}} - 0.5 \\ 1 & \text{при } I_{\text{ДАТ}} < I_{\text{МИН}} - 0.5 \end{cases} \quad (1.9)$$

1.3.5 При наличии обрыва в качестве выходной величины подставляется задаваемое при настройке значение параметра $X_{\text{ЗАМ}}$ «замена при обрыве»:

$$X = \begin{cases} X_{\text{РАСЧ}} & \text{при } Y=0 \\ X_{\text{ЗАМ}} & \text{при } Y=1 \end{cases} \quad (1.10)$$

1.4 Токковый квадратичный датчик

1.4.1 Алгоритм токового квадратичного датчика имеет номер 0192 по базе данных и позволяет вычислить любую физическую величину X , зависимость которой от тока ИП имеет квадратичный (параболический) характер согласно рисунку 1.2. Попутно алгоритм проверяет измерительный канал на обрыв по току.

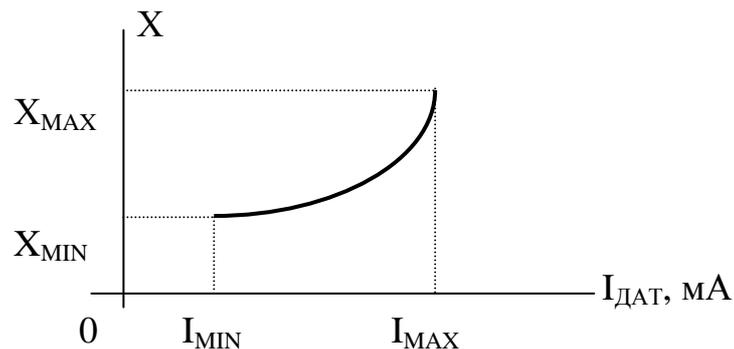


Рисунок 1.2

Обычно параболический характер имеет зависимость некорректированного значения расхода от тока датчика перепада, который иногда требуется в качестве справочного параметра.

1.4.2 Настройки, параметры входа и выхода, принцип работы алгоритма, принцип обнаружения обрыва, абсолютно идентичны описанному выше в 1.3 алгоритму линейного датчика, за исключением расчетной формулы для величины $X_{\text{РАСЧ}}$, которая имеет вид:

$$X_{\text{РАСЧ}} = X_{\text{МИН}} + (X_{\text{МАХ}} - X_{\text{МИН}}) * ((I_{\text{ДАТ}} - I_{\text{МИН}}) / (I_{\text{МАХ}} - I_{\text{МИН}}))^2 \quad (1.11)$$

1.5 Частотный линейный датчик

1.5.1 Алгоритм частотного линейного датчика имеет номер 0193 по базе данных и позволяет вычислить любую физическую величину X , зависимость которой от выходной частоты ИП имеет линейный характер согласно рисунку 1.3. Попутно алгоритм проверяет измерительный канал на обрыв.

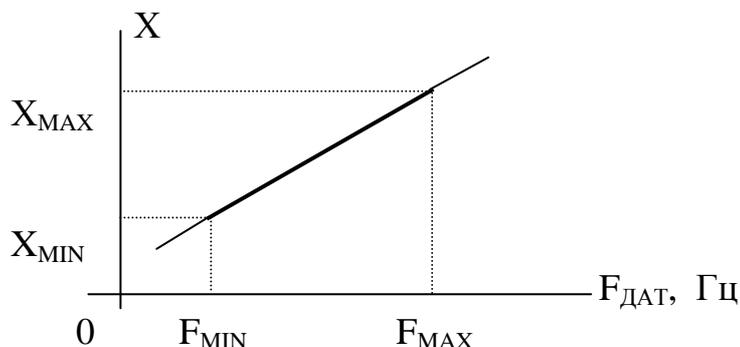


Рисунок 1.3

Выходной величиной « X », в зависимости от типа ИП, обычно является мгновенное значение объемного расхода воды, пара, газа в $\text{м}^3/\text{ч}$.

1.5.2 Входным параметром алгоритма является измеренное значение частоты в герцах с требуемого канала $F_{\text{ДАТ}}$. Настройка алгоритма на характеристики датчика производится заданием паспортных граничных значений тока F_{MIN} , F_{MAX} и соответствующих им значений измеряемого параметра X_{MIN} , X_{MAX} , причем в большинстве случаев $F_{\text{MIN}}=0$, $X_{\text{MIN}}=0$.

1.5.3 Вычисления производятся по формуле:

$$X_{\text{РАСЧ}} = X_{\text{MIN}} + (X_{\text{MAX}} - X_{\text{MIN}}) * (F_{\text{ДАТ}} - F_{\text{MIN}}) / (F_{\text{MAX}} - F_{\text{MIN}}) \quad (1.12)$$

1.5.4 В тех случаях, когда минимальное значение частоты отлично от нуля, проводится контроль обрыва измерительной цепи и устанавливается выходной битовый признак обрыва Y по условию:

$$Y = \begin{cases} 0 & \text{при } F_{\text{ДАТ}} \geq 0.5 * F_{\text{MIN}} \\ 1 & \text{при } F_{\text{ДАТ}} < 0.5 * F_{\text{MIN}} \end{cases} \quad (1.13)$$

1.5.5 При наличии обрыва в качестве выходной величины подставляется задаваемое при настройке значение параметра $X_{\text{ЗАМ}}$ «замена при обрыве» по формуле (1.10).

1.6 Вычисление температуры

1.6.1 Алгоритм с номером 0190 вычисляет значение температуры в градусах Цельсия по величине текущего сопротивления и заданным характеристикам термопреобразователя сопротивления. Попутно измерительная цепь проверяется на обрыв. Алгоритм работает с термопреобразователями с любым номинальным сопротивлением при 0°C (R_0 , Ом), следующих типов:

- медный ТСМ, характеристика $W_{100} = 1.428$ и $W_{100} = 1.426$;

- платиновый ТСП, характеристика $W_{100} = 1.385$ и $W_{100} = 1.391$.

1.6.2 Входным параметром алгоритма является вычисленная согласно формуле (1.4) величина текущего сопротивления R_{TC} , Ом. Настройка производится заданием по паспортным характеристикам термопреобразователя величин R_0 и W_{100} , а также параметра замены при обрыве $T_{ЗАМ}$. Выходные параметры – текущая температура T в градусах Цельсия и битовый признак обрыва Y .

1.6.3 Тип термопреобразователя определяется алгоритмом автоматически по заданной величине W_{100} :

- ТСП с $W_{100}=1.385$ при задании $W_{100}<1.388$
 - ТСП с $W_{100}=1.391$ при задании $1.388 \leq W_{100} < 1.400$
 - ТСМ с $W_{100}=1.426$ при задании $1.400 \leq W_{100} < 1.427$
 - ТСМ с $W_{100}=1.428$ при задании $W_{100} \geq 1.427$.
- $$(1.14)$$

1.6.5 Аналитическое решение уравнения зависимости сопротивления от температуры $R_{TC}(T)$ относительно искомой температуры заменено кусочно-линейной аппроксимацией по таблице, представляющей собой взятую из [12] выборку зависимости величины W от температуры с постоянным шагом 10 градусов в расширенном рабочем диапазоне.

Для аппроксимации выбирается интервал, на котором значение функции W относительно левой и правой границ удовлетворяют условию:

$$W_{ЛЕВ} \leq W < W_{ПРАВ}, \quad (1.15)$$

где

$$W = R_{TC}/R_0 \quad (1.16)$$

R_0 – паспортное сопротивление при 0 градусов Цельсия,

$W_{ЛЕВ}$ – табличное значение функции на левой границе интервала,

$W_{ПРАВ}$ – табличное значение функции на правой границе интервала,

Вычисление температуры в градусах Цельсия производится по формуле:

$$T_{РАСЧ} = T_{ЛЕВ} + \frac{W - W_{ЛЕВ}}{W_{ПРАВ} - W_{ЛЕВ}} * dT, \quad (1.17)$$

где

$T_{ЛЕВ}$ – табличное значение температуры на левой границе интервала,

$dT = 10$ – постоянный шаг аппроксимации по температуре. (1.18)

1.6.6 Для любого типа термопреобразователя проводится контроль обрыва измерительной цепи и устанавливается выходной битовый признак обрыва Y по условию:

$$Y = \begin{cases} 0 & \text{при } 0.5 < R_{TC} < 4.0 \\ 1 & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (1.20)$$

Таблица 1.1 – Значения функции $W=R_t/R_0$

t, °C	ТСП		ТСМ		t, °C	ТСП	
	1.391	1.385	1.428	1.426		1.391	1.385
-100	0.5964	0.6026	0.5653	-	260	1.9926	2.9771
-90	0.6374	0.6430	0.6101	-	270	2.0292	2.0131
-80	0.6783	0.6833	0.6539	-	280	2.0657	2.0490
-70	0.7190	0.7233	0.6975	-	290	2.1021	2.0848
-60	0.7596	0.7633	0.7411	-	300	2.1383	2.1205
-50	0.8000	0.8031	0.7845	0.7869	310	2.1744	2.1561
-40	0.8403	0.8427	0.8278	0.8295	320	2.2105	2.1915
-30	0.8804	0.8822	0.8710	0.8722	330	2.2464	2.2268
-20	0.9204	0.9216	0.9141	0.9148	340	2.2822	2.2621
-10	0.9602	0.9609	0.9571	0.9574	350	2.3178	2.2972
0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	360	2.3534	2.3321
10	1.0396	1.0390	1.0428	1.0426	370	2.3888	2.3670
20	1.0792	1.0779	1.0856	1.0852	380	2.4241	2.4018
30	1.1186	1.1167	1.1283	1.1278	390	2.4593	2.4364
40	1.1578	1.1554	1.1711	1.1705	400	2.4944	2.4709
50	1.1970	1.1940	1.2139	1.2131	410	2.5294	2.5053
60	1.2361	1.2324	1.2567	1.2557	420	2.5643	2.5396
70	1.2750	1.2708	1.2994	1.2983	430	2.5900	2.5738
80	1.3138	1.3090	1.3422	1.3409	440	2.6336	2.6078
90	1.3525	1.3471	1.3850	1.3835	450	2.6681	2.6418
100	1.3911	1.3851	1.4278	1.4262	460	2.7026	2.6756
110	1.4296	1.4229	1.4705	1.4688	470	2.7368	2.7093
120	1.4679	1.4607	1.5133	1.5114	480	2.7709	2.7429
130	1.5061	1.4983	1.5561	1.5540	490	2.8050	2.7764
140	1.5443	1.5358	1.5989	1.5966	500	2.8389	2.8098
150	1.5823	1.5733	1.6416	1.6392	510	2.8727	2.8430
160	1.6202	1.6105	1.6844	1.6819	520	2.9064	2.8762
170	1.6579	1.6477	1.7272	1.7245	530	2.9400	2.9092
180	1.6956	1.6848	1.7700	1.7671	540	2.9734	2.9421
190	1.7331	1.7217	1.8127	1.8097	550	3.0067	2.9749
200	1.7705	1.7586	1.8555	1.8523	560	3.0383	3.0075
210	1.8075	1.7953	-	-	570	3.0731	3.0401
220	1.8450	1.8319	-	-	580	3.1061	3.0725
230	1.8821	1.8684	-	-	590	3.1389	3.1049
240	1.9190	1.9047	-	-	600	3.1717	3.1371
250	1.9559	1.9410	-	-	610	3.2031	3.1692

1.6.7 При наличии обрыва в качестве выходной величины подставляется задаваемое при настройке значение параметра $T_{ЗАМ}$ «замена при обрыве»:

$$T = \begin{cases} T_{РАСЧ} & \text{при } Y=0 \\ T_{ЗАМ} & \text{при } Y=1 \end{cases} \quad (1.21)$$

1.7 Вычисление абсолютного давления

1.7.1 Все алгоритмы расчета расхода и количества тепловой энергии в качестве входного параметра используют абсолютное давление, выраженное в

МПа, в то время как исходный датчик давления может и измерять избыточное давление, и быть проградуирован в кгс/см². Для согласования единиц измерения давления используется алгоритм 0195.

1.7.2 Входным параметром алгоритма является полученная с выхода алгоритма 0191, реализующего датчик давления, исходная величина давления (назовем ее $P_{ВХ}$); настроечными параметрами – битовые признаки задания типа входного давления (избыточное или абсолютное) и единиц его измерения (кгс/см² или МПа). Выходная величина P_A всегда представляет собой абсолютное давление, выраженное в МПа. Величина атмосферного давления $P_{АТМ}$, необходимая для пересчета избыточного давления в абсолютное, либо задается при общей настройке через системный параметр с номером 0301, либо измеряется отдельным датчиком абсолютного давления.

1.7.3 Пересчет исходного давления производится по формулам:

$$P_{МПА} = \begin{cases} P_{ВХ} & \text{датчик проградуирован в МПа} \\ P_{ВХ} * 0.0980665 & \text{датчик проградуирован в кгс/см}^2 \end{cases} \quad (1.22)$$

$$P_A = \begin{cases} P_{МПА} & \text{датчик абсолютного давления} \\ P_{МПА} + P_{АТР} & \text{датчик избыточного давления,} \end{cases} \quad (1.23)$$

где $P_{АТР}$ – атмосферное давление, выраженное в МПа:

$$P_{АТР} = \begin{cases} 0.00013337 * P_{АТМ} & P_{АТМ} \text{ в мм ртутного столба} \\ 0.098065 * P_{АТМ} & P_{АТМ} \text{ в кгс/см}^2 \\ P_{АТМ} & P_{АТМ} \text{ в МПа} \end{cases} \quad (1.24)$$

1.8 Выбор и согласование параметров перепада

1.8.1 Алгоритмы расчета расхода любой среды методом переменного перепада в качестве входного параметра используют значение перепада на СУ, выраженное в кПа, в то время как исходный датчик может быть проградуирован в кгс/м². Для согласования единиц измерения давления используется алгоритм 0196.

1.8.2 Входным параметром алгоритма 0196 является полученная с выхода алгоритма 0191, реализующего датчик перепада, исходная величина перепада давления (назовем ее $dP_{ВХ}$); настроечным параметром – битовый признак единиц измерения (кгс/м² или кПа). Выходная величина dP всегда представляет собой значение перепада, выраженное в кПа. Расчет производится по формуле:

$$dP = \begin{cases} dP_{ВХ} & \text{датчик проградуирован в кПа} \\ dP_{ВХ} * 0.00980665 & \text{датчик проградуирован в кгс/м}^2 \end{cases} \quad (1.25)$$

1.8.3 С целью повышения точности измерения в ряде случаев на узле учета устанавливаются два датчика перепада с разными пределами измерения – основного (большого) диапазона и поддиапазона. Для выбора подходящего в

данный момент времени датчика используется алгоритм 019В «выбор поддиапазона перепада».

1.8.4 Алгоритм 019В имеет два входных параметра dP_1 и dP_2 , содержащих соответственно значения перепада с датчика поддиапазона (индекс 1) и датчика основного диапазона (индекс 2) в одинаковых единицах измерения, желательно в кПа. Еще один входной параметр содержит битовый параметр Y отказа датчика поддиапазона, которым может быть, например, признак его обрыва. Единственный настроечный параметр содержит константу переключения $dP_{\text{ПЕР}}$. Выходной параметр dP содержит значение выбранного перепада. Выбор происходит следующим образом:

$$dP = \begin{cases} dP_1 & \text{при } (dP_1 < dP_{\text{ПЕР}}) \ \& \ (Y=0) \\ dP_2 & \text{во всех остальных случаях} \end{cases} \quad (1.26)$$

1.9 Расчет параметров насыщенного пара

1.9.1 Алгоритмы расчета расхода насыщенного пара и переносимого им количества тепловой энергии в качестве входных параметров используют значения температуры и абсолютного давления пара. Как известно из [11], один из этих параметров может не измеряться, а вычисляться по стандартной кривой насыщения. В базе данных ТЭКОН-19 имеется два алгоритма – 0197 «расчет температуры по давлению» и 0198 «расчет давления по температуре».

1.9.2 Алгоритм 0197 имеет один входной параметр – абсолютное давление насыщенного пара, выраженное в МПа, и один выходной параметр, содержащий вычисленную температуру в градусах Цельсия. В соответствии с [11], температура насыщения рассчитывается по формуле:

$$T = \frac{1000}{A_0 + A_1 \cdot \ln(P_A) + \dots + A_5 \cdot (\ln(P_A))^5} - 273.15 \quad (1.27)$$

где

$$\left. \begin{aligned} A_0 &= 2.20732 \\ A_1 &= -0.2117187 \\ A_2 &= -0.002166605 \\ A_3 &= 1.619692 \cdot 10^{-4} \\ A_4 &= 4.8998 \cdot 10^{-5} \\ A_5 &= 3.6917255 \cdot 10^{-6} \end{aligned} \right\} \quad (1.28)$$

1.9.3 Алгоритм 0198 имеет один входной параметр – температуру в градусах Цельсия, и один выходной параметр, содержащий рассчитанное абсолютное давление насыщенного пара, выраженное в МПа. Вычисление проводится методом кусочно-линейной аппроксимации по таблице 1.2, содержащей значения давления в функции температуры с шагом в 1 градус в диапазоне

температур от 100 до 320 градусов Цельсия. Данные для таблицы взяты из [11], значения давления в ней выражены в кгс/см². После расчета по таблице давление приводится к МПа умножением на коэффициент 0.0980665. Процедура аппроксимации аналогична описанной в подразделе 1.6.

Таблица 1.2 - Абсолютное давление насыщенного пара в функции температуры

t	P _A										
100	1.033	140	3.685	180	10.225	220	23.659	260	47.870	300	87.570
101	1.070	141	3.790	181	10.462	221	24.115	261	48.650	301	88.810
102	1.109	142	3.898	182	10.703	222	24.577	262	49.440	302	90.064
103	1.149	143	4.009	183	10.950	223	25.047	263	50.240	303	91.332
104	1.190	144	4.121	184	11.201	224	25.523	264	51.050	304	92.613
105	1.232	145	4.237	185	11.456	225	26.007	265	51.870	305	93.908
106	1.275	146	4.355	186	11.715	226	26.497	266	52.710	306	95.216
107	1.319	147	4.476	187	11.979	227	26.995	267	53.550	307	96.539
108	1.365	148	4.599	188	12.248	228	27.499	268	54.400	308	97.875
109	1.412	149	4.725	189	12.522	229	28.011	269	55.260	309	99.227
110	1.460	150	4.854	190	12.800	230	28.531	270	56.140	310	100.59
111	1.510	151	4.985	191	13.083	231	29.057	271	57.020	311	101.97
112	1.562	152	5.119	192	13.371	232	29.591	272	57.910	312	103.37
113	1.614	153	5.257	193	13.664	233	30.133	273	58.820	313	104.78
114	1.668	154	5.397	194	13.962	234	30.682	274	59.730	314	106.20
115	1.724	155	5.540	195	14.265	235	31.239	275	60.660	315	107.64
116	1.781	156	5.686	196	14.573	236	31.803	276	61.600	316	109.09
117	1.839	157	5.836	197	14.886	237	32.376	277	62.550	317	110.56
118	1.899	158	5.988	198	15.204	238	32.955	278	63.510	318	112.05
119	1.961	159	6.144	199	15.528	239	33.544	279	64.480	319	113.55
120	2.024	160	6.302	200	15.857	240	34.140	280	65.430	320	115.06
121	2.089	161	6.464	201	16.192	241	34.745	281	66.422		
122	2.156	162	6.630	202	16.532	242	35.357	282	67.427		
123	2.224	163	6.798	203	16.877	243	35.978	283	68.442		
124	2.295	164	6.970	204	17.228	244	36.607	284	69.469		
125	2.366	165	7.146	205	17.585	245	37.244	285	70.508		
126	2.440	166	7.325	206	17.948	246	37.890	286	71.560		
127	2.516	167	7.507	207	18.316	247	38.545	287	72.622		
128	2.593	168	7.693	208	18.690	248	39.208	288	73.697		
129	2.673	169	7.883	209	19.070	249	39.880	289	74.784		
130	2.754	170	8.076	210	19.456	250	40.560	290	75.883		
131	2.838	171	8.274	211	19.848	251	41.250	291	76.995		
132	2.923	172	8.475	212	20.246	252	41.950	292	78.119		
133	3.011	173	8.679	213	20.651	253	42.660	293	79.255		
134	3.101	174	8.888	214	21.061	254	43.370	294	80.405		
135	3.192	175	9.101	215	21.477	255	44.100	295	81.567		
136	3.286	176	9.317	216	21.901	256	44.830	296	82.742		
137	3.382	177	9.538	217	22.331	257	45.580	297	83.929		
138	3.481	178	9.763	218	22.767	258	46.330	298	85.130		
139	3.582	179	9.992	219	23.209	259	47.090	299	86.343		

1.10 Ограничение параметра

1.10.1 Имеющийся в базе данных ТЭКОН-19 алгоритм 0194 позволяет ограничить значение любого выбранного параметра в заданных при настройке пределах в соответствии с рисунком 1.4. Выход параметра за допустимое значение сопровождается установкой одного из двух битовых признаков «выход за допуск».

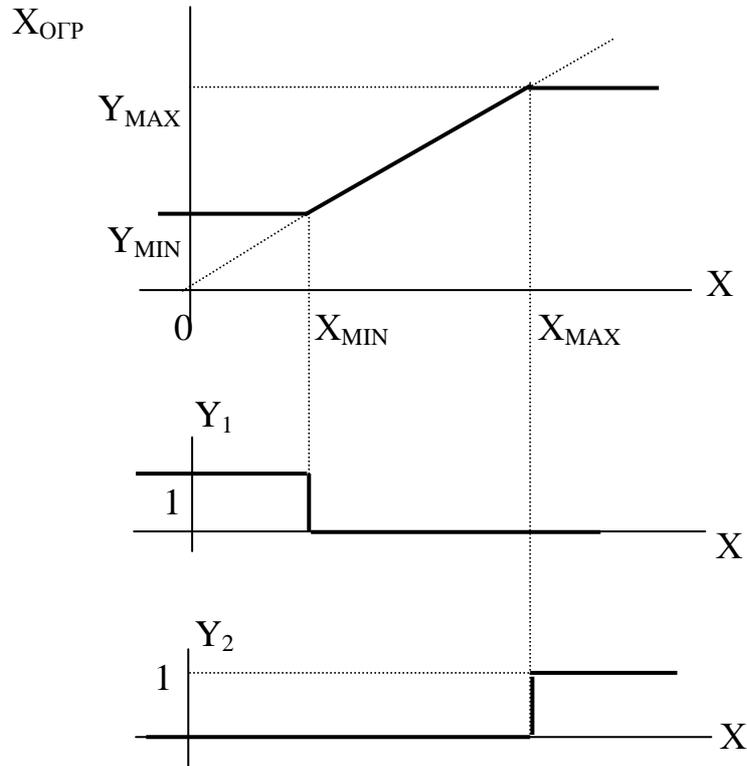


Рисунок 1.4

1.10.2 Алгоритм имеет один входной параметр X , подлежащий ограничению, один выходной параметр $X_{огр}$ с плавающей точкой как ограниченное значение параметра, два битовых выходных параметра Y_1 и Y_2 , сигнализирующих о выходе за нижний и верхний допуск соответственно. Два параметра настройки X_{MIN} и X_{MAX} определяют допустимые границы, другие два параметра настройки Y_{MIN} и Y_{MAX} (в общем случае их значения могут и не совпадать с X_{MIN} и X_{MAX}) определяют значения выходного параметра при выходе за допуск.

1.10.3 Расчетные формулы алгоритма ограничения имеют следующий вид:

$$X_{огр} = \begin{cases} Y_{MIN} & \text{при } X < X_{MIN} \\ X & \text{при } X_{MIN} \leq X \leq X_{MAX} \\ Y_{MAX} & \text{при } X > X_{MAX} \end{cases} \quad (1.29)$$

$$Y_1 = \begin{cases} 1 & \text{при } X < X_{MIN} \\ 0 & \text{при } X \geq X_{MIN} \end{cases} \quad (1.30)$$

$$Y_2 = \begin{cases} 0 & \text{при } X \leq X_{MAX} \\ 1 & \text{при } X > X_{MAX} \end{cases} \quad (1.31)$$

2 ПРИНЦИПЫ НАКОПЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

2.1 Интегрирование

Для интегрирования любых накапливаемых параметров (расход, количество тепловой энергии, время работы) в алгоритмах ТЭКОН-19 применены следующие принципы:

2.1.1 Интегрирование выполняется путем сложения предыдущего значения накапливаемого параметра с его приращением на данном цикле основной программы:

$$G_{\text{инт}N} = G_{\text{инт}N-1} + dG_{\text{ц}N} \quad (2.1)$$

где

$G_{\text{инт}N}$ - значение накапливаемого параметра на текущем, N-м цикле

$G_{\text{инт}N-1}$ - значение параметра на предыдущем, (N-1)-м цикле

$dG_{\text{ц}}$ - приращение параметра на текущем цикле.

Здесь и далее под обозначением « $G_{\text{инт}}$ » понимается любой накапливаемый параметр – расход в единицах объема G_V (м^3), расход в единицах массы G_m (тонны), расход электроэнергии W (кВтч), время работы t_p (часов) и т.п. Индексы номера цикла «N» и «N-1» далее, как правило, опускаются.

2.1.2 Для сохранения точности суммирования независимо от величины накапливаемого параметра, любые накапливаемые значения хранятся в виде трех отдельных параметров в формате с плавающей точкой каждый. Два связанных между собой параметра $G_{\text{цел}}$ и $G_{\text{др}}$ хранят отдельно целую и дробную части накапливаемого значения. Целая часть $G_{\text{цел}}$ наращивается только в том случае, если сумма приращения на цикле $dG_{\text{ц}}$ и предыдущей дробной части $G_{\text{др}}$ превысила единицу. При превышении целой частью числа 10^6 счет ее начинается снова с нуля без потери дробной части.

Использовать для учета отдельные значения целой и дробной части неудобно. Поэтому эти параметры «спрятаны» от пользователя во вспомогательном внутреннем массиве, а параллельно им в алгоритме имеется третий параметр $G_{\text{инт}}$, который в любой момент представляет собой мгновенную сумму целой и дробной частей накопленного значения; он и является действительно выходным коммерческим параметром. Таким образом, вычисления по формуле (2.1) в действительности заменены следующей цепочкой вычислений:

$$\left. \begin{aligned} G_{\text{др}N} &= \text{Mod}1(G_{\text{др}N-1} + dG_{\text{ц}N}) \\ G_{\text{цел}N} &= \text{Mod}10^6(G_{\text{цел}N-1} + \text{Int}(G_{\text{др}N-1} + dG_{\text{ц}N})) \\ G_{\text{инт}N} &= G_{\text{цел}N} + G_{\text{др}N}, \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

где

$\text{Int}(X)$ - символ функции выделения целой части числа X

$\text{Mod } M(X)$ - символ функции взятия остатка от числа X по модулю M .

2.1.3 Алгоритмы расчета расхода 0218-021Е, 024С, 0250-0252 и другие, использующие сигналы от ИП с числоимпульсными выходами, приращение расхода на текущем цикле $dG_{ц}$ определяют непосредственно по количеству импульсов $N_{ц}$, пришедшему за цикл, с учетом «веса» импульса. Мгновенное значение «мощности» расхода (ед/час) не вычисляется.

2.1.4 Алгоритмы расчета расхода 0210-0217, 0244-024В, 02А0-02А6, 02АА и другие, использующие мгновенное значение перепада давления на сужающем устройстве dP или «мощность» расхода $G_{дат}$, вычисляют откорректированное значение «мощности расхода», приведенное к часу, для большинства сред сразу в единицах и объема G_V , и массы G_m . Для получения приращения на цикле каждое из них умножается на длительность текущего цикла $dt_{ц}$, выраженную в часах:

$$dG_{ц} = G * dt_{ц} \quad (2.3)$$

Далее величина $dG_{ц}$ суммируется с предыдущим значением одноименного накопленного расхода $G_{инт}$ по формулам (2.2).

2.1.5 Все алгоритмы накопления, кроме специализированного алгоритма 021F учета электроэнергии, в качестве выходных имеют только параметры приращения рассчитываемой величины за цикл и ее общее (интегральное) накопленное значение. Для отдельного учета интегрируемого параметра по расчетным интервалам длительностью от 1 до 30 минут, по часам, суткам или месяцам, необходимо применить дополнительный алгоритм накопления по отрезкам времени с номером 0223 по базе данных. Его входным параметром должно являться приращение требуемого параметра на цикле; принцип накопления на каждом отрезке времени аналогичен вышеописанному в 2.1.2. Кроме того, для удобства работы этот алгоритм вычисляет еще среднее значение «часовой мощности» на расчетном интервале по принципам, изложенным далее в 2.2.3. По окончании отрезка всем накопленным параметрам присваивается нулевое значение, и счет начинается заново.

2.1.6 Специализированный алгоритм 021F учета электроэнергии вычисляет, кроме основных, еще и дополнительные параметры количества электроэнергии на текущем 30-минутном периоде и средней мощности на 30-минутном периоде. Накопление на 30-минутном периоде выполняется аналогично накоплению общего интегрального значения (см. 2.1.1 - 2.1.3). Вычисление среднего значения на 30-минутном периоде см. 2.2.4.

2.2 Вычисление средних значений

2.2.1 Для вычисления средних значений любых параметров за расчетный интервал длительностью от 1 до 30 минут, за час, сутки или месяц, необходимо применить алгоритм усреднения мгновенного значения на этих отрезках времени. Его номер по базе данных 0224, а входным параметром обычно является мгновенное значение параметра на цикле, например, температура, давление, мощность расхода и т.п.

2.2.2 Принцип вычисления среднеарифметического значения $X_{\text{сред}}$ – накопление на каждом цикле суммы « $X_{\text{сум}}$ » мгновенных значений усредняемого параметра « X » в пределах каждого отрезка времени аналогично 2.1.2, подсчет числа циклов программы « N » на этом отрезке и деление суммы замеров на число циклов:

$$\left. \begin{aligned} N &= N + 1 \\ X_{\text{сум}} &= X_{\text{сум}} + X \\ X_{\text{сред}} &= X_{\text{сум}}/N \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

В момент окончания отрезка вычисленное среднее значение переносится в качестве параметра «среднее за предыдущий отрезок времени», затем всем накопленным на отрезке параметрам присваивается нулевое значение, и счет на новом отрезке начинается заново.

2.2.3 Как указано в 2.1.5, алгоритм накопления 0223 дополнительно вычисляет на каждом расчетном интервале среднечасовое значение мощности расхода $X_{\text{СР}}$ в ед/час. Усреднение производится по времени с использованием формул:

$$\left. \begin{aligned} T_{\text{РИ}} &= T_{\text{РИ}} + dt_{\text{ц}} \\ X_{\text{СР}} &= X_{\text{РИ}} / T_{\text{РИ}}, \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

где $T_{\text{РИ}}$ – время от начала текущего расчетного интервала, часов;
 $X_{\text{РИ}}$ – расход, накопленный с начала интервала по 2.1.1 – 2.1.3.

2.2.4 Как указано в 2.1.6, специализированный алгоритм учета расхода электроэнергии 021F дополнительно вычисляет на каждом 30-минутном периоде среднечасовое значение мощности P_{30} в кВт. Усреднение производится по времени с использованием формул:

$$\left. \begin{aligned} T_{30} &= T_{30} + dt_{\text{ц}} \\ P_{30} &= W_{30} / T_{30}, \end{aligned} \right\} \quad (2.6)$$

где T_{30} – время от начала текущего 30-минутного периода, часов;
 W_{30} – расход на 30-минутном периоде по 2.1.1 – 2.1.3, кВтч.

3 РАСЧЕТ РАСХОДА МЕТОДОМ ПЕРЕМЕННОГО ПЕРЕПАДА

3.1 Общие характеристики алгоритмов расчета

3.1.1 Алгоритмы расчета расхода методом переменного перепада на сужающем устройстве выполняют расчет мгновенных значений расхода в единицах объема ($\text{м}^3/\text{ч}$) и массы ($\text{т}/\text{ч}$), приведенных к часу, и общих накопленных значений этих расходов (м^3 , т). В качестве сужающего устройства допускается применение только диафрагмы с угловым, фланцевым и трехрадиусным способом отбора перепада давления. Расчет ведется согласно требованиям [1-7].

3.1.2 Список алгоритмов расчета расхода методом переменного перепада, имеющийся в базе данных ТЭКОН-19 исполнений 01-10, 01М-10М, приведен в таблице 3.1; перечень их входных и выходных параметров - в таблице 3.2.

Таблица 3.1 – алгоритмы расчета расхода методом переменного перепада

Номер алгоритма по БД ^{*)}	Измеряемая среда
0210, 02А0	Вода
0211, 02А1	Пар перегретый
0212, 02А2, 0850	Пар насыщенный
0213, 02А3	Газ природный сухой
0244, 02А4, 0805	Газ углекислый (диоксид углерода газообразный)
0245, 02А5, 0806	Кислород газообразный
0246, 02А6	Воздух сжатый
024А, 02АА	Прочие газы с вводимыми характеристиками

Таблица 3.2 – параметры алгоритмов расчета расхода методом переменного перепада

Условное обозначение	Наименование	Применение в алгоритмах
Входные параметры		
dP	Перепад давления, кПа	Во всех
T _с	Температура, °С	-“-
P _А	Давление абсолютное, Мпа	-“-
D ₂₀	Диаметр трубопровода при 20°С, мм	-“-
d ₂₀	Диаметр СУ при 20°С, мм	-“-
-	Код материала трубопровода по таблице 3.3	-“-
-	Код материала СУ по таблице 3.3	-“-
R _{III}	Эквивалентная шероховатость, мм	-“-
S	Степень сухости (1 сухой, 0 вода)	0850
-	Условия учета газа (стандартные, рабочие)	0213, 02А3
Отбор	Способ отбора	-“-
П _{СУ}	Межповерочный интервал СУ, лет (1 или 2)	-“-
ρ _с	Плотность в стандартных условиях, кг/м ³	0213, 024А, 02А3, 02АА
X _{УП}	Содержание СО ₂ в газе, мольных %	0213, 02А3
X _{АП}	Содержание азота в газе, мольных %	0213, 02А3

Продолжение таблицы 3.2

Условное обозначение	Наименование	Применение в алгоритмах
μ	Динамическая вязкость в рабочих условиях, мкПа*с	024А, 02АА
к	Показатель адиабаты	024А, 02АА
$K_{СЖ}$	Коэффициент сжимаемости в рабочих условиях	024А, 02АА
Выходные параметры		
G_V	Текущий расход объемный, м ³ /ч	Во всех
G_M	Текущий расход массовый, т/ч	Кроме 0213 и 02А3
dG_V	Приращение объемного расхода за цикл, м ³	Во всех
dG_M	Приращение массового расхода за цикл, т	Кроме 0213 и 02А3
$G_{интV}$	Интегральный объем, м ³	Во всех ^{*)}
$G_{интM}$	Интегральная масса, т	Кроме 0213 и 02А3 ^{*)}
$K_{СЖ}$	Коэффициент сжимаемости в рабочих условиях	0213, 02А3, 0244-0246, 02А4-02А6
Отказ	Недопустимые условия расчета	02А0-02А6, 02АА
*) Все накапливаемые значения хранятся в виде трех параметров каждое, как описано в 2.1, но для простоты восприятия в таблицах и формулах далее это не отражено.		

3.2 Характеристики расходомерного узла

3.2.1 Относительный диаметр СУ [1]

3.2.1.1 Диаметр трубопровода D , мм, и диаметр сужающего устройства d , мм, при рабочей температуре T_c :

$$\left. \begin{aligned} D &= D_{20} * (1 + K_{TR} * (T_c - 20) / 10^6) \\ d &= d_{20} * (1 + K_{СУ} * (T_c - 20) / 10^6), \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

Значения коэффициентов линейного расширения материала трубопровода K_{TR} и материала сужающего устройства $K_{СУ}$, увеличенные в 10^6 раз, определяются согласно Приложению В к [1-3] путем аппроксимации по формуле:

$$K = A_e + 10^{-3} B_e * T_c + 10^{-6} C_e * T_c^2, \quad (3.2)$$

где коэффициенты аппроксимации A_e , B_e , C_e для основных материалов приведены в таблице 3.3 по кодам настройки.

3.2.1.2 Относительный диаметр β при рабочей температуре

$$\beta = d/D. \quad (3.3)$$

3.2.2 Коэффициент скорости входа

Коэффициент скорости входа E_d для всех сред, согласно [1-3], определяется по формуле:

$$E_d = 1 / (1 - \beta^4)^{1/2} \quad (3.4)$$

Таблица 3.3

Материал		A _e	B _e	C _e	Материал		A _e	B _e	C _e
код	марка стали				код	марка стали			
1	8	10.9	7.7	-2.4	32	09Г2С	10.68	12.0	0
2	10	10.8	9.0	-4.2	33	40, 45	10.821	17.872	-10.986
3	15	11.1	7.9	-3.9	34	10Г2	9.94	22.667	0
4	15М	10.7	13.0	-13.0	35	35Х	10.179	19.602	-13.338
5	16М	11.1	8.4	-3.7	36	38ХА	12.345	5.433	5.36
6	20	11.1	7.7	-3.4	37	40Х	10.819	15.487	-9.28
7	20М	10.7	13.0	-13.0	38	15ХМ	11.448	12.638	-7.137
8	25	12.2	0.0	0	39	30ХМ,30ХМА	10.720	14.667	0
9	30	10.2	10.4	-5.6	40	25Х1МФ	10.235	18.64	-13.0
10	35	10.2	10.4	-5.6	41	25Х2М1Ф	12.02	8	0
11	Х6СМ	10.1	2.7	0	42	18Х2Н4МА	11.065	11.224	-5.381
12	Х7СМ	10.1	2.7	0	43	38ХН3МФА	11.446	9.574	-4.945
13	12МХ	11.3	3.8	0	44	08Х13	9.971	9.095	-4.115
14	12Х1МФ	10.0	9.6	-6.0	45	12Х13	9.557	11.067	-5.0
15	12Х17	9.4	7.4	-6.0	46	20Х13	9.52	11.333	0
16	12Х18Н9Т	15.6	8.3	-6.5	47	30Х13	9.642	9.6	-4.472
17	12Х18Н10Т, 12Х18Н12Т	16.206	6.571	0	48	10Х14Г14Н4Т	15.22	13.0	0
18	14Х17Н2	9.4	7.5	-7.8	49	08Х18Н10	15.325	11.25	0
19	15ХМА	11.1	8.5	-5.2	50	08Х18Н10Т	15.47	10.5	0
20	15Х1М1Ф	10.4	8.1	-4.4	51	37Х12Н8Г8МФБ	15.8	0	0
21	15Х5М	10.1	2.7	0	52	31Х19Н9МВБТ	16.216	6.4	0
22	15Х12ЕНМФ	9.8	3.0	0	53	06ХН28МДТ	9.153	30.944	-26.478
23	17Х18Н9	15.7	5.7	0	54	20Л	11.66	9.0	0
24	20Х23Н13	15.5	1.7	0	55	25Л	10.75	12.5	0
25	36Х18Н25С2	12.0	10.0	-5.4	56	Нержав 316 (S31600/CF8M)	15.2	6.6	-0.6
26	35Л	10.26	14.0	0	57	Hastelloy C-276	10.8	4.8	0.9
27	45Л	11.6	0	0	58	Monel 400	13.0	8.8	-3.8
28	20ХМЛ	9.83	18.812	-14.191	59	Алюминий (6063-Т6)	22.4	6.3	11.6
29	12Х18Н9ТЛ	16.466	5.36	3.0	60	Нержав 304	14.7	9.8	-7.4
30	15К, 20К	10.8	10.0	0	61	Титан В348 Gr2	8.2	2.9	-0.17
31	16ГС	9.903	20.561	-15.675		Прочие коды	0	0	0

3.2.3 Коэффициент истечения [1]:

Коэффициент истечения C_{\sim} для диафрагм определяется по формуле:

$$C_{\sim} = 0.5961 + 0.0261*\beta^2 - 0.216*\beta^8 + 0.000521*(10^6*\beta/Re)^{0.7} + (0.0188 + 0.0063*A)*\beta^{3.5}*(10^6/Re)^{0.3} + (0.043 + 0.08*e^{-10L_1} - 0.123*e^{-7L_1})*(1 - 0.11*A)*\beta^4/(1 - \beta^4) - 0.031*(M_1 - 0.8*M_1^{1.1})*\beta^{1.3} + M_2, \quad (3.5)$$

$$\text{где } A = (19000*\beta/Re)^{0.8} \quad (3.6)$$

$$M_1 = 2*L_2/(1 - \beta) \quad (3.7)$$

$$M_2 = \begin{cases} 0.011*(0.75 - \beta)*(2.8 - D/25.4) & \text{при } D < 71.12\text{мм} \\ 0 & \text{при } D \geq 71.12\text{мм} \end{cases} \quad (3.8)$$

$$\left. \begin{array}{ll} L_1 = L_2 = 0 & \text{угловой способ отбора} \\ L_1 = L_2 = 25.4/D & \text{фланцевый способ отбора} \\ L_1 = 1, \quad L_2 = 0.47 & \text{трехрадиусный способ отбора} \end{array} \right\} (3.9)$$

3.3 Термодинамические характеристики среды

3.3.1 Абсолютная температура

Абсолютная температура T_A , градусов Кельвина, рассчитывается по формуле:

$$T_A = T_C + 273.15 \quad (3.10)$$

3.3.2 Псевдокритические и приведенные параметры

3.3.2.1 Вода, перегретый и насыщенный пар [9,10]

Приведенное абсолютное давление π_p определяется по формуле

$$\pi_p = P_A / 22.064 \quad (3.11)$$

Приведенная температура τ определяется по формуле

$$\tau = T_A / 647.14 \quad (3.12)$$

3.3.2.2 Природный газ [5]

Псевдокритическое давление $P_{ПК}$, МПа, определяется по формуле

$$P_{ПК} = 2.9585 \cdot (1.608 - 0.05994 \cdot \rho_C + X_Y - 0.392 \cdot X_A), \quad (3.13)$$

где

X_Y - молярная концентрация углекислого газа, долей единицы,

X_A - молярная концентрация азота, долей единицы.

$$\left. \begin{array}{l} X_A = 0.01 \cdot X_{АП} \\ X_Y = 0.01 \cdot X_{УП} \end{array} \right\} (3.14)$$

Псевдокритическая температура $T_{ПК}$, градусов, определяется по формуле

$$T_{ПК} = 88.25 \cdot (0.9915 + 1.759 \cdot \rho_C - X_Y - 1.681 \cdot X_A). \quad (3.15)$$

Приведенная температура и приведенное давление

$$\pi_p = P_A / P_{ПК} \quad (3.16)$$

$$\tau = T_A / T_{ПК} \quad (3.17)$$

3.3.2.3 Углекислый газ, кислород [14]

Приведенная температура τ и приведенная плотность ω :

$$\tau = T_A / T_{КР} \quad (3.18)$$

$$\omega = \rho / \rho_{КР}, \quad (3.19)$$

где ρ - плотность в рабочих условиях, кг/м^3 , вычисляемая по формулам пункта 3.3.4, а параметры критической точки равны:

$$T_{КР} = \begin{cases} 304.2 & \text{углекислый газ} \\ 154.58 & \text{кислород} \end{cases} \quad (3.20)$$

$$\rho_{\text{кр}} = \begin{cases} 468.0 & \text{углекислый газ} \\ 436.2 & \text{кислород} \end{cases} \quad (3.21)$$

3.3.3 Динамическая вязкость

Динамическая вязкость в рабочих условиях μ , Па*с, рассчитывается для любой среды, причем значение увеличено в 10^6 раз. Для технического газа с вводимыми характеристиками показатель μ задается при настройке алгоритма.

3.3.3.1 Вода

Динамическая вязкость воды определяется аппроксимацией данных таблицы 3 ГСССД 6-89 в функции температуры и давления по формуле:

$$\mu = A_0 + A_1 * T_C + P_A * (A_2 + A_3 * T_C). \quad (3.22)$$

Значения коэффициентов аппроксимации сведены в таблицу 3.4.

Таблица 3.4

Диапазон температуры, градусов С	Коэффициенты аппроксимации			
	A ₀	A ₁	A ₂	A ₃
0.1 < P _A ≤ 0.5 МПа				
0 .. 25	1793.25	-36.109	-2.5	0.09
25 .. 50	1234.075	-13.742	-0.75	0.02
50 .. 75	885.225	-6.765	-0.25	0.01
75 .. 100	1676.8125	-17.3195	-2020.225	26.943
100 .. 150	-109.613	0.54475	1180.63	-5.066
150 .. 200	-160.358	0.88305	1685.38	-8.431
0.5 < P _A ≤ 1.0 МПа				
0 .. 25	1793.0	-36.10	-2.0	0.072
25 .. 50	1234.0	-13.74	-0.6	0.016
50 .. 75	885.6	-6.772	-1.0	0.024
75 .. 100	665.7	-3.84	2.0	-0.016
100 .. 150	480.3	-1.986	0.8	-0.004
150 .. 200	480.3	-1.986	0.8	-0.004
1.0 < P _A ≤ 2.5 МПа				
00 .. 25	1793.7	-36.124	-2.667	0.096
25 .. 50	1234.1	-13.743	-0.733	0.0187
50 .. 75	884.8	-6.756	-0.2	0.008
75 .. 100	666.9	-3.851	0.8	-0.0053
100 .. 150	480.8	-1.99	0.267	0
150 .. 200	919.1	-4.912	-236.353	1.5775
2.5 < P _A ≤ 5.0 МПа				
0 .. 25	1793.0	-36.104	-2.4	0.088
25 .. 50	1233.7	-13.732	-0.56	0.0144
50 .. 75	883.1	-6.72	0.48	-0.0064
75 .. 100	670.7	-3.888	-0.72	0.0096
100 .. 150	481.1	-1.992	0.16	0.0008
150 .. 200	327.2	-0.966	0.4	-0.0008

3.3.3.2 Пар перегретый и насыщенный [10]

Динамическая вязкость любого вида сухого пара определяется по формуле:

$$\mu = 0.1 * [(-22.391 * \tau^2 + 326.46 * \tau - 78.034 + 6.6119 * \tau^{-2}) + \pi_p * (65.605 * \tau^{-2} - 74.535 * \tau^{-3}) + \pi_p^2 * (-19.052 + 124.47 * \tau^{-2} - 97.428 * \tau^{-3}) + \pi_p^3 * (-1281.1 + 4910.2 * \tau^{-1} - 6293.7 * \tau^{-2} + 2699.2 * \tau^{-3})]. \quad (3.23)$$

Для влажного насыщенного пара выполняется эмпирическая степенная аппроксимация табличных данных по температуре и степени сухости, причем допускаемая степень сухости S должна лежать в пределах от 0.3 до 1.

3.3.3.3 Природный газ [5]

Динамическая вязкость природного газа определяется по формулам:

$$\mu_T = 3.24 * \frac{T_A^{0.5} + 1.37 - 9.09 * \rho_C^{0.125}}{\rho_C^{0.5} + 2.08 - 1.5 * (X_A + X_Y)}. \quad (3.24)$$

$$\mu = \begin{cases} \mu_T & \text{при } P_A \leq 0.5 \text{ МПа} \\ \mu_T * C_\mu & P_A > 0.5 \text{ МПа,} \end{cases} \quad (3.25)$$

где

$$C_\mu = \pi_p^2 / (30 * (\tau - 1)) + 1. \quad (3.26)$$

3.3.3.4 Углекислый газ [15], дополнительно см. раздел 11:

$$\mu = \mu_0(\tau) + d\mu(\tau, \omega). \quad (3.27)$$

Первое слагаемое $\mu_0(\tau)$, характеризующее свойства диоксида углерода в разреженном состоянии, вычисляется по следующей формуле:

$$\mu_0(\tau) = -102.05 * \tau^{-1.5} + 472.88 * \tau^{-1} - 744.72 * \tau^{-0.5} + 364.05 + 135.40 * \tau^{0.5} + 26.609 * \tau \quad (3.28)$$

Избыточная составляющая вязкости $d\mu(\tau, \omega)$ вычисляется по формуле:

$$d\mu(\tau, \omega) = 80.1682 * \omega - 59.3028 * \omega * \tau^{-2} + 139.535 * \omega^2 * \tau^{-2} + 226.949 * \omega^3 - 171.741 * \omega^3 * \tau^{-2} - 273.900 * \omega^4 + 209.934 * \omega^4 * \tau^{-1} + 113.422 * \omega^5 - 133.778 * \omega^5 * \tau^{-1} + 47.1785 * \omega^5 * \tau^{-2} \quad (3.29)$$

3.3.3.5 Кислород [16], дополнительно см. раздел 11:

$$\mu = \mu_0(\tau) + d\mu(\tau, \omega). \quad (3.30)$$

Первое слагаемое $\mu_0(\tau)$, характеризующее свойства кислорода в разреженном состоянии, вычисляется по формуле:

$$\mu_0(\tau) = -46.37437 * \tau^{-1.5} + 237.7359 * \tau^{-1} - 408.7227 * \tau^{-0.5} + 206.4049 + 104.3199 * \tau^{0.5} + 22.20488 * \tau \quad (3.31)$$

Избыточная составляющая вязкости $d\mu(\tau, \omega)$ вычисляется по формуле:

$$d\mu(\tau, \omega) = \omega^2 * (64.64877 * \tau + 291.8977 * \tau^{-1} - 269.4236 * \tau^{-2} + 47.97377 * \tau^{-3}) + \omega^3 * (119.0839 - 613.0107 * \tau^{-1} + 643.25 * \tau^{-2} - 132.5039 * \tau^{-3}) + \omega^4 * (-38.11928 * \tau + 266.5476 * \tau^{-1} - 331.8987 * \tau^{-2} + 79.83568 * \tau^{-3}). \quad (3.32)$$

3.3.3.6 Воздух [17,18]

Динамическая вязкость вычисляется с помощью аппроксимирующего полинома:

$$\mu = [(A_0 * T_C + A_1) * P_A + (A_2 * T_C + A_3)] / 10, \quad (3.33)$$

Коэффициенты $A_0 - A_3$ получены на основе обработки данных [18] и сведены в таблицу 3.5.

Таблица 3.5

Диапазон температуры, градусов С	Коэффициенты аппроксимации			
	A_0	A_1	A_2	A_3
$0 < P_A \leq 1.0$ МПа				
-73.15 .. -53.15	-0.009	1.06	0.569	174.6
-53.15 .. -33.15	-0.009	1.06	0.544	173.3
-33.15 .. -13.15	-0.005	1.21	0.525	172.6
-13.15 .. 6.85	-0.009	1.15	0.509	172.4
6.85 .. 16.85	0.000	1.09	0.490	172.6
16.85 .. 26.85	-0.005	1.24	0.489	172.6
26.85 .. 46.85	-0.005	1.12	0.475	173.0
46.85 .. 66.85	-0.005	1.12	0.465	173.4
66.85 .. 86.85	-0.005	1.12	0.450	174.4
86.85 .. 106.85	0.318	-26.91	0.467	172.9
106.85 .. 126.85	-0.323	41.57	0.398	180.3
$1.0 < P_A \leq 2.0$ МПа				
-73.15 .. -53.15	-0.020	1.24	0.580	174.4
-53.15 .. -33.15	-0.015	1.50	0.550	172.8
-33.15 .. -13.15	-0.010	1.67	0.530	172.2
-13.15 .. 6.85	-0.010	1.67	0.510	171.9
6.85 .. 16.85	-0.010	1.67	0.500	172.0
16.85 .. 26.85	-0.010	1.67	0.490	172.1
26.85 .. 46.85	-0.005	1.53	0.475	172.5
46.85 .. 66.85	-0.010	1.77	0.470	172.8
66.85 .. 86.85	-0.005	1.43	0.450	174.1
86.85 .. 106.85	-0.355	31.83	1.140	114.2
106.85 .. 126.85	0.345	-42.96	-0.270	264.8
$2.0 < P_A \leq 3.0$ МПа				
-73.15 .. -53.15	-0.030	1.41	0.600	174.1
-53.15 .. -33.15	-0.020	1.94	0.560	172.0
-33.15 .. -13.15	-0.020	1.94	0.550	171.6
-13.15 .. 6.85	-0.015	2.00	0.520	171.2
6.85 .. 16.85	-0.010	1.97	0.500	171.4
16.85 .. 26.85	-0.010	1.97	0.490	171.5
26.85 .. 46.85	-0.010	1.97	0.485	171.7
46.85 .. 66.85	-0.005	1.73	0.460	172.8
66.85 .. 86.85	-0.005	1.73	0.450	173.5
86.85 .. 106.85	-0.005	1.73	0.440	174.4
106.85 .. 126.85	-0.005	1.73	0.430	175.5
$3.0 < P_A \leq 5.0$ МПа				
-73.15 .. -53.15	-0.047	1.33	0.652	174.3

Продолжение таблицы 3.5

Диапазон температуры, градусов С	Коэффициенты аппроксимации			
	A_0	A_1	A_2	A_3
-53.15 .. -33.15	-0.033	2.12	0.598	171.4
-33.15 .. -13.15	-0.023	2.45	0.558	170.1
-13.15 .. 6.85	-0.017	2.52	0.527	169.7
6.85 .. 16.85	-0.015	2.50	0.515	169.8
16.85 .. 26.85	-0.015	2.50	0.505	169.9
26.85 .. 46.85	-0.013	2.44	0.493	170.3
46.85 .. 66.85	-0.010	2.32	0.475	171.1
66.85 .. 86.85	-0.007	2.15	0.457	172.3
86.85 .. 106.85	-0.008	2.15	0.448	173.1
106.85 .. 126.85	-0.008	2.15	0.438	174.5
$5.0 < P_A \leq 10.0$ МПа				
-73.15 .. -53.15	-0.047	1.33	0.652	174.3
-53.15 .. -33.15	-0.033	2.12	0.598	171.4
-33.15 .. -13.15	-0.023	2.45	0.558	170.1
-13.15 .. 6.85	-0.017	2.52	0.527	169.7
6.85 .. 16.85	-0.015	2.50	0.515	169.8
16.85 .. 26.85	-0.015	2.50	0.505	169.9
26.85 .. 46.85	-0.013	2.44	0.493	170.3
46.85 .. 66.85	-0.010	2.32	0.475	171.1
66.85 .. 86.85	-0.007	2.15	0.457	172.3
86.85 .. 106.85	-0.008	2.15	0.448	173.1
106.85 .. 126.85	-0.008	2.15	0.438	174.5
$10.0 < P_A \leq 15.0$ МПа				
-73.15 .. -53.15	-0.127	-0.05	1.240	184.8
-53.15 .. -33.15	-0.073	2.82	0.900	166.7
-33.15 .. -13.15	-0.047	3.58	0.730	161.1
-13.15 .. 6.85	-0.033	3.87	0.640	159.9
6.85 .. 16.85	-0.026	3.82	0.590	160.3
16.85 .. 26.85	-0.024	3.78	0.590	160.3
26.85 .. 46.85	-0.018	3.62	0.530	161.9
46.85 .. 66.85	-0.016	3.53	0.520	162.3
66.85 .. 86.85	-0.012	3.26	0.485	164.7
86.85 .. 106.85	-0.010	3.09	0.465	166.4
106.85 .. 126.85	-0.009	2.98	0.455	167.5
$15.0 < P_A \leq 20.0$ МПа				
-73.15 .. -53.15	-0.122	0.84	1.165	171.5
-53.15 .. -33.15	-0.081	3.01	1.020	163.8
-33.15 .. -13.15	-0.053	3.94	0.820	157.2
-13.15 .. 6.85	-0.037	4.15	0.700	155.6
6.85 .. 16.85	-0.028	4.09	0.620	156.2
16.85 .. 26.85	-0.026	4.06	0.620	156.2
26.85 .. 46.85	-0.021	3.92	0.575	157.4
46.85 .. 66.85	-0.015	3.64	0.505	160.6
66.85 .. 86.85	-0.014	3.58	0.515	160.0
86.85 .. 106.85	-0.011	3.32	0.480	163.0
106.85 .. 126.85	-0.009	3.10	0.455	165.7

3.3.4 Плотность в рабочих условиях

Плотность в рабочих условиях ρ , кг/м³, вычисляется для воды, перегретого пара, углекислого газа, кислорода и воздуха.

3.3.4.1 Вода

Плотность воды в рабочих условиях определяется в соответствии с [9] по формуле

$$\rho = 10^3 / \{ 114.332*\tau - 431.6382 + 706.5474*\tau^{-1} - 641.9127*\tau^{-2} + 349.4417*\tau^{-3} - 113.8191*\tau^{-4} + 20.5199*\tau^{-5} - 1.578507*\tau^{-6} + \pi_p*(-3.117072 + 6.589303*\tau^{-1} - 5.210142*\tau^{-2} + 1.819096*\tau^{-3} - 0.2365448*\tau^{-4}) + \pi_p^2*(-6.417443*\tau + 19.84842 - 24.00174*\tau^{-1} + 14.21655*\tau^{-2} - 4.13194*\tau^{-3} + 0.4721637*\tau^{-4}) \} . \quad (3.34)$$

3.3.4.2 Пар перегретый

Плотность перегретого пара определяется согласно [10] по формуле:

$$\rho = \frac{73.874969*\pi_p}{\tau*Z} . \quad (3.35)$$

где Z – коэффициент сжимаемости перегретого пара, вычисляемый по формуле:

$$Z = 1 + \pi_p*(0.4409392*\tau^{-1} - 1.386598*\tau^{-2} + 1.380501*\tau^{-3} - 0.7644377*\tau^{-4}) + \pi_p^2*(56.40548*\tau^{-1} - 297.0161*\tau^{-2} + 617.8258*\tau^{-3} - 634.747*\tau^{-4} + 322.8009*\tau^{-5} - 65.45004*\tau^{-6}) + \pi_p^3*(149.3651*\tau^{-1} - 895.0375*\tau^{-2} + 2123.035*\tau^{-3} - 2488.625*\tau^{-4} + 1439.213*\tau^{-5} - 327.7709*\tau^{-6}) + \pi_p^4*(151.1386 - 967.3387*\tau^{-1} + 2478.739*\tau^{-2} - 3178.106*\tau^{-3} + 2038.512*\tau^{-4} - 523.2041*\tau^{-5}). \quad (3.36)$$

3.3.4.3 Пар насыщенный

Плотность сухого насыщенного пара определяется в соответствии с [10] по формуле

$$\rho = 322.0*\exp(-2.02957*\xi^{2/6} - 2.68781*\xi^{4/6} - 5.38107*\xi^{8/6} - 17.3151*\xi^{18/6} - 44.6384*\xi^{37/6} - 64.3486*\xi^{71/6}), \quad (3.37)$$

где

$$\xi = 1 - \tau. \quad (3.37a)$$

Плотность влажного насыщенного пара определяется в соответствии с [10] по формуле

$$\rho = \rho_1*\rho_2/(\rho_2*(1 - S) + \rho_1*S), \quad (3.38)$$

где

ρ_1 – плотность газовой фазы, вычисленная по формуле (3.37),

ρ_2 – плотность жидкой фазы, вычисленная по формуле (3.38a),

S – степень сухости пара, кг/кг.

$$\rho_2 = 322.0 \cdot (1.0 + 1.99053 \cdot \xi_1^{1/3} + 1.10609 \cdot \xi_2^{2/3} - 0.524484 \cdot \xi_5^{5/3} - 2.1873 \cdot \xi^{17/3} - 498.405 \cdot \xi_5^{8/3}). \quad (3.38a)$$

3.3.4.4 Углекислый газ (дополнительно см. раздел 11)

Плотность в рабочих условиях вычисляется путем аппроксимации и интерполяции табличных данных, приведенных в [14]. Вычисления производятся в два этапа. На первом этапе производится аппроксимация плотности ρ_T , кг/м³, в функции температуры для двух табличных значений абсолютного давления $P_{ЛЕВ}$ и $P_{ПР}$, ближайших к текущему абсолютному давлению P_A . Значения табличного давления выбираются из ряда: 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.65, 0.8, 1.0, 1.3, 1.6, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5 МПа. Для аппроксимации используется полином вида:

$$\rho_T = \begin{cases} 1/(A \cdot T_C^2 + B \cdot T_C + C) & \text{при } P_A < 3 \text{ МПа} \\ 1/(A/\exp(X) + B \cdot \ln(X) + C/X + D) & \text{при } P_A \geq 3 \text{ МПа,} \end{cases} \quad (3.39)$$

где $X = T_A/10$ (3.40)
 A, B, C, D - коэффициенты аппроксимации по таблице 3.6.

Таблица 3.6

P_A , МПа	A	B	C	D
0.1	-144.14*10 ⁻⁹	1.917*10 ⁻³	512.61*10 ⁻³	-
0.2	-111.23*10 ⁻⁹	972.85*10 ⁻⁶	254.53*10 ⁻³	-
0.3	-114.77*10 ⁻⁹	658.45*10 ⁻⁶	168.51*10 ⁻³	-
0.4	-117.99*10 ⁻⁹	501.48*10 ⁻⁶	125.48*10 ⁻³	-
0.5	-122.23*10 ⁻⁹	407.65*10 ⁻⁶	99.660*10 ⁻³	-
0.65	-128.35*10 ⁻⁹	321.08*10 ⁻⁶	75.819*10 ⁻³	-
0.8	-132.24*10 ⁻⁹	267.30*10 ⁻⁶	60.902*10 ⁻³	-
1.0	-143.09*10 ⁻⁹	221.34*10 ⁻⁶	47.958*10 ⁻³	-
1.3	-159.50*10 ⁻⁹	179.74*10 ⁻⁶	35.979*10 ⁻³	-
1.6	-180.20*10 ⁻⁹	154.90*10 ⁻⁶	28.456*10 ⁻³	-
2.0	-216.44*10 ⁻⁹	135.29*10 ⁻⁶	21.883*10 ⁻³	-
2.5	-220.51*10 ⁻⁹	118.53*10 ⁻⁶	16.588*10 ⁻³	-
3.0	-176.67*10 ⁶	27.621*10 ⁻³	0	-78.173*10 ⁻³
3.5	-209.58*10 ⁶	8.8912*10 ⁻³	-517.15*10 ⁻³	0
4.0	-514.16*10 ⁶	7.9980*10 ⁻³	-488.68*10 ⁻³	0
4.5	-1.0517*10 ⁹	7.3035*10 ⁻³	-466.81*10 ⁻³	0
5.0	-1.9245*10 ⁹	6.7507*10 ⁻³	-449.80*10 ⁻³	0
5.5	-2.9823*10 ⁹	0	-644.86*10 ⁻³	28.352*10 ⁻³

На втором этапе производится линейная интерполяция плотности по абсолютному давлению по формулам:

$$\rho = \rho_{ПР} + (\rho_{ЛЕВ} - \rho_{ПР}) \cdot (P_A - P_{ПР}) / (P_{ЛЕВ} - P_{ПР}), \quad (3.41)$$

где

$\rho_{ЛЕВ}$ – плотность на левой границе интервала интерполяции при $P_{ЛЕВ} \leq P_A$;

$\rho_{ПР}$ – плотность на правой границе интервала интерполяции при $P_{ПР} \geq P_A$.

Для повышения точности при давлении более 2 МПа, когда шаг табличных давлений достаточно велик, линейная интерполяция заменяется параболической, и величина dp пересчитывается по формуле с эмпирически подобранным коэффициентом K :

$$dp = dp*((1+K) - dp*K), \quad (3.42)$$

где

$$K = \begin{cases} 0.05 & \text{при } 2 < P_A < 3 \text{ МПа} \\ 0.1 & \text{при } P_A \geq 3 \text{ МПа} \end{cases} \quad (3.43)$$

3.3.4.5 Кислород (дополнительно см. раздел 11)

Плотность кислорода в рабочих условиях вычисляется путем аппроксимации и интерполяции табличных данных, приведенных в [16]. Вычисления производятся в два этапа. На первом этапе с помощью полинома вида

$$\rho_T = 1/(A*T_C^2 + B*T_C + C) \quad (3.44)$$

производится аппроксимация плотности в функции температуры T_C , выраженной в градусах Цельсия, для двух значений абсолютного давления $P_{ЛЕВ}$ и $P_{ПР}$, ближайших к текущему давлению P_A , и выбранных из ряда: 0.1; 0.5; 1.0; 2.0; 3.0; 4.0; 5.0; 6.0; 8.0; 10.0; 12.0; 15.0; 20.0 МПа. Для повышения точности аппроксимация производится отдельно для положительных и отрицательных температур; коэффициенты аппроксимации сведены в таблицу 3.7. На втором этапе производится линейная интерполяция плотности по абсолютному давлению по формуле (3.41).

Таблица 3.7

Давление, МПа	А		В		С	
	$T_C < 0$	$T_C \geq 0$	$T_C < 0$	$T_C \geq 0$	$T_C < 0$	$T_C \geq 0$
0.1	$-26.169*10^{-9}$	$-3.177*10^{-9}$	$2.6078*10^{-3}$	$2.6045*10^{-3}$	$710.45*10^{-3}$	$710.48*10^{-3}$
0.5	$-62.154*10^{-9}$	$-17.792*10^{-9}$	$527.01*10^{-6}$	$527.07*10^{-6}$	$141.36*10^{-3}$	$141.48*10^{-3}$
1.0	$-66.082*10^{-9}$	$-18.862*10^{-9}$	$267.04*10^{-6}$	$267.45*10^{-6}$	$70.393*10^{-3}$	$70.374*10^{-3}$
2.0	$-74.333*10^{-9}$	$-18.096*10^{-9}$	$136.91*10^{-6}$	$137.38*10^{-6}$	$34.818*10^{-3}$	$34.828*10^{-3}$
3.0	$-80.287*10^{-9}$	$-19.671*10^{-9}$	$93.489*10^{-6}$	$94.214*10^{-6}$	$22.999*10^{-3}$	$23.010*10^{-3}$
4.0	$-88.413*10^{-9}$	$-19.400*10^{-9}$	$71.581*10^{-6}$	$72.508*10^{-6}$	$17.096*10^{-3}$	$17.108*10^{-3}$
5.0	$-96.381*10^{-9}$	$-19.809*10^{-9}$	$58.323*10^{-6}$	$59.526*10^{-6}$	$13.558*10^{-3}$	$13.573*10^{-3}$
6.0	$-102.18*10^{-9}$	$-20.708*10^{-9}$	$49.493*10^{-6}$	$50.913*10^{-6}$	$11.208*10^{-3}$	$11.219*10^{-3}$
8.0	$-114.11*10^{-9}$	$-20.836*10^{-9}$	$38.168*10^{-6}$	$39.995*10^{-6}$	$8.2781*10^{-3}$	$8.2919*10^{-3}$
10.0	$-118.10*10^{-9}$	$-19.824*10^{-9}$	$31.071*10^{-6}$	$33.265*10^{-6}$	$6.5213*10^{-3}$	$6.5516*10^{-3}$
12.0	$-106.16*10^{-9}$	$-19.826*10^{-9}$	$27.195*10^{-6}$	$28.770*10^{-6}$	$5.3909*10^{-3}$	$5.4034*10^{-3}$
15.0	$-65.614*10^{-9}$	$-17.646*10^{-9}$	$23.805*10^{-6}$	$23.916*10^{-6}$	$4.2747*10^{-3}$	$4.2810*10^{-3}$
20.0	$-68.000*10^{-9}$	$-14.021*10^{-9}$	$20.426*10^{-6}$	$18.589*10^{-6}$	$3.2198*10^{-3}$	$3.2088*10^{-3}$

3.3.4.6 Воздух

Плотность воздуха в рабочих условиях вычисляется аналогично кислороду (см. 3.3.4.5) путем двухэтапной аппроксимации и интерполяции табличных данных, приведенных в [17]. Ряд давлений P_A составляет: 0.1; 0.5; 1.0; 2.0; 3.0;

4.0; 5.0; 6.0; 8.0; 10.0; 12.0; 15.0; 20.0 МПа, коэффициенты аппроксимации сведены в таблицу 3.8.

Таблица 3.8

Давление, МПа	А		В		С	
	$T_C < 0$	$T_C \geq 0$	$T_C < 0$	$T_C \geq 0$	$T_C < 0$	$T_C \geq 0$
0.1	$306.98 \cdot 10^{-9}$	$99.861 \cdot 10^{-9}$	$2.91 \cdot 10^{-3}$	$2.859 \cdot 10^{-3}$	$784.95 \cdot 10^{-3}$	$784.78 \cdot 10^{-3}$
0.5	$-66.198 \cdot 10^{-9}$	$-20.242 \cdot 10^{-9}$	$581.73 \cdot 10^{-6}$	$582.24 \cdot 10^{-6}$	$156.37 \cdot 10^{-3}$	$156.38 \cdot 10^{-3}$
1.0	$-67.893 \cdot 10^{-9}$	$-22.312 \cdot 10^{-9}$	$294.64 \cdot 10^{-6}$	$295.23 \cdot 10^{-6}$	$77.967 \cdot 10^{-3}$	$77.972 \cdot 10^{-3}$
2.0	$-69.632 \cdot 10^{-9}$	$-20.367 \cdot 10^{-9}$	$150.92 \cdot 10^{-6}$	$151.39 \cdot 10^{-6}$	$38.780 \cdot 10^{-3}$	$38.789 \cdot 10^{-3}$
3.0	$-72.185 \cdot 10^{-9}$	$-20.194 \cdot 10^{-9}$	$102.87 \cdot 10^{-6}$	$103.39 \cdot 10^{-6}$	$25.736 \cdot 10^{-3}$	$25.744 \cdot 10^{-3}$

Продолжение таблицы 3.8

Давление, МПа	А		В		С	
	$T_C < 0$	$T_C \geq 0$	$T_C < 0$	$T_C \geq 0$	$T_C < 0$	$T_C \geq 0$
4.0	$-75.810 \cdot 10^{-9}$	$-19.547 \cdot 10^{-9}$	$78.679 \cdot 10^{-6}$	$79.300 \cdot 10^{-6}$	$19.225 \cdot 10^{-3}$	$19.235 \cdot 10^{-3}$
5.0	$-78.700 \cdot 10^{-9}$	$-19.382 \cdot 10^{-9}$	$64.082 \cdot 10^{-6}$	$64.835 \cdot 10^{-6}$	$15.327 \cdot 10^{-3}$	$15.338 \cdot 10^{-3}$
6.0	$-81.046 \cdot 10^{-9}$	$-19.062 \cdot 10^{-9}$	$54.264 \cdot 10^{-6}$	$55.130 \cdot 10^{-6}$	$12.736 \cdot 10^{-3}$	$12.747 \cdot 10^{-3}$
8.0	$-81.025 \cdot 10^{-9}$	$-18.311 \cdot 10^{-9}$	$41.979 \cdot 10^{-6}$	$42.881 \cdot 10^{-6}$	$9.5151 \cdot 10^{-3}$	$9.5268 \cdot 10^{-3}$
10.0	$-74.749 \cdot 10^{-9}$	$-17.529 \cdot 10^{-9}$	$34.596 \cdot 10^{-6}$	$35.402 \cdot 10^{-6}$	$7.6029 \cdot 10^{-3}$	$7.6132 \cdot 10^{-3}$
12.0	$-62.173 \cdot 10^{-9}$	$-16.350 \cdot 10^{-9}$	$29.767 \cdot 10^{-6}$	$30.251 \cdot 10^{-6}$	$6.3470 \cdot 10^{-3}$	$6.3551 \cdot 10^{-3}$
15.0	$-39.538 \cdot 10^{-9}$	$-14.150 \cdot 10^{-9}$	$24.920 \cdot 10^{-6}$	$24.839 \cdot 10^{-6}$	$5.1199 \cdot 10^{-3}$	$5.1236 \cdot 10^{-3}$
17.0	$-26.441 \cdot 10^{-9}$	$-12.791 \cdot 10^{-9}$	$22.487 \cdot 10^{-6}$	$22.487 \cdot 10^{-6}$	$4.5570 \cdot 10^{-3}$	$4.5590 \cdot 10^{-3}$
20.0	$-11.207 \cdot 10^{-9}$	$-10.755 \cdot 10^{-9}$	$19.542 \cdot 10^{-6}$	$19.027 \cdot 10^{-6}$	$3.9426 \cdot 10^{-3}$	$3.9417 \cdot 10^{-3}$

3.3.5 Показатель адиабаты

Безразмерный показатель адиабаты «к» рассчитывается для любого вида пара и газа. Для технического газа с вводимыми характеристиками показатель адиабаты в рабочих условиях задается при настройке алгоритма.

3.3.5.1 Пар перегретый

Показатель адиабаты для перегретого пара рассчитывается по формуле, разработанной ВНИИЦ СМВ ГСССД Госстандарта России

$$\begin{aligned} \kappa = & (1.151215 + 0.197757 \cdot \tau^{-1} - 0.0583239 \cdot \tau^{-2}) + \\ & + \pi_p \cdot (0.147714 \cdot \tau^{-3} - 0.164463 \cdot \tau^{-4}) + \\ & + \pi_p^2 \cdot (-39.0946 + 172.750 \cdot \tau^{-1} - 283.683 \cdot \tau^{-2} + 205.208 \cdot \tau^{-3} - 55.2146 \cdot \tau^{-4}) + \\ & + \pi_p^3 \cdot (15.0622 \cdot \tau^{-1} - 53.835 \cdot \tau^{-2} + 63.7138 \cdot \tau^{-3} - 24.9018 \cdot \tau^{-4}). \quad (3.45) \end{aligned}$$

3.3.5.2 Природный газ

Показатель адиабаты для природного газа определяется согласно [5] по формуле

$$\begin{aligned} \kappa = & 1.556 \cdot (1 + 0.074 \cdot X_A) - 0.00039 \cdot T_A \cdot (1 - 0.68 \cdot X_A) - 0.208 \cdot \rho_C + \\ & + (P_A/T_A)^{1.43} \cdot [384 \cdot (1 - X_A) \cdot (P_A/T_A)^{0.8} + 26.4 \cdot X_A]. \quad (3.46) \end{aligned}$$

3.3.5.3 Для углекислого газа показатель адиабаты согласно [2] вычисляется на основе формулы природного газа (3.46), в которой положено $X_A=1$:

$$\kappa = 1.28857 - 0.0001248 \cdot T_A + 26.4 \cdot (P_A/T_A)^{1.43} \quad (3.47)$$

3.3.5.4 Для кислорода показатель адиабаты вычисляется по формуле:

$$\kappa = \left(1 + A_1 + \frac{1 + A_2}{C_p^0/R - 1 + A_5} \right) * \frac{1}{1 + A_0}, \quad (3.48)$$

где

$$A_0 = \sum_{i=1}^5 \left\{ \omega^i * \sum_{j=1}^7 b_{ij} / \tau^{j-1} \right\} \quad (3.49)$$

$$A_1 = \sum_{i=1}^5 \left\{ (i + 1) * \omega^i * \sum_{j=1}^7 b_{ij} / \tau^{j-1} \right\} \quad (3.50)$$

$$A_2 = - \sum_{i=1}^5 \left\{ \omega^i * \sum_{j=1}^7 (j - 2) * b_{ij} / \tau^{j-1} \right\} \quad (3.51)$$

$$A_5 = - \sum_{i=1}^5 \left\{ \omega^i / i * \sum_{j=1}^7 (j - 1) * (j - 2) * b_{ij} / \tau^{j-1} \right\} \quad (3.52)$$

$$C_p^0/R = \sum_{i=1}^{15} a_i * \theta^{i-5} \quad (3.53)$$

$$\theta = T_A/100. \quad (3.54)$$

Коэффициенты a_i и b_{ij} сведены в приводимые ниже таблицы 3.9 и 3.10.

Таблица 3.9

i	a_i	i	a_i	i	a_i	i	a_i
1	-0.04677496	5	-1.437798	9	-0.1511074	13	$-0.5683852 * 10^{-5}$
2	0.44438072	6	4.038040	10	0.02166922	14	$0.1375421 * 10^{-6}$
3	-1.754985	7	-2.105577	11	-0.002101182	15	$-0.1469623 * 10^{-8}$
4	3.793554	8	0.7024159	12	0.0001363906	-	-

Таблица 3.10

Индекс j	Коэффициент b_{ij} для индекса «i»				
	1	2	3	4	5
1	0.5003616	0.1280217	-0.1913846	0.524076	-0.3962116
2	-1.101003	0.1920127	0.2632636	-0.7494169	0.579793
3	-0.6223903	-0.3183172	-0.1683686	0.4697109	-0.3705044
4	0.1675656	0.83247	-0.4604221	0.05554044	-0.1481088
5	-0.06652177	-0.297485	0.3828505	0.05593279	-0.171155
6	-0.02169624	-0.1625295	0.2180327	-0.0407849	0
7	-0.00978114	0	0	0	0

3.3.5.5 Для воздуха показатель адиабаты в расчетном диапазоне температур и давлений ТЭЖОН-19 вычисляется по эмпирической формуле:

$$\kappa = 1.4 + 0.013 * P_A + 7 * 10^{-8} * P_A^2 * (400 - T_A)^2. \quad (3.55)$$

3.3.5.6 Для сухого насыщенного пара показатель адиабаты вычисляется кусочно - линейной аппроксимацией по температуре между стандартными табличными значениями согласно таблице 3.11.

Таблица 3.11

t, °C	κ	t, °C	κ	t, °C	κ
100	1.1366	180	1.1404	260	1.0957
120	1.1408	200	1.1350	280	1.0719
140	1.1430	220	1.1261		
160	1.1430	240	1.1133		

3.3.5.7 Для влажного насыщенного пара показатель адиабаты вычисляется эмпирической степенной аппроксимацией по температуре и степени сухости между табличными значениями, причем допускаемая степень сухости S должна лежать в пределах от 0.3 до 1.

3.3.6 Коэффициент расширения

Для воды коэффициент расширения в расчетах не используется, но для общности положим его равным единице. Для любого пара и газа безразмерный коэффициент расширения «ε» определяется согласно [3] по формуле

$$\varepsilon = 1 - (0.351 + 0.256 \cdot \beta^4 + 0.93 \cdot \beta^8) \cdot [1 - (1 - 0.001 \cdot dP/P_A)^{1/\kappa}] \quad (3.56)$$

3.3.7 Коэффициент сжимаемости

Коэффициент сжимаемости в рабочих условиях $K_{СЖ}$ рассчитывается для всех видов газа. Для технического газа с вводимыми характеристиками параметр $K_{СЖ}$ задается при настройке алгоритма.

3.3.7.1 Природный газ

Расчет $K_{СЖ}$ для природного газа выполняется по методу GERG-91 согласно требованиям [6] и состоит из трех шагов.

1) На первом шаге определяется фактор сжимаемости при стандартных условиях Z_C :

$$Z_C = 1 - (0.0741 \cdot \rho_C - 0.006 - 0.063 \cdot X_A - 0.0575 \cdot X_Y)^2 \quad (3.57)$$

2) На втором шаге определяется фактор сжимаемости Z в рабочих условиях по формулам:

$$Z = (1 + A_2 + A_1/A_2)/3, \quad (3.58)$$

где

$$A_2 = [A_0 - (A_0^2 - A_1^3)^{0.5}]^{1/3}, \quad (3.59)$$

$$A_0 = 1 + 1.5 \cdot (B_0 + C_0), \quad (3.60)$$

$$A_1 = 1 + B_0, \quad (3.61)$$

$$B_0 = b \cdot V_m, \quad (3.62)$$

$$C_0 = b^2 \cdot C_m, \quad (3.63)$$

$$b = 10^3 \cdot P_A / (2.7715 \cdot T_A). \quad (3.64)$$

Здесь B_m и C_m – коэффициенты уравнения состояния газа, вычисляемые по формулам:

$$B_m = X_3^2 * B_1 + X_3 * X_A * B^* * (B_1 + B_2) - 1.73 * X_3 * X_y * (B_1 * B_3)^{0.5} + \\ + X_A^2 * B_2 + 2 * X_A * X_y * B_{23} + X_y^2 * B_3, \quad (3.65)$$

$$C_m = X_3^3 * C_1 + 3 * X_3^2 * X_A * C^* * (C_1^2 * C_2)^{1/3} + 2.76 * X_3^2 * X_y * (C_1^2 * C_3)^{1/3} + \\ + 3 * X_3 * X_A^2 * C^* * (C_1 * C_2^2)^{1/3} + 6.6 * X_3 * X_A * X_y * (C_1 * C_2 * C_3)^{1/3} + \\ + 2.76 * X_3 * X_y^2 * (C_1 * C_3^2)^{1/3} + X_A^3 * C_2 + 3 * X_A^2 * X_y * C_{223} + \\ + 3 * X_A * X_y^2 * C_{233} + X_y^3 * C_3, \quad (3.66)$$

где X_3 – молярная доля эквивалентного углеводорода,

$$X_3 = 1 - X_A - X_y \quad (3.67)$$

$$B_1 = -0.425468 + 2.865 * 10^{-3} * T_A - 4.62073 * 10^{-6} * T_A^2 + \\ + (8.77118 * 10^{-4} - 5.56281 * 10^{-6} * T_A + 8.8151 * 10^{-9} * T_A^2) * H + \\ + (-8.24747 * 10^{-7} + 4.31436 * 10^{-9} * T_A - 6.08319 * 10^{-12} * T_A^2) * H^2 \quad (3.68)$$

$$B_2 = -0.1446 + 7.4091 * 10^{-4} * T_A - 9.1195 * 10^{-7} * T_A^2 \quad (3.69)$$

$$B_{23} = -0.339693 + 1.61176 * 10^{-3} * T_A - 2.04429 * 10^{-6} * T_A^2 \quad (3.70)$$

$$B_3 = -0.86834 + 4.0376 * 10^{-3} * T_A - 5.1657 * 10^{-6} * T_A^2 \quad (3.71)$$

$$C_1 = -0.302488 + 1.95861 * 10^{-3} * T_A - 3.16302 * 10^{-6} * T_A^2 + \\ + (6.46422 * 10^{-4} - 4.22876 * 10^{-6} * T_A + 6.88157 * 10^{-9} * T_A^2) * H + \\ + (-3.32805 * 10^{-7} + 2.2316 * 10^{-9} * T_A - 3.67713 * 10^{-12} * T_A^2) * H^2 \quad (3.72)$$

$$C_2 = 7.8498 * 10^{-3} - 3.9895 * 10^{-5} * T_A + 6.1187 * 10^{-8} * T_A^2 \quad (3.73)$$

$$C_3 = 2.0513 * 10^{-3} + 3.4888 * 10^{-5} * T_A - 8.3703 * 10^{-8} * T_A^2 \quad (3.74)$$

$$C_{223} = 5.52066 * 10^{-3} - 1.68609 * 10^{-5} * T_A + 1.57169 * 10^{-8} * T_A^2 \quad (3.75)$$

$$C_{233} = 3.58783 * 10^{-3} + 8.06674 * 10^{-6} * T_A - 3.25798 * 10^{-8} * T_A^2 \quad (3.76)$$

$$B^* = 0.72 + 1.875 * 10^{-5} * (320 - T_A)^2 \quad (3.77)$$

$$C^* = 0.92 + 0.0013 * (T_A - 270). \quad (3.78)$$

Величина H рассчитывается по формуле

$$H = 128.64 + 47.479 * M_3, \quad (3.79)$$

где M_3 – молярная масса эквивалентного углеводорода:

$$M_3 = (24.05525 * Z_C * \rho_C - 28.0135 * X_A - 44.01 * X_y) / X_3. \quad (3.80)$$

3) На третьем шаге рассчитывается непосредственно коэффициент сжимаемости по формуле:

$$K_{СЖ} = Z / Z_C. \quad (3.81)$$

3.3.7.2 Углекислый газ, кислород, воздух

Коэффициент сжимаемости определяется по формуле:

$$K_{СЖ} = \frac{\rho_C * P_A * T_H}{\rho * P_H * T_A}, \quad (3.82)$$

где температура и давление при стандартных условиях (температура 20°C, атмосферное давление 760 мм ртутного столба):

$$\left. \begin{aligned} T_H &= 293.15 \text{ К} \\ P_H &= 0.101325 \text{ МПа,} \end{aligned} \right\} \quad (3.83)$$

плотность в стандартных условиях ρ_C , кг/м³, зависит от газа:

$$\rho_C = \begin{cases} 1.8393 & \text{углекислый газ [14]} \\ 1.33116 & \text{кислород [16]} \\ 1.20445 & \text{воздух [17]} \end{cases} \quad (3.84)$$

Плотность в рабочих условиях «р» вычислена по формулам пункта 3.3.4.

3.4 Поправка на притупление и шероховатость

3.4.1 Коэффициент притупления

Согласно формулам, приведенным в [2], если начальный радиус закругления кромки диафрагмы равен 0.04 мм, а межповерочный интервал имеет два фиксированных значения 1 и 2 года, то безразмерный коэффициент притупления K_{Π} рассчитывается следующим образом

$$K_{\Pi} = \begin{cases} 0.9826 + (r_k/d + 0.0007773)^{0.6} & \text{при } r_k/d > 0.0004 \\ 1 & \text{при } r_k/d \leq 0.0004 \end{cases} \quad (3.85)$$

где

при межповерочном интервале 1 год:

$$r_k = \begin{cases} 0.062439 & \text{жидкость} \\ 0.063187 & \text{газ} \\ 0.063935 & \text{пар} \end{cases} \quad (3.86)$$

при межповерочном интервале 2 года:

$$r_k = \begin{cases} 0.080159 & \text{жидкость} \\ 0.081869 & \text{газ} \\ 0.08322 & \text{пар} \end{cases} \quad (3.87)$$

3.4.2 Коэффициент поправки на шероховатость

3.4.2.1 Предварительные расчеты

$$R_a = R_{\text{ш}}/\pi, \quad (3.88)$$

$$Y = \lg(Re), \quad (3.89)$$

где $R_{\text{ш}}$ – заданная эквивалентная шероховатость, мм;
 $\pi = 3.14159$.

3.4.2.2 Расчет параметра $R_{a_{\text{max}}}$

$$R_{a_{\text{max}}} = X_{\text{max}} * D / 10^4, \quad (3.90)$$

где

$$X_{\max} = \begin{cases} 0.718866 * \beta^{-3.887} + 0.364 & \text{Re} \leq 10^4 \\ A_0 * \beta^{A_1} + A_2 & \text{при } \text{Re} > 10^4 \text{ \& } \beta < 0.65 \\ A_0 * 0.65^{A_1} + A_2 & \text{Re} > 10^4 \text{ \& } \beta \geq 0.65 \end{cases} \quad (3.91)$$

A_0, A_1, A_2 рассчитывают по формуле, приведенной в [2]:

$$A_j = \sum_{n=0}^3 B_n * Y^n, \quad (3.92)$$

Коэффициенты B_n сведены в таблицу 3.12.

Рассчитанное по формуле (3.91) значение X_{\max} ограничивается в пределах от 0 до 15.0 и округляется до двух значащих цифр.

Таблица 3.12

Коэффициент	Значение коэффициента для расчета		
	A_0	A_1	A_2
При $\text{Re} \leq 10^5$			
B_0	8.87	6.7307	-10.244
B_1	-3.7114	-5.5844	5.7094
B_2	0.41841	0.732485	-0.76477
B_3	0	0	0
При $10^5 < \text{Re} \leq 3 * 10^6$			
B_0	27.23	-25.928	1.7622
B_1	-11.458	12.426	-3.8765
B_2	1.6117	-2.09397	1.05567
B_3	-0.07567	0.106143	-0.076764
При $3 * 10^6 < \text{Re}$			
B_0	16.5416	322.594	-92.029
B_1	-6.60709	-132.2	37.935
B_2	0.88147	17.795	-5.1885
B_3	-0.039226	-0.799765	0.23583

3.4.2.3 Расчет параметра Ra_{\min}

$$Ra_{\min} = X_{\min} * D / 10^4, \quad (3.93)$$

где

$$X_{\min} = \begin{cases} 0 & \text{при } \text{Re} \leq 3 * 10^6 \\ \left. \begin{aligned} &7.1592 - 12.387 * \beta - (2.0118 - 3.469 * \beta) * Y + \\ &+ (0.1382 - 0.23762 * \beta) * Y^2 \end{aligned} \right\} & \text{Re} > 3 * 10^6 \text{ \& } \beta < 0.65 \\ -0.892353 + 0.24308 * Y - 0.0162562 * Y^2 & \text{Re} > 3 * 10^6 \text{ \& } \beta \geq 0.65 \end{cases} \quad (3.94)$$

Вычисленное по формуле (3.94) значение X_{\min} ограничивается снизу на нуле.

3.4.2.4 Расчет коэффициента поправки на шероховатость выполняется по формулам:

$$\left\{ \begin{aligned} K_{\text{ш}} &= 1 && \text{при } Ra_{\min} \leq Ra \leq Ra_{\max} \\ &1 + 5.22 * \beta^{3.5} * (\lambda - \lambda^*) && \text{в противном случае} \end{aligned} \right. \quad (3.95)$$

где λ и λ^* рассчитываются по одинаковой формуле, но с разными значениями коэффициентов:

$$\lambda = \{1.74 - 2 \cdot \lg[2 \cdot A_{ш}/D - (37.36 \cdot \lg(K_D - K_R \cdot \lg(K_D + 3.3333 \cdot K_R)))/Re]\}^{-2} \quad (3.96)$$

$$A_{ш} = \begin{cases} R_{ш} & \text{для } \lambda \\ \pi \cdot Ra_{\max} & \text{для } \lambda^* \text{ при } Ra > Ra_{\max} \\ \pi \cdot Ra_{\min} & \text{для } \lambda^* \text{ при } Ra < Ra_{\min} \end{cases} \quad (3.97)$$

$$K_D = \begin{cases} 0.26954 \cdot R_{ш}/D & \text{для } \lambda \\ 0.26954 \cdot \pi \cdot Ra_{\max}/D & \text{для } \lambda^* \text{ при } Ra > Ra_{\max} \\ 0.26954 \cdot \pi \cdot Ra_{\min}/D & \text{для } \lambda^* \text{ при } Ra < Ra_{\min} \end{cases} \quad (3.98)$$

$$K_R = 5.035/Re \quad (3.99)$$

3.5 Расчет действительного расхода

3.5.1 Общий порядок расчетов

В соответствии с требованиями [3], расчет действительного расхода выполняется итерационным способом с подбором числа Рейнольдса. Последовательность вычислений следующая:

1. Рассчитываются характеристики трубопровода и СУ при данной температуре.
2. Выполняются термодинамические расчеты характеристик среды для данной температуры и давления.
3. Принимается начальное приближение числа Рейнольдса Re^* , равное 10^6 .
4. Рассчитываются параметры C_λ и $K_{ш}$ для выбранного числа Рейнольдса.
5. Число Рейнольдса уточняется по формулам пункта 3.5.2, т.е. определяется модифицированное число Re^{**} .
6. Вычисляется относительная погрешность определения числа Рейнольдса на цикле:

$$\delta_{Re} = |(Re^* - Re^{**}) / Re^{**}| \quad (3.100)$$

7. Цикл по пунктам 4 – 6 повторяется до тех пор, пока относительная погрешность не станет менее 0.0001, т.е. до выполнения условия:

$$\delta_{Re} < 0.0001 \quad (3.101)$$

8. Последнее полученное приближение числа Рейнольдса и используется для окончательного вычисления расхода.

3.5.2 Расчет модифицированного числа Рейнольдса

3.5.2.1 Мгновенный массовый расход G_{Re} , кг/час, необходимый для определения числа Рейнольдса, вычисляется по формулам

а) для воды и пара

$$G_{Re} = 0.12645 \cdot d^2 \cdot C_\lambda \cdot E_d \cdot \varepsilon \cdot K_{ш} \cdot K_{п} \cdot (dP \cdot \rho)^{0.5} \quad (3.102)$$

б) для любого вида газа в стандартных условиях

$$G_{Re} = 6.8013 \cdot d^2 \cdot C_\lambda \cdot E_d \cdot \varepsilon \cdot K_{ш} \cdot K_{п} \cdot (dP \cdot K_{PT})^{0.5} \cdot \rho_C, \quad (3.103)$$

$$\text{где } K_{PT} = P_A / (\rho_C \cdot T_A \cdot K_{СЖ}). \quad (3.104)$$

3.5.2.2 Модифицированное число Рейнольдса Re вычисляется по формуле:

$$Re = 0.35368 \cdot G_{Re} / (\mu \cdot D) \quad (3.105)$$

3.5.3 Расчет объемного расхода

3.5.3.1 Мгновенный расход любого газа в объемных единицах G_O , $\text{Нм}^3/\text{час}$, приведенный к стандартным условиям (20 градусов Цельсия, 760 мм рт.ст.)

$$G_O = 6.8013 * d^2 * C_{\sim} * E_d * \epsilon * K_{ш} * K_{п} * (dP * K_{РТ})^{0.5}. \quad (3.106)$$

3.5.3.2 Мгновенный расход воды и пара в объемных единицах G_O , $\text{м}^3/\text{час}$

$$G_O = 0.12645 * d^2 * C_{\sim} * E_d * \epsilon * K_{ш} * K_{п} * (dP/\rho)^{0.5}. \quad (3.107)$$

3.5.3.3 Мгновенный расход природного газа в объемных единицах G_O , $\text{м}^3/\text{час}$, в рабочих условиях

$$G_O = 0.12645 * d^2 * C_{\sim} * E_d * \epsilon * K_{ш} * K_{п} * (dP * K_{РТР})^{0.5}, \quad (3.108)$$

$$\text{где } K_{РТР} = (T_A * K_{СЖ}) / (P_A * \rho_C). \quad (3.109)$$

3.5.4 Накопление расхода

3.5.4.1 Скорректированное значение мгновенного расхода, массового G_m , $\text{т}/\text{час}$, и объемного G_V , $\text{м}^3/\text{час}$, для всех сред определяется по формулам:

$$G_m = G_{Re} / 1000 \quad (3.110)$$

$$G_V = G_O. \quad (3.111)$$

3.5.4.2 Для подготовки интегрирования расходов по времени вычисляется приращение каждого расхода за цикл работы основной программы по формуле (2.3), которая в данном случае выглядит следующим образом:

$$dG_m = G_m * dt_{Ц} \quad (3.112)$$

$$dG_V = G_V * dt_{Ц}, \quad (3.113)$$

где $dt_{Ц}$ - длительность текущего цикла программы, выраженная в часах.

3.5.4.3 Интегрирование происходит путем суммирования приращения за цикл с предыдущим значением одноименного накопленного расхода аналогично формулам (2.1, 2.2) с учетом всех замечаний подраздела 2.1 о разделении целой и дробной части накапливаемого параметра:

$$G_{\text{инт}_m} = G_{\text{инт}_m} + dG_{\text{ц}_m} \quad (3.114)$$

$$G_{\text{инт}_V} = G_{\text{инт}_V} + dG_{\text{ц}_V}. \quad (3.115)$$

3.6 Контроль границ применения метода

3.6.1 В соответствии с требованиями [3], ТЭКОН-19 в процессе вычислений по алгоритмам 02А0-02А6, 02АА контролирует соблюдение ряда методических ограничений на применение СУ и технологических ограничений на значения измеряемых параметров. Вычисления расхода по алгоритмам проводятся всегда, но при несоблюдении указанных ниже условий формируется единичное значение битового выходного параметра «Отказ» (недопустимые условия расчета), что при составлении очереди задач может быть использовано для соответствующей сигнализации.

3.6.2 Для любых сред контролируется следующее:

$$\left. \begin{array}{l} d \geq 12.5 \\ 50 \leq D \leq 1000 \\ 0.1 \leq \beta \leq 0.75 \end{array} \right\} \quad (3.116)$$

3.6.3 Для любых сред контролируется число Рейнольдса:

- При угловом и трехрадиусном способах отбора

$$\left. \begin{array}{l} Re \geq 5000 \quad \text{при } \beta \leq 0.56 \\ Re \geq 16000 \cdot \beta^2 \quad \text{при } \beta \leq 0.56 \end{array} \right\} \quad (3.117)$$

- При фланцевом способе отбора

$$Re \geq 170 \cdot \beta^2 \cdot D \text{ и не менее } 5000. \quad (3.118)$$

3.6.4 Для любых сред контролируются коды материалов трубопровода и СУ на их нахождение в пределах известных программе расчета (см. таблицу 3.3).

3.6.5 Для некоторых сред контролируется температура:

- Для природного газа (ограничение метода GERG-91)

$$-23 \leq T \leq 66 \quad (3.119)$$

- Для воды

$$0 \leq T \leq T_{\text{нас}} + 3, \quad (3.120)$$
 где $T_{\text{нас}}$ - температура насыщения водяного пара при текущем абсолютном давлении.

- Для перегретого пара

$$T \geq T_{\text{нас}} - 3, \quad (3.121)$$

- Для насыщенного пара

$$T_{\text{нас}} - 3 \leq T \leq T_{\text{нас}} + 3. \quad (3.122)$$

4 ПРИМЕНЕНИЕ ДАТЧИКОВ РАСХОДА С ЧАСТОТНЫМ ИЛИ ТОКОВЫМ ВЫХОДОМ

4.1 Общие характеристики алгоритмов

4.1.1 Данная группа алгоритмов предназначена для работы с датчиками расхода, имеющими выход по току или частоте импульсов, и измеряющими мгновенный расход, выраженный, как правило, в объемных единицах за единицу времени ($\text{м}^3/\text{ч}$). Алгоритмы расчета расхода воды и пара допускают применение датчика, проградуированного и в единицах массы ($\text{т}/\text{ч}$). Все алгоритмы выполняют расчет действительного мгновенного значения расхода в единицах объема ($\text{м}^3/\text{ч}$, $\text{Нм}^3/\text{ч}$) и массы ($\text{т}/\text{ч}$), приведенных к часу, с коррекцией по температуре и давлению среды. Вычисляются и общие накопленные значения этих расходов (м^3 , т). Для произвольной среды просто производится интегрирование показаний датчика по времени.

4.1.2 Полный список алгоритмов расчета расхода данной группы, имеющийся в базе данных базовых исполнений ТЭКОН-19 (01-10), приведен в таблице 4.1; перечень их входных и выходных параметров - в таблицах 4.2 и 4.3.

Таблица 4.1 – алгоритмы расчета с датчиками расхода

Номер алгоритма по БД	Измеряемая среда
<i>Линейная зависимость расхода от выходного параметра датчика</i>	
0214	Вода
0215	Пар перегретый
0216, 0852	Пар насыщенный
0217	Газ природный сухой
0247	Газ углекислый (диоксид углерода газообразный)
0248	Кислород газообразный
0249	Воздух сжатый
024В	Газ с заданными рабочими характеристиками
020F	Произвольная среда
<i>Нелинейная зависимость расхода от выходного параметра датчика</i>	
02D3	Газ природный сухой с ИРВИС-К300

Таблица 4.2 – параметры алгоритмов с линейными датчиками расхода

Условное обозначение	Наименование	Применение в алгоритмах
Входные параметры		
	Датчик масса \ объем	0214 – 0216
$G_{\text{ДАТ}}$	Расход с датчика, ед/час	Во всех
S	Степень сухости пара, кг/кг	0852
T_C	Температура, °C	Кроме 020F
P_A	Давление абсолютное, МПа	Кроме 020F
ρ_C	Плотность в стандартных условиях, $\text{кг}/\text{м}^3$	0217, 024В
$X_{\text{УП}}$	Содержание CO_2 в газе, мольных %	0217
$X_{\text{АП}}$	Содержание азота в газе, мольных %	0217
$K_{\text{СЖ}}$	Коэффициент сжимаемости в рабочих условиях	024В

Продолжение таблицы 4.2

Условное обозначение	Наименование	Применение в алгоритмах
Выходные параметры		
G_V	Текущий расход объемный, м ³ /ч (газы Нм ³ /ч)	Кроме 020F
G_M	Текущий расход массовый, т/ч	Кроме 0217, 020F
dG_V	Приращение объемного расхода за цикл, м ³ (газы Нм ³ , произвольная среда ед.)	Во всех
dG_M	Приращение массового расхода за цикл, т	Кроме 0217, 020F
$G_{интV}$	Интегральный объем, м ³ (газы Нм ³ , произвольная среда ед.)	Во всех *)
$G_{интM}$	Интегральная масса, т	Кроме 0217, 020F *)
$K_{СЖ}$	Коэффициент сжимаемости в рабочих условиях	0217, 0247- 0249
*) Все накапливаемые значения хранятся в виде трех параметров каждое, как описано в 2.1, но для простоты восприятия в таблицах и формулах далее это не отражено.		

Таблица 4.3 – параметры алгоритма для расходомера ИРВИС-К300

Условное обозначение	Наименование	Примечание
Входные параметры		
D20	Диаметр сечения проточного тракта, мм	По паспорту ИРВИС
d20	Размер тела обтекания, мм	По паспорту ИРВИС
αt	Коэф-т линейного расширения материалов, *10 ⁶	По паспорту ИРВИС
$F_{СВ20}$	Площадь сечения тракта	По паспорту ИРВИС
μ_F	Коэф-т сужения потока за телом обтекания	По паспорту ИРВИС
ξ	Коэф-т приведения давления в расчетном сечении	По паспорту ИРВИС
$K_{Qнавт}$	Коэф-т учета вязкости в автоматическом режиме	По паспорту ИРВИС
N	Число точек коррекции	Обычно 14
Re(n)	Число Рейнольдса в точках поправки, n=0,...,N-1	По паспорту ИРВИС
$K_Q(n)$	Коэф-т поправки на вязкость в точках, n=0,...,N-1	По паспорту ИРВИС
$F_{ДАТ}$	Частота с датчика, Гц	
T_C	Температура газа, °С	
P_A	Давление газа абсолютное, МПа	
ρ_C	Плотность газа в стандартных условиях, кг/м ³	
$X_{УП}$	Содержание СО ₂ в газе, %	
$X_{АП}$	Содержание азота в газе, %	
R	Удельная газовая постоянная, Дж/(кг*К)	Обычно 506.78
Выходные параметры		
G_{VC}, G_{VP}	Текущий расход в стандартных (Нм ³ /ч) и рабочих (м ³ /ч) условиях	
dG_{VC}, dG_{VP}	Приращение расхода за цикл, в стандартных (Нм ³) и рабочих (м ³) условиях	
$G_{интVC}, G_{интVP}$	Интегральный объем, в стандартных (Нм ³) и рабочих (м ³) условиях	Хранятся, как описано в 2.1

4.1.3 В модернизированных исполнениях алгоритмы 0247, 0248 для новых разработок не применять (см. раздел 11).

4.2 Расчет и накопление массового и объемного расходов

4.2.1 Вода, пар

Значение мгновенного расхода, массового G_m , т/час, и объемного G_v , м³/час, определяется по следующим формулам:

а) датчик измеряет объемный расход в м³/ч

$$\left. \begin{aligned} G_m &= G_{\text{ДАТ}} \cdot \rho / 1000 \\ G_v &= G_{\text{ДАТ}} \end{aligned} \right\} \quad (4.1)$$

б) датчик измеряет массовый расход в т/ч

$$\left. \begin{aligned} G_m &= G_{\text{ДАТ}} \\ G_v &= G_{\text{ДАТ}} \cdot 1000 / \rho \end{aligned} \right\} \quad (4.2)$$

Здесь ρ - плотность среды в рабочих условиях, кг/м³, рассчитываемая по формулам пункта 3.3.4.

4.2.2 Все газы (природный, углекислый, кислород, воздух, с заданными характеристиками)

4.2.2.1 Значение измеренного датчиком объемного расхода $G_{\text{ДАТ}}$, м³/ч, приводится к стандартным условиям (температура 20°C, атмосферное давление 760 мм ртутного столба), для вычисления объемного расхода G_v , Нм³/ч, по формуле [8]:

$$G_v = G_{\text{ДАТ}} \cdot \frac{T_H \cdot P_A}{P_H \cdot T_A \cdot K_{\text{СЖ}}} \quad (4.3)$$

Коэффициент сжимаемости в рабочих условиях $K_{\text{СЖ}}$ для газа с заданными характеристиками берется как входной параметр алгоритма, для остальных газов рассчитывается по формулам пункта 3.3.7. Параметры стандартных условий T_H и P_H назначаются по формуле (3.83).

4.2.2.2 Массовый расход газа G_m , т/ч, для всех газов, кроме природного, рассчитывается по формуле:

$$G_m = G_v \cdot \rho_c / 1000, \quad (4.4)$$

где плотность в стандартных условиях ρ_c , кг/м³, для газа с заданными характеристиками берется как входной параметр алгоритма, а для остальных газов назначается по формуле (3.84). Для природного газа массовый расход не рассчитывается.

4.2.3 Накопление расходов

Определение приращения расходов за цикл программы и накопление интегральных расходов производится аналогично методу переменного перепада с учетом принципов, изложенных в подразделе 2.1. Для природного газа и произвольной среды массовый расход не накапливается.

4.3 Расчет расхода с преобразователем ИРВИС-К-300

4.3.1 Преобразователь расхода газа вихревой ИРВИС-К-300 с частотным выходом имеет нелинейную зависимость реального расхода природного газа от выходной частоты. Расчет расхода в рабочих и стандартных условиях производится согласно [21].

4.3.2 Входные параметры, описывающие характеристики преобразователя (см. таблицу 4.3), берутся из РЭ и паспорта [22]. Линейные размеры должны быть переведены в более удобные для ввода единицы измерения – миллиметры, площадь поперечного сечения «в свету» – в квадратные миллиметры. Эффективный коэффициент расширения материалов при изменении температуры, 1/град, вводится в увеличенном в 10^6 раз виде. В приведенных ниже формулах изменение единиц измерения не отражено. Обозначения параметров соответствуют таблице 4.3.

4.3.3 Предварительно выполняется следующая последовательность вычислений:

- Вычисляется абсолютная температура газа T_A по формуле (3.10);
- Вычисляется динамическая вязкость газа « μ », мкПа*с, по формуле (3.24);
- Вычисляется коэффициент адиабатического расширения « k » по формуле (3.46);
- Коэффициент сжимаемости $K_{СЖ}$ методом GERG-91 по формулам подпункта 3.3.7.1;
- Плотность газа в рабочих условиях « ρ », кг/м³, определяется обратным пересчетом из формулы (3.82):

$$\rho = (\rho_C * P_A * 293.15) / (K_{СЖ} * T_A * 0.101325). \quad (4.5)$$

4.3.4 Поправка на вязкость K_Q в функции числа Рейнольдса рассчитывается методом линейной интерполяции между точками, заданными при настройке через параметры $K_Q(n)$ и $Re(n)$. Обычно в паспорте ИРВИС приведено 14 точек. Значение модифицированного числа Рейнольдса Re_f определяется по формуле:

$$Re_f = d_{20}^2 * \rho * F_{ДАТ} / \mu. \quad (4.6)$$

4.3.5 Коэффициент преобразования $K_{ПР}$ определяется по формуле [21]:

$$K_{ПР} = K_Q * F_{СВ20} * d_{20}. \quad (4.7)$$

4.3.6 Поправочный коэффициент по температуре K_T на изменение размеров элементов преобразователя вычисляется по формуле [21]:

$$K_T = 1 + \alpha t * (T_C - 20). \quad (4.8)$$

4.3.7 Поправочный коэффициент K_ξ на влияние расширения газа за телом обтекания рассчитывается по формуле [21]:

$$K_{\xi} = 1 + C_{\xi} * F_{\text{ДАТ}}^2 / \Gamma_A, \quad (4.9)$$

Где

$$C_{\xi} = \frac{\kappa - 1 - \kappa * \xi}{2 * \kappa * R} * \left(\frac{K_{\text{Qнавт}} * d_{20}}{\mu_F} \right)^2. \quad (4.10)$$

Значение газовой постоянной R , Дж/(кг*К), зависит от компонентного состава газа и в большинстве случаев близко к 506.78.

4.3.8 Расход газа в рабочих условиях G_{VP} , м³/ч, вычисляется по формуле [21]:

$$G_{\text{VP}} = 3600 * K_{\text{IP}} * K_T * K_{\xi} * F_{\text{ДАТ}}. \quad (4.11)$$

4.3.9 Расход газа в стандартных условиях G_{VC} , Нм³/ч, определяется аналогично формуле (4.3), которая в данном случае имеет следующий вид:

$$G_{\text{VC}} = G_{\text{VP}} * \frac{293.15 * P_A}{0.101325 * \Gamma_A * K_{\text{СЖ}}}. \quad (4.12)$$

4.3.10 Накопление расходов

Определение приращения расходов (в рабочих и стандартных условиях) за цикл программы и накопление интегральных расходов производится аналогично методу переменного перепада с учетом принципов, изложенных в подразделе 2.1.

5 ПРИМЕНЕНИЕ ЧИСЛОИМПУЛЬСНЫХ ДАТЧИКОВ РАСХОДА

5.1 Общие характеристики алгоритмов

5.1.1 Данная группа алгоритмов предназначена для работы с датчиками расхода, имеющими числоимпульсный выход, причем приход каждого импульса означает прохождение определенного количества вещества («вес импульса»). Таким образом, общее количество импульсов пропорционально интегральному расходу, как правило, в объемных единицах (м^3). Алгоритмы расчета расхода воды и пара допускают применение датчика, проградуированного и в единицах массы (тонны). Все алгоритмы выполняют расчет общих накопленных значений этих расходов (м^3 , т) с коррекцией по температуре и давлению среды. Текущие значения «мощности» расхода в единицах за час не вычисляются. Для их оценки можно подключить алгоритм накопления по отрезкам времени 0223, который попутно вычисляет средние значения за расчетный интервал.

5.1.2 В эту же группу входят алгоритмы расчета количества электроэнергии в единицах измерения первичного счетчика (например, кВтч для активной составляющей потребленной электроэнергии).

5.1.3 Список алгоритмов расчета расхода данной группы, имеющийся в базе данных ТЭКОН-19 исполнений 01-10, 01М-10М, приведен в таблице 5.1; перечень входных и выходных параметров - в таблицах 5.2 и 5.3.

Таблица 5.1 – алгоритмы расчета с числоимпульсными датчиками расхода

Номер алгоритма по БД	Измеряемая среда
0218	Вода
0219	Пар перегретый
021А, 0851	Пар насыщенный
021В	Газ природный сухой
0250	Газ углекислый (диоксид углерода газообразный)
0251	Кислород газообразный
0252	Воздух сжатый
024С	Газ с заданными рабочими характеристиками
021D	Электроэнергия, 1 тариф
0201+021E, 0201+020E	Электроэнергия, 2 тарифа
021F	Электроэнергия, с 30-минутками
021С	Произвольный счетчик

Таблица 5.2 – параметры алгоритмов расчета с числоимпульсными датчиками расхода (кроме электроэнергии)

Условное обозначение	Наименование	Применение в алгоритмах
Входные параметры		
	Датчик масса \ объем	0218 – 021А
$G_{\text{НОМ}}$	Вес импульса, единиц (м^3 , т)	Во всех
$N_{\text{ИМПЦ}}$	Число импульсов, пришедшее за цикл	-“-

Продолжение таблицы 5.2

Условное обозначение	Наименование	Применение в алгоритмах
T_C	Температура, °C	Кроме 021C
P_A	Давление абсолютное, МПа	-“-
S	Степень сухости пара, кг/кг	0851
ρ_C	Плотность в стандартных условиях, кг/м ³	021B, 024C
$X_{УП}$	Содержание CO ₂ в газе, мольных %	021B
$X_{АП}$	Содержание азота в газе, мольных %	021B
$K_{СЖ}$	Коэффициент сжимаемости в рабочих условиях	024C
Выходные параметры		
dG_V	Приращение объемного расхода за цикл, м ³ (для газов Нм ³ /ч)	Во всех
dG_M	Приращение массового расхода за цикл, т	Кроме 021B, 021C
$G_{интV}$	Интегральный объем, м ³ (для газов Нм ³ /ч)	Во всех ^{*)}
$G_{интM}$	Интегральная масса, т	Кроме 021B, 021C ^{*)}
$K_{СЖ}$	Коэффициент сжимаемости в рабочих условиях	021B, 0250-0252

^{*)} Все накапливаемые значения хранятся в виде трех параметров каждое, как описано в 2.1, но для простоты восприятия в таблицах и формулах далее это не отражено.

Таблица 5.3 – параметры алгоритмов расчета электроэнергии 020E, 021D, 021F

Условное обозначение	Наименование	Применение в алгоритмах
Входные параметры		
$G_{НОМ}$	Количество импульсов на 1 кВтч	Во всех
$N_{ИМПЦ}$	Число импульсов, пришедшее за цикл	-“-
K_U	Коэффициент трансформатора напряжения	021F
K_I	Коэффициент трансформатора тока	021F
F_{day}	Признак дневного времени	021E
F_{night}	Признак ночного времени	021E
Выходные параметры		
$dW_{Ц}$	Приращение расхода за цикл, кВтч	Во всех
$W_{инт}$	Интегральный расход, кВтч	021D, 021F ^{*)}
$W_{ОСН}$	Интегральный расход по основному тарифу, кВтч	021E ^{*)}
$W_{НОЧ}$	Интегральный расход по ночному тарифу, кВтч	021E ^{*)}
W_{30}	Расход за текущий период 30 минут, кВтч	021F ^{*)}
$W_{30ПРЕД}$	Расход за предыдущий период 30 минут, кВтч	021F
P_{30}	Мощность на текущем периоде 30 минут, кВт	021F
$P_{30ПРЕД}$	Мощность на предыдущем периоде 30 минут, кВт	021F
День	Признак работы по основному тарифу	021E
Ночь	Признак работы по льготному тарифу	021E
$dW_{ОСН}$	Приращение расхода за цикл по основному тарифу, кВтч	021E
$dW_{НОЧ}$	Приращение расхода за цикл по ночному тарифу, кВтч	021E

^{*)} Все накапливаемые значения хранятся в виде трех параметров каждое, как описано в 2.1, но для простоты восприятия в таблицах и формулах далее это не отражено.

5.2 Расчет и накопление массового и объемного расходов

5.2.1 Вода, пар

Значение приращения расхода за цикл, массового dG_m , т, и объемного dG_v , м³, определяется по следующим формулам:

а) датчик измеряет объемный расход в м³

$$\left. \begin{aligned} dG_m &= G_{\text{НОМ}} * N_{\text{ИМПЦ}} * \rho / 1000 \\ dG_v &= G_{\text{НОМ}} * N_{\text{ИМПЦ}}. \end{aligned} \right\} \quad (5.1)$$

б) датчик измеряет массовый расход в тоннах

$$\left. \begin{aligned} G_m &= G_{\text{НОМ}} * N_{\text{ИМПЦ}} \\ G_v &= G_{\text{НОМ}} * N_{\text{ИМПЦ}} * 1000 / \rho. \end{aligned} \right\} \quad (5.2)$$

Здесь ρ - плотность среды в рабочих условиях, кг/м³, рассчитываемая по формулам пункта 3.3.4.

5.2.2 Все газы (природный, углекислый, кислород, воздух, с заданными характеристиками)

5.2.2.1 Значение измеренного датчиком приращения объемного расхода за цикл программы, м³, приводится к стандартным условиям (температура 20°C, атмосферное давление 760 мм ртутного столба), Нм³, по формуле:

$$dG_v = G_{\text{НОМ}} * N_{\text{ИМПЦ}} * \frac{T_H * P_A}{P_H * T_A * K_{\text{СЖ}}}, \quad (5.3)$$

Коэффициент сжимаемости в рабочих условиях $K_{\text{СЖ}}$ для газа с заданными характеристиками берется как входной параметр алгоритма, для остальных газов рассчитывается по формулам пункта 3.3.7. Параметры стандартных условий T_H и P_H назначаются по формуле (3.83).

5.2.2.2 Массовый расход газа G_m , т/ч, для всех газов, кроме природного, рассчитывается по формуле:

$$G_m = G_v * \rho_C / 1000, \quad (5.4)$$

где плотность в стандартных условиях ρ_C , кг/м³, для газа с заданными характеристиками берется как входной параметр алгоритма, а для остальных газов назначается по формуле (3.84). Для природного газа массовый расход не рассчитывается.

5.2.3 Накопление расходов

Накопление интегральных расходов производится аналогично методу переменного перепада с учетом принципов, изложенных в подразделе 2.1. Для природного газа массовый расход не накапливается.

5.3 Расчет и накопление количества электроэнергии

5.3.1 Простейшая однотарифная схема учета

Алгоритм 021D, реализующий простейшую однотарифную схему учета электроэнергии, приращение количества за цикл $dW_{ц}$, кВтч, определяет по формуле:

$$dW_{ц} = N_{импц} / G_{ном}. \quad (5.5)$$

Накопление интегрального количества $W_{инт}$, кВтч, производится по формулам подпункта 3.5.4.3 с учетом принципов, изложенных в подразделе 2.1.

5.3.2 Двухтарифная схема учета

5.3.2.1 Для двухтарифной схемы учета, кроме основного алгоритма 021E, необходимо подключить вспомогательный алгоритм выбора тарифа 0201, имеющий один выходной битовый параметр и пять входных параметров настройки:

- Часы начала действия дневного (основного) тарифа ДД и ночного НН (льготного) тарифа в рабочие дни;
- Список из двух дат (день : месяц) оперативно отмененных выходных;
- Список из двух дат (день : месяц) оперативно назначенных выходных.

Список праздничных дней по законодательству Российской Федерации (по состоянию на начало 2007 года) хранится в памяти программы. В него входят 12 дат:

- 1, 2, 3, 4, 5, 7 января
- 23 февраля
- 8 марта
- 1, 9 мая
- 12 июня
- 4 ноября.

Выходной битовый параметр, хотя и имеется, другими алгоритмами не используется. Алгоритм 0201 вырабатывает еще два внутренних признака Fday и Fnight, которые не входят в систему параметров, но именно они и используются алгоритмом двухтарифного учета 021E.

Признак необходимости использования ночного (льготного) тарифа Fnight устанавливается, а признак Fday очищается:

- в праздничные дни, по субботам, воскресеньям, назначенным выходным дням, если текущая дата не совпадает с датой отмененного выходного - круглосуточно;
- в рабочие дни, а также в любые выходные дни, если текущая дата совпадает с датой отмененного выходного – с 00 часов 00 минут до ДД часов 00 минут и с НН часов 00 минут до 24 часов 00 минут.

В остальное время устанавливается признак использования дневного (основного) тарифа Fday, а признак Fnight очищается.

5.3.2.2 Алгоритм 021Е, реализующий двухтарифную схему учета электроэнергии, приращение количества за цикл $dW_{Ц}$, кВтч, определяет по формуле (5.5) независимо от текущего тарифа.

Во время действия основного тарифа, т.е. при условии $F_{day}=1$, устанавливается выходной битовый параметр «день», параметр «ночь» очищается. Значение $dW_{Ц}$ копируется в параметр «приращение по дневному тарифу» $dW_{д}$, а параметр «приращение по ночному тарифу» $dW_{н}$ очищается. Накопление интегрального количества по основному тарифу производится по формулам подпункта 3.5.4.3.

Во время действия ночного тарифа, т.е. при условии $F_{night}=1$, устанавливается выходной битовый параметр «ночь», параметр «день» очищается. Значение $dW_{Ц}$ копируется в параметр «приращение по ночному тарифу» $dW_{н}$, а параметр «приращение по дневному тарифу» $dW_{д}$ очищается. Накопление интегрального количества по ночному тарифу производится по формулам подпункта 3.5.4.3. При накоплении учитываются принципы, изложенные в подразделе 2.1.

5.3.2.3 Согласно правилам учета электрической энергии (по состоянию на 2011 год), описанная выше схема формирования тарифов действует только в отношении физических лиц, для которых алгоритм 021Е и должен применяться. Для юридических лиц льготный тариф назначается строго только в ночное время, независимо от выходных и праздничных дней. Поэтому, начиная с версии 74 ТЭКОН-19 исполнений 01М-10М, введен новый алгоритм 020Е «двухтарифный учет электроэнергии без учета выходных», а алгоритм выбора тарифа 0201 доработан. Теперь он вырабатывает не только признаки F_{day} и F_{night} для алгоритма 021Е, как описано выше, но и пару аналогичных по назначению признаков F_{day_uri} и F_{night_uri} , используемых алгоритмом 020Е. Таким образом, в алгоритме 020Е льготный тариф действует в любой день, независимо от выходных и праздников, с 00 часов 00 минут до ДД часов 00 минут и с НН часов 00 минут до 24 часов 00 минут, а остальное время действует дневной тариф.

5.3.3 Специальный алгоритм расчета

5.3.3.1 Специальный алгоритм расчета электроэнергии 021F учитывает наличие измерительных трансформаторов напряжения и тока в схеме учета электроэнергии, а также позволяет, кроме накопления интегрального количества электроэнергии, вести накопление количества элетроэнергии по периодам длительностью 30 минут и вычислять среднечасовую мощность на этих периодах. Периоды отсчета начинаются в 00 минут 00 секунд и 30 минут 00 секунд каждого часа (с точностью до длительности цикла программы).

5.3.3.2 Приращение количества за цикл $dW_{Ц}$, кВтч, с учетом коэффициентов передачи трансформаторов напряжения и тока, определяется по формуле:

$$dW_{Ц} = N_{ИМПЦ} * K_U * K_I / G_{НОМ} \quad (5.6)$$

Под коэффициентами передачи K_U и K_I здесь понимается отношение напряжения (тока) на первичной стороне измерительного трансформатора к напряжению (току) на его вторичной стороне, к которой подключен счетчик электроэнергии.

5.3.3.3 Накопление интегрального количества $W_{\text{инт}}$, кВтч, и количества на текущем периоде 30 минут W_{30} , кВтч, производится по формулам подпункта 3.5.4.3 с учетом принципов, изложенных в подразделе 2.1. В момент окончания очередного периода 30 минут накопленное значение W_{30} переносится в качестве параметра $W_{30\text{ПРЕД}}$ «накопленное значение за предыдущие 30 минут», где и сохраняется в течение следующей 30-минутки, а исходное значение W_{30} очищается.

5.3.3.4 На каждом цикле программы вычисляется среднее значение потребляемой мощности в текущем 30-минутном периоде P_{30} , кВт, по формулам (2.6) пункта 2.2.4. В момент окончания очередного периода 30 минут последнее значение P_{30} переносится в качестве параметра $P_{30\text{ПРЕД}}$ «средняя мощность за предыдущие 30 минут», где и сохраняется в течение следующей 30-минутки, а счет на новом периоде начинается заново.

6 РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

6.1 Вычисление энтальпии теплоносителя

6.1.1 Энтальпия всех видов теплоносителей (вода, перегретый пар, насыщенный пар) вычисляется в кДж/кг, или, что то же самое, в МДж/т. Для расчета используется температура среды T_C в градусах Цельсия и абсолютное давление среды P_A в МПа. Холодный источник, от которого отсчитывается переносимая теплоносителем тепловая энергия, является всегда холодной водой с температурой $T_{ХИ}$ при атмосферном давлении $P_{АТР}$, вычисляемом по формуле (1.24). Расчетные формулы энтальпии взяты из [9, 10]. Величина $T_{ХИ}$ либо задается при настройке через системный параметр 0300, либо измеряется отдельным датчиком.

6.1.2 Приведенные значения температуры и давления

$$\tau_q = (T_q + 273.15)/647.14 \quad (6.1)$$

$$\pi_q = P_q/22.064, \quad (6.2)$$

где

$$T_q = \begin{cases} T_C & \text{трубопровод} \\ T_{ХИ} & \text{холодный источник} \end{cases} \quad (6.3)$$

$$P_q = \begin{cases} P_A & \text{трубопровод} \\ P_{АТР} & \text{холодный источник.} \end{cases} \quad (6.4)$$

6.1.3 Энтальпия воды h , МДж/т, определяется по формуле:

$$h = 7809.096*\tau_q - 13868.72 + 12725.22*\tau_q^{-1} - 6370.893*\tau_q^{-2} + \\ + 1595.86*\tau_q^{-3} - 159.9064*\tau_q^{-4} + \pi_q*9.488789*\tau_q^{-1} + \\ + \pi_q^2*(-148.1135*\tau_q + 224.3027 - 111.4602*\tau_q^{-1} + 18.15823*\tau_q^{-2}). \quad (6.5)$$

Формула (6.5) реализована как в отдельном алгоритме 019С «расчет энтальпии горячей воды», так и в составе комплексных алгоритмов расчета количества тепловой энергии в одиночном трубопроводе 0220, в открытых и закрытых системах теплоснабжения 0221, 0222, 02В2.

6.1.4 Энтальпия перегретого пара h , МДж/т

$$h = (10258.8 - 20231.3*\tau_q^{-1} + 24702.8*\tau_q^{-2} - 16307.3*\tau_q^{-3} + \\ + 5579.31*\tau_q^{-4} - 777.285*\tau_q^{-5}) + \\ + \pi_q*(-355.878*\tau_q^{-1} + 817.288*\tau_q^{-2} - 845.841*\tau_q^{-3}) + \\ + \pi_q^2*(-160.276*\tau_q^{-3}) + \\ + \pi_q^3*(-95607.5*\tau_q^{-1} + 443740*\tau_q^{-2} - 767668*\tau_q^{-3} + \\ + 587261*\tau_q^{-4} - 167657*\tau_q^{-5}) + \\ + \pi_q^4*(22542.8*\tau_q^{-2} - 84140.2*\tau_q^{-3} + 104198.0*\tau_q^{-4} - 42886.7*\tau_q^{-5}). \quad (6.6)$$

Формула (6.6) реализована в алгоритме 019D «расчет энтальпии перегретого пара».

6.1.5 Энтальпия сухого насыщенного пара h , МДж/т

$$h = 2149.17 + 15049.8 \cdot \tau_q^3 - 38597.1 \cdot \tau_q^4 + 38206.2 \cdot \tau_q^5 - 14351.7 \cdot \tau_q^6. \quad (6.7)$$

Формула (6.7) реализована в алгоритме 019Е «расчет энтальпии сухого насыщенного пара».

6.1.6 Энтальпия влажного насыщенного пара h , МДж/т, вычисляется по формуле:

$$h = h_1 \cdot (1 - S) + h_2 \cdot S, \quad (6.7a)$$

где

h_1 – энтальпия жидкой фазы пара, вычисляемая по формуле (6.7б),

h_2 – энтальпия газовой фазы пара, вычисляемая по формуле (6.7),

S – степень сухости пара, кг/кг.

$$h_1 = -4335.63 \cdot \tau_q + 16470 \cdot \tau_q^2 - 17449.2 \cdot \tau_q^3 + 7131.31 \cdot \tau_q^4. \quad (6.7б)$$

Формула (6.7) реализована в алгоритме 0855 «расчет энтальпии влажного насыщенного пара».

6.2 Определение количества тепловой энергии в трубопроводе

6.2.1 Алгоритм определения и накопления количества тепловой энергии в одиночном трубопроводе имеет номер 0220 в БД. Он рассчитывает и накапливает количество тепловой энергии в трубопроводе с произвольным теплоносителем (вода, пар) по вычисленным в других алгоритмах значениям энтальпии и массового расхода теплоносителя. Расчет ведется относительно холодного источника – воды с температурой $T_{\text{ХИ}}$ при атмосферном давлении. Перечень входных и выходных параметров алгоритма приведен в таблице 6.1. Алгоритм обычно используется в тех случаях, когда теплоноситель – пар, а также в водяных системах теплоснабжения сложной конфигурации для отдельного учета количества тепловой энергии, переносимой в каждом трубопроводе. Выходные единицы количества тепловой энергии настраиваются как МДж, ГДж, Мкал, Гкал.

Таблица 6.1- параметры алгоритма 0220

Условное обозначение	Наименование
Входные параметры	
Дж\кал	Учет в Джоулях \ калориях
Мега\Гига	Степень Мега \ Гига
h_c	Энтальпия теплоносителя, МДж/т
dG_m	Массовое приращение расхода за цикл, т
Выходные параметры	
$dQ_{\text{Ц}}$	Приращение количества тепловой энергии за цикл, единиц
$Q_{\text{ИНТ}}$	Общее накопленное количество тепловой энергии, единиц

6.2.2 Приращение количества тепловой энергии за цикл счета программы определяется по формуле:

$$dQ_{\text{Ц}} = dG_m \cdot (h_{\text{С}} - h_{\text{ХИ}}) \cdot K_{\text{ПЕР}}, \quad (6.8)$$

где

$$K_{\text{ПЕР}} = \begin{cases} 1 & \text{при учете в МДж} \\ 0.001 & \text{при учете в ГДж} \\ 1/4.1868 & \text{при учете в Мкал} \\ 0.001/4.1868 & \text{при учете в Гкал} \end{cases} \quad (6.9)$$

$h_{\text{ХИ}}$ – энтальпия холодного источника, МДж/т, вычисляемая по формулам (6.1) – (6.5), в которые подставлены значения $T_{\text{ХИ}}$ и $P_{\text{АТР}}$. Величина $h_{\text{ХИ}}$ является общей для всех трубопроводов и доступна для наблюдения через системный параметр 0305.

6.2.3 Накопление общего количества тепловой энергии $Q_{\text{ИНТ}}$ (интегрирование) производится по формуле (2.1), которая в данном случае имеет вид:

$$Q_{\text{ИНТ}} = Q_{\text{ИНТ}} + dQ_{\text{Ц}} \quad (6.10)$$

Все замечания подраздела 2.1 о способе интегрирования справедливы и здесь.

6.3 Закрытая водяная система теплоснабжения

6.3.1 Алгоритм определения и накопления количества тепловой энергии в закрытой водяной системе теплоснабжения имеет номер 0221 в БД. Он рассчитывает и накапливает количество тепловой энергии, полученное потребителем от системы теплоснабжения, состоящей из двух трубопроводов – прямого (или подачи), и обратного, с одинаковым массовым расходом воды. Расход измеряется только в одном из них; температура и давление в обоих. Расчет количества тепловой энергии ведется относительно обратного трубопровода. Перечень входных и выходных параметров алгоритма приведен в таблице 6.2. Выходные единицы количества тепловой энергии настраиваются как МДж, ГДж, Мкал, Гкал.

Таблица 6.2 - параметры алгоритма 0221

Условное обозначение	Наименование
Входные параметры	
Дж\кал	Учет в Джоулях \ калориях
Мега\Гига	Степень Мега \ Гига
$T_{\text{ПР}}$	Температура в прямом трубопроводе, °С
$T_{\text{ОБР}}$	Температура в обратном трубопроводе, °С
$P_{\text{АПР}}$	Абсолютное давление в прямом трубопроводе, МПа
$P_{\text{АОБР}}$	Абсолютное давление в обратном трубопроводе, МПа
dG_m	Массовое приращение расхода за цикл, т
Выходные параметры	
$h_{\text{ПР}}$	Энтальпия воды в прямом трубопроводе, МДж/т
$h_{\text{ОБР}}$	Энтальпия воды в обратном трубопроводе, МДж/т
$dQ_{\text{Ц}}$	Приращение количества тепловой энергии за цикл, единиц
$Q_{\text{ИНТ}}$	Общее накопленное количество тепловой энергии, единиц

6.3.2 Приращение количества тепловой энергии за цикл счета программы определяется по формуле:

$$dQ_{Ц} = dG_m \cdot (h_{ПР} - h_{ОБР}) \cdot K_{ПЕР}, \quad (6.11)$$

где

$h_{ПР}$ – рассчитывается по формулам (6.1) – (6.5) для $T_{ПР}$ и $P_{АПР}$;

$h_{ОБР}$ – рассчитывается по формулам (6.1) – (6.5) для $T_{ОБР}$ и $P_{АОБР}$;

$K_{ПЕР}$ – рассчитывается по формуле (6.9).

6.3.3 Накопление количества тепловой энергии $Q_{ИНТ}$ производится по формуле (6.10) аналогично пункту 6.2.3.

6.4 Открытая водяная система теплоснабжения

6.4.1 Алгоритм определения и накопления количества тепловой энергии в открытой водяной системе теплоснабжения имеет номер 0222 в БД. Он рассчитывает и накапливает количество тепловой энергии, полученное потребителем от системы теплоснабжения, состоящей из двух трубопроводов – прямого (или подачи), и обратного, с измерением в каждом из них массового расхода воды, температуры и давления. Ведется расчет и накопление количества тепловой энергии, полученной потребителем и прошедшей по каждому трубопроводу, а также массового расхода потребленной из системы горячей воды. Перечень входных и выходных параметров алгоритма приведен в таблице 6.3. Выходные единицы количества тепловой энергии настраиваются как МДж, ГДж, Мкал, Гкал.

Таблица 6.3 - параметры алгоритма 0222

Условное обозначение	Наименование
Входные параметры	
Дж\кал	Учет в Джоулях \ калориях
Мега\Гига	Степень Мега \ Гига
$T_{ПР}$	Температура в прямом трубопроводе, °С
$T_{ОБР}$	Температура в обратном трубопроводе, °С
$P_{АПР}$	Абсолютное давление в прямом трубопроводе, МПа
$P_{АОБР}$	Абсолютное давление в обратном трубопроводе, МПа
$dG_{mПР}$	Приращение расхода за цикл в прямом трубопроводе, т
$dG_{mОБР}$	Приращение расхода за цикл в обратном трубопроводе, т
Выходные параметры	
$h_{ПР} - h_{ХИ}$	Энтальпия воды в прямом трубопроводе, МДж/т (относительно $T_{ХИ}$)
$h_{ОБР} - h_{ХИ}$	Энтальпия воды в обратном трубопроводе, МДж/т (относительно $T_{ХИ}$)
$dQ_{ПР}$	Приращение количества тепловой энергии в прямом трубопроводе за цикл, единиц
$dQ_{ОБР}$	Приращение количества тепловой энергии в обратном трубопроводе за цикл, единиц
$dQ_{ПОТР}$	Приращение количества потребленной тепловой энергии за цикл, единиц
$dG_{ПОТР}$	Приращение расхода потребленной горячей воды за цикл, т
$Q_{ИНТ ПР}$	Общее количество тепловой энергии по прямому трубопроводу, единиц
$Q_{ИНТ ОБР}$	Общее количество тепловой энергии по обратному трубопроводу, единиц
$Q_{ИНТ ПОТР}$	Общее количество потребленной из системы тепловой энергии, единиц
$G_{ИНТ ПОТР}$	Общий расход потребленной из системы горячей воды, т

6.4.2 Приращение количества тепловой энергии за цикл счета программы определяется по формулам:

$$dQ_{\text{ПР}} = dG_{\text{мПР}} \cdot (h_{\text{ПР}} - h_{\text{ХИ}}) \cdot K_{\text{ПЕР}}, \quad (6.13)$$

$$dQ_{\text{ОБР}} = dG_{\text{мОБР}} \cdot (h_{\text{ОБР}} - h_{\text{ХИ}}) \cdot K_{\text{ПЕР}}, \quad (6.14)$$

$$dQ_{\text{ПОТР}} = dQ_{\text{ПР}} - dQ_{\text{ОБР}}, \quad (6.15)$$

где

$h_{\text{ПР}}$ – рассчитывается по формулам (6.1) – (6.5) для $T_{\text{ПР}}$ и $P_{\text{АПР}}$;

$h_{\text{ОБР}}$ – рассчитывается по формулам (6.1) – (6.5) для $T_{\text{ОБР}}$ и $P_{\text{АОБР}}$;

$h_{\text{ХИ}}$ – рассчитывается по формулам (6.1) – (6.5) для $T_{\text{ХИ}}$ и $P_{\text{АТР}}$;

$K_{\text{ПЕР}}$ – рассчитывается по формуле (6.9).

6.4.3 Накопление количества тепловой энергии $Q_{\text{ИНТПР}}$, $Q_{\text{ИНТОБР}}$, $Q_{\text{ИНТПОТР}}$ производится по формуле (6.10) аналогично пункту 6.2.3.

6.4.4 Приращение расхода потребленной из системы горячей воды за цикл $dG_{\text{ПОТР}}$, т, производится по формуле:

$$dG_{\text{ПОТР}} = dG_{\text{мПР}} - dG_{\text{мОБР}} \quad (6.16)$$

6.4.5 Накопление количества потребленной из системы горячей воды $G_{\text{ИНТ ПОТР}}$, т, производится по обычным правилам интегрирования, изложенным в подразделе 2.1.

6.5 Учет суммарной тепловой энергии на ГВС с утечками

6.5.1 Дополнительный алгоритм определения и накопления количества тепловой энергии, пошедшего на горячее водоснабжение (ГВС) и утечки в открытой водяной системе теплоснабжения, имеет номер 02В2 в БД. Он рассчитывает и накапливает количество тепловой энергии, оставшееся у потребителя, в результате разности расходов в прямом и обратном трубопроводах, с учетом температуры только одного из них. Ведется расчет и накопление количества тепловой энергии, массового расхода потребленной из системы воды. Перечень входных и выходных параметров алгоритма приведен в таблице 6.4. Выходные единицы количества тепловой энергии настраиваются как МДж, ГДж, Мкал, Гкал.

6.5.2 Приращение расхода воды на ГВС и утечки за цикл счета программы $dG_{\text{ц}}$ определяется по формуле (6.16).

6.5.3 Приращение количества тепловой энергии за цикл счета программы определяется по формуле:

$$dQ_{\text{ПР}} = dG_{\text{ц}} \cdot (h_{\text{выбр}} - h_{\text{ХИ}}) \cdot K_{\text{ПЕР}}, \quad (6.17)$$

где

$h_{\text{выбр}}$ – рассчитывается по формулам (6.1) – (6.5) для $T_{\text{выбр}}$ и $P_{\text{выбр}}$;

$h_{\text{ХИ}}$ – рассчитывается по формулам (6.1) – (6.5) для $T_{\text{ХИ}}$ и $P_{\text{АТР}}$;

$K_{\text{ПЕР}}$ – рассчитывается по формуле (6.9).

Таблица 6.4 - параметры алгоритма 02В2

Условное обозначение	Наименование
Входные параметры	
Дж\кал	Учет в Джоулях \ калориях
Мега\Гига	Степень Мега \ Гига
Твыбр	Температура для учета тепловой энергии, °С
Рвыбр	Абсолютное давление для учета тепловой энергии, МПа
dG _{мПР}	Приращение расхода за цикл в прямом трубопроводе, т
dG _{мОБР}	Приращение расхода за цикл в обратном трубопроводе, т
Выходные параметры	
h _{ПР}	Энтальпия воды, МДж/т
dG _ц	Приращение потребленного расхода воды за цикл, т
dQ _ц	Приращение количества тепловой энергии за цикл, единиц
dG _{тч}	Приращение расхода воды за текущий час, т
dG _{пч}	Приращение расхода воды за предыдущий час, т
dQ _{тч}	Приращение количества тепловой энергии за текущий час, единиц
dQ _{пч}	Приращение количества тепловой энергии за предыдущий час, единиц
G _{ИНТ}	Общий расход потребленной из системы воды, т
Q _{ИНТ}	Общее количество потребленной тепловой энергии, единиц

6.5.4 Для исключения часто встречающегося явления возникновения небольшой отрицательной разницы расходов при отсутствии потребления из системы, общее интегрирование расхода и количества тепловой энергии ведется не на каждом цикле работы программы, а периодически, один раз в час. В течение часа по обычным правилам интегрирования, изложенным в подразделе 2.1, накапливаются промежуточные суммы массового расхода и количества тепловой энергии за текущий час. В момент смены астрономического часа накопленные суммы оцениваются и ограничиваются снизу на значении «0». Ограниченные значения переписываются как параметры «за предыдущий час», добавляются к соответствующим общим интегралам по обычным правилам интегрирования, и расчет за новый час начинается с начала.

7 РАСЧЕТ РАСХОДА С ПОМОЩЬЮ ТРУБКИ TORBAR

7.1 Алгоритмы расчета расхода с помощью осредняющих напорных трубок TORBAR имеются только в модернизированных исполнениях (01М–10М), выполняют расчет мгновенных значений расхода в единицах объема (например, м³/ч) и массы (например, т/ч), приведенных к часу, и общих накопленных значений этих расходов (например, м³ или т). При необходимости возможно изменение единиц измерения, чтобы численное значение расхода, выраженное в этих единицах, находилось в разумных пределах. Расчет ведется согласно требованиям [20].

7.2 Полный список алгоритмов расчета расхода с помощью трубок TORBAR, имеющийся в базе данных ТЭКОН-19, приведен в таблице 7.1; перечень их входных и выходных параметров - в таблице 7.2.

Таблица 7.1 – алгоритмы расчета расхода с помощью трубок TORBAR

Номер алгоритма по БД	Измеряемая среда
02С0	Вода
02С1	Пар перегретый
02С2,	Пар насыщенный сухой
0853 * ¹⁾	Пар насыщенный влажный
02С3	Газ природный сухой
02С4	Газ углекислый (диоксид углерода газообразный)
02С5	Кислород газообразный * ¹⁾
02С6	Воздух сжатый
02СА	Прочие газы с вводимыми характеристиками * ¹⁾

Примечание:
*1) алгоритмы не сертифицированы, используются для технологического учета.

Таблица 7.2 – параметры алгоритмов расчета расхода с помощью трубок TORBAR

Условное обозначение	Наименование	Наличие в алгоритмах
Входные параметры		
dP	Перепад давления, кПа или Па	Во всех
T _с	Температура, °С	-“-
P _а	Давление абсолютное, МПа	-“-
D ₂₀	Диаметр трубопровода при 20°С, мм	-“-
-	Код материала трубопровода по таблице 3.3	-“-
S	Степень сухости пара, кг/кг	0853
K _q	Коэффициент расхода K _q трубки TORBAR	-“-
-	Единицы измерения перепада Па/кПа 0/1	-“-
-	Единицы объема м ³ /тыс м ³ / млн м ³ 0/1/2	-“-
-	Единицы массы кг/т/тыс т 0/1/2	кроме 02С3
-	Учет в стандартных/рабочих условиях 0/1	Газы (02С3-2С6,02СА)
ρ _с	Плотность в стандартных условиях, кг/м ³	02С3, 02СА
X _{уП}	Содержание СО ₂ в газе, мольных %	02С3
X _{аП}	Содержание азота в газе, мольных %	02С3
μ	Динамическая вязкость в рабочих условиях, мкПа*с	02СА
K _{сж}	Коэффициент сжимаемости в рабочих условиях	02СА

Продолжение таблицы 7.2

Условное обозначение	Наименование	Наличие в алгоритмах
Выходные параметры		
G_O	Текущий расход объемный, м ³ /ч	Во всех
G_V	Текущий расход объемный, треб ед/ч	Во всех
G_m	Текущий расход массовый, треб ед/ч	Кроме 02С3
dG_V	Приращение объемного расхода за цикл, треб ед	Во всех
dG_m	Приращение массового расхода за цикл, треб ед	Кроме 02С3
$G_{интV}$	Интегральный объем, треб ед	Во всех ^{*)}
$G_{интm}$	Интегральная масса, треб ед	Кроме 02С3 ^{*)}
-	Массив вспомогательных расчетных параметров (см. таблицу 7.3)	Во всех
Отказ	Недопустимые условия расчета	Во всех

^{*)} Все накапливаемые значения хранятся в виде трех параметров каждое, как описано в 2.1, но для простоты восприятия в таблицах и формулах далее это не отражено.

Таблица 7.3 – вспомогательные расчетные параметры алгоритмов

Индекс массива	Условное обозначение	Наименование	Наличие в алгоритмах
0	Re	Число Рейнольдса	Во всех
1	ρ	Плотность в рабочих условиях, кг/м ³	“-“
2	μ	Динамическая вязкость в рабочих условиях, мкПа*с	“-“
3	$K_{СЖ}$	Коэффициент сжимаемости в рабочих условиях	02С3-02С6

7.3 Диаметр трубопровода D , мм, при рабочей температуре T_c , рассчитывается аналогично подразделу 3.2, по формулам (3.1)-(3.2) с использованием данных о материале трубопровода согласно таблице 3.3.

7.4 Все требуемые термодинамические характеристики среды (абсолютная температура, псевдокритические и приведенные параметры, динамическая вязкость, плотность в рабочих условиях, для природного газа – коэффициент сжимаемости в рабочих условиях методом GERG-91, вычисляются по формулам, приведенным в подразделе 3.3. Показатель адиабаты не вычисляется, т.к. для дальнейших расчетов он не нужен.

7.5 Приведение перепада давления к размерности в килопаскалях:

$$dP = \begin{cases} dP & \text{при входной размерности в кПа} \\ 0.001*dP & \text{при входной размерности в Па} \end{cases} \quad (7.1)$$

7.6 Мгновенный массовый расход G_{Re} , кг/час, необходимый для определения числа Рейнольдса, с учетом размерности входящих в него величин вычисляется по формулам:

а) для воды и пара

$$G_{Re} = 0.0036352152 * D^2 * K_q * \sqrt{dP * \rho} \quad , \quad (7.2)$$

б) для любого вида газа в стандартных условиях

$$G_{Re} = 0.19553148 * D^2 * K_q * \sqrt{dP * P_A * \rho_C / (T_A * K_{CЖ})}, \quad (7.3)$$

7.7 Модифицированное число Рейнольдса Re , используемое для контроля допустимых условий, с учетом размерности входящих в него величин вычисляется по формуле:

$$Re = 0.35368 * 10^6 * G_{Re} / (\mu * D) \quad (7.4)$$

7.8 Расчет мгновенного объемного расхода

7.8.1 Мгновенный расход воды и пара в объемных единицах G_O , м³/час

$$G_O = G_{Re} / \rho. \quad (7.5)$$

7.8.2 Мгновенный расход любого газа в основных объемных единицах G_O , Нм³/час, приведенный к стандартным условиям

$$G_O = G_{Re} / \rho_C. \quad (7.6)$$

7.8.3 Мгновенный расход любого газа в основных объемных единицах G_O , м³/час, в рабочих условиях

$$G_O = 0.000345642 * T_A * K_{CЖ} * G_{Re} / (P_A * \rho_C), \quad (7.7)$$

7.8.4 Мгновенный объемный расход любой среды в выбранных единицах измерения, единиц в час:

$$G_v = \begin{cases} G_O & \text{при учете в м}^3 \\ G_O / 10^3 & \text{при учете в тысячах м}^3 \\ G_O / 10^6 & \text{при учете в миллионах м}^3 \end{cases} \quad (7.8)$$

7.9 Расчет мгновенного массового расхода любой среды (кроме природного газа)

7.9.1 В основных единицах массы (т/ч)

$$G_M = G_{Re} / 10^3. \quad (7.9)$$

7.9.2 В выбранных единицах измерения массы, единиц в час:

$$G_m = \begin{cases} G_{Re} & \text{при учете в килограммах} \\ G_{Re} / 10^3 & \text{при учете в тоннах} \\ G_{Re} / 10^6 & \text{при учете в тысячах тонн} \end{cases} \quad (7.10)$$

7.10 Вычисление приращений объемного и массового расходов производится только в выбранных единицах измерения по формулам (3.112) и (3.113) раздела 3, интегрирование – по формулам (3.114) и (3.115) этого же раздела.

7.11 Контроль границ применения метода по температуре и давлению среды производится по формулам (3.119) – (3.122) из раздела 3. Кроме того, контролируется число Рейнольдса по условию:

$$Re \geq 12000. \quad (7.11)$$

8 УЧЕТ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА

8.1 Общая характеристика алгоритмов

8.1.1 Алгоритмы этой группы, имеющиеся только в модернизированных исполнениях ТЭЖОН-19 с версией программного обеспечения не ниже 52, вычисляют количество тепла, отведенного различными холодильными агентами или хладоносителями (далее – рабочая среда) в холодильных установках согласно таблице 8.1. Основным входным параметром является объемный расход рабочей среды, измеряемый датчиками объемного расхода с числоимпульсным или частотным выходом, вспомогательными параметрами – температура и/или давление. Вычисляется и накапливается как массовый расход рабочей среды (т, т/час), так и количество отведенного тепла (кВтч, кВт или МВтч, МВт). К этой же группе условно отнесены алгоритмы расчета и накопления массового расхода жидкого диоксида углерода (жидкой углекислоты) по измеренному объемному расходу.

Таблица 8.1 – алгоритмы расчета тепла, отведенного холодильной установкой

Номер алгоритма в БД	Измеряемая среда
02E2	Раствор пропиленгликоля, датчик числоимпульсный
02E3	Раствор пропиленгликоля, датчик мощностной
02E4	Аммиак жидкий, датчик числоимпульсный
02E5	Аммиак жидкий, датчик мощностной
02E0	Углекислота жидкая, датчик числоимпульсный
02E1	Углекислота жидкая, датчик мощностной

Примечание:
Алгоритмы не сертифицированы, используются для технологического учета.

8.1.2 В первой части всех алгоритмов вычисляется параметр $G_{\text{ДАТ}}$ - объемный расход по сигналам датчика. Для случая числоимпульсного датчика это приращение расхода за цикл счета, выраженное в м^3 и определяемое по формуле:

$$G_{\text{ДАТ}} = G_1 * N_{\text{ИМП}} * K_V, \quad (8.1)$$

где

G_1 - вес импульса, выраженный в м^3 или литрах;

$N_{\text{ИМП}}$ - число импульсов от датчика, пришедшее за цикл;

$$K_V = \begin{cases} 1 & \text{если датчик проградуирован в } \text{м}^3 \\ 0.001 & \text{если датчик проградуирован в литрах} \end{cases} \quad (8.2)$$

Для случая мощностного датчика это текущий объемный расход, выраженный в $\text{м}^3/\text{ч}$ и определяемый по формуле:

$$G_{\text{ДАТ}} = G_{V\text{ДАТ}} * K_{\text{ЧАС}} * K_V, \quad (8.3)$$

где

$G_{V\text{ДАТ}}$ - расход с выхода датчика, единиц объема за единицу времени;

K_V - коэффициент приведения к м^3 по формуле 8.2;

$$K_{\text{ЧАС}} = \begin{cases} 1 & \text{если датчик проградуирован в ед/час} \\ 3600 & \text{если датчик проградуирован в ед/сек} \end{cases} \quad (8.4)$$

8.2 Раствор пропиленгликоля

8.2.1 Параметры алгоритмов 02E2 «Пропиленгликоль, датчик числоимпульсный» и 02E3 «Пропиленгликоль, датчик мощностной» сведены в таблицу 8.2.

Таблица 8.2 – параметры алгоритмов учета пропиленгликоля

Обозначение	Наименование	Примечание	Наличие	
			02E2	02E3
Входные параметры				
Ед V	Единицы измерения объема, л/м ³ (0/1)	Настройка	+	
G ₁	Вес импульса, ед. измерения	-“-	+	-
Ед врем	Единицы времени, секунд/часов (0/1)	-“-	-	+
Нимп	Число импульсов за цикл	вход	+	-
GVдат	Расход с датчика, ед расхода за ед времени	вход	-	+
Pv	Содержание пропиленгликоля, %	Настройка	+	
где	Измерение расхода, подача/обратка (0/1)	Не используется		
Tпод	Температура на подаче, °С	вход	+	
Тобр	Температура в обратном трубопроводе, °С	-“-	+	
Ед Q	Единицы измерения холода, кВт/МВт (0/1)	Настройка	+	
Выходные параметры				
G _v	Текущий расход объемный, м ³ /ч		+	
G _m	Текущий расход массовый, т/ч		+	
Q _o	Холодопроизводительность, кВт или МВт		+	
dT	Разность температур, °С		+	
dG _v	Приращение объемного расхода за цикл, м ³		+	
dG _m	Приращение массового расхода за цикл, т		+	
dQ	Приращение количества холода за цикл, кВтч или МВтч		+	
G _{интV}	Интегральный объем, м ³	*)	+	
G _{интm}	Интегральная масса, т	*)	+	
Q _{инт}	Интегральное количество холода, кВтч или МВтч	*)	+	
-	Массив вспомогательных параметров	служебный	+	
Отказ	Недопустимые условия расчета		+	

*) Все накапливаемые значения хранятся в виде трех параметров каждое, как описано в 2.1, но для простоты восприятия в таблицах и формулах далее это не отражено.

8.2.3 Исходными данными для разработки алгоритмов расчета плотности и теплоемкости водного раствора пропиленгликоля послужили материалы, полученные от ОАО «Пивоваренная компания БАЛТИКА». Для версии программы 59 исходные данные были уточнены и приведены ниже в виде справочной таблицы 8.3.

8.2.4 Для расчета плотности и теплоемкости и сокращения объема данных в программе применен метод двойной линейной аппроксимации требуемой величины по температуре «Т» в точке измерения расхода и заданной процентной концентрации раствора пропиленгликоля «Pv». Реперными точками по концентрации «Pv_i» являются значения 20, 30 и 40 процентов.

Таблица 8.3 – плотность и теплоемкость водного раствора пропиленгликоля при концентрации от 20 до 40 процентов

Температура, °С	Плотность, кг/м ³			Теплоемкость С _p , кДж/(кг*К)		
	20%	30%	40%	20%	30%	40%
+30	1015	1023	1030	3.996	3.880	3.737
+29	1015	1023	1031	3.993	3.877	3.734
+28	1016	1024	1031	3.991	3.875	3.731
+27	1016	1024	1032	3.989	3.872	3.728
+26	1016	1025	1032	3.987	3.869	3.724
+25	1017	1025	1033	3.985	3.867	3.721
+24	1017	1026	1033	3.983	3.864	3.718
+23	1018	1026	1034	3.981	3.861	3.715
+22	1018	1027	1034	3.979	3.859	3.711
+21	1019	1027	1035	3.976	3.856	3.708
+20	1019	1028	1035	3.974	3.853	3.705
+19	1019	1028	1036	3.972	3.851	3.702
+18	1020	1029	1036	3.970	3.848	3.699
+17	1020	1029	1037	3.968	3.845	3.695
+16	1021	1029	1037	3.966	3.843	3.692
+15	1021	1030	1038	3.964	3.840	3.689
+14	1021	1030	1038	3.962	3.838	3.686
+13	1022	1031	1039	3.959	3.835	3.682
+12	1022	1031	1039	3.957	3.832	3.679
+11	1022	1032	1040	3.955	3.830	3.676
+10	1023	1032	1040	3.953	3.827	3.673
+9	1023	1032	1041	3.951	3.824	3.669
+8	1024	1033	1041	3.949	3.822	3.666
+7	1024	1033	1042	3.947	3.819	3.663
+6	1024	1034	1042	3.945	3.816	3.660
+5	1025	1034	1043	3.942	3.814	3.657
+4	1025	1034	1043	3.940	3.811	3.653
+3	1025	1035	1044	3.938	3.809	3.650
+2	1026	1035	1044	3.936	3.806	3.647
+1	1026	1036	1044	3.934	3.803	3.644
0	1026	1036	1045	3.932	3.801	3.640
-1	1026	1036	1045	3.930	3.798	3.637
-2	1027	1037	1046	3.928	3.795	3.634
-3	1027	1037	1046	3.925	3.793	3.631
-4	1027	1037	1046	3.923	3.790	3.628
-5	1028	1038	1047	3.921	3.787	3.624
-6	1029	1038	1047	3.919	3.785	3.621
-7	1029	1038	1048	3.917	3.782	3.618
-8	1030	1039	1048	3.915	3.780	3.615
-9	1030	1039	1048	3.912	3.777	3.611
-10	1030	1039	1049	3.910	3.774	3.608

8.2.5 Зависимость плотности от температуры « ρ_i » аппроксимирована тремя линейными выражениями:

$$\rho_{20} = 1030.2 - 0.33825*(T + 10) \quad \text{для } P_v = 20\% \quad (8.5)$$

$$\rho_{30} = 1040.0 - 0.425*(T + 10) \quad \text{для } P_v = 30\% \quad (8.6)$$

$$\rho_{40} = 1049.3 - 0.475*(T + 10) \quad \text{для } P_v = 40\%, \quad (8.7)$$

где

$$T = (T_{\text{ПОД}} + T_{\text{ОБР}})/2. \quad (8.8)$$

Далее по реальной заданной концентрации « P_v » производится линейная интерполяция либо между значениями ρ_{20} и ρ_{30} , либо между ρ_{30} и ρ_{40} для окончательного вычисления средней плотности « ρ_o » с переходом от кг/м^3 к т/м^3 :

$$\rho_o = (\rho_i + (P_v - P_{v_i})*(\rho - \rho_i)/(\rho_{i+1} - \rho_i))/1000. \quad (8.9)$$

8.2.6 Зависимость теплоемкости « Kq_i » от температуры аппроксимирована тремя линейными выражениями:

$$Kq_{20} = 3.910 + 0.00215*(T + 10) \quad \text{для } P_v = 20\% \quad (8.10)$$

$$Kq_{30} = 3.774 + 0.00265*(T + 10) \quad \text{для } P_v = 30\% \quad (8.11)$$

$$Kq_{40} = 3.608 + 0.003225*(T + 10) \quad \text{для } P_v = 40\%. \quad (8.12)$$

Здесь значение « T » вычисляется по формуле (8.8). Далее по реальной заданной концентрации « P_v » производится линейная интерполяция либо между значениями Kq_{20} и Kq_{30} , либо между Kq_{30} и Kq_{40} для окончательного вычисления средней теплоемкости « Kq »:

$$Kq = (Kq_i + (P_v - P_{v_i})*(Kq - Kq_i)/(Kq_{i+1} - Kq_i))/1000. \quad (8.13)$$

Размерность « Kq » - $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$, или, что то же самое, $\text{МДж}/(\text{т}\cdot\text{К})$.

8.2.7 Приращения расхода за цикл: объемного dG_v , м^3 , и массового, dG_m , тонн, а также мгновенные значения текущего расхода: объемного G_v , $\text{м}^3/\text{ч}$, и массового, G_m , $\text{т}/\text{ч}$, вычисляются аналогично описанным в предыдущих разделах мощностным и числоимпульсным датчикам.

Числоимпульсный датчик:

$$dG_v = G_{\text{ДАТ}}; \quad (8.14)$$

$$G_v = G_{\text{ДАТ}}/dt_{\text{ц}}. \quad (8.15)$$

Мощностной датчик:

$$dG_v = G_{\text{ДАТ}}*dt_{\text{ц}}; \quad (8.16)$$

$$G_v = G_{\text{ДАТ}}. \quad (8.17)$$

Для обоих типов датчиков:

$$dG_m = dG_v*\rho_o; \quad (8.18)$$

$$G_m = G_v*\rho_o. \quad (8.19)$$

8.2.8 Приращение количества холода dQ , кВтч , и текущее значение холодопроизводительности Q_o , кВт , вычисляются по формулам:

$$dQ = dGm * Kq * (T_{\text{ОБР}} - T_{\text{ПОД}}) / 3.6, \quad (8.20)$$

$$Q_0 = Gm * Kq * (T_{\text{ОБР}} - T_{\text{ПОД}}) / 3.6. \quad (8.21)$$

Если при настройке установлен учет холода в мегаваттах, значения dQ и Q_0 дополнительно делятся на 1000.

8.2.8 Накопление интегральных значений объемного и массового расходов, а также количества холода производится по формулам, аналогичным (2.1). Все замечания подраздела 2.1 о способе интегрирования справедливы и здесь.

8.2.9 В алгоритме проводится контроль границ применения метода. Битовый признак отказа снимается, если одновременно выполняются следующие условия:

$$\left. \begin{array}{l} 20\% \leq Pv \leq 40\% \\ -10^\circ\text{C} \leq T \leq +30^\circ\text{C} \\ T_{\text{ПОД}} < T_{\text{ОБР}} \end{array} \right\} \quad (8.22)$$

В противном случае признак отказа устанавливается, причем при нарушении последнего из указанных в (8.22) условий холодопроизводительность не вычисляется, параметры dQ и Q_0 обнуляются.

8.3 Аммиак жидкий

8.3.1 Параметры алгоритмов 02E4 «Аммиак, датчик числоимпульсный» и 02E5 «Аммиак, датчик мощностной» сведены в таблицу 8.4.

Таблица 8.4 – параметры алгоритмов учета аммиака

Обозначение	Наименование	Примечание	Наличие	
			02E4	02E5
Входные параметры				
Ед V	Единицы измерения объема, л/м ³ (0/1)	Настройка	+	
G ₁	Вес импульса, ед. измерения	-“-	+	-
Ед врем	Единицы времени, секунд/часов (0/1)	-“-	-	+
Нимп	Число импульсов за цикл	вход	+	-
G _V дат	Расход с датчика, ед расхода за ед времени	вход	-	+
T	Температура в узле учета, °С	вход	+	
Ррес	Давление в ресивере, МПа	-“-	+	
Ед Q	Единицы измерения холода, кВт/МВт (0/1)	Настройка	+	
Выходные параметры				
G _V	Текущий расход объемный, м ³ /ч		+	
G _m	Текущий расход массовый, т/ч		+	
Q _о	Холодопроизводительность, кВт или МВт		+	
Трес	Температура кипения в ресивере, °С		+	
dG _V	Приращение объемного расхода за цикл, м ³		+	
dG _m	Приращение массового расхода за цикл, т		+	
dQ	Приращение количества холода за цикл, кВтч или МВтч		+	
G _{интV}	Интегральный объем, м ³	*)	+	
G _{интm}	Интегральная масса, т	*)	+	
Q _{инт}	Интегральное количество холода, кВтч или МВтч	*)	+	
-	Массив вспомогательных параметров	служебный	+	
Отказ	Недопустимые условия расчета		+	
*) Все накапливаемые значения хранятся в виде трех параметров каждое, как описано в 2.1, но для простоты восприятия в таблицах и формулах далее это не отражено.				

8.3.2 Исходными данными для разработки алгоритмов расчета плотности и удельной теплоты парообразования жидкого аммиака послужили материалы, полученные от ОАО «Пивоваренная компания БАЛТИКА», частично приведенные в таблицах 8.5 и 8.6.

8.3.3 Плотность жидкого аммиака вычисляется согласно измеренной температуре «Т» в узле учета путем линейной интерполяции данных таблицы 8.5 по температуре между двумя соседними точками, удовлетворяющими условию $T_i \leq T \leq T_{i+1}$. Таблица 8.5 введена в программу полностью с шагом 0.5 градуса. После интерполяции значения плотности переводятся из кг/м³ в т/м³ делением на 1000.

8.3.4 Температура кипения аммиака в ресивере T_{РЕС}, °С (вычисляется только как справочный параметр) и удельная теплота парообразования аммиака «t», кДж/кг (или, что то же самое, МДж/т), вычисляются по измеренному давлению.

лению в ресивере P_{PEC} . Для этого производится линейная интерполяция данных таблицы 8.6 по давлению между двумя соседними точками, удовлетворяющими условию $P_{\text{PEC } i} \leq P_{\text{PEC}} \leq P_{\text{PEC } i+1}$. Таблица 8.6 введена в программу полностью. Давление P_{PEC} , которое на входе в алгоритм всегда выражено в МПа, при обработке таблицы предварительно переводится в бары умножением на 10.

Таблица 8.5 – плотность жидкого аммиака

Т, °С	ρ , кг/м ³						
-30.0	677.748	-10.0	652.040	10.0	624.698	30.0	595.223
-29.5	677.122	-9.5	651.377	10.5	623.989	30.5	594.452
-29.0	676.496	-9.0	650.715	11.0	623.280	31.0	593.681
-28.5	675.868	-8.5	650.050	11.5	622.568	31.5	592.906
-28.0	675.240	-8.0	649.386	12.0	621.856	32.0	592.132
-27.5	674.611	-7.5	648.719	12.5	621.142	32.5	591.353
-27.0	673.981	-7.0	648.052	13.0	620.427	33.0	590.575
-26.5	673.350	-6.5	647.384	13.5	619.710	33.5	589.793
-26.0	672.719	-6.0	646.715	14.0	618.993	34.0	589.011
-25.5	672.086	-5.5	646.044	14.5	618.273	34.5	588.225
-25.0	671.454	-5.0	645.373	15.0	617.553	35.0	587.439
-24.5	670.819	-4.5	644.700	15.5	616.830	35.5	586.649
-24.0	670.185	-4.0	644.027	16.0	616.108	36.0	585.859
-23.5	669.548	-3.5	643.352	16.5	615.382	36.5	585.065
-23.0	668.912	-3.0	642.677	17.0	614.656	37.0	584.272
-22.5	668.274	-2.5	642.000	17.5	613.928	37.5	583.474
-22.0	667.636	-2.0	641.322	18.0	613.199	38.0	582.676
-21.5	666.997	-1.5	640.643	18.5	612.468	38.5	581.874
-21.0	666.357	-1.0	639.963	19.0	611.736	39.0	581.072
-20.5	665.715	-0.5	639.281	19.5	611.001	39.5	580.266
-20.0	665.074	0.0	638.599	20.0	610.267	40.0	579.460
-19.5	664.431	0.5	637.915	20.5	609.529	40.5	578.649
-19.0	663.787	1.0	637.231	21.0	608.792	41.0	577.839
-18.5	663.142	1.5	636.544	21.5	608.051	41.5	577.024
-18.0	662.497	2.0	635.858	22.0	607.310	42.0	576.209
-17.5	661.850	2.5	635.169	22.5	606.566	42.5	575.390
-17.0	661.203	3.0	634.480	23.0	605.822	43.0	574.571
-16.5	660.555	3.5	633.789	23.5	605.075	43.5	573.747
-16.0	659.906	4.0	633.097	24.0	604.328	44.0	572.923
-15.5	659.255	4.5	632.404	24.5	603.578	44.5	572.095
-15.0	658.604	5.0	631.710	25.0	602.828	45.0	571.267
-14.5	657.952	5.5	631.014	25.5	602.074	45.5	570.434
-14.0	657.299	6.0	630.318	26.0	601.320	46.0	569.601
-13.5	656.645	6.5	629.619	26.5	600.563	46.5	568.763
-13.0	655.990	7.0	628.920	27.0	599.806	47.0	567.925
-12.5	655.334	7.5	628.219	27.5	599.046	47.5	567.082
-12.0	654.677	8.0	627.518	28.0	598.286	48.0	566.240
-11.5	654.019	8.5	626.814	28.5	597.522	48.5	565.392
-11.0	653.360	9.0	626.110	29.0	596.758	49.0	564.545
-10.5	652.700	9.5	625.404	29.5	595.990	49.5	563.692
						50.0	562.839

Таблица 8.6 – давление и удельная теплота парообразования жидкого аммиака при температуре кипения

Ткип, °С	Р, бар	г, кДж/кг	Ткип, °С	Р, бар	г, кДж/кг
-20.0	1.901	1327.11	-5.0	3.548	1277.95
-19.5	1.944	1325.53	-4.5	3.618	1276.24
-19.0	1.987	1323.95	-4.0	3.688	1274.53
-18.5	2.031	1322.37	-3.5	3.760	1272.81
-18.0	2.076	1320.78	-3.0	3.833	1271.09
-17.5	2.122	1319.18	-2.5	3.907	1269.36
-17.0	2.168	1317.59	-2.0	3.982	1267.63
-16.5	2.215	1315.98	-1.5	4.058	1265.90
-16.0	2.263	1314.38	-1.0	4.136	1264.16
-15.5	2.312	1312.77	-0.5	4.214	1460.13
-15.0	2.362	1311.15	0.0	4.294	1260.66
-14.5	2.413	1309.53	0.5	4.375	1258.91
-14.0	2.464	1307.91	1.0	4.457	1257.15
-13.5	2.516	1306.28	1.5	4.540	1255.39
-13.0	2.570	1304.65	2.0	4.625	1253.62
-12.5	2.624	1303.02	2.5	4.710	1251.85
-12.0	2.679	1301.38	3.0	4.797	1250.07
-11.5	2.734	1299.73	3.5	4.886	1248.28
-11.0	2.791	1298.08	4.0	4.975	1246.50
-10.5	2.849	1296.43	4.5	5.066	1244.70
-10.0	2.908	1294.77	5.0	5.158	1242.91
-9.5	2.967	1293.11	5.5	5.251	1241.10
-9.0	3.028	1291.44	6.0	5.345	1239.30
-8.5	3.089	1289.77	6.5	5.441	1237.48
-8.0	3.152	1288.09	7.0	5.539	1235.66
-7.5	3.215	1286.41	7.5	5.637	1233.84
-7.0	3.280	1284.73	8.0	5.737	1232.01
-6.5	3.345	1283.04	8.5	5.838	1230.18
-6.0	3.412	1281.35	9.0	5.941	1228.34
-5.5	3.479	1279.65	9.5	6.045	1226.50
			10.0	6.150	1224.65

8.3.5 Приращения расхода за цикл: объемного dG_v , м³, и массового, dG_m , тонн, а также мгновенные значения текущего расхода: объемного G_v , м³/ч, и массового, G_m , т/ч, вычисляются по формулам (8.10)-(8.15), указанным в 8.2.6.

8.3.6 Приращение количества холода dQ , кВтч, и текущее значение холодопроизводительности Q_0 , кВт, вычисляются по формулам:

$$dQ = dG_m \cdot r / 3.6, \quad (8.19)$$

$$Q_0 = G_m \cdot r / 3.6. \quad (8.20)$$

Если при настройке установлен учет холода в мегаваттах, значения dQ и Q_0 дополнительно делятся на 1000.

8.3.7 Накопление интегральных значений объемного и массового расходов, а также количества тепла производится по формулам, аналогичным (2.1). Все замечания подраздела 2.1 о способе интегрирования справедливы и здесь.

8.3.8 В алгоритме проводится контроль границ применения метода. Битовый признак отказа снимается, если одновременно выполняются условия (8.22), и устанавливается в противном случае.

$$\left. \begin{aligned} -30^{\circ}\text{C} \leq T \leq +50^{\circ}\text{C} \\ 0.1901 \text{ МПа} \leq P_{\text{PEC}} \leq 0.6150 \text{ МПа.} \end{aligned} \right\} \quad (8.22)$$

8.4 Углекислота жидкая

8.4.1 Параметры алгоритмов 02E0 «Углекислота жидкая, датчик число-импульсный» и 02E1 «Углекислота жидкая, датчик мощностной» сведены в таблицу 8.7.

Таблица 8.7 – параметры алгоритмов учета жидкой углекислоты

Обозначение	Наименование	Примечание	Наличие	
			02E0	02E1
Входные параметры				
Ед V	Единицы измерения объема, л/м ³ (0/1)	Настройка	+	
G ₁	Вес импульса, ед. измерения	-“-	+	-
Ед врем	Единицы времени, секунд/часов (0/1)	-“-	-	+
Нимп	Число импульсов за цикл	вход	+	-
G _{Vдат}	Расход с датчика, ед расхода за ед времени	вход	-	+
T	Температура в узле учета, °C	вход	+	
Выходные параметры				
G _V	Текущий расход объемный, м ³ /ч		+	
G _m	Текущий расход массовый, т/ч		+	
dG _V	Приращение объемного расхода за цикл, м ³		+	
dG _m	Приращение массового расхода за цикл, т		+	
G _{интV}	Интегральный объем, м ³	*)	+	
G _{интm}	Интегральная масса, т	*)	+	
-	Массив вспомогательных параметров	служебный	+	
Отказ	Недопустимые условия расчета		+	
*) Все накапливаемые значения хранятся в виде трех параметров каждое, как описано в 2.1, но для простоты восприятия в таблицах и формулах далее это не отражено.				

8.4.2 Исходными данными для разработки алгоритма расчета плотности жидкой углекислоты послужили материалы, полученные от ОАО «Пивоваренная компания БАЛТИКА» и частично приведенные в таблице 8.8.

8.4.3 Плотность жидкой углекислоты вычисляется согласно измеренной температуре «Т» в узле учета путем линейной интерполяции данных таблицы 8.8 по температуре между двумя соседними точками, удовлетворяющими условию $T_i \leq T \leq T_{i+1}$. Таблица 8.8 введена в программу с шагом 0.5 градуса. После интерполяции значения плотности переводятся из кг/м³ в т/м³ делением на 1000.

Таблица 8.8 – плотность жидкой углекислоты

Т, °С	ρ, кг/м ³						
-45.0	1136.622	-38.5	1111.111	-32.0	1084.481	-25.5	1056.636
-44.5	1134.687	-38.0	1109.016	-31.5	1082.368	-25.0	1054.407
-44.0	1132.759	-37.5	1107.052	-31.0	1080.264	-24.5	1052.189
-43.5	1130.838	-37.0	1104.972	-30.5	1078.167	-24.0	1049.979
-43.0	1128.923	-36.5	1103.022	-30.0	1076.079	-23.5	1047.779
-42.5	1126.888	-36.0	1100.958	-29.5	1073.883	-23.0	1045.588
-42.0	1124.986	-35.5	1098.901	-29.0	1071.811	-22.5	1043.297
-41.5	1122.965	-35.0	1096.852	-28.5	1069.633	-22.0	1041.016
-41.0	1121.076	-34.5	1094.811	-28.0	1067.464	-21.5	1038.745
-40.5	1119.069	-34.0	1092.777	-27.5	1065.303	-21.0	1036.484
-40.0	1117.069	-33.5	1090.750	-27.0	1063.151	-20.5	1034.233
-39.5	1115.076	-33.0	1088.613	-26.5	1061.008	-20.0	1031.885
-39.0	1113.090	-32.5	1086.602	-26.0	1058.873		

8.4.4 Приращения расхода за цикл: объемного dG_v , м³, и массового, dG_m , тонн, а также мгновенные значения текущего расхода: объемного G_v , м³/ч, и массового, G_m , т/ч, вычисляются по формулам (8.10)-(8.15), указанным в 8.2.6.

8.4.5 Накопление интегральных значений объемного и массового расходов производится по формулам, аналогичным (2.1). Все замечания подраздела 2.1 о способе интегрирования справедливы и здесь.

8.3.9 В алгоритме проводится контроль границ применения метода (только по температуре). Битовый признак отказа снимается, если выполняется условие (8.23), и устанавливается в противном случае.

$$-45^{\circ}\text{C} \leq T \leq -20^{\circ}\text{C} \quad (8.23)$$

9 РАСХОД ВЛАЖНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА

9.1 Общая характеристика алгоритмов

9.1.1 Алгоритмы этой группы, перечисленные в таблице 9.1, имеющиеся только в модернизированных исполнениях ТЭКОН-19 с версией программного обеспечения не ниже 5б, осуществляют расчет и накопление расхода (массового и приведенного к стандартным условиям объемного) влажного нефтяного газа. Этот газ представляет собой многокомпонентную среду, в которой учитывается наличие до 13 различных составляющих газов (сухая часть газа) и водяной пар. Вычисление характеристик среды производится в полном соответствии с МР 113-03 [23].

9.1.2 Измерение расхода возможно как по показаниям датчика перепада давления на сужающем устройстве, так и с использованием датчика объемного расхода (в рабочих условиях). Вспомогательными параметрами являются параметры температуры и давления, характеристики датчика, компонентный состав среды, а для алгоритма 02F3 – характеристики трубопровода и сужающего устройства. Вычисляется и накапливается как массовый расход газа (тонны, т/час), так и его объемный расход в стандартных условиях (м3, м3/час).

Таблица 9.1 – алгоритмы расчета расхода влажного нефтяного газа

Номер алгоритма в БД	Измеряемая среда
02F3	Нефтяной газ, перепадный метод
02F4	Нефтяной газ, датчик расхода числоимпульсный
02F5	Нефтяной газ, датчик расхода мощностной

9.1.3 В составе газа, согласно [23], учитывается наличие следующих компонентов сухой части:

- метан;
- этан;
- пропан;
- изобутан (i-бутан);
- нормальный бутан (n-бутан);
- изопентан (i-пентан);
- нормальный пентан (n-пентан);
- гексан;
- гептан;
- кислород;
- азот;
- диоксид углерода;
- сероводород.

Согласно [23], наличие в составе пропилена должно учитываться вместе с пропаном, а наличие гелия и водорода – вместе с азотом.

9.1.4 В каждом из алгоритмов имеется набор параметров для задания концентраций всех 13 перечисленных выше газов и водяного пара (влажности). Размерность задания всех концентраций и влажности в каждом алгоритме выбирается установкой параметра «способ задания концентрации и влажности», представляющего собой двузначное число вида XY. Величина «X» определяет размерность задания концентрации всех газов сухой части, величина «Y» - способ задания влажности в соответствии с таблицей 2.1.

Таблица 2.1 – способ задания концентрации и влажности

X	Концентрация	Y	Влажность
0	Мольные проценты	0	Абсолютная, г/м ³
1	Объемные проценты	1	Относительная, процентов
2	Массовые проценты	2	Явная, мольных процентов

Автоматический пересчет концентрации, заданной в объемных или массовых процентах, к требующимся для методики [23] мольным процентам производится по формулам, приведенным в [6]. Сумма мольных концентраций компонентов сухой части должна равняться 100% с допустимым отклонением $\pm 1\%$ (если влажность задана как абсолютная или относительная). Если влажность задана в явном виде (Y=2), ее значение также включается в общую сумму.

9.1.5 Каждая из задач состоит из трех основных частей:

- оценка возможности вычисления;
- вычисление основных параметров среды;
- расчет расхода.

9.1.6 В первой части всех задач производится оценка возможности вычисления параметров газа проверкой выполнения следующих условий:

- Коды способов задания размерности являются допустимыми.
- Концентрация любого компонента лежит в пределах от 0 до 100 процентов, а их общая сумма лежит в пределах от 99 до 101 процента.
- Заданная влажность неотрицательна.
- Абсолютная температура среды находится в пределах от 263 до 500 К.
- Абсолютное давление лежит в пределах от 0.1 до 15 МПа и не превышает давления начала образования кристаллогидратов, вычисляемого согласно указаниям [23].

Если все условия выполняются, вычисления продолжаются. В противном случае выставляется единичное значение выходного битового параметра «отказ алгоритмический», вычисление характеристик среды и расхода не выполняется, текущему значению расхода присваивается нулевое значение.

9.1.7 Далее в соответствии с [23] вычисляются основные характеристики среды, необходимые для расчета расхода при выбранном методе измерения. Плотность среды в рабочих и стандартных условиях, факторы сжимаемости в

рабочих и стандартных условиях вычисляются всегда. Значения коэффициента адиабаты и динамической вязкости рассчитываются только при перепадном методе измерения расхода. При вычислении выполняются многократные итерации, поэтому время полное исполнения задачи достаточно велико и составляет 3-4 секунды при перепадном методе, 2-3 секунды при наличии датчиков расхода. Если в процессе вычисления обнаружены недопустимые значения внутренних параметров алгоритма, вычисления аварийно прекращаются с установкой признака «отказ алгоритмический» аналогично 9.1.6.

9.1.8 В последней части задачи вычисляется расход среды согласно выбранному методу измерения и типу используемого датчика. При перепадном методе, а также при «мощностном» датчике расхода, это мгновенные значения массового расхода, выраженные в т/ч, и объемного расхода в стандартных условиях, выраженные в м³/час. При числоимпульсном датчике расхода эторащения массового расхода (тонн) и объемного расхода в нормальных условиях (м³) за цикл счета. Кроме того, во всех задачах накапливается два интегральных значения расхода – массовый и объемный. Принципы вычисления и накопления расходов изложены в соответствующих разделах данного документа. Накапливаемые значения расхода хранятся в виде трех параметров каждое, как описано в 2.1, но для простоты восприятия «вспомогательный массив накопления» в таблицах не отражен.

9.1.9 Некоторые внутренние параметры любого алгоритма помещены в индексный параметр «вспомогательный расчетный массив», описанный в таблице 9.3. Данные значения могут быть при необходимости использоваться для контроля работы алгоритма.

Таблица 9.3 – распределение промежуточных расчетных величин по элементам индексного параметра «вспомогательный массив расчетных величин»

Индекс	Величина	Примечание
0	Концентрация водяного пара, мольных %	Во всех алгоритмах 02F3, 02F4, 02F5
1	Плотность смеси в рабочих условиях, кг/м ³	
2	Фактор сжимаемости в рабочих условиях	
3	Предельная равновесная концентрация водяного пара в рабочих условиях, мольных %	
4	Плотность смеси в стандартных условиях, кг/м ³	
5	Фактор сжимаемости в стандартных условиях	
6	Коэффициент сжимаемости	
7	Показатель адиабаты в рабочих условиях	Только при перепадном методе (алгоритм 02F3)
8	Динамическая вязкость в рабочих условиях, мкПа*с	
9	Число Рейнольдса	

9.2 Использование датчика перепада давления на СУ

9.2.1 Задача на основе алгоритма 02F3 «нефтяной газ, перепадный метод» имеет набор параметров согласно таблице 9.4. Время исполнения задачи 3-4 секунды.

Таблица 9.4 – параметры алгоритма 02F3

Условное обозначение	Наименование	Примечание
Входные параметры		
dP	Перепад давления, кПа	
T _C	Температура, °C	
P _A	Давление абсолютное, Мпа	
D ₂₀	Диаметр трубопровода при 20°C, мм	
d ₂₀	Диаметр СУ при 20°C, мм	
-	Код материала трубопровода	по таблице 3.3
-	Код материала СУ	
R _Ш	Эквивалентная шероховатость, мм	
-	Условия учета газа	0 стандартные, 1 рабочие
Отбор	Способ отбора	0 фланцевый, 1 угловой, 2 трехрадиусный
P _{СУ}	Межповерочный интервал СУ, лет	1 или 2
	Концентрация метана	см. 9.1.3, 9.1.4
	Концентрация этана	
	Концентрация пропан	
	Концентрация i-бутана	
	Концентрация n-бутана	
	Концентрация i-пентана	
	Концентрация n-пентана	
	Концентрация гексана	
	Концентрация гептана	
	Концентрация кислорода	
	Концентрация азота	
	Концентрация диоксида углерода	
	Концентрация сероводорода	
	Значение влажности	
	Способ задания	
Выходные параметры		
G _V	Текущий расход объемный, м ³ /ч	
G _M	Текущий расход массовый, т/ч	
dG _V	Приращение объемного расхода за цикл, м ³	
dG _M	Приращение массового расхода за цикл, т	
G _{интV}	Интегральный объем, м ³	*)
G _{интM}	Интегральная масса, т	
	Вспомогательный расчетный массив	См. таблицу 9.3
Отказ	Недопустимые условия расчета	

*) Все накапливаемые значения хранятся в виде трех параметров каждое, как описано в 2.1, но для простоты восприятия в таблицах и формулах далее это не отражено.

9.2.2 Параметры настройки характеристик расходомерного узла заносятся аналогично всем остальным алгоритмам учета расхода различных сред с использованием датчика перепада на сужающем устройстве.

9.2.3 Параметры температуры и абсолютного давления среды, вычисленные другими алгоритмами и поступающие на вход задачи, должны иметь указанную в таблице размерность (градусы Цельсия, мегапаскали).

9.2.4 Параметры описания концентраций отдельных компонентов нефтяного газа заносятся согласно 9.1.3 - 9.1.4.

9.2.5 Расчет значений мгновенного расхода и накопление интегрального расхода выполняется согласно 3.5.

9.2.6 Кроме указанных в 9.1.6 и 9.1.7 ограничений по допустимым условиям расчета параметров многокомпонентной среды, в задаче проверяются общие ограничения на метод расчета с использованием сужающего устройства, описанные в 3.6.

9.3 Использование числоимпульсного датчика объемного расхода

9.3.1 Задача на основе алгоритма 02F4 «нефтяной газ, числоимпульсный датчик расхода» имеет набор параметров согласно таблице 9.5. Время исполнения задачи 2-3 секунды.

Таблица 9.5 – параметры алгоритма 02F4

Условное обозначение	Наименование	Примечание
Входные параметры		
G1	Вес импульса датчика, м3	В рабочих условиях
Нимп	Число импульсов за цикл	
T _c	Температура, °C	
P _A	Давление абсолютное, Мпа	
	Концентрация метана	см. 9.1.3, 9.1.4
	Концентрация этана	
	Концентрация пропан	
	Концентрация i-бутана	
	Концентрация n-бутана	
	Концентрация i-пентана	
	Концентрация n-пентана	
	Концентрация гексана	
	Концентрация гептана	
	Концентрация кислорода	
	Концентрация азота	
	Концентрация диоксида углерода	
	Концентрация сероводорода	
	Значение влажности	
	Способ задания	

Продолжение таблицы 9.5

Условное обозначение	Наименование	Примечание
Выходные параметры		
dG_V	Приращение объемного расхода за цикл, м ³	
dG_M	Приращение массового расхода за цикл, т	
$G_{интV}$	Интегральный объем, м ³	*)
$G_{интM}$	Интегральная масса, т	
	Вспомогательный расчетный массив	См. таблицу 9.3
Отказ	Недопустимые условия расчета	
*) Все накапливаемые значения хранятся в виде трех параметров каждое, как описано в 2.1, но для простоты восприятия в таблицах и формулах далее это не отражено.		

9.3.2 Вес импульса датчика объемного расхода в рабочих условиях должен обязательно иметь размерность м³. Параметры температуры и абсолютного давления среды, поступающие на входы задачи, должны иметь указанную в таблице размерность (градусы Цельсия, мегапаскали). Число импульсов за цикл – безразмерный параметр, поступающий с выхода алгоритма числоимпульсного датчика.

9.3.3 Параметры описания концентраций отдельных компонентов нефтяного газа заносятся согласно 9.1.3 - 9.1.4.

9.3.4 Расчет значений приращения расхода и накопление интегрального расхода выполняется согласно 4.2.

9.4 Использование «мощностного» датчика объемного расхода

9.4.1 Задача на основе алгоритма 02F5 «нефтяной газ, мощностной датчик расхода» имеет набор параметров согласно таблице 9.6. Время исполнения задачи 2-3 секунды.

9.4.2 Параметр объемного расхода в рабочих условиях, поступающий на вход задачи, должен обязательно иметь размерность м³/ч. Параметры температуры и абсолютного давления среды, поступающие на входы задачи, должны иметь указанную в таблице размерность (градусы Цельсия, мегапаскали).

9.4.3 Параметры описания концентраций отдельных компонентов нефтяного газа заносятся согласно 9.1.3 - 9.1.4.

9.4.4 Расчет значений мгновенного расхода и накопление интегрального расхода выполняется согласно 4.2.

Таблица 9.6 – параметры алгоритма 02F5

Условное обозначение	Наименование	Примечание
Входные параметры		
G _{дат}	Расход с датчика, м ³ /ч	В рабочих условиях
T _с	Температура, °C	
P _A	Давление абсолютное, Мпа	
	Концентрация метана	см. 9.1.3, 9.1.4
	Концентрация этана	
	Концентрация пропан	
	Концентрация i-бутана	
	Концентрация n-бутана	
	Концентрация i-пентана	
	Концентрация n-пентана	
	Концентрация гексана	
	Концентрация гептана	
	Концентрация кислорода	
	Концентрация азота	
	Концентрация диоксида углерода	
	Концентрация сероводорода	
	Значение влажности	
	Способ задания влажности	
Выходные параметры		
G _V	Текущий расход объемный, м ³ /ч	
G _M	Текущий расход массовый, т/ч	
dG _V	Приращение объемного расхода за цикл, м ³	
dG _M	Приращение массового расхода за цикл, т	
G _{интV}	Интегральный объем, м ³	*)
G _{интM}	Интегральная масса, т	
	Вспомогательный расчетный массив	См. таблицу 9.3
Отказ	Недопустимые условия расчета	

*) Все накапливаемые значения хранятся в виде трех параметров каждое, как описано в 2.1, но для простоты восприятия в таблицах и формулах далее это не отражено.

10 РАСХОД УМЕРЕННО СЖАТОЙ СМЕСИ ГАЗОВ

10.1 Общая характеристика алгоритмов

10.1.1 Алгоритмы этой группы, перечисленные в таблице 10.1, имеющиеся только в модернизированных исполнениях ТЭКОН-19 с версией программного обеспечения не ниже 58, осуществляют расчет и накопление расхода (массового и приведенного к стандартным условиям объемного) умеренно сжатых смесей технически важных газов согласно методике [24] в диапазоне температур 200..400 К при давлениях до 10 МПа. Эта смесь представляет собой сухую многокомпонентную среду, в которой учитывается наличие от 2 до 18 различных составляющих газов, а именно:

- метан, этан, пропан;
- изобутан (i-бутан) и нормальный бутан (n-бутан);
- изопентан (i-пентан) и нормальный пентан (n-пентан);
- гексан, этилен;
- азот, кислород;
- диоксид углерода, оксид углерода;
- аргон, гелий-4;
- сероводород, аммиак.

10.1.2 Измерение расхода возможно как по показаниям датчика перепада давления на сужающем устройстве, так и с использованием датчика объемного расхода (в рабочих условиях). Вспомогательными параметрами являются параметры температуры и давления, характеристики датчика, компонентный состав среды, а для алгоритма 02F6 – характеристики трубопровода и сужающего устройства. Вычисляется и накапливается как массовый расход газа (тонны, т/час), так и его объемный расход в стандартных условиях (м³, м³/час). Вычисление характеристик среды производится в полном соответствии с [24].

Таблица 10.1 – алгоритмы расчета расхода влажного нефтяного газа

Номер алгоритма в БД	Измеряемая среда
02F6	Смесь газов, перепадный метод
02F7	Смесь газов, датчик расхода числоимпульсный
02F8	Смесь газов, датчик расхода мощностной

10.1.3 В каждом из алгоритмов имеется набор параметров для задания концентраций всех 18 перечисленных выше газов. Размерность задания всех концентраций выбирается установкой параметра «способ задания концентрации»:

- =0 мольные проценты;
- =1 объемные проценты;
- =2 массовые проценты.

Автоматический пересчет концентрации, заданной в объемных или массовых процентах, к требующимся для методики [24] мольным процентам про-

изводится по формулам, приведенным в [6]. Сумма концентраций компонентов должна равняться 100% с допустимым отклонением $\pm 1\%$.

10.1.4 Каждая из задач состоит из трех основных частей:

- оценка возможности вычисления;
- вычисление основных параметров среды;
- расчет расхода.

10.1.5 В первой части всех задач производится оценка возможности вычисления параметров смеси проверкой выполнения следующих условий:

- Коды способов задания концентрации являются допустимыми.
- Концентрация любого компонента лежит в пределах от 0 до 100 процентов, а их общая сумма лежит в пределах от 99 до 101 процента.
- Абсолютная температура среды находится в пределах от 200 до 400 К.
- Абсолютное давление лежит в пределах от 0.1 до 10 МПа и не превышает давления начала сжижения отдельных компонентов, вычисляемого согласно указаниям [24].

Если все условия выполняются, вычисления продолжаются. В противном случае выставляется единичное значение выходного битового параметра «отказ алгоритмический», вычисление характеристик среды и расхода не выполняется, текущему значению расхода присваивается нулевое значение.

10.1.6 Далее в соответствии с [24] вычисляются основные характеристики среды, необходимые для расчета расхода при выбранном методе измерения. Плотность среды в рабочих и стандартных условиях, факторы сжимаемости в рабочих и стандартных условиях вычисляются всегда. Значения коэффициента адиабаты и динамической вязкости рассчитываются только при перепадном методе измерения расхода. При вычислении выполняются многократные итерации, поэтому полное время исполнения задачи достаточно велико и составляет 2-4 секунды при перепадном методе, 2-3 секунды при наличии датчиков расхода. Если в процессе вычисления обнаружены недопустимые значения внутренних параметров алгоритма, вычисления аварийно прекращаются с установкой признака «отказ алгоритмический» аналогично 10.1.5.

10.1.7 В последней части задачи вычисляется расход среды согласно выбранному методу измерения и типу используемого датчика. При перепадном методе, а также при «мощностном» датчике расхода, это мгновенные значения массового расхода, выраженные в т/ч, и объемного расхода в стандартных условиях, выраженные в м³/час. При числоимпульсном датчике расхода это приращения массового расхода (тонн) и объемного расхода в нормальных условиях (м³) за цикл счета. Кроме того, во всех задачах накапливается два интегральных значения расхода – массовый и объемный. Принципы вычисления и накопления расходов изложены в соответствующих разделах данного документа. Накапливаемые значения расхода хранятся в виде трех параметров каждое, как

описано в 2.1, но для простоты восприятия «вспомогательный массив накопления» в таблицах не отражен.

10.1.8 Некоторые внутренние параметры любого алгоритма помещены в индексный параметр «вспомогательный расчетный массив», описанный в таблице 10.2. Данные значения могут быть при необходимости использоваться для контроля работы алгоритма.

Таблица 10.2 – распределение промежуточных расчетных величин по элементам индексного параметра «вспомогательный массив расчетных величин»

Индекс	Величина	Примечание
0	Плотность смеси в рабочих условиях, кг/м ³	Во всех алгоритмах 02F6, 02F7, 02F8
1	Фактор сжимаемости в рабочих условиях	
2	Плотность смеси в стандартных условиях, кг/м ³	
3	Фактор сжимаемости в стандартных условиях	
4	Коэффициент сжимаемости	Только при перепадном методе (алгоритм 02F6)
5	Показатель адиабаты в рабочих условиях	
6	Динамическая вязкость в рабочих условиях, мкПа*с	
7	Число Рейнольдса	

10.2 Использование датчика перепада давления на СУ

10.2.1 Задача на основе алгоритма 02F6 «Смесь газов, перепадный метод» имеет набор параметров согласно таблице 10.3. Время исполнения задачи 2-4 секунды.

10.2.2 Параметры настройки характеристик расходомерного узла заносятся аналогично всем остальным алгоритмам учета расхода различных сред с использованием датчика перепада на сужающем устройстве.

10.2.3 Параметры температуры и абсолютного давления среды, вычисленные другими алгоритмами и поступающие на вход задачи, должны иметь указанную в таблице размерность (градусы Цельсия, мегапаскали).

10.2.4 Параметры описания концентраций отдельных компонентов газовой смеси заносятся согласно 10.1.2 - 10.1.3.

10.2.5 Расчет значений мгновенного расхода и накопление интегрального расхода выполняется согласно 3.5.

10.2.6 Кроме указанных в 10.1.5 и 10.1.6 ограничений по допустимым условиям расчета параметров многокомпонентной среды, в задаче проверяются общие ограничения на метод расчета с использованием сужающего устройства, описанные в 3.6.

Таблица 10.3 – параметры алгоритма 02F6

Условное обозначение	Наименование	Примечание
Входные параметры		
dP	Перепад давления, кПа	
T _C	Температура, °C	
P _A	Давление абсолютное, Мпа	
D ₂₀	Диаметр трубопровода при 20°C, мм	
d ₂₀	Диаметр СУ при 20°C, мм	
-	Код материала трубопровода	по таблице 3.3
-	Код материала СУ	
R _Ш	Эквивалентная шероховатость, мм	
-	Условия учета газа	0 стандартные, 1 рабочие
Отбор	Способ отбора	0 фланцевый, 1 угловой, 2 трехрадиусный
P _{СУ}	Межповерочный интервал СУ, лет	1 или 2
	Концентрация метана	см. 10.1.2, 10.1.3
	Концентрация этана	
	Концентрация пропан	
	Концентрация i-бутана	
	Концентрация n-бутана	
	Концентрация i-пентана	
	Концентрация n-пентана	
	Концентрация гексана	
	Концентрация азота	
	Концентрация диоксида углерода	
	Концентрация водорода	
	Концентрация кислорода	
	Концентрация аргона	
	Концентрация оксида углерода	
	Концентрация этилена	
	Концентрация гелия-4	
	Концентрация сероводорода	
	Концентрация аммиака	
	Способ задания концентрации	
Выходные параметры		
G _V	Текущий расход объемный, м ³ /ч	
G _M	Текущий расход массовый, т/ч	
dG _V	Приращение объемного расхода за цикл, м ³	
dG _M	Приращение массового расхода за цикл, т	
G _{интV}	Интегральный объем, м ³	*)
G _{интM}	Интегральная масса, т	
	Вспомогательный расчетный массив	См. таблицу 10.2
Отказ	Недопустимые условия расчета	

*) Все накапливаемые значения хранятся в виде трех параметров каждое, как описано в 2.1, но для простоты восприятия в таблицах и формулах далее это не отражено.

10.3 Использование числоимпульсного датчика объемного расхода

10.3.1 Задача на основе алгоритма 02F7 «смесь газов, числоимпульсный датчик расхода» имеет набор параметров согласно таблице 10.4. Время исполнения задачи 2-3 секунды.

Таблица 10.4 – параметры алгоритма 02F7

Условное обозначение	Наименование	Примечание
Входные параметры		
G _l	Вес импульса датчика, м ³	В рабочих условиях
Нимп	Число импульсов за цикл	
T _c	Температура, °C	
P _A	Давление абсолютное, Мпа	
	Концентрация метана	см. 10.1.2, 10.1.3
	Концентрация этана	
	Концентрация пропан	
	Концентрация i-бутана	
	Концентрация n-бутана	
	Концентрация i-пентана	
	Концентрация n-пентана	
	Концентрация гексана	
	Концентрация азота	
	Концентрация диоксида углерода	
	Концентрация водорода	
	Концентрация кислорода	
	Концентрация аргона	
	Концентрация оксида углерода	
	Концентрация этилена	
	Концентрация гелия-4	
	Концентрация сероводорода	
	Концентрация аммиака	
	Способ задания концентрации	
Выходные параметры		
dG _V	Приращение объемного расхода за цикл, м ³	
dG _M	Приращение массового расхода за цикл, т	
G _{интV}	Интегральный объем, м ³	*)
G _{интM}	Интегральная масса, т	
	Вспомогательный расчетный массив	См. таблицу 10.2
Отказ	Недопустимые условия расчета	
*) Все накапливаемые значения хранятся в виде трех параметров каждое, как описано в 2.1, но для простоты восприятия в таблицах и формулах далее это не отражено.		

10.3.2 Вес импульса датчика объемного расхода в рабочих условиях должен обязательно иметь размерность м³. Параметры температуры и абсолютного давления среды, поступающие на входы задачи, должны иметь указанную в таблице размерность (градусы Цельсия, мегапаскали). Число импульсов за цикл – безразмерный параметр, поступающий с выхода алгоритма числоимпульсного датчика.

10.3.3 Параметры описания концентраций отдельных компонентов смеси газов заносятся согласно 10.1.2 - 10.1.3.

10.3.4 Расчет значений приращения расхода и накопление интегрального расхода выполняется согласно 4.2.

10.4 Использование «мощностного» датчика объемного расхода

10.4.1 Задача на основе алгоритма 02F8 «смесь газов, мощностной датчик расхода» имеет набор параметров согласно таблице 10.5. Время исполнения задачи 2-3 секунды.

10.4.2 Параметр объемного расхода в рабочих условиях, поступающий на вход задачи, должен обязательно иметь размерность м³/ч. Параметры температуры и абсолютного давления среды, поступающие на входы задачи, должны иметь указанную в таблице размерность (градусы Цельсия, мегапаскали).

10.4.3 Параметры описания концентраций отдельных компонентов нефтяного газа заносятся согласно 10.1.2 - 10.1.3.

10.4.4 Расчет значений мгновенного расхода и накопление интегрального расхода выполняется согласно 4.2.

Таблица 10.5 – параметры алгоритма 02F5

Условное обозначение	Наименование	Примечание
Входные параметры		
G _{дат}	Расход с датчика, м ³ /ч	В рабочих условиях
T _с	Температура, °С	
P _А	Давление абсолютное, Мпа	
	Концентрация метана	см. 10.1.2, 10.1.3
	Концентрация этана	
	Концентрация пропан	
	Концентрация i-бутана	
	Концентрация n-бутана	
	Концентрация i-пентана	
	Концентрация n-пентана	
	Концентрация гексана	
	Концентрация азота	
	Концентрация диоксида углерода	
	Концентрация водорода	
	Концентрация кислорода	
	Концентрация аргона	
	Концентрация оксида углерода	
	Концентрация этилена	
	Концентрация гелия-4	
	Концентрация сероводорода	
	Концентрация аммиака	
	Способ задания концентрации	

Продолжение таблицы 10.5

Условное обозначение	Наименование	Примечание
Выходные параметры		
G_V	Текущий расход объемный, м ³ /ч	
G_M	Текущий расход массовый, т/ч	
dG_V	Приращение объемного расхода за цикл, м ³	
dG_M	Приращение массового расхода за цикл, т	
$G_{интV}$	Интегральный объем, м ³	*)
$G_{интM}$	Интегральная масса, т	
	Вспомогательный расчетный массив	См. таблицу 10.2
Отказ	Недопустимые условия расчета	
<p>*) Все накапливаемые значения хранятся в виде трех параметров каждое, как описано в 2.1, но для простоты восприятия в таблицах и формулах далее это не отражено.</p>		

11 РАСХОД ЧИСТЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ГАЗОВ

11.1 Общая характеристика алгоритмов

11.1.1 Начиная с версии программного обеспечения 58 модернизированного исполнения ТЭКОН-19, список алгоритмов расчета расхода чистых технических газов значительно пополнен. Введена возможность расчета расхода следующих газов:

- Азот;
- Водород;
- Аргон;
- Ацетилен;
- Аммиак;
- Обновлены алгоритмы для кислорода и диоксида углерода.

11.1.2 Алгоритмы, перечисленные в таблице 11.1, осуществляют расчет и накопление расхода (массового и приведенного к стандартным условиям объемного) указанных газов согласно методике [25] в диапазоне температур 200..425 К при давлениях до 10 МПа. Расчеты проводятся только в газовой и флюидной фазах (флюид – состояние вещества при сверхкритических температурах и давлениях). Исключение составляет аммиак, который может рассчитываться и в жидкой фазе.

Измерение расхода возможно как по показаниям датчика перепада давления на сужающем устройстве, так и с использованием датчика объемного расхода (в рабочих условиях). Вспомогательными параметрами являются параметры температуры и давления, характеристики датчика, компонентный состав среды, а для алгоритма с датчиком перепада – характеристики трубопровода и сужающего устройства. Кроме того, введен дополнительный параметр настройки для вычисления массового расхода либо в тоннах, либо в килограммах. Вычисляется и накапливается как массовый расход газа (тонны, т/час), так и его объемный расход в стандартных условиях (м³, м³/час). Вычисление характеристик газов производится в полном соответствии с [25].

11.1.3 Обновленные алгоритмы расчета расхода диоксида углерода обеспечивают более высокую точность вычисления и значительно более широкий диапазон по температуре и давлению. Обновленные алгоритмы расчета расхода кислорода также обеспечивают более высокую точность вычислений. В связи с этим задачи на основе ранее описанных алгоритмов в новых разработках применять не рекомендуется.

11.1.4 Структура алгоритмов и наборы параметров для всех газов одинаковы. Исключение составляют алгоритмы расчета расхода аммиака, где в число выходных параметров включен дополнительный битовый параметр «состояние среды». Он принимает значение «0», если при данных условиях аммиак газообразный, и значение «1», если аммиак является жидкостью. Расчет расхода аммиака возможен в том числе и в жидкой фазе.

Таблица 11.1 – алгоритмы расчета расхода чистых технических газов

Номер алгоритма в БД	Измеряемая среда	Примечание
Перепадный метод		
0800	Азот	
0801	Аргон	
0802	Водород	
0803	Ацетилен	
0804	Аммиак	См. 11.1.4
0805	Диоксид углерода	См. 11.1.3
0806	Кислород	См. 11.1.3
Датчик расхода числоимпульсный		
0810	Азот	
0811	Аргон	
0812	Водород	
0813	Ацетилен	
0814	Аммиак	См. 11.1.4
0815	Диоксид углерода	См. 11.1.3
0816	Кислород	См. 11.1.3
Датчик расхода мощностной		
0810	Азот	
0811	Аргон	
0812	Водород	
0813	Ацетилен	
0814	Аммиак	См. 11.1.4
0815	Диоксид углерода	См. 11.1.3
0816	Кислород	См. 11.1.3

11.1.5 Каждая из задач состоит из трех основных частей:

- оценка возможности вычисления;
- вычисление основных параметров среды;
- расчет расхода.

11.1.6 В первой части всех задач производится оценка возможности вычисления параметров газа проверкой выполнения следующих условий:

- Абсолютная температура любой среды, кроме азота, находится в пределах от 200 (диоксид углерода – от 220К) до 425 К.
- Абсолютное давление лежит в пределах от 0.1 до 10 МПа и для любого газа, кроме аммиака, не превышает давления насыщения, вычисляемого согласно указаниям [25].

ПРИМЕЧАНИЕ: расчет характеристик азота выполнен по методике [26] ГСССД МР 122-06, имеющей значительно более широкий диапазон температур и давлений, однако сертификация алгоритма проведена только в диапазоне от 200 до 425 К.

Если все условия выполняются, вычисления продолжаются. В противном случае выставляется единичное значение выходного битового параметра «отказ»

алгоритмический», вычисление характеристик среды и расхода не выполняется, текущему значению расхода присваивается нулевое значение.

11.1.7 Далее в соответствии с [25] вычисляются основные характеристики среды, необходимые для расчета расхода при выбранном методе измерения. Плотность среды в рабочих и стандартных условиях, факторы сжимаемости в рабочих и стандартных условиях вычисляются всегда. Значения коэффициента адиабаты и динамической вязкости рассчитываются только при перепадном методе измерения расхода. Время исполнения не превышает десятых долей секунды. Если в процессе вычисления обнаружены недопустимые значения внутренних параметров алгоритма, вычисления аварийно прекращаются с установкой признака «отказ алгоритмический» аналогично 11.1.6.

11.1.8 В последней части задачи вычисляется расход среды согласно выбранному методу измерения и типу используемого датчика. При перепадном методе, а также при «мощностном» датчике расхода, это мгновенные значения массового расхода, выраженные в т/ч или кг/ч, и объемного расхода в стандартных условиях, выраженные в м³/час. При числоимпульсном датчике расхода это приращения массового расхода (тонн или кг) и объемного расхода в нормальных условиях (м³) за цикл счета. Кроме того, во всех задачах накапливается два интегральных значения расхода – массовый и объемный. Принципы вычисления и накопления расходов изложены в соответствующих разделах данного документа. Накапливаемые значения расхода хранятся в виде трех параметров каждое, как описано в 2.1, но для простоты восприятия «вспомогательный массив накопления» в таблицах не отражен.

11.1.9 Некоторые внутренние параметры любого алгоритма помещены в индексный параметр «вспомогательный расчетный массив», аналогичный описанному в предыдущем разделе в таблице 10.2. Данные значения могут быть при необходимости использоваться для контроля работы алгоритма.

11.2 Использование датчика перепада давления на СУ

11.2.1 Задачи на основе алгоритмов 0800-0806 рассчитывают расход газа согласно таблице 11.1 и имеют набор параметров согласно таблице 11.2. Время исполнения задачи – десятые доли секунды.

11.2.2 Параметры настройки характеристик расходомерного узла заносятся аналогично всем остальным алгоритмам учета расхода различных сред с использованием датчика перепада на сужающем устройстве.

10.2.3 Параметры температуры и абсолютного давления среды, вычисленные другими алгоритмами и поступающие на вход задачи, должны иметь указанную в таблице размерность (градусы Цельсия, мегапаскалы).

10.2.4 Параметр размерности массового расхода (кг или тонны) заносится по желанию пользователя в зависимости от ожидаемых расходов.

10.2.5 Расчет значений мгновенного расхода и накопление интегрального расхода выполняется согласно 3.5.

10.2.6 Кроме указанных в 11.1.6 и 11.1.7 ограничений по допустимым условиям расчета параметров газа, в задаче проверяются общие ограничения на метод расчета с использованием сужающего устройства, описанные в 3.6.

Таблица 11.2 – параметры алгоритмов 0800 - 0806

Условное обозначение	Наименование	Примечание
Входные параметры		
dP	Перепад давления, кПа	
T _C	Температура, °C	
P _A	Давление абсолютное, Мпа	
D ₂₀	Диаметр трубопровода при 20°C, мм	
d ₂₀	Диаметр СУ при 20°C, мм	
-	Код материала трубопровода	по таблице 3.3
-	Код материала СУ	
R _Ш	Эквивалентная шероховатость, мм	
-	Условия учета газа	0 стандартные, 1 рабочие
Отбор	Способ отбора	0 фланцевый, 1 угловой, 2 трехрадиусный
P _{СУ}	Межповерочный интервал СУ, лет	1 или 2
	Массовый расход т\кг (0\1)	
Выходные параметры		
G _V	Текущий расход объемный, м ³ /ч	
G _M	Текущий расход массовый, т/ч (кг\ч)	
dG _V	Приращение объемного расхода за цикл, м ³	
dG _M	Приращение массового расхода за цикл, т (кг)	
G _{интV}	Интегральный объем, м ³	*)
G _{интM}	Интегральная масса, тонн (кг)	
	Вспомогательный расчетный массив	См. таблицу 10.2
Отказ	Недопустимые условия расчета	
	Состояние газ\жидкость 0\1	Только для аммиака
*) Все накапливаемые значения хранятся в виде трех параметров каждое, как описано в 2.1, но для простоты восприятия в таблицах и формулах далее это не отражено.		

11.3 Использование числоимпульсного датчика объемного расхода

11.3.1 Задачи на основе алгоритмов 0810-0816 рассчитывают расход газа согласно таблице 11.1 и имеют набор параметров согласно таблице 11.3. Время исполнения задачи – десятые доли секунды.

11.3.2 Вес импульса датчика объемного расхода в рабочих условиях должен обязательно иметь размерность м³. Параметры температуры и абсолютного давления среды, поступающие на входы задачи, должны иметь указанную в

таблице размерность (градусы Цельсия, мегапаскали). Число импульсов за цикл – безразмерный параметр, поступающий с выхода алгоритма числоимпульсного датчика

11.3.3 Параметр размерности массового расхода (кг или тонны) заносится по желанию пользователя в зависимости от ожидаемых расходов.

11.3.4 Расчет значений приращения расхода и накопление интегрального расхода выполняется согласно 4.2.

Таблица 11.3 – параметры алгоритмов 0810 - 816

Условное обозначение	Наименование	Примечание
Входные параметры		
G1	Вес импульса датчика, м3	В рабочих условиях
Нимп	Число импульсов за цикл	
T _C	Температура, °C	
P _A	Давление абсолютное, МПа	
	Массовый расход т\кг (0\1)	
Выходные параметры		
dG _V	Приращение объемного расхода за цикл, м ³	
dG _M	Приращение массового расхода за цикл, т (кг)	
G _{интV}	Интегральный объем, м ³	*)
G _{интM}	Интегральная масса, т (кг)	
	Вспомогательный расчетный массив	См. таблицу 10.2
Отказ	Недопустимые условия расчета	
	Состояние газ\жидкость 0\1	Только для аммиака
*) Все накапливаемые значения хранятся в виде трех параметров каждое, как описано в 2.1, но для простоты восприятия в таблицах и формулах далее это не отражено.		

11.4 Использование «мощностного» датчика объемного расхода

11.4.1 Задачи на основе алгоритмов 0820 - 826 рассчитывают расход газа согласно таблице 11.1 и имеют набор параметров согласно таблице 11.4. Время исполнения задачи – десятые доли секунды.

11.4.2 Параметр объемного расхода в рабочих условиях, поступающий на вход задачи, должен обязательно иметь размерность м3/ч. Параметры температуры и абсолютного давления среды, поступающие на входы задачи, должны иметь указанную в таблице размерность (градусы Цельсия, мегапаскали).

11.4.3 Параметр размерности массового расхода (кг или тонны) заносится по желанию пользователя в зависимости от ожидаемых расходов.

11.4.4 Расчет значений мгновенного расхода и накопление интегрального расхода выполняется согласно 4.2.

Таблица 11.4 – параметры алгоритмов 0820 - 0826

Условное обозначение	Наименование	Примечание
Входные параметры		
G _{дат}	Расход с датчика, м ³ /ч	В рабочих условиях
T _С	Температура, °С	
P _A	Давление абсолютное, МПа	
	Массовый расход т\кг (0\1)	
Выходные параметры		
G _V	Текущий расход объемный, м ³ /ч	
G _M	Текущий расход массовый, т/ч (кг/ч)	
dG _V	Приращение объемного расхода за цикл, м ³	
dG _M	Приращение массового расхода за цикл, т (кг)	
G _{интV}	Интегральный объем, м ³	*)
G _{интM}	Интегральная масса, т (кг)	
	Вспомогательный расчетный массив	См. таблицу 10.2
Отказ	Недопустимые условия расчета	
	Состояние газ\жидкость 0\1	Только для аммиака
*) Все накапливаемые значения хранятся в виде трех параметров каждое, как описано в 2.1, но для простоты восприятия в таблицах и формулах далее это не отражено.		

12 РАСЧЕТ РАСХОДА С ПРИМЕНЕНИЕМ ТРУБКИ ANNUBAR 485

12.1 Алгоритмы расчета расхода с использованием сигналов перепада давления с осредняющих трубок Annubar 485 выполняют расчет мгновенных значений расхода в единицах объема ($\text{м}^3/\text{ч}$) и массы ($\text{т}/\text{ч}$), приведенных к часу, и общих накопленных значений этих расходов (м^3 , т). Расчет ведется согласно требованиям методики МИ 2667-2004 [27].

12.2 Полный список алгоритмов расчета расхода с применением осредняющих трубок Annubar 485, имеющийся в базе данных модернизированных исполнений ТЭКОН-19, приведен в таблице 12.1; перечень их входных и выходных параметров - в таблице 12.2.

Таблица 12.1 – алгоритмы расчета расхода с трубкой Annubar 485

Номер алгоритма по БД ^{*)}	Измеряемая среда
0830	Вода
0831	Пар перегретый
0832, 0854	Пар насыщенный
0833	Газ природный сухой

Таблица 12.2 – параметры алгоритмов расчета расхода с трубкой Annubar 485

Условное обозначение	Наименование	Применение в алгоритмах
Входные параметры		
dP	Перепад давления, кПа	Во всех
T _C	Температура, °С	-“-
P _A	Давление абсолютное, Мпа	-“-
D ₂₀	Диаметр трубопровода при 20°С, мм	-“-
d ₂₀	Ширина трубки при 20°С, мм	-“-
-	Код материала трубопровода по таблице 3.3	-“-
-	Код материала трубки по таблице 3.3	-“-
-	Типоразмер трубки	-“-
-	Условия учета газа (0 стандартные, 1 рабочие)	0833
S	Степень сухости пара, кг/кг	0854
ρ _C	Плотность в стандартных условиях, кг/м ³	0833
X _{УП}	Содержание СО ₂ в газе, мольных %	0833
X _{АП}	Содержание азота в газе, мольных %	0833
Выходные параметры		
G _V	Текущий расход объемный, м ³ /ч	Во всех
G _M	Текущий расход массовый, т/ч	Кроме 0833
dG _V	Приращение объемного расхода за цикл, м ³	Во всех
dG _M	Приращение массового расхода за цикл, т	Кроме 0833
G _{интV}	Интегральный объем, м ³	Во всех ^{*)}
G _{интM}	Интегральная масса, т	Кроме 0833 ^{*)}
K _{CЖ}	Коэффициент сжимаемости газа	0833
Отказ	Недопустимые условия расчета	Во всех

^{*)} Все накапливаемые значения хранятся в виде трех параметров каждое, как описано в 2.1, но для простоты восприятия в таблицах и формулах далее это не отражено.

12.3 Допускается применение только осредняющих трубок Annubar 485 типоразмеров 1, 2, 3. Типоразмер указывается при настройке алгоритма. Номинальная ширина трубки данного типоразмера для справки приведена в таблице 12.3, ее также требуется занести на этапе настройки.

Таблица 12.3 – характеристики трубок Annubar 485 (справочно)

Типоразмер	Номинальная ширина, мм	Минимальное число Рейнольдса
1	14.986	6500
2	26.924	12500
3	48.768	25000

12.4 Набор входных и выходных параметров практически аналогичен алгоритмам соответствующих сред для метода переменного перепада, описанным в разделе 3.

12.5 Диаметр трубопровода «D», мм, и ширина трубки «d», мм, при рабочей температуре «Tс» определяются по формуле 3.1 аналогично диаметрам трубопровода и сужающего устройства в методе переменного перепада. Коды материалов задаются по таблице 3.3. Степень перекрытия поперечного сечения трубопровода рассчитывается по формуле:

$$\beta = 4*d/(\pi*D). \quad (12.1)$$

Здесь «π» - отношение длины окружности к ее диаметру.

12.6 Характеристики среды при рабочей температуре рассчитываются по соответствующим формулам раздела 3. К характеристикам относятся:

- плотность в рабочих условиях «ρ», кг/м³ (в том числе для природного газа по формуле 4.5);
- динамическая вязкость «μ», мкПа*с;
- для пара и природного газа – коэффициент адиабаты «к»;
- для природного газа – коэффициент сжимаемости K_{СЖ} методом GERG-91.

12.7 Безразмерный коэффициент расхода «α» рассчитывается по формуле:

$$\alpha = (1 - C_2*\beta)/\sqrt{1 - C_1*(1 - C_2*\beta)^2}, \quad (12.2)$$

где коэффициенты C₁ и C₂ приведены в таблице 12.4.

Таблица 12.4

Коэффициент	Типоразмер		
	1	2	3
C1	-1.515	-1.492	-1.5856
C2	1.4229	1.4179	1.3318

12.8 Безразмерный коэффициент расширения для пара и газа «ε» вычисляется по формуле:

$$\varepsilon = 1 - ((1 - \beta)^2 * 0.31424 - 0.09484) * (dP/P_A * \kappa * 1000). \quad (12.3)$$

Сомножитель «1000» введен в формулу для согласования единиц измерения перепада давления (кПа) и абсолютного давления (МПа). Для воды параметр «ε» не используется, но для общности принят равным единице.

12.9 Массовый расход любой среды G_{Re} , кг/с, определяется по приведенным в [27] выражениям с учетом принятых в данном случае единиц измерения параметров, по формуле:

$$G_{Re} = 3.51241 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha \cdot \varepsilon \cdot D^2 \cdot \sqrt{dP \cdot \rho}. \quad (12.4)$$

12.10 Число Рейнольдса Re для трубки Annubar с учетом принятых единиц измерения определяют по формуле:

$$Re = 1.27324 \cdot 10^6 \cdot d \cdot G_{Re} \cdot 1000 / (D^2 \cdot \mu). \quad (12.5)$$

12.11 Мгновенный массовый расход воды и пара G_m , т/ч, определяется по формуле:

$$G_m = 3.6 \cdot G_{Re}. \quad (12.6)$$

Массовый расход природного газа не вычисляется.

12.12 Мгновенный объемный расход любой среды G_v , м³/ч, определяется по формулам:

- Для природного газа в стандартных условиях:

$$G_v = 3600 \cdot G_{Re} / \rho_c. \quad (12.7)$$

- Для природного газа в рабочих условиях, воды и пара:

$$G_v = 3600 \cdot G_{Re} / \rho. \quad (12.8)$$

12.13 Определение приращения расхода на цикле и его общее интегрирование происходит по формулам (3.112) – (3.115).

12.14 Производится контроль границ применения метода и формирование выходного битового параметра «Отказ алгоритмический по недопустимым условиям». Этот признак равен «0», если одновременно выполняются следующие условия, и «1» при нарушении любого из них:

- Диаметр трубопровода задан в пределах от 50 до 3000 мм.
- Тип трубки задан в пределах от 1 до 3.
- Температура среды лежит в пределах, указанных в 3.6.5.
- Число Рейнольдса не менее указанного в таблице 12.3.
- Перепад давления на трубке не менее указанного в таблице 12.5.

Таблица 12.5

Среда	dPmin, кПа
Вода	0.0623
Пар, перегретый и насыщенный	0.497
Природный газ	0.0249

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОЧНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 8.586.1-2005.
Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 1. Принцип метода измерений и общие требования.
2. ГОСТ 8.586.2-2005.
Измерение расхода и количества жидкостей и газов методом с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 2. Диафрагмы. Технические требования.
3. ГОСТ 8.586.5-2005.
Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 5. Методика выполнения измерений.
4. ГОСТ 30319.0-96
Газ природный. Методы расчета физических свойств. Общие положения.
5. ГОСТ 30319.1-96
Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение физических свойств природного газа, его компонентов и продуктов его переработки.
6. ГОСТ 30319.2-96
Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение коэффициента сжимаемости.
7. ГОСТ 30319.3-96
Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение физических свойств по уравнению состояния.
8. ПР 50.2.019-2006
ГСИ. Количество природного газа. Методика выполнения измерений с помощью турбинных или ротационных счетчиков.
9. МИ 2412-97
ГСИ. Рекомендация. Водяные системы теплоснабжения. Уравнения измерений тепловой энергии и количества теплоносителя.
10. МИ 2451-98
ГСИ. Рекомендация. Паровые системы теплоснабжения. Уравнения измерений тепловой энергии и количества теплоносителя.
11. ГСССД 187-89
Вода. Удельный объем и энтальпия при температурах 0 – 1000 градусов и давлениях 0.001 – 1000 МПа.
12. ГОСТ Р 8.625-2006
Термометры сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний.
13. ГОСТ Р 8.585-2001
Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования.
14. ГСССД 96-86
Диоксид углерода жидкий и газообразный. Плотность, фактор сжимаемости, энтальпия, энтропия, изобарная теплоемкость, скорость звука и коэффициент объемного расширения при температурах 220...1300 К и давлениях 0,1...100 МПа.
15. ГСССД 110-87
Диоксид углерода. Коэффициенты динамической вязкости и теплопроводности при температурах 220...1000 К и давлениях от соответствующих разреженному газу до 100 МПа.

16. ГСССД 19-81

Кислород жидкий и газообразный. Плотность, энтальпия, энтропия и изобарная теплоемкость при температурах 70...1000 К и давлениях 0.1...100 МПа.

17. ГСССД 8-79

Воздух жидкий и газообразный. Плотность, энтальпия, энтропия и изобарная теплоемкость при температурах 70...1500 К и давлениях 0,1...100 МПа.

18. ГСССД 109-87

Воздух сухой. Коэффициенты динамической вязкости и теплопроводности при температурах 150...1000 К и давлениях от соответствующих разреженному газу до 100 МПа.

19. T10.06.60 РЭ Преобразователь расчетно-измерительный ТЭКОН-19. Руководство по эксплуатации. Редакция 50.02. ООО ИВП «КРЕЙТ», г. Екатеринбург, 2009 г.

20. МИ 3173-2008

ГСИ. Рекомендация. Расход и количество жидкостей и газов. Методика выполнения измерений с помощью осредняющих напорных трубок TORBAR.

21. ФР.1.29.2003.00885

ГСИ. Рекомендация. Расход и количество газа. Методика выполнения измерений расходомерами газа вихревыми.

ВНИИР Госстандарта России, г. Казань, 2003 г.

22. ИРВС 9102.0000.00 РЭ Преобразователи расхода вихревые ИРВИС-К-300. Руководство по эксплуатации. г. Казань, 2005 г.

23. ГСССД МР 113-03

Определение плотности, фактора сжимаемости, показателя адиабаты и коэффициента динамической вязкости влажного нефтяного газа в диапазоне температур 265...500 К при давлениях до 15 МПа.

24. ГСССД МР 118-05

Расчет плотности, фактора сжимаемости, показателя адиабаты и коэффициента динамической вязкости умеренно сжатых газовых смесей.

25. ГСССД МР 134-07

Расчет плотности, фактора сжимаемости, показателя адиабаты и коэффициента динамической вязкости азота, ацетилена, кислорода, диоксида углерода, аммиака, аргона и водорода в диапазоне температур 200 ... 425 К и давлений до 10 МПа.

26. ГСССД МР 122-06

Расчет основных термодинамических свойств и коэффициентов динамической вязкости и теплопроводности азота в диапазоне температур 70 ... 1500 К при давлениях до 100 МПа.

27. МИ 2667-2004

ГСИ. Рекомендация. Расход и количество жидкостей и газов. Методика выполнения измерений с помощью осредняющих трубок «ANNUBAR DIAMOND II+» и «ANNUBAR 485».

Основные положения.

По вопросам продаж и поддержки обращайтесь:

Архангельск (8182)63-90-72
Астана +7(7172)727-132
Белгород (4722)40-23-64
Брянск (4832)59-03-52
Владивосток (423)249-28-31
Волгоград (844)278-03-48
Вологда (8172)26-41-59
Воронеж (473)204-51-73
Екатеринбург (343)384-55-89
Иваново (4932)77-34-06
Ижевск (3412)26-03-58
Казань (843)206-01-48

Калининград (4012)72-03-81
Калуга (4842)92-23-67
Кемерово (3842)65-04-62
Киров (8332)68-02-04
Краснодар (861)203-40-90
Красноярск (391)204-63-61
Курск (4712)77-13-04
Липецк (4742)52-20-81
Магнитогорск (3519)55-03-13
Москва (495)268-04-70
Мурманск (8152)59-64-93
Набережные Челны (8552)20-53-41

Нижний Новгород (831)429-08-12
Новокузнецк (3843)20-46-81
Новосибирск (383)227-86-73
Орел (4862)44-53-42
Оренбург (3532)37-68-04
Пенза (8412)22-31-16
Пермь (342)205-81-47
Ростов-на-Дону (863)308-18-15
Рязань (4912)46-61-64
Самара (846)206-03-16
Санкт-Петербург (812)309-46-40
Саратов (845)249-38-78

Смоленск (4812)29-41-54
Сочи (862)225-72-31
Ставрополь (8652)20-65-13
Тверь (4822)63-31-35
Томск (3822)98-41-53
Тула (4872)74-02-29
Тюмень (3452)66-21-18
Ульяновск (8422)24-23-59
Уфа (347)229-48-12
Челябинск (351)202-03-61
Череповец (8202)49-02-64
Ярославль (4852)69-52-93