ОРГРЭС — ЭНЕРГЕТИКАМ

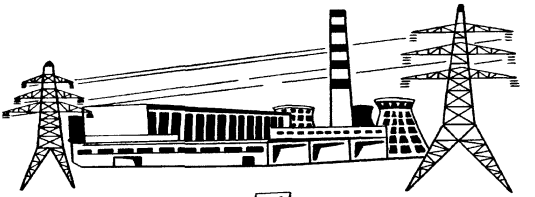
РОССИЙСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО ЭНЕРГЕТИКИ
И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ «ЕЭС РОССИИ»

ДЕПАРТАМЕНТ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ И РАЗВИТИЯ

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО РАСЧЕТУ И ПРИМЕНЕНИЮ СПЕЦИАЛЬНЫХ СУЖАЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА МАЗУТА НА ТЭС

РД 153-34.1-11.354-2001



Москва СПО ОРГРЭС 2002

gost.e-ecolog.ru

РОССИЙСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ «ЕЭС РОССИИ»

ДЕПАРТАМЕНТ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ И РАЗВИТИЯ

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ И ПРИМЕНЕНИЮ СПЕЦИАЛЬНЫХ СУЖАЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА МАЗУТА НА ТЭС

РД 153-34.1-11.354-2001

СЛУЖБА ПЕРЕДОВОГО ОПЫТА ОРГРЭС

Москва 2002

Разработано Открытым акционерным обществом «Предприятие по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электростанций и сетей «УралОРГРЭС»

Исполнители Т. АМИНДЖАНОВ, П.Ф. ЗАРОДОВ, Т.К. ЗАРИПОВА

Утверждено Департаментом научно-технической политики и развития РАО «ЕЭС России» 12.11.2001 г.

Первый заместитель начальника А.П. ЛИВИНСКИЙ

РД издан по лицензионному договору с РАО «ЕЭС России».

Срок первой проверки настоящего РД – 2006 г.,

периодичность проверки – один раз в 5 лет.

Ключевые слова: расчет, специальные сужающие устройства, расход, плотность и вязкость мазута, погрешность измерения, геометрические характеристики.

© СПО ОРГРЭС, 2002

УДК 621.311

Рекомендации по расчету и применению специальных сужающих устройств для измерения расхода мазута на ТЭС	РД 153-34.1-11.354-2001 Введено впервые

Дата введения 2002 – 10 – 01
год – месяц – число

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Основной целью разработки «Рекомендаций по расчету и применению специальных сужающих устройств для измерения расхода мазута на ТЭС» (далее – Рекомендации) является создание документа, позволяющего персоналу метрологических служб оперативно производить расчет специальных сужающих устройств (ССУ) по исходным данным, полученным от технологических подразделений, а также их изготовление и поверку (калибровку) в условиях ТЭС.

1.2 Настоящие Рекомендации распространяются на методики выполнения измерений расхода мазута с применением ССУ.

1.3 Рекомендации содержат примеры расчетов ССУ, пересчет плотности и вязкости мазута от одной температуры к другой, формы выпускного аттестата и акта ревизии (установки) ССУ, а также рабочие чертежи расходомерных узлов на низкое и высокое давление мазута.

1.4 Рекомендации предназначены для применения:

– персоналом ТЭС при организации внедрения МВИ расхода мазута с применением ССУ;

– персоналом проектных организаций при проектировании схем контроля и управления вновь строящихся и реконструируемых ТЭС.

Издание официальное

Настоящий РД не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен без разрешения организации – разработчика

2 РАСЧЕТ ССУ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ РАСХОДОМЕРНЫХ УЗЛОВ

2.1 В соответствии с РД 50.411-83 [5] к ССУ относятся:
– диафрагмы с коническим входом;
– сопла «четверть круга»;
– цилиндрические сопла;
– двойные диафрагмы;
– сегментные диафрагмы;
– износоустойчивые диафрагмы.

2.2 В процессе выполнения расчета ССУ определяются геометрические характеристики, производится проверка правильности выполнения расчетов и определяется погрешность измерения расхода мазута.

2.3 Геометрические характеристики ССУ, кольцевых камер, разделительных сосудов и их установка должны обеспечиваться в соответствии с требованиями РД 50.411-83 [5], ГОСТ 8.563.1-97 [1], ГОСТ 8.563.2-97 [2] и ТУ 25.7439.0018-90.

2.4 Примеры расчета ССУ, выполненные в соответствии с РД 50.411-83 [5], приведены в приложениях А-Е.

2.5 В приложениях Ж и И приведены рабочие чертежи ССУ с угловым способом отбора перепада давления, выполненные на основании расчетов (см. приложения А, Е) для низкого и высокого давления мазута.

2.5.1 Геометрические характеристики для каждого типа ССУ индивидуальны и порядок их определения приведен в РД 50.411-83.

2.5.2 Геометрические характеристики кольцевых камер определяются по ГОСТ 8.563.1.

2.5.3 Выбор фланцевых соединений производится по ГОСТ 12820 в зависимости от параметров мазута. Материал фланцев выбирается по ГОСТ 1050.

2.5.4 Измерительные трубопроводы (патрубки) выбираются по ГОСТ 8732. Материал трубопровода выбирается по ГОСТ 8731.

2.5.5 Крепежные детали – стандартные.

2.6 Проверка правильности выполнения расчета ССУ определяется с допускаемым отклонением $\pm 0{,}2\%$ верхнего предела измерения расхода.

2.7 Норма погрешности измерений расхода мазута установлена РД 34.11.321-96 [7]. В случае, если погрешность расходомерного устройства превышает нормы погрешности измерений, должна быть проведена реконструкция расходомерного устройства путем: применения других типов ССУ, применения СИ более высокого класса точности, совмещения обоих способов, указанных выше.

2.8 Условные обозначения и расчетные формулы в Рекомендациях соответствуют РД 50.411-83, за исключением расчета поправочных коэффициентов K_T и K_o на изменения диаметров ИТ и ССУ, вызванные отклонением температуры мазута от нормальной. Расчеты K_t и K_o выполнены по ГОСТ 8.563.1 -97.

2.9 Измерения температуры и давления мазута должны выполняться в соответствии с требованиями РД 50.411-83, ГОСТ 8.563.1-97 и соответствующих МВИ.

2.10 Плотность и вязкость мазута должны быть определены в соответствии с требованиями ГОСТ 3900-85 [3], ГОСТ 33-82 [4] и РД 34.09.114-92 [14]. Примеры пересчета плотности и вязкости мазута от одной температуры к другой приведены в приложениях К и Л.

2.11 Форма выпускного аттестата (диафрагма с коническим входом) приведена в приложении М.

2.12 Измерение геометрических характеристик ИТ и ССУ, монтажные и демонтажные работы, составление акта ревизии производятся подразделением, эксплуатирующим данное оборудование, совместно с представителями метрологической службы энергопредприятия. Форма акта ревизии (установки) ССУ приведена в приложении Н.

2.13 Поверка (калибровка) ССУ и проверка ИТ производятся в соответствии с требованиями РД 50.411-83, ГОСТ 8.563.1-97.

3 РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА МАЗУТА

3.1 Расчет СКО погрешности измерения расхода мазута (σ) без учета внешних влияющих факторов (ВВФ) (температура окружающей среды, напряжение питания СИ и др.) проводят по формуле (5.2) [5]. Примеры расчета приведены в приложениях А, В-Е.

3.2 Расчет СКО погрешности измерения расхода мазута с учетом ВВФ в условиях эксплуатации проводят по формуле

$$\sigma_Q = \sqrt{\sigma_\alpha^2+\sigma_\varepsilon^2+4\left(\frac{m}{\alpha}\cdot\frac{d\alpha}{dm}+1\right)^2\sigma_{d20}^2+4\left(\frac{m}{\alpha}\cdot\frac{d\alpha}{dm}\right)^2\sigma_{D20}^2+0{,}25\sigma_\rho^2+\sigma_{\sqrt{\Delta\rho}}^2+\sigma_{оп}^2+\sigma_{рс}^2+\sum_{i=1}^{n}\sigma_{\xi_i}^2}\ , \quad (1)$$

где σ_α – средняя квадратическая относительная погрешность коэффициента расхода, %, по п. 5.2.1 [5];

σ_ε – средняя квадратическая относительная погрешность на расширение измеряемой среды; $\sigma_\varepsilon = 0$ для мазута;

m – относительная площадь ССУ;

α – коэффициент расхода ССУ по п. 3.2 [5];

$\frac{d\alpha}{dm}$ – первая производная функции $\alpha = f(m)$, приложение 1 [5];

σ_{d20} – средняя квадратическая относительная погрешность определения диаметра отверстия сужающего устройства, %, по п. 6.1.5 [5];

σ_{D20} – средняя квадратическая относительная погрешность определения диаметра трубопровода, %, по п. 6.1.5 [5];

σ_ρ – средняя квадратическая относительная погрешность определения плотности, %, по п. 5.2.5 [5];

$\sigma_{\sqrt{\Delta\rho}}$ – средняя квадратическая относительная погрешность измерения перепада давления на ССУ,%, по п. 3.3 [5];

$\sigma_{оп}$ – средняя квадратическая относительная погрешность оператора при планиметрировании диаграмм, 1,1% [9];

$\sigma_{рс}$ – средняя квадратическая относительная погрешность, вносимая разделительными сосудами, % [8]; (для датчиков типа ДМ $\sigma_{рс} = 0{,}014\%$, для датчиков типа САПФИР $\sigma_{рс} = 0\%$, следовательно принимаем $\sigma_{рс} = 0$);

$\sum_{i=1}^{n}\sigma_{\xi_i}^2$ – сумма квадратов средних квадратических относительных дополнительных погрешностей измерений, вызванных изменением влияющих величин (температуры, напряжения питания и др.), % [6]. Пример расчета с учетом дополнительных погрешностей приведен в приложении Б.

3.3 Средняя квадратическая относительная погрешность измерения перепада давления на ССУ исходя из п. 5.2.3 (формула 5.13) [5]:

$$\sigma^2_{\Delta p} = 0{,}25\left(\frac{Q_{макс}}{Q_{тек}} \cdot 1{,}1\sqrt{\delta^2_{ПИП} + \delta^2_{БКИ} + \delta^2_{РП}}\right)^2 + 0{,}25\delta^2_{ПЛ} + 0{,}25\delta^2_{ХД}, \qquad (2)$$

где $\delta_{ПИП}, \delta_{БКИ}, \delta_{РП}$ – класс точности составляющих (первичный измерительный преобразователь, блок корнеизвлечения, регистрирующий прибор) комплекта расходомерного устройства, %;

$\delta_{ПЛ}, \delta_{ХД}$ – приведенные погрешности планиметра и хода диаграммы РП, %.

3.4 Предельная относительная погрешность измерения расхода мазута при доверительной вероятности P = 0,95 определяется по формуле

$$\delta_Q = 2\sigma_Q. \qquad (3)$$

Приложение А
(справочное)

ПРИМЕР РАСЧЕТА ДИАФРАГМЫ С КОНИЧЕСКИМ ВХОДОМ

1. Исходные данные:

– измеряемая среда – мазут марки М-100;

– наибольший измеряемый объемный расход $Q_{макс}$ = 21000 кг/ч = 5,8333 кг/с;

– наименьший измеряемый объемный расход $Q_{мин}$ = 7000 кг/ч = 1,9444 кг/с;

– температура измеряемой среды t = 85°С = 358,15 К;

– избыточное давление перед СУ $p_и$ = 14 кгс/см^2 = 1372931 Па;

– барометрическое давление $p_б$ = 753,1 мм рт. ст. = 100404,8 Па;

– номинальный перепад давления $\Delta p_Н$ = 2500 кгс/м^2 = 24516,6 Па;

– плотность при t = 20°С ρ_{20} = 0,962 г/см^3 = 962 кг/м^3.

Плотность измеряется ареометрами типа АН, воспроизводимость результатов испытаний по ГОСТ 3900-85 [3] не превышает 0,0015 г/см^3;

– кинематическая вязкость при t = 80°С ν_{80} = 9,7 ВУ = 72,0 мм^2/с.

Вязкость измеряется вискозиметром ВУ, воспроизводимость по ГОСТ 6258 не превышает 0,5%;

– внутренний диаметр трубопровода D_{20} = 82 мм = 0,082 м;

– материал СУ – сталь 12Х18Н9Т;

– материал трубопровода – сталь 20;

– длина прямого участка трубопровода до СУ (одно колено) – 5,2 м;

– длина прямого участка трубопровода после СУ (одно колено) – 3,9 м.

2. Определить геометрические характеристики диафрагмы с коническим входом и среднюю квадратическую относительную погрешность измерения массового расхода.

Расчет приведен в таблице А.1. В графе 2 таблицы указаны номера пунктов, формул, таблиц, приложений по РД 50-411-83 [5]. Обозначенные * соответствуют ГОСТ 8.563.1(2)-97, настоящим Рекомендациям и другим НД. Некоторые пояснения к расчету приведены в приложении П Рекомендаций.

Рабочие чертежи специального сужающего устройства, выполненные в соответствии с расчетом, РД 50-411-83, ГОСТ 8.563.1(2)-97 и другими НД, приведены в приложении Ж Рекомендаций.

Таблица А.1

Определяемая величина	Номера пунктов, формул, приложений	Расчет	Результат
1	2	3	4
Определение недостающих для расчета данных			
1. Абсолютное давление потока мазута p_a	П. 4.1.1	1372931 + 100404,80	1473335,80 Па
2. Поправочный множитель на тепловое расширение материала трубопровода K_t	ГОСТ 8.563.1* Приложение В, формулы (В.2), (В.5)	$1 + 10^{-6} \cdot (11{,}1 + 10^{-3} \cdot 85 \cdot 7{,}7 - 10^{-6} \cdot 85^2 \cdot 3{,}4^2) \times$ $\times (120 - 20)$	1,0007624
3. Внутренний диаметр трубопровода D при температуре t	ГОСТ 8.563.1* Приложение В, формула (В.2)	0,082 · 1,0007624	0,0820625 м
4. Плотность мазута в рабочих условиях ρ	Приложение К*, таблица К.1 Рекомендаций	При $\rho_4^{20} = 0{,}962$ $\gamma = 0{,}000554$, тогда $\rho_4^{50} = 0{,}962 - 0{,}000554 \cdot (50 - 20)$	0,9454 г/см^3
		При $\rho = 0{,}9454$ $\gamma = 0{,}000581$, тогда $\rho_4^{80} = 0{,}9454 - 0{,}000581 \cdot (80 - 50)$	0,9280 г/см^3
		При $\rho = 0{,}9280$ $\gamma = 0{,}000607$, тогда $\rho_4^{85} = 0{,}9280 - 0{,}000607 \cdot (85 - 80)$	0,92492 г/см^3 924,92 кг/м^3

5. Кинематическая вязкость мазута в рабочих условиях ν Выбор типа и разновидности дифференциального манометра	Приложение Л*, рисунок Л.1 Рекомендаций	ν_{85}	57 $мм^2/с$ = = 0,000057 $м^2/с$
6. Тип и разновидность дифференциального манометра	П. 9.2.3	Дифференциальный манометр типа ДМ 3583 М Вторичный прибор КСД 2	Класс точности 1,5 Класс точности 1,0; погрешность записи ±1,0%; погрешность хода диаграммы ±0,5%
7. Тип и разновидность термометра		Мост автоматический уравновешенный КСМ2, предел измерения 150°С Термопреобразователь сопротивления гр. 23	Класс точности 1,0 Погрешность записи ±1,0%; допускаемое отклонение от номинального для класса С = 0,2 по ГОСТ 6651
8. Тип и разновидность: манометра		Вторичный прибор КСД 2 Манометр типа МЭД	Класс точности 1,5; погрешность записи ±0,5% Класс точности 1,5;

Продолжение таблицы А.1

Определяемая величина	Номера пунктов, формул, приложений	Расчет	Результат
1	2	3	4
барометра		МД-49-А, диапазон измерений от 610 до 790 мм рт. ст.	Максимальная абсолютная погрешность 1 мм рт. ст. = $= 1{,}3595 \cdot 10^{-3}$ кгс/см^2
9. Верхний предел измерений дифференциального манометра $Q_{мп}$	П. 9.2.3	По ГОСТ 18140	25000 кг/ч = = 6,9444 кг/с
Определение предельного номинального перепада давления, приближенного значения модуля			
10. Допустимая потеря давления $p_{пд}$	П. 9.2.4.1	Не задана, следовательно, условие формулы (9.7) не выполняется	
11. Вспомогательная величина С	Формула (9.5)	$\frac{6{,}9444}{0{,}0820625^2 \cdot \sqrt{924{,}92}} \cdot \frac{4}{\sqrt{2} \cdot 3{,}14159}$	30,5276
12. Предельный номинальный перепад давления $\Delta p_н^0$	П. 9.2.4	По ГОСТ 18140-84, раздел 1	0,25 кгс/см^2 = = 24516,6 Па

13. Вспомогательная величина $m\alpha$	Формула (9.6), приложение 2	$\frac{30,5276}{\sqrt{24516,6}}$	0,1950
14. Приближенное значение модуля m	Приложение 2, стр. 41	$1,3658 \cdot 0,1950 - 0,2912 \cdot 0,1950^2 - 2,2345 \cdot 0,1950^3$	0,2369
15. Относительная потеря давления П	Рисунок 11	Не определяется	
Проверка выполнения условия п. 9.2.5			
16. Число Рейнольдса при $Q_{макс}$, $Re_{макс}$	Формула (4.12)	$\frac{4}{3,14159} \cdot \frac{6,9444 \cdot 9,80665}{0,0820625 \cdot 924,92 \cdot 0,000057}$	20042
17. Число Рейнольдса при $Q_{мин}$, $Re_{мин}$	Формула (4.12)	$\frac{4}{3,14159} \cdot \frac{2,3148 \cdot 9,80665}{0,0820625 \cdot 924,92 \cdot 0,000057}$	6681
18. Граничные значения числа Рейнольдса в зависимости от относительной площади m и типа СУ:			
$Re_{мин\ гр}$	Формула (3.1), таблица 3	$\frac{260-120}{0,25-0,16} \cdot 0,2369 + \frac{0,25 \cdot 120 - 0,16 \cdot 260}{0,25-0,16}$	240
$Re_{макс\ гр}$	Формула (3.1), таблица 3	$\frac{50000-50000}{0,25-0,16} \cdot 0,2369 + \frac{0,25 \cdot 50000 - 0,16 \cdot 50000}{0,25-0,16}$	50000 20042 < 50000; 6681 > 240 – условие выполнено, расчет можно продолжить

Продолжение таблицы А.1

Определяемая величина	Номера пунктов, формул, приложений	Расчет	Результат
1	2	3	4
Проверка выполнения условия п. 8.4			
19. Необходимая минимальная длина прямого участка трубопровода: до СУ L_1 после СУ L_2	П. 8.4, таблица 7, П. 9.3.7	$L_1 = 14D = 14 \cdot 0,08$ $L_2 = 6D = 6 \cdot 0,08$	1,15 м 1,2 м < 2,0 м 0,49 м 0,5 м < 3,9 м – условие выполнено, расчет можно продолжить
20. Наибольший перепад давлений в СУ, соответствующий $Q_п$, $\Delta p_{макс}$	П. 4.2, формула (4.2)	$\Delta p_{макс} = \Delta p_н^0$	0,25 кгс/см^2 24516,6 Па
Проверка выполнения условий п. 1.6			
21. Отношение перепада давлений к абсолютному давлению на входе СУ, для воздуха x = 1,4	П. 1.6, формула (1.4). Приложение П* Рекомендаций	$\frac{24516,6}{1473335,8}$ $\frac{p_{нп}}{p} \approx 0$ F0 = 2,068·exp (-924,92/500) – 0,259	0,017 0,066

			$A = 2 \cdot \left(1 - 0{,}066 \cdot \frac{1{,}4}{1{,}4-1}\right) \cdot 0{,}066 - -(1-0{,}2369^2) \cdot (0-0{,}066)^2$	0,098
			$B = 4 \cdot 0{.}066 \cdot \left(0{,}066 \cdot \frac{1{,}4}{1{,}4-1} - 1\right) + + 2 \cdot \left(1-0{,}2369^2\right) \cdot (1-0{,}066) \cdot (0-0{,}066)$	-0,320
			$G = 2 \cdot 0{,}066 \cdot \left(1 - 0{,}066 \cdot \frac{1{,}4}{1{,}4-1}\right) - -\left(1-0{,}2369^2\right) \cdot (1-0{,}066)^2$	-0,7213
		Формула (1.5)	$CL = \frac{2 \cdot 0{,}098}{\sqrt{(-0{,}320)^2 - 4 \cdot 0{,}098(-0{,}7213)} - (-0{,}320)}$	0,2326
		Формула (1.4)	$1 - 0{,}2326$	0,767 Так как 0,017 < 0,767, расчет продолжаем
	Определение вспомогательной величины mα, искомого значения модуля и геометрических характеристик диафрагмы			
	22. Вспомогательная величина mα	Формула (9.13)	$\frac{30{,}5276}{\sqrt{24516{,}6}}$	0,1950

Продолжение таблицы А.1

Определяемая величина	Номера пунктов, формул, приложений	Расчет	Результат
1	2	3	4
23. Искомое значение модуля m для $0,07 < m\alpha < 0,2081$	Приложение 2, стр. 41	$1,3658 \cdot 0,1950 - 0,2912 \cdot 0,1950^2 - 2,2345 \cdot 0,1950^3$	0,2369
24. Поправочный множитель K_0 на тепловое расширение материала СУ	ГОСТ 8.563.1* Приложение В, формулы (В.4), (В.5)	$1 + 10^{-6} \cdot (15,6 + 10^{-3} \cdot 85 \cdot 8,3 - 10^{-6} \cdot 85^2 \cdot 6,5) \cdot (85 - 20)$	1,0010568
25. Диаметр отверстия диафрагмы d_{20} при температуре t = 20°C	Формула (9.12)	$\frac{0,0820625}{1,0010568}\sqrt{0,2369}$	0,03990 м
Отклонение диаметра Δd_{20}	Формула (6.1)	$\frac{0,1 \cdot 0,03990}{50}$	±0,0000798 м = = ±0,0798 мм
26. Диаметр отверстия СУ при рабочей температуре d	ГОСТ 8.563.1* Приложение В, формула (В.4)	$0,03990 \cdot 1,0010568$	0,039942 м = = 39,942 мм
Определение геометрических характеристик			
27. Длина цилиндрической части «e» отверстия составляет 0,021d независимо от значения m	П. 6.2.3, рисунок 4	$0,021 \cdot 39,942$	0,84 мм доп. не > ±0,04 мм

28. Глубина скоса J, допускаемое отклонение	П. 6.2.4, таблица 5	$m^{0,5} = 0,4867;\ \frac{d}{J} = 9,337;\ J = \frac{39,942}{9,337}$	4,278 мм доп. ±0,170 мм
29. Угол входа F, допускаемое отклонение $0,03 \cdot F$	П. 6.2.4, таблица 5	$F = 32,59°$	32,59° доп. ±0,98°
30. Общая толщина диафрагмы E	П. 6.2.5	$0,84 + 4,278 < E < 0,1 \cdot 82,06$ $5,11 < E < 8,21$	Принимаем 7,0 мм доп. ±0,1 мм
Проверка правильности выполнения расчета			
31. Коэффициент расхода α	П. 3.2	$0,73095 + 0,2726 \cdot 0,2369 - 0,7138 \cdot 0,2369^2 + 5,0623 \cdot 0,2369^3$	0,82278
32. Расход, соответствующий наибольшему перепаду давления $\Delta p_{макс}$, $\varepsilon = 1$, Q_M	Формула (2.1), где $\pi d^2/4$	$0,822781 \cdot 1 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{3,14159 \cdot 0,039942^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{24516,6}{924,92}}$	6,9427 кг/с
33. Отклонение ΔQ $\Delta Q = \frac{Q_{мп} - Q_0}{Q_{мп}} \cdot 100\%$	П. 9.2.14	$\frac{6,9444 - 6,9427}{6,9444} \cdot 100\%$	0,026% 0,03% < 0,20%. Отклонение ΔQ от $Q_{макс}$ менее 0,2%, следовательно, расчет выполнен правильно

Продолжение таблицы А.1

Определяемая величина	Номера пунктов, формул, приложений	Расчет	Результат
1	2	3	4
Средняя квадратическая относительная погрешность измерения расхода σ_Q			
34. Погрешность коэффициента расхода для диафрагм с коническим входом σ_α	П. 5.2.1	$\sigma_\alpha = 1,0$ – для диафрагм с коническим входом	1,0%
35. Погрешность поправочного множителя на расширение измеряемой среды σ_ε	Формула (5.5)	$7,5 \cdot (1 - 1)$	0
36. Отношение $\frac{d\alpha}{dm}$	П. 5.2, приложение 1	Для диафрагмы с коническим входом $0,27 - 1,43 \cdot 0,2369 + 15,19 \cdot 0,2369^2$	0,784
37. Погрешность σ_{d20}	П. 6.1.5	В зависимости от требований к погрешности измерения расхода выбираем в пределах от 0,05 до 0,3%	0,1%
38. Погрешность σ_{D20}	П. 8.3	То же	0,1%

39. Погрешность определения плотности $\sigma\rho$	Формула (5.20)	$50\left[\left(\frac{1,5}{962}\right)^2 + \frac{(85-20)^2 \cdot 0,0000005^2 + 0,000554^2 \cdot 1,8^2}{\left[1-0,000554\cdot(85-20)\right]^2}\right]^{0,5}$	0,09%
где $\Delta\rho'_t$ – максимальная абсолютная погрешность измерений плотности при t = 20°С, ρ_{20} = 0,962 г/см^3 = = 962 кг/м^3		Исходные данные	0,0015 г/см^3 = = 1,5 кг/м^3
Δt – максимальная абсолютная погрешность измерений температуры мазута	Приложение П* Рекомендаций	Зависит от погрешности записи регистрирующего термометра (1%) и погрешности термопреобразователя сопротивления – 1,1°С. Диапазон измерения 0-120°С $\Delta_{рег}$ = 1,2°С. $\Delta_к = 1,1 \cdot (1,1^2 + 1,2^2)^{0,5} = 1,8$°С	1,8°С
$\Delta\beta$ – максимальная абсолютная погрешность измерений коэффициента объемного теплового расширения мазута β = 0,000554 для ρ_{20} = 962 кг/м^3	Приложение П* Рекомендаций	Половина единицы разряда последней значащей цифры β	0,0000005

Окончание таблицы А.1

Определяемая величина	Номера пунктов, формул, приложений	Расчет	Результат
1	2	3	4
40. Погрешность измерения перепада давления $\sigma^2_{\Delta p}$ для $Q_{100} = Q_{макс}$	Формула (5.12). Формула (2)* Рекомендаций	$0{,}25\left(\frac{100}{100}\cdot\sqrt{1{,}5^2+1{,}0^2}\cdot 1{,}1\right)^2+0{,}25\cdot 0{,}5^2+0{,}25\cdot 0{,}5^2$	1,11%
41. Средняя квадратическая погрешность измерений массового расхода σ_{Q100}	Формула (5.2). Формула (1)* Рекомендаций	$[1^2+0+4\cdot\left(\frac{0{,}784\cdot 0{,}2369}{0{,}82278}+1\right)^2\cdot 0{,}1^2+$ $+4\cdot\left(\frac{0{,}2369\cdot 0{,}784}{0{,}82278}\right)^2\cdot 0{,}1^2+0{,}25\cdot 0{,}09\cdot 1{,}11+1{,}1^2+0+0]^{0{,}5}$	1,84%
42. Предельная относительная погрешность измерений расхода δ_{Q100}	Формула (5.1). Формула (3)* Рекомендаций	$2\cdot 1{,}84$	3,68%

Расчет выполнил _____ _____
(подпись) (инициалы, фамилия)

Заключение:

Диаметр отверстия диафрагмы соответствует заданным параметрам.

Калибровщик _____ _____ _____
(подпись) (инициалы, фамилия) (дата)

Приложение Б
(справочное)

ПРИМЕР РАСЧЕТА СОПЛА «ЧЕТВЕРТЬ КРУГА»

1. Исходные данные:

– измеряемая среда – мазут марки М100;

– наибольший измеряемый массовый расход $Q_{макс}$ = 28000 кг/ч = 7,7778 кг/с;

– наименьший измеряемый массовый расход $Q_{мин}$ = 9600 кг/ч = 2,6667 кг/с;

– температура измеряемой среды t = 130°С = 403,15 К:

– избыточное давление перед СУ $p_и$ = 35 кгс/см^2 = 3432327,5 Па;

– барометрическое давление $p_б$ = 760 мм рт. ст. = 101324,7 Па;

– внутренний диаметр трубопровода D_{20} = 100 мм = 0,1м;

– перепад давления Δp = 2500 кгс/м^2 = 24516,6 Па;

– плотность при t = 20°С ρ_{20} = 0,945 г/см^3 = 945 кг/м^3.

Плотность измеряется пикнометром ПЖ2, воспроизводимость результатов испытаний по ГОСТ 3900-85 [3] не превышает 0,0024 г/см^3;

– кинематическая вязкость при t = 80°С ν_{80} = 97 мм^2/с = 9,7·10^{-5} м^2/с.

Вязкость измеряется вискозиметром Гепплера, погрешность измерения не превышает 0,5%;

– материал СУ – сталь 12Х18Н9Т;

– материал трубопровода – сталь 20;

– длина прямого участка трубопровода до СУ (одно колено) – 1,6 м;

– длина прямого участка трубопровода после СУ (одно колено) – 1,0 м;

– температура окружающего воздуха t = 35°С;

– напряжение питания сети V = 231В.

2. Определить геометрические характеристики сопла «четверть круга»и среднюю квадратическую относительную погрешность измерения массового расхода. Расчет приведен в таблице Б.1. В графе 2 таблицы Б.1 указаны номера пунктов, формул, таблиц, приложений по РД 50-411-83 [5]. Обозначенные * соответствуют ГОСТ 8.563.1(2)-97 [1], [2], настоящим Рекомендациям и другим НД. Некоторые пояснения к расчету приведены в приложении П Рекомендаций.

Таблица Б.1

Определяемая величина	Номера пунктов, формул, приложений	Расчет	Результат
1	2	3	4
Определение недостающих для расчета данных			
1. Абсолютное давление потока мазута p_a	П. 4.1.1	3432327.5 + 101324,7	3533652 Па
2. Поправочный множитель на тепловое расширение материала трубопровода K_r	ГОСТ 8.563.1* Приложение В, формулы (В.2), (В.5)	$1 + 10^{-6} \cdot (11{,}1 + 10^{-3} \cdot 130 \cdot 7{,}7 - 10^{-6} \cdot 130^2 \cdot 3{,}4) \times$ $\times (130 - 20)$	1,0013248
3. Внутренний диаметр трубопровода D при температуре t	ГОСТ 8.563.1* Приложение В, формула (В.2)	0,1 · 1,0013248	0,10013248 м
4. Плотность мазута в рабочих условиях ρ	Приложение К*, таблица К.1 Рекомендаций	При ρ = 0,9450 γ = 0,000581, тогда $\rho_4^{50} = 0{,}9450 - 0{,}000581 \cdot (50 - 20)$	0,9276 г/см^3
		При ρ = 0,9276 γ = 0,000607, тогда $\rho_4^{80} = 0{,}9276 - 0{,}000607 \cdot (80 - 50)$	0,9094 г/см^3
		При ρ = 0,9094 γ = 0,000633, тогда $\rho_4^{110} = 0{,}9094 - 0{,}000633 \cdot (110 - 80)$	0,8904 г/см^3
		При ρ = 0,8904 γ = 0,000647, тогда $\rho_4^{130} = 0{,}8904 - 0{,}000647 \cdot (130 - 110)$	0,8775 г/см^3 (877,5 кг/м^3)

5. Кинематическая вязкость мазута в рабочих условиях ν Выбор типа и разновидности дифференциального манометра	Приложение Л*, рисунок Л.1 Рекомендаций	ν_{130}	15,8 $мм^2/с$ = = 1,58 10^{-5} $м^2/с$
6. Тип и разновидность дифференциального манометра	П. 9.2.3	Преобразователь измерительный «Сапфир» Вторичный прибор КСУ-4 Блок питания и корнеизвлечения БПК-40	Класс точности 0,25 Класс точности 0,5; погрешность записи ±0,5%; погрешность хода диаграммы ±0,5% Погрешность ±0,25%
7. Тип и разновидность термометра		Термопреобразователь сопротивления ТСМУ-055 с пределом измерения от 0 до 150°С с унифицированным выходным сигналом от 0 до 5 mA Вторичный прибор КСУ-4 с пределом измерения от 0 до 150°С	Погрешность ±0,5% Класс точности 0,5; погрешность записи ±0,5%
8. Тип и разновидность: манометра		Преобразователь измерительный «Сапфир-22ДИ» с пределом измерений 40 $кгс/см^2$	Класс точности 0,5

Продолжение таблицы Б.1

Определяемая величина	Номера пунктов, формул, приложений	Расчет	Результат
1	2	3	4
барометра		Вторичный прибор КСУ-4 МД-49-А, диапазон измерений от 610 до 790 мм рт. ст.	Класс точности 0,5; погрешность записи ±0,5% Максимальная абсолютная погрешность 1 мм рт. ст. = $= 1{,}3595 \cdot 10^{-3}$ кгс/см^2
9. Верхний предел измерений дифференциального манометра $Q_{мп}$ Определение приближенного значения модуля	П. 9.2.3	По ГОСТ 18140	32000 кг/ч = $= 8{,}8889$ кг/с
10. Допустимая потеря давления $р_{пд}$ не задана, следовательно, условия формулы (9.7) не выполняются			

11. Вспомогательная величина C	Формула (9.5)	$\frac{8,8889}{0,10013248^2 \cdot \sqrt{877,5}} \cdot \frac{4}{\sqrt{2} \cdot 3,14159}$	26,9445
12. Предельный номинальный перепад давлений $\Delta p_н^0$	П. 9.2.4	По ГОСТ 18140	0,4 кгс/см^2 = = 39226,6 Па
13. Вспомогательная величина mα	Формула (9.6), приложение 2	$\frac{26,9445}{\sqrt{24516,6}}$	0,1721 0,12 < 0,17 < 0,49
14. Приближенное значение модуля m	Приложение 2, стр. 41	$-0,0111 + 1,5239 \cdot 0,1721 - 1,4744 \cdot 0,1721^2 + + 0,8919 \cdot 0,1721^3$	0,212 0,10 < m < 0,50
Проверка выполнения условия п. 9.2.5			
15. Число Рейнольдса при $Q_{макс}$, $Re_{макс}$	Формула (4.12). Приложение П* Рекомендаций	$\frac{4}{3,14159} \cdot \frac{7,7778 \cdot 9,80665}{0,10013248 \cdot 877,5 \cdot 1,58 \cdot 10^{-5}}$	69953
16. Число Рейнольдса при $Q_{мин}$, $Re_{мин}$	То же	$\frac{4}{3,14159} \cdot \frac{2,6667 \cdot 9,80665}{0,10013248 \cdot 877,5 \cdot 1,58 \cdot 10^{-5}}$	23984
17. Граничные значения числа Рейнольдса в зависимости от относительной площади m и типа СУ:			

Продолжение таблицы Б.1

Определяемая величина	Номера пунктов, формул, приложений	Расчет	Результат
1	2	3	4
$Re_{макс\ гр}$	Формула (3.1), таблица 3	$\frac{80000-45000}{0,2-0,1}\cdot 0,212+\frac{0,2\cdot 45000-0,1\cdot 80000}{0,2-0,1}$	84200
$Re_{мин\ гр}$	Формула (3.1), таблица 3	$\frac{2300-2000}{0,2-0,1}\cdot 0,212+\frac{0,2\cdot 2000-0,1\cdot 2300}{0,2-0,1}$	2336
Проверка выполнения условия п. 8.4			69953 < 84200; 23984 > 2336 – условие выполнено, расчет можно продолжить
18. Необходимая минимальная длина прямого участка трубопровода:	П. 8.4, таблица 7, П. 9.3.7		
до СУ L_1		$L_1 = 14D = 14 \cdot 0,10013248$	1,4 м 1,4 м < 1,6 м
после СУ L_2		$L_2 = 6D = 6 \cdot 0,10013248$	0,6 м 0,6 м < 1,0 м – условие выполнено
19. Наибольший перепад давления в СУ, соответствующий $Q_п$, $\Delta p_{макс}$	П. 4.2, формула (4.2)	$\Delta p_{макс} = \Delta p^0_н$	2500 кгс/м^2 = = 24516,6 Па

Проверка выполнения условий п. 1.6	П. 1.6, формулы (1.4), (1.5)	$\frac{24516,6}{3533652}$	0.0069
20. Отношение перепада давлений к абсолютному давлению на входе СУ, для воздуха x = 1,4	Приложение П* Рекомендаций	$\frac{p_{нп}}{p} \approx 0$	
		$F0 = 2,068 \cdot \exp(-877,5/500) - 0,259 =$ $= 2,068 \cdot e^{-1,755} - 0,259 = 2,068 \cdot 0,173 - 0,259$	0,099
		$A = 2\left(1 - 0,099 \cdot \frac{1,4}{1,4-1}\right) \cdot 0,099 -$ $- (1 - 0,212^2) \cdot (0 - 0,099)^2$	0,1196
		$B = 4 \cdot 0,099 \cdot \left(0,099 \cdot \frac{1,4}{1,4-1} - 1\right) +$ $+ 2 \cdot (1 - 0,212^2) \cdot (1 - 0,099) \cdot (0 - 0,099)$	-0,4292
		$G = 2 \cdot 0,099 \cdot \left(1 - 0,099 \cdot \frac{1,4}{1,4-1}\right) -$ $- (1 - 0,212^2) \cdot (1 - 0,099)^2$	-0,6459
	Формула (1.5)	$CL = \frac{2,0 \cdot 0,1196}{\sqrt{(-0,4292)^2 - 4 \cdot 0,1196 \cdot (-0,6459)} - (-0,4292)}$	0,2491

Продолжение таблицы Б.1

Определяемая величина	Номера пунктов, формул, приложений	Расчет	Результат
1	2	3	4
Определение вспомогательной величины $m\alpha$, искомого значения модуля и геометрических характеристик сопла	Формула (1.4)	$1 - 0{,}2491$	0,7509. Так как $0{,}0111 < 0{,}7509$, расчет продолжаем
21. Вспомогательная величина $m\alpha$	Формула (9.13)	$\frac{26{,}9445}{\sqrt{24516{,}6}}$	0,1721
22. Искомое значение модуля m для $0{,}12 < m\alpha < 0{,}497$	Приложение 2, стр. 41	$-0{,}0111 + 1{,}5239 \cdot 0{,}1721 - 1{,}4744 \cdot 0{,}1721^2 + 0{,}8919 \cdot 0{,}1721^3$	0,212
23. Поправочный множитель K_0 на тепловое расширение материала СУ	ГОСТ 8.563.1* Приложение В, формулы (В.4), (В.5)	$1 + 10^{-6} \cdot (15{,}6 + 10^{-3} \cdot 130 \cdot 8{,}3 - 10^{-6} \cdot 130^2 \cdot 6{,}5) \times (130 - 20)$	1,0018226
24. Диаметр отверстия сопла d_{20} при температуре t = 20°C	Формула (9.12)	$\frac{0{,}10013248}{1{,}0018226} \cdot \sqrt{0{,}212}$	0,046021 м

Отклонение диаметра Δd_{20}	Формула (6.1)	$\frac{0,05 \cdot 0,041356}{50}$	$\pm 0,000046$ м = $= \pm 0,046$ мм
25. Диаметр отверстия СУ при рабочей температуре d	ГОСТ 8.563.1* Приложение В, формула (В.4)	$0,046021 \cdot 1,0018226$	0,046105 м = = 46,105 мм
26. Значение радиуса r	П. 6.4.2, рисунок 6	$r/d = 0,12$; $r = 0,12 \cdot 46,105$	5,53 мм доп. $\pm 0,05$ мм
27. Оптимальная толщина диска сопла E	П. 6.4.5	$E = 0,1D = 0,1 \cdot 100$ мм	10 мм
Проверка правильности выполнения расчета			
28. Коэффициент расхода α	П. 3.2	$0,7772 - 0,2137 \cdot 0,212 + 2,0437 \cdot 0,212^2 - 1,2664 \cdot 0,212^3$	0,8117
29. Расход, соответствующий наибольшему перепаду давления, $\Delta p_{макс}$, $\varepsilon = 1$, $Q_м$	Формула (2.1)	$0,8117 \cdot 1 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{3,14159 \cdot 0,046105^2}{4} \sqrt{24516,6 \cdot 877,5}$	8,88894 кг/с
30. Отклонение ΔQ $\Delta Q = \frac{Q_{мп} - Q_м}{Q_{мп}} \cdot 100\%$	П. 9.2.14	$\frac{8,88894 - 8,8889}{8,8889} \cdot 100\%$	0,00045% 0,00045% < 0,2%. Отклонение ΔQ от $Q_{мп}$ менее 0,2%, следовательно, расчет выполнен правильно

Продолжение таблицы Б.1

Определяемая величина	Номера пунктов, формул, приложений	Расчет	Результат
1	2	3	4
Средняя квадратическая относительная погрешность измерения расхода			
31. Погрешность коэффициента расхода для сопла «четверть круга» σ_α	П. 5.2.1		1,0
32. Погрешность поправочного множителя на расширение измеряемой среды σ_ε, $\sigma_\varepsilon = 0$ (для жидкостей)			0
33. Отношение $\frac{d\alpha}{dm}$	П. 5.2, приложение 1	$-0,21 + 4,09 \cdot 0,1712 - 3,8 \cdot 0,1712^2$	0,379
34. Погрешность σ_{d20}	П. 6.1.5	В зависимости от требований к погрешности измерения расхода выбираем в пределах от 0,05% до 0,3%	0,05%
35. Погрешность σ_{D20}	П. 8.3	То же	0,05%

36. Погрешность определения плотности $\sigma\rho$	Формула (5.20)	$50\left[\left(\frac{2,4}{945}\right)^2 + \frac{(130-20)^2 \cdot 0,0000005^2 + 0,000615^2 \cdot 1,2^2}{[1-0,000615(130-20)]^2}\right]^{0,5}$	0,13%
37. Погрешность измерения перепада давления $\sigma^2_{\Delta p}$ для $Q = 0,7Q_{макс}$	Формула (5.12). Формула (2)* Рекомендаций	$0,25\left(\frac{8,8889}{6,2222} \cdot \sqrt{0,25^2 + 0,25^2 + 0,5^2} \cdot 1,1\right)^2 + + 0,25 \cdot 0,5^2 + 0,25 \cdot 0,5^2$	0,35%
38. Погрешность планиметрирования $\sigma_{пл}$	Журнал «Измерительная техника»*, 1982, № 8		1,1%
39. Погрешность, вносимая измерительными сосудами, $\sigma_{рс}$	Приложение А* РД 153-34.0-11.326-00		0%
40. Погрешность измерения от изменения влияющих величин σ_{ξ}, где – дополнительная погрешность:	Формула (3.20)* РД 153-34.0-11.201-97 [15]	$\sqrt{0,16^2 + 0^2}$	0,16
КСУ4 – вносимая отклонением температуры окружающего воздуха от 20±2°С на 15°С (35°С) $\delta_{С1,1}$	П. 1.2.2, таблица 5* ТО 3.9026-171	$0,1 \cdot \frac{35-22}{10}$	0,13%

Окончание таблицы Б.1

Определяемая величина	Номера пунктов, формул, приложений	Расчет	Результат
1	2	3	4
КСУ4 – от изменения напряжения питания от 220 В на 10% (242 В) $\delta_{C2:1}$	П. 1.2.2* ТО 3.9026-171		0,25%
– среднее квадратическое отклонение дополнительной погрешности:			
КСУ4 – вносимая отклонением температуры окружающего воздуха $\sigma_{[\delta-1-1]}$	Формула (3.23)* ТО 3.9026-171	$\frac{0,13}{\sqrt{3}}$	0,075%
КСУ4 – от изменения напряжения питания $\sigma_{[\delta-2-1]}$	Формула (3.23)* ТО 3.9026-171	$\frac{0,25}{\sqrt{3}}$	0,14%
– среднее квадратическое отклонение дополнительной погрешности:			
КСУ4 $\sigma_{[\delta\xi 1]}$	Формула (3.21)* ТО 3.9026-171	$\sqrt{0,075^2 + 0,14^2}$	0,16%
Сапфир 22М	–		0%

41. Средняя квадратическая погрешность измерений массового расхода σ_Q	Формула (5.2). Формула (1)* Рекомендаций	$[1^2 + 0 + 4 \cdot \left(0{,}397 \cdot \frac{0{,}1712}{0{,}7942} + 1\right)^2 \cdot 0{,}05^2 +$ $+ 4 \cdot \left(\frac{0{,}1712}{0{,}7942} \cdot 0{,}379\right)^2 \cdot 0{,}05^2 + 0{,}25 \cdot 0{,}13^2 +$ $+ 0{,}35 + 1{,}1^2 + 0 + 0{,}16^2]^{0{,}5} =$ $= [1 + 0 + 0{,}0117 + 0{,}000067 + 0{,}00423 + 0{,}35 +$ $+ 1{,}21 + 0 + 0{,}0256]^{0{,}5}$	1,61%
42. Предельная относительная погрешность измерений расхода δ_{Q70}	Формула (5.1). Формула (3)* Рекомендаций	$2 \cdot 1{,}61$	3,22%

Расчет выполнил _____ _____
(подпись) (инициалы, фамилия)

З а к л ю ч е н и е:

Площадь отверстия диафрагмы соответствует заданным параметрам.

Калибровщик _____ _____ _____
(подпись) (инициалы, фамилия) (дата)

Приложение В
(справочное)

ПРИМЕР РАСЧЕТА ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО СОПЛА

1. Исходные данные:

– измеряемая среда – мазут марки М100;

– наибольший измеряемый массовый расход $Q_{макс}$ = 28000 кг/ч = 7,7778 кг/с;

– наименьший измеряемый массовый расход $Q_{мин}$ = 9000 кг/ч = 2,500 кг/с;

– температура измеряемой среды t = 120°С = 393,15 К;

– избыточное давление перед СУ $p_и$ = 25 кгс/см^2 = 2451662,5 Па;

– барометрическое давление $p_б$ = 760 мм рт. ст. = 101324,7 Па;

– внутренний диаметр трубопровода D_{20} = 100 мм = 0,1 м;

– перепад давления Δp = 1 кгс/см^2 = 98066,5 Па;

– плотность при t = 20°С ρ_{20} = 0,955 г/см^3 = 955 кг/м^3.

Плотность измеряется пикнометром ПЖ2, воспроизводимость результатов испытаний по ГОСТ 3900-85 [3] не превышает 0,0024 г/см^3;

– кинематическая вязкость при t = 80°С ν_{80} = 140 мм^2/с = 1,4 10^{-4} м^2/с.

Вязкость измеряется вискозиметром Гепплера, погрешность измерения не превышает 0,5%;

– материал СУ – сталь 12Х18Н9Т;

– материал трубопровода – сталь 20;

– длина прямого участка трубопровода до СУ (тройник) – 1,5 м;

– длина прямого участка трубопровода после СУ (одно колено) – 1,0 м.

2. Определить геометрические характеристики цилиндрического сопла и среднюю квадратическую относительную погрешность измерения массового расхода. Расчет приведен в таблице В.1. В графе 2 таблицы В.1 указаны номера пунктов, формул, таблиц, приложений по РД 50-411-83 [5]. Обозначенные * соответствуют ГОСТ 8.563.1(2)-97 [1], [2], настоящим Рекомендациям и другим НД. Некоторые пояснения к расчету приведены в приложении П Рекомендаций.

Таблица В.1

Определяемая величина	Номера пунктов, формул, приложений	Расчет	Результат
1	2	3	4
Определение недостающих для расчета данных			
1. Абсолютное давление потока мазута p_a	П. 4.1.1	2451662,5 + 101324,7	2552987,2 Па
2. Поправочный множитель на тепловое расширение материала трубопровода $K_т$	ГОСТ 8.563.1* Приложение В, формулы (В.2), (В.5)	$1 + 10^{-6} \cdot (11{,}1 + 10^{-3} \cdot 120 \cdot 7{,}7 - 10^{-6} \cdot 120^2 \cdot 3{,}4) \times$ $\times (120 - 20)$	1,0011975
3. Внутренний диаметр трубопровода D при температуре t	ГОСТ 8.563.1* Приложение В, формула (В.4)	0,1·1,0011975	0,10012 м
4. Плотность мазута в рабочих условиях ρ	Приложение К*, таблица К.1 Рекомендаций	При ρ = 0,955 γ = 0,000567, тогда $\rho_4^{50} = 0{,}9550 - 0{,}000567 \cdot (50 - 20)$	0,9380 г/см^3
		При ρ = 0,9380 γ = 0,000594, тогда $\rho_4^{80} = 0{,}9380 - 0{,}000594 \cdot (80 - 50)$	0,9202 г/см^3
		При ρ = 0,9202 γ = 0,000607, тогда $\rho_4^{110} = 0{,}9202\text{-}0{,}000607 \cdot (110 - 80)$	0,9020 г/см^3
		При ρ = 0,9020 γ = 0,000633, тогда $\rho_4^{120} = 0{,}9020 - 0{,}000633 \cdot (120 - 110)$	0,8956 г/см^3 (895,6 кг/м^3)

Продолжение таблицы В.1

Определяемая величина	Номера пунктов, формул, приложений	Расчет	Результат
1	2	3	4
5. Кинематическая вязкость мазута в рабочих условиях ν Выбор типа и разновидности дифференциального манометра	Приложение Л*, рисунок Л.1 Рекомендаций	ν_{120}	26 мм^2/с = $= 2{,}6\ 10^{-5}$ м^2/с
6. Тип и разновидность дифференциального манометра	П. 9.2.3	Преобразователь измерительный «Сапфир» Вторичный прибор КСУ-4 Блок питания и корнеизвлечения БПК-40	Класс точности 0,5 Класс точности 0,5; погрешность записи ±0,5%; погрешность хода диаграммы ±0,5% Погрешность ±0,25%
7. Тип и разновидность термометра		Термопреобразователь сопротивления ТСМУ-055 с пределом измерения от 0 до 150°С с унифицированным выходным сигналом от 0 до 5 mA Вторичный прибор КСУ-4 с пределом измерения от 0 до 150°С	Погрешность ±0,5% Класс точности 0,5; погрешность записи ±0,5%

8. Тип и разновидность: манометра барометра		Преобразователь измерительный «Сапфир-22ДИ» с пределом измерений 40 кгс/см^2 Вторичный прибор КСУ-4 МД-49-А, диапазон измерений от 610 до 790 мм рт. ст.	Класс точности 0,5; погрешность записи ±0,5% Максимальная абсолютная погрешность 1 мм рт. ст. = = 1,3595 10^{-3} кгс/см^2
9. Верхний предел измерений дифференциального манометра $Q_{мп}$	П. 9.2.3	По ГОСТ 18140	32000 кг/ч = = 8,8889 кг/с
Определение приближенного значения модуля			
10. Допустимая потеря давления $p_{пд}$ не задана, следовательно, условия формулы (9.7) не выполняются			
11. Вспомогательная величина С	Формула (9.5)	$\frac{8,8889}{0,10012^2 \cdot \sqrt{895,6}} \cdot \frac{4}{\sqrt{2} \cdot 3,14159}$	26,6775
12. Предельный номинальный перепад давления $\Delta p_н^0$	П. 9.2.4	По ГОСТ 18140	1 кгс/см^2 = = 98066,5 Па

Продолжение таблицы В.1

Определяемая величина	Номера пунктов, формул, приложений	Расчет	Результат
1	2	3	4
13. Вспомогательная величина $m\alpha$	Формула (9.6), приложение 2	$\frac{26{,}6775}{\sqrt{98066{,}5}}$	0,0852 $0{,}008 < 0{,}085 < 0{,}452$
14. Приближенное значение модуля m Проверка выполнения условия п. 9.2.5	Приложение 2, стр. 41	$1{,}2486 \cdot 0{,}0852 + 0{,}0279 \cdot 0{,}0852^2 - 1{,}6328 \cdot 0{,}0852^3 + 1{,}6979 \cdot 0{,}0852^4$	0,1056
15. Число Рейнольдса при $Q_{макс}$, $Re_{макс}$	Формула (4.12). Приложение П* Рекомендаций	$\frac{4}{3{,}14159} \cdot \frac{7{,}7778 \cdot 9{,}80665}{0{,}10012 \cdot 895{,}6 \cdot 2{,}6 \cdot 10^{-5}}$	41656
16. Число Рейнольдса при $Q_{мин}$, $Re_{мин}$	То же	$\frac{4}{3{,}14159} \cdot \frac{2{,}6667 \cdot 9{,}80665}{0{,}10012 \cdot 895{,}6 \cdot 2{,}6 \cdot 10^{-5}}$	14284
17. Граничные значения числа Рейнольдса в зависимости от относительной площади m и типа СУ: $Re_{макс\ гр}$	Формула (3.1), таблица 3	$\frac{60000 - 40000}{0{,}15 - 0{,}10} \cdot 0{,}1056 + \frac{0{,}15 \cdot 40000 - 0{,}1 \cdot 60000}{0{,}15 - 0{,}10}$	42240

$Re_{мин\ гр}$	Формула (3.1), таблица 3	$\frac{2000-1600}{0,15-0,10}\cdot 0,1056+\frac{0,15\cdot 1600-0,1\cdot 2000}{0,15-0,10}$	1644 41656 < 42240; 14284 > 1644 – условие выполнено, расчет можно продолжить
Проверка выполнения условия п. 8.4			
18. Необходимая минимальная длина прямого участка трубопровода:	П. 8.4, таблица 7, п. 9.3.7		
до СУ L_1		$L_1 = 10D = 10 \cdot 0,10012$	1,0 м 1,0 м < 1,5 м
после СУ L_2		$L_2 = 5D = 5 \cdot 0,10012$	0,5 м 0,5 м < 1,0 м – условие выполнено
19. Наибольший перепад давления в СУ, соответствующий $Q_п$, $\Delta p_{макс}$	П. 4.2, формула (4.2)	$\Delta p_{макс} = \Delta p_н^0$	1 кгс/см^2 = = 98066,5 Па
20. Отношение перепада давлений к абсолютному давлению на входе СУ, для воздуха x = 1,4	П. 1.6, формула (1.3). Приложение П* Рекомендаций	$\frac{98066,5}{2552987,2}$	0,0384

Продолжение таблицы В.1

Определяемая величина	Номера пунктов, формул, приложений	Расчет	Результат
1	2	3	4
Проверка выполнения условий п. 1.6		$\frac{p_{нп}}{p} \approx 0$	
		$F0 = 2{,}068 \cdot \exp(-895{,}6/500) - 0{,}259 =$ $= 2{,}068 \cdot e^{-1{,}791} - 0{,}259 = 2{,}068 \cdot 0{,}1668 - 0{,}259$	0,0859
		$A = 2 \cdot \left(1 - 0{,}0859 \cdot \frac{1{,}4}{1{,}4-1}\right) \cdot 0{,}0859 -$ $-(1 - 0{,}1056^2) \cdot (0 - 0{,}0859)^2$	0,1128
		$B = 4 \cdot 0{,}0859 \cdot \left(0{,}0859 \cdot \frac{1{,}4}{1{,}4-1} - 1\right) +$ $+ 2 \cdot \left(1 - 0{,}1056^2\right) \cdot (1 - 0{,}0859) \cdot (0 - 0{,}0859)$	-0,3956
		$G = 2 \cdot 0{,}0859 \cdot \left(1 - 0{,}0859 \cdot \frac{1{,}4}{1{,}4-1}\right) -$ $-\left(1 - 0{,}1056^2\right) \cdot (1 - 0{,}0859)^2$	-0,7062
	Формула (1.5)	$CL = \frac{2{,}0 \cdot 0{,}1128}{\sqrt{(-0{,}3956)^2 - 4 \cdot 0{,}1128(-0{,}7062)} - (-0{,}3956)}$	0,2079

	Формула (1.3)	$0,57 \cdot (1 - 0,2079)$	0,4515. Так как $0,0384 < 0,4515$, расчет продолжаем
Определение вспомогательной величины $m\alpha$, искомого значения модуля и геометрических характеристик сопла			
21. Вспомогательная величина $m\alpha$	Формула (9.13)	$\frac{26,6775}{\sqrt{98066,5}}$	0,0852
22. Искомое значение модуля m для $0,008 < m\alpha < 0,4518$	Приложение 2, стр. 41	$1,2486 \cdot 0,0852 + 0,0279 \cdot 0,0852^2 - 1,6328 \cdot 0,0852^3 + 1,6979 \cdot 0,0852^4$	0,10566
23. Поправочный множитель K_0 на тепловое расширение материала СУ	ГОСТ 8.563.1* Приложение В, формулы (В.4), (В.5)	$1 + 10^{-6} \cdot (15,6 + 10^{-3} \cdot 120 \cdot 8,3 - 10^{-6} \cdot 120^2 \cdot 6,5) \times (120 - 20)$	1,0016502
24. Диаметр отверстия сопла d_{20} при температуре t = 20°C	Формула (9.12)	$\frac{0,100120}{1,0016502} \cdot \sqrt{0,10566}$	0,032491 м
Отклонение диаметра Δd_{20}	Формула (6.1)	$\frac{0,05 \cdot 0,32491}{50}$	$\pm$0,000032 м = $\pm$0,032 мм

Продолжение таблицы В.1

Определяемая величина	Номера пунктов, формул, приложений	Расчет	Результат
1	2	3	4
25. Диаметр отверстия СУ при рабочей температуре d	ГОСТ 8.563.1* Приложение В, формула (В.4)	0,032491 · 1,0016502	0,0325446 м
26. Длина цилиндрического сопла z	П. 6.3.1, рисунок 4	z/d = 1,8; m = 0,10566:	0,058 м = 58 мм
Допускаемое отклонение		z = 1,8 · 0,0325446	допуск. ±0,02 · 58 ≈ ≈ 1,2 мм
27. Конусообразность цилиндрической части сопла	П. 6.3.2	z/2000	0,03 мм
28. Толщина несимметричного цилиндрического сопла E	П. 6.3.3	$E = 0,1 \cdot D_{20} = 0,1 \cdot 100$ мм	10 мм
Проверка правильности выполнения расчета			
29. Коэффициент расхода α	П. 3.2	$0,80017 - 0,01801 \cdot 0,10566 + 0,7022 \cdot 0,10566^2 - 0,322 \cdot 0,10566^3$	0,80493

30. Расход, соответствующий наибольшему перепаду давления $\Delta p_{макс}$, $\varepsilon = 1$, $Q_м$	Формула (2.1)	$0{,}80493 \cdot 1 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{3{,}14159 \cdot 0{,}0325446^2}{4} \sqrt{98066{,}5 \cdot 895{,}6}$	8,8774 кг/с
31. Отклонение ΔQ $\Delta Q = \frac{Q_{мп} - Q_м}{Qмп} \cdot 100\%$	П. 9.2.14	$\frac{8{,}8889 - 8{,}8774}{8{,}8889} \cdot 100\%$	**0,129%** 0,1% < 0,2%. Отклонение ΔQ от $Q_{мп}$ менее 0,2%, следовательно, расчет выполнен правильно
Средняя квадратическая относительная погрешность измерения расхода			
32. Погрешность коэффициента расхода для цилиндрических сопл σ_α	П. 5.2.1		1,0
33. Погрешность поправочного множителя на расширение измеряемой среды σ_ε, $\sigma_\varepsilon = 0$ (для жидкостей)	Формула (5.3) П 4.5 3		0
34. Отношение $\frac{d\alpha}{dm}$	П 5.2, приложение 1	$-0{,}02 + 1{,}40 \cdot 0{,}10566 - 0{,}97 \cdot 0{,}10566^2$	0,1171
35. Погрешность σ_{d20}	П. 6.1.5	В зависимости от требований к погрешности измерения расхода выбираем в пределах от 0,05% до 0,3%	0,05%
36. Погрешность σ_{D20}	П 8.3	То же	0,05%

Окончание таблицы В.1

Определяемая величина	Номера пунктов, формул, приложений	Расчет	Результат
1	2	3	4
37. Погрешность определения плотности $\sigma\rho$	Формула (5.20)	$50 \cdot \left[\left(\frac{2,4}{955} \right)^2 + \frac{(120-20)^2 \cdot 0,0000005^2 + 0,000594^2 \cdot 1,2^2}{[1-0,000594 \cdot (120-20)]^2} \right]^{0,5}$	0,13%
38. Погрешность измерения перепада давления $\sigma^2_{\Delta p}$ для $Q_{70} = 0,7Q_{макс}$	Формула (5.12). Формула (2)* Рекомендаций	$0,25 \cdot \left(\frac{8,8889}{6,2222} \cdot \sqrt{0,25^2 + 0,5^2 + 0,5^2} \cdot 1,1 \right)^2 + 0,25 \cdot 0,5^2 + 0,25 \cdot 0,5^2$	0,49%
39. Средняя квадратическая погрешность измерений массового расхода σ_{Q70}	Формула (5.2). Формула (1)* Рекомендаций	$[1 + 0 + 4 \cdot \left(0,1171 \cdot \frac{0,10566}{0,80493} + 1 \right)^2 \cdot 0,05^2 + 4 \cdot \left(\frac{0,10566}{0,80493} \cdot 0,1171 \right)^2 \cdot 0,05^2 + 0,25 \cdot 0,13^2 + 0,49 + 1,1^2 + 0 + 0]^{0,5}$	1,65%
40. Предельная относительная погрешность измерений расхода δ_{Q70}	Формула (5.1). Формула (3)* Рекомендаций	$2 \cdot 1,65$	3,3%

Расчет выполнил _____ (подпись) _____ (инициалы, фамилия)

З а к л ю ч е н и е:

Площадь отверстия диафрагмы соответствует заданным параметрам.

Калибровщик _____ (подпись) _____ (инициалы, фамилия) _____ (дата)

Приложение Г
(справочное)

ПРИМЕР РАСЧЕТА ДВОЙНОЙ ДИАФРАГМЫ

1. Исходные данные:

– измеряемая среда – мазут марки М100:

– наибольший измеряемый массовый расход $Q_{макс}$ = 50000 кг/ч = 13,8898 кг/с;

– наименьший измеряемый массовый расход $Q_{мин}$ = 15000 кг/ч = 4,1667 кг/с;

– температура измеряемой среды t = 120°С = 393,15 К;

– избыточное давление перед СУ $p_н$ = 25 кгс/см^2 = 2451662,5 Па;

– барометрическое давление $p_б$ = 760 мм рт. ст. = 101324,7 Па;

– внутренний диаметр трубопровода D_{20} = 99 мм = 0,099 м;

– перепад давления Δp = 0,63 кгс/см^2 = 61781,89 Па;

– плотность при t = 20°С ρ_{20} = 0,940 г/см^3 = 940 кг/м^3.

Плотность измеряется пикнометром ПЖ2, воспроизводимость результатов испытаний по ГОСТ 3900-85 [3] не превышает 0,0024 г/см^3;

– кинематическая вязкость при t = 80°С ν_{80} = 103 мм^2/с = 1,030 10^{-4} м^2/с.

Вязкость измеряется вискозиметром Гепплера, погрешность измерения не превышает 0,5%;

– материал СУ – сталь 12Х18Н9Т;

– материал трубопровода – сталь 20;

– длина прямого участка трубопровода до СУ (одно колено) – 2,5 м;

– длина прямого участка трубопровода после СУ (одно колено) – 1,0 м.

2. Определить геометрические характеристики двойной диафрагмы и среднюю квадратическую относительную погрешность измерения массового расхода. Расчет приведен в таблице Г.1. В графе 2 таблицы Г.1 указаны номера пунктов, формул, таблиц, приложений по РД 50-411-83 [5]. Обозначенные * соответствуют ГОСТ 8.563.1(2)-97 [1], [2], настоящим Рекомендациям и другим НД. Некоторые пояснения к расчету приведены в приложении П Рекомендаций.

Таблица Г.1

Определяемая величина	Номера пунктов, формул, приложений	Расчет	Результат
1	2	3	4
Определение недостающих для расчета данных			
1. Абсолютное давление потока мазута p_a	П. 4.1.1	2451662,5 + 101324,7	2552987,2 Па
2. Поправочный множитель на тепловое расширение материала трубопровода $K_т$	ГОСТ 8.563.1* Приложение В, формулы (В.2), (В.5)	$1 + 10^{-6} \cdot (11{,}1 + 10^{-3} \cdot 120 \cdot 7{,}7 - 10^{-6} \cdot 120^2 \cdot 3{,}4) \times$ $\times (120 - 20)$	1,0011975
3. Внутренний диаметр трубопровода D при температуре t	ГОСТ 8.563.1* Приложение В, формула (В.2)	$0{,}099 \cdot 1{,}0011975$	0,0991186 м
4. Плотность мазута в рабочих условиях ρ	Приложение К*, таблица К.1 Рекомендаций	При $\rho = 0{,}940$ $\gamma = 0{,}000581$, тогда $\rho_4^{50} = 0{,}940 - 0{,}000581 \cdot (50 - 20)$	0,923 г/см^3
		При $\rho = 0{,}923$ $\gamma = 0{,}000607$, тогда $\rho_4^{80} = 0{,}923 - 0{,}000607 \cdot (80 - 50)$	0,905 г/см^3
		При $\rho = 0{,}905$ $\gamma = 0{,}000633$, тогда $\rho_4^{110} = 0{,}905 - 0{,}000633 \cdot (110 - 80)$	0,886 г/см^3
		При $\rho = 0{,}886$ $\gamma = 0{,}000660$, тогда $\rho_4^{120} = 0{,}886 - 0{,}000660 \cdot (120 - 110)$	0,879 г/см^3 (879,0 кг/м^3)

5. Кинематическая вязкость мазута в рабочих условиях ν Выбор типа и разновидности дифференциального манометра	Приложение Л*, рисунок Л.1 Рекомендаций	ν_{120}	19,3 $мм^2/с$ = $= 1{,}93 \cdot 10^{-5}$ $м^2/с$
6. Тип и разновидность дифференциального манометра	П. 9.2.3	Преобразователь измерительный «Сапфир 22-ДД-ЕХ» Блок преобразования сигнала Устройство измерения и регистрации А550	Класс точности 0,5 Погрешность ±0,25% Класс точности 0,5; погрешность записи ±0,5%; погрешность хода диаграммы ±0,5%
7. Тип и разновидность термометра		Термопреобразователь сопротивления ТСМ Устройство измерения и регистрации А550	Допускаемое отклонение от $R_{ном}$ для класса С = 0,2 по ГОСТ 6651-94 Класс точности 0,5; погрешность записи ±0,5%

Продолжение таблицы Г.1

Определяемая величина	Номера пунктов, формул, приложений	Расчет	Результат
1	2	3	4
8. Тип и разновидность: манометра		Преобразователь измерительный «Сапфир-22ДИ» с пределом измерения 40 кгс/см^2 Устройство измерения и регистрации А550	Класс точности 0,5 Класс точности 0,5; погрешность записи ±0,5%
барометра		МД-49-А, диапазон измерений от 610 до 790 мм рт. ст.	Максимальная абсолютная погрешность 1 мм рт. ст. = $= 1{,}3595 \cdot 10^{-3}$ кгс/см^2
9. Верхний предел измерений дифференциального манометра $Q_{мп}$	П. 9.2.3	По ГОСТ 18140	63000 кг/ч = = 17,5 кг/с
Определение приближенного значения модуля			
10. Допустимая потеря давления $p_{пд}$ не задана, следовательно, условия формулы (9.7) не выполняются			

11. Вспомогательная величина C	Формула (9.5)	$\frac{17,5}{0,0991186^2 \cdot \sqrt{879}} \cdot \frac{4}{\sqrt{2} \cdot 3,14159}$	54,0914
12. Предельный номинальный перепад давления $\Delta p^0_н$	П. 9.2.4		0,63 кгс/см^2 = = 61781,89 Па
13. Вспомогательная величина mα	Формула (9.6), приложение 2	$\frac{54,0914}{\sqrt{61781,89}}$	0,21762 0,2 < mα < 0,3762
14. Приближенное значение модуля m	Приложение 2, стр. 41	$-0,0085 + 1,5786 \cdot 0,2176 - 0,6418 \cdot 0,2176^2 + + 0,1026 \cdot 0,2176^3$	0,30566 0,10 < m <0,50
Проверка выполнения условия п. 9.2.5			
15. Число Рейнольдса при $Q_{макс}$, $Re_{макс}$	Формула (4.12). Приложение П* Рекомендаций	$\frac{4}{3,14159} \cdot \frac{17,5 \cdot 9,80665}{0,0991186 \cdot 879 \cdot 2,17 \cdot 10^{-5}}$	115575
16. Число Рейнольдса при $Q_{мин}$, $Re_{мин}$	То же	$\frac{4}{3,14159} \cdot \frac{5,25 \cdot 9,80665}{0,0991186 \cdot 879 \cdot 2,17 \cdot 10^{-5}}$	34673
17. Граничные значения числа Рейнольдса в зависимости от относительной площади m и типа СУ:			

Продолжение таблицы Г.1

Определяемая величина	Номера пунктов, формул, приложений	Расчет	Результат
1	2	3	4
$Re_{макс\ гр}$	Формула (3.1), таблица 3	$\frac{300000-250000}{0,40-0,30}\cdot 0,3056+\frac{0,4\cdot 250000-0,3\cdot 300000}{0,40-0,30}$	252800
$Re_{мин\ гр}$	Формула (3.1), таблица 3	$\frac{7300-5000}{0,4-0,3}\cdot 0,3056+\frac{0,4\cdot 5000-0,3\cdot 7300}{0,4-0,3}$	5129
Проверка выполнения условия п. 8.4			115575 < 252800; 34673 > 5129 – условие выполнено, расчет можно продолжить
18. Необходимая минимальная длина прямого участка трубопровода:	П. 8.4, таблица 7, п. 9.3.7		
до СУ L_1		$L_1 = 16D = 16 \cdot 0,099$	1,58 м 1,6 м < 2,5 м
после СУ L_2		$L_2 = 6,5D = 5 \cdot 0,099$	0,64 м 0,6 м < 1,0 м – условие выполнено
19. Наибольший перепад давления в СУ, соответствующий $Q_п$, $\Delta p_{макс}$	П. 4.2, формула (4.2)	$\Delta p_{макс} = \Delta p_н^0$	0,63 кгс/см^2 = = 61781,89 Па

Проверка выполнения условий п. 1.6			
20. Отношение перепада давлений к абсолютному давлению на входе СУ, для воздуха x = 1,4	П. 1.6, формула (1.4). Приложение П* Рекомендаций	$\frac{61781,89}{2552987,2}$	0,024
		$\frac{p_{нп}}{p} \approx 0$	
		$F0 = 2,068 \cdot \exp(-879/500) - 0,259 =$ $= 2,068 \cdot e^{-1,772} - 0,259 = 2,068 \cdot 0,172 - 0,259$	0,097
		$A = 2 \cdot \left(1 - 0,097 \cdot \frac{1,4}{1,4-1}\right) \cdot 0,097 -$ $-(1 - 0,3056^2) \cdot (0 - 0,097)^2$	0,120
		$B = 4 \cdot 0,097 \cdot \left(0,097 \cdot \frac{1,4}{1,4-1} - 1\right) +$ $+ 2 \cdot (1 - 0,3056^2) \cdot (1 - 0,097) \cdot (0 - 0,097)$	-0,4151
		$G = 2 \cdot 0,097 \cdot \left(1 - 0,097 \cdot \frac{1,4}{1,4-1}\right) - (1 - 0,3056^2) \cdot (1 - 0,097)^2$	-0,611
	Формула (1.5)	$CL = \frac{2 \cdot 0,120}{\sqrt{(-0,4151)^2 - 4 \cdot 0,12(-0,611)} - (-0,4151)}$	0,219
	Формула (1.4)	$1 - 0,219$	0,781 Так как 0,024 < 0,781, расчет продолжаем

Продолжение таблицы Г.1

Определяемая величина	Номера пунктов, формул, приложений	Расчет	Результат
1	2	3	4
	Формула (1.5)	$CL = \frac{2 \cdot 0{,}120}{\sqrt{(-0{,}4151)^2 - 4 \cdot 0{,}12(-0{,}611) - (-0{,}4151)}}$	0,219
	Формула (1.4)	$1 - 0{,}219$	0,781 Так как $0{,}024 < 0{,}781$, расчет продолжаем
Определение вспомогательной величины $m\alpha$, искомого значения модуля и геометрических характеристик диафрагмы			
21. Вспомогательная величина $m\alpha$	Формула (9.13)	$\frac{54{,}0914}{\sqrt{61781{,}89}}$	0,2176
22. Искомое значение модуля m для $m\alpha = 0{,}2176$	Приложение 2, стр. 41	$-0{,}0085 + 1{,}5786 \cdot 0{,}2176 - 0{,}6418 \cdot 0{,}2176^2 + 0{,}1026 \cdot 0{,}2176^3$	0,3056
23. Поправочный множитель K_0 на тепловое расширение материала СУ (Ст 12Х18Н9Т)	ГОСТ 8.563.1* Приложение В, формулы (В.4), (В.5)	$1 + 10^{-6} \cdot (15{,}6 + 10^{-3} \cdot 120 \cdot 8{,}3 - 10^{-6} \cdot 120^2 \cdot 6{,}5) \times (120 - 20)$	1,0016502

24. Диаметр отверстия диафрагмы d_{20} при температуре t = 20°C	Формула (9.12)	$\frac{0,0991186}{1,0016502} \cdot \sqrt{0,3056}$	0,0547036 м
Отклонение диаметра Δd	Формула (6.1)	$\frac{0,05 \cdot 0,0547036}{50}$	±0,000055 м = = ±0,055 мм
25. Диаметр отверстия СУ при рабочей температуре d	ГОСТ 8.563.1* Приложение В, формулы (В4)	$0,0547036 \cdot 1,0016502$	0,0547939 м = = 54,7939 мм
26. Расстояние между диафрагмами	П. 6.5.1	$H = 0,5D = 0,5 \cdot 99,1$	49,55 мм
27. Значение модуля m_1	Формула (6.4)	$0,01965 + 3,5678 \cdot 0,3056 - 4,6298 \cdot 0,3056^2 + + 2,3306 \cdot 0,3056^3$	0,7048
28. Толщина основной и вспомогательной диафрагм E	П. 6.5.2	$0,05D = 0,05 \cdot 99,1$	4,955 мм
29. Длина цилиндрического отверстия e	П. 6.5.3	$0,005 \cdot D < e < 0,02 \cdot D$ $0,005 \cdot 99,1 < e < 0,02 \cdot 99,1$	0,49 мм < e < 1,98 мм
30. Угол наклона образующей конуса к оси диафрагмы ψ	П. 6.5.4	$30° < \psi < 45°$	

Продолжение таблицы Г.1

Определяемая величина	Номера пунктов, формул, приложений	Расчет	Результат
1	2	3	4
31. Диаметр отверстия d''_{20} вспомогательной диафрагмы при температуре t = 20°С	Формула (9.12)	$\frac{0,0991186}{1,0016502} \cdot \sqrt{0,7048}$	83,075 мм
32. Отклонение внутреннего диаметра d″ вспомогательной диафрагмы от номинального значения Проверка правильности выполнения расчета	П. 6.5.6	Не более 0,2%	±0,2%, или ±0,16 мм
33. Коэффициент расхода α	П. 3.2	$0,6836 + 0,243 \cdot 0.3056^{1.82}$	0,7117
34. Расход, соответствующий наибольшему перепаду давления $\Delta p_{макс}$, $\varepsilon = 1$, $Q_м$	Формула (2.1)	$0,7117 \cdot 1 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{3,14159 \cdot 0,0547939^2}{4} \sqrt{61781,89 \cdot 879}$	17,4896 кг/с
35. Отклонение, ΔQ $\Delta Q = \frac{Q_{мп} - Q_м}{Q_{мп}} \cdot 100\%$		$\frac{17,5 - 17,4896}{17,5} \cdot 100\%$	0,059% 0,06% < 0,20%. Отклонение ΔQ от $Q_{мп}$ менее 0,2%, следовательно, расчет выполнен правильно

Погрешность измерения расхода			
36. Погрешность коэффициента расхода для двойных диафрагм σ_α	П. 5.2.1		0,5%
37. Погрешность поправочного множителя на расширение измеряемой среды σ_ε	Формула (5.5)	$7,5 \cdot (1 - 1)$	0
38. Отношение $\frac{d\alpha}{dm}$	П. 5.2, приложение 1	$0,44 \cdot 0,3056^{0,82}$	0,166
39. Погрешность σ_{d20}	П. 6.1.5	В зависимости от требований к погрешности измерения расхода выбираем в пределах от 0,05 до 0,3%	0,05%
40. Погрешность σ_{D20}	П. 8.3	В зависимости от требований к погрешности измерения расхода выбираем в пределах от 0,05 до 0,3%	0,05%
41. Погрешность определения плотности $\sigma\rho$	Формула (5.20)	$50\left[\left(\frac{2,4}{940}\right)^2 + \frac{(120-20)^2 \cdot 0,0000005^2 + 0,000615^2 \cdot 1,8^2}{[1-0,000615(120-20)]^2}\right]^{0,5} = 50\left[2,5 \cdot 10^{-6} + 1,4 \cdot 10^{-6}\right]^{0,5}$	0,10%

Окончание таблицы Г.1

Определяемая величина	Номера пунктов, формул, приложений	Расчет	Результат
1	2	3	4
где $\Delta\rho'_t$ – максимальная абсолютная погрешность измерений плотности при t = 20°С, ρ_{20} = 0,940 г/см^3 = = 940 кг/м^3		Исходные данные	0,0024 г/см^3 = = 2,4 кг/м^3
Δt – максимальная абсолютная погрешность измерений температуры мазута	Приложение П* Рекомендаций	Зависит от погрешности записи регистрирующего прибора и термопреобразователя сопротивления	В абсолютных значениях ±1,8°С
$\Delta\beta$ – максимальная абсолютная погрешность измерений коэффициента объемного теплового расширения мазута, β = 0,000615 для ρ_{20} = 940 кг/м^3	Приложение К* Рекомендаций	Половина единицы разряда последней значащей цифры β	0,0000005

42. Средняя квадратическая погрешность измерения перепада давления $\sigma^2_{\Delta p}$ для $Q_{70} = 0{,}7Q_{макс}$	Формула (5.12). Формула (2)* Рекомендаций	$0{,}25\left(\frac{17{,}5}{12{,}25}\cdot\sqrt{0{,}5^2+0{,}25^2+0{,}5^2}\cdot 1{,}1\right)^2 + 0{,}25\cdot 0{,}5^2 + 0{,}25\cdot 0{,}5^2$	0,47%
43. Средняя квадратическая погрешность измерений массового расхода σ_{Q70}	Формула (5.2). Формула (1)* Рекомендаций	$[0{,}5^2+0+4\cdot\left(\frac{0{,}3056}{0{,}7117}\cdot 0{,}166+1\right)^2\cdot 0{,}05^2 + 4\cdot\left(\frac{0{,}3056}{0{,}7117}\cdot 0{,}166\right)^2\cdot 0{,}05^2 + 0{,}25\cdot 0{,}1^2 + 0{,}47 + 1{,}1^2 + 0 + 0]^{0{,}5}$	1,39
44. Предельная относительная погрешность измерений расхода δ_{Q70}	Формула (5.1). Формула (3)* Рекомендаций	$2\cdot 1{,}39$	2,8%

Расчет выполнил _____ _____
(подпись) (инициалы, фамилия)

З а к л ю ч е н и е:

Диаметр отверстия диафрагмы соответствует заданным параметрам.

Калибровщик _____ _____ _____
(подпись) (инициалы, фамилия) (дата)

Приложение Д
(справочное)

ПРИМЕР РАСЧЕТА СЕГМЕНТНОЙ ДИАФРАГМЫ

1. Исходные данные:

– измеряемая среда – мазут марки М100;

– наибольший измеряемый массовый расход $Q_{макс}$ = 320000 кг/ч = 88.8889 кг/с;

– наименьший измеряемый массовый расход $Q_{мин}$ = 96000 кг/ч = 26,6667 кг/с;

– температура измеряемой среды t = 120°С = 393,15 К;

– избыточное давление перед СУ $p_и$ = 25 кгс/см^2 = 2451662,5 Па;

– барометрическое давление $p_б$ = 760 мм рт. ст. = 101324,7 Па;

– внутренний диаметр трубопровода D_{20} = 300 мм = 0,3 м;

– перепад давления ΔР = 1,6 кгс/см^2 = 156906,4 Па;

– плотность при t = 20°С ρ_{20} = 0.997 г/см^3 = 997 кг/м^3.

Плотность измеряется пикнометром ПЖ2, воспроизводимость результатов испытаний по ГОСТ 3900-85 [3] не превышает 0,0024 г/см^3;

– кинематическая вязкость при t = 80°С ν_{80} = 87 мм^2/с = 8,7 10^{-5} м^2/с.

Вязкость измеряется вискозиметром Гепплера, погрешность измерения не превышает 0,5%;

– материал СУ – сталь 20;

– материал трубопровода – сталь 20;

– длина прямого участка трубопровода до СУ (одно колено) – 4 м;

– длина прямого участка трубопровода после СУ (одно колено) – 3 м.

2. Определить геометрические характеристики сегментной диафрагмы и среднюю квадратическую относительную погрешность измерения массового расхода. Расчет приведен в таблице Д.1. В графе 2 таблицы Д.1 указаны номера пунктов, формул, таблиц, приложений по РД 50-411-83 [5]. Обозначенные * соответствуют ГОСТ 8.563.1(2)-97 [1], [2], настоящим Рекомендациям и другим НД. Некоторые пояснения к расчету приведены в приложении П Рекомендаций.

Таблица Д.1

Определяемая величина	Номера пунктов, формул, приложений	Расчет	Результат
1	2	3	4
Определение недостающих для расчета данных			
1. Абсолютное давление потока мазута p_a	II. 4.1.1	3432327,5 + 101324,7	3533652 Па
2. Поправочный множитель на тепловое расширение материала трубопровода $K_т$	ГОСТ 8.563.1* Приложение В, формулы (В.2), (В.5)	$1 + 10^{-6} \cdot (11{,}1 + 10^{-3} \cdot 120 \cdot 7{,}7 - 10^{-6} \cdot 120^2 \cdot 3{,}4) \times$ $\times (120 - 20)$	1,0011975
3. Внутренний диаметр трубопровода D при температуре t	ГОСТ 8.563.1* Приложение В, формула (В.2)	0,3 · 1,0011975	0,3003593 м
4. Плотность мазута в рабочих условиях ρ	Приложение К*, таблица К.1 Рекомендаций	При ρ = 0,997 γ = 0,000515, тогда $\rho_4^{50} = 0{,}997 - 0{,}000515 \cdot (50 - 20)$	0,9816 г/см^3
		При ρ = 0,9816 γ = 0,000528, тогда $\rho_4^{80} = 0{,}9816 - 0{,}000528 \cdot (80 - 50)$	0,9658 г/см^3
		При ρ = 0,9658 γ = 0,000554, тогда $\rho_4^{110} = 0{,}9658 - 0{,}000554 \cdot (110 - 80)$	0,9492 г/см^3
		При ρ = 0,9492 γ = 0,000581, тогда $\rho_4^{120} = 0{,}9492 - 0{,}000581 \cdot (120 - 110)$	0,9434 г/см^3 (943,4 кг/м^3)

Продолжение таблицы Д.1

Определяемая величина	Номера пунктов, формул, приложений	Расчет	Результат
1	2	3	4
5. Кинематическая вязкость мазута в рабочих условиях ν Выбор типа и разновидности дифференциального манометра	Приложение Л*, рисунок Л.1 Рекомендаций	ν_{120}	19,3 $мм^2/с$ = $= 1{,}93 \cdot 10^{-5}$ $м^2/с$
6. Тип и разновидность дифференциального манометра	П. 9.2.3	Преобразователь измерительный «Сапфир»	Класс точности 0,5
		Вторичный прибор КСУ-4	Класс точности 0,5; погрешность записи ±0,5%; погрешность хода диаграммы ±0,5%
		Блок питания и корнеизвлечения БПК-40	Погрешность ±0,25%
7. Тип и разновидность термометра		Термопреобразователь сопротивления ТСМУ-055 с пределом измерения от 0 до 150°С с унифицированным выходным сигналом от 0 до 5 mA	Погрешность ±0,5%

		Вторичный прибор КСУ-4 с пределом измерения от 0 до 150°С	Класс точности 0,5; погрешность записи ±0,5%
8. Тип и разновидность: манометра		Преобразователь измерительный «Сапфир-22ДИ» с пределом измерений 40 кгс/см^2 Вторичный прибор КСУ-4	Класс точности 0,5 Класс точности 0,5; погрешность записи ±0,5%
барометра Примечание – Для измерения и регистрации расхода, температуры и давления мазута возможно применение одного вторичного прибора КСУ-4 на три точки измерения и регистрации с линейной 100%-ной шкалой		МД-49-А, диапазон измерений от 610 до 790 мм рт. ст.	Максимальная абсолютная погрешность 1 мм рт. ст. = $= 1{,}3595 \cdot 10^{-3}$ кгс/см^2
9. Верхний предел измерений дифференциального манометра $Q_{мп}$	П. 9.2.3	По ГОСТ 18140	32000 кг/ч = = 88,8889 кг/с

Продолжение таблицы Д.1

Определяемая величина	Номера пунктов, формул, приложений	Расчет	Результат
1	2	3	4
Определение предельного номинального перепада давления, приближенного значения модуля			
10. Допустимая потеря давления $p_{пд}$ не задана, следовательно, условия формулы (9.7) не выполняются			
11. Вспомогательная величина C	Формула (9.5)	$\frac{88,8889}{0,3003593^2 \cdot \sqrt{943,4}} \cdot \frac{4}{\sqrt{2} \cdot 3,14159}$	28,895
12. Предельный номинальный перепад давления $\Delta p_н^0$	П. 9.2.4	По ГОСТ 18140	1,6 кгс/см^2 = = 156906,4 Па
13. Вспомогательная величина mα	Формула (9.6), приложение 2	$\frac{28,895}{\sqrt{156906,4}}$	0,07295 0,0608 < 0,0723 < 0,3365
14. *Приближенное* значение модуля m	*Приложение* 2, стр. 41	$-0,00294 + 1,7226 \cdot 0,07295 - 0,5123 \cdot 0,07295^2 - 0,4931 \cdot 0,07295^3$	0,1195 0,10 < m < 0,50

Проверка выполнения условия п. 9.2.5			
15. Число Рейнольдса при $Q_{макс}$, $Re_{макс}$	Формула (4.12). Приложение П* Рекомендаций	$\frac{4}{3,14159} \cdot \frac{88,8889 \cdot 9,80665}{0,3003593 \cdot 943,4 \cdot 1,93 \cdot 10^{-5}}$	202948
16. Число Рейнольдса при $Q_{мин}$, $Re_{мин}$	То же	$\frac{4}{3,14159} \cdot \frac{26,6667 \cdot 9,80665}{0,3003593 \cdot 943,4 \cdot 1,93 \cdot 10^{-5}}$	60884
17. Граничные значения числа Рейнольдса в зависимости от относительной площади m и типа СУ:			
$Re_{макс\ гр}$	Формула (3.1), таблица 3	$\frac{10^6 - 10^6}{0,15 - 0,1} \cdot 0,1195 + \frac{0,15 \cdot 10^6 - 0,1 \cdot 10^6}{0,15 - 0,1}$	10^6
$Re_{мин\ гр}$	Формула (3.1), таблица 3	$\frac{7500 - 5000}{0,15 - 0,1} \cdot 0,1195 + \frac{0,15 \cdot 5000 - 0,1 \cdot 7500}{0,15 - 0,1}$	5975 $202820 < 10^6$; $60884 > 5975$ – условие выполнено, расчет можно продолжить
Проверка выполнения условия п. 8.4			

Продолжение таблицы Д.1

Определяемая величина	Номера пунктов, формул, приложений	Расчет	Результат
1	2	3	4
18. Необходимая минимальная длина прямого участка трубопровода:	П. 8.4, таблица 7, п. 9.3.7		
до СУ L_1		$L_1 = 10D = 10 \cdot 0{,}3003593$	3,0 м 3,0 м < 4,0 м
после СУ L_2		$L_2 = 5D = 5 \cdot 0{,}3003593$	1,5 м 1,5 м < 3,0 м – условие выполнено
19. Наибольший перепад давления в СУ, соответствующий $Q_п$, $\Delta p_{макс}$	П. 4.2, формула (4.2)	$\Delta p_{макс} = \Delta p^0_н$	1,6 кгс/см^2 = = 156906,4 Па
Проверка выполнения условий п. 1.6			
20. Отношение перепада давлений к абсолютному давлению на входе СУ, для воздуха x = 1,4	П. 1.6, формулы (1.4), (1.5). Приложение П* Рекомендаций	$\frac{156906{,}4}{3533652{,}2}$ $\frac{p_{нп}}{p} \approx 0$ $F0 = 2{,}068 \cdot \exp(-943{,}4/500) - 0{,}259 =$ $= 2{,}068 \cdot e^{-1{,}887} - 0{,}259 = 2{,}068 \cdot 0{,}1515 - 0{,}259$	0,0444 0,0544

		$A = 2 \cdot \left(1 - 0{,}0544 \cdot \frac{1}{1{,}4 - 1}\right) \cdot 0{,}0544 - (1 - 0{,}1198^2) \cdot (0 - 0{,}0544)^2$	0,0911
		$B = 4 \cdot 0{,}0544 \cdot \left(0{,}0544 \cdot \frac{1}{1{,}4 - 1} - 1\right) + 2 \cdot (1 - 0{,}1198^2) \cdot (1 - 0{,}0544) \cdot (0 - 0{,}0544)$	-0,2893
		$G = 2 \cdot 0{,}0544 \cdot \left(1 - 0{,}0544 \cdot \frac{1}{1{,}4 - 1}\right) - (1 - 0{,}1198^2) \cdot (1 - 0{,}0544)^2$	-0,7873
	Формула (1.5)	$CL = \frac{2 \cdot 0{,}0911}{\sqrt{(-0{,}2893)^2 - 4 \cdot 0{,}0911(-0{,}7873)} - (-0{,}2893)}$	0,3195
	Формула (1.4)	$1 - 0{,}3195$	0,6805 Так как $0{,}0444 < 0{,}6805$, расчет продолжаем
Определение вспомогательной величины $m\alpha$, искомого значения модуля и геометрических характеристик диафрагмы			

Продолжение таблицы Д.1

Определяемая величина	Номера пунктов, формул, приложений	Расчет	Результат
1	2	3	4
21. Вспомогательная величина $m\alpha$	Формула (9.13)	$\frac{28{,}895}{\sqrt{156906{,}4}}$	0,07295
22. Искомое значение модуля m для $0{,}0608 < m\alpha < 0{,}3365$	Приложение 2, стр. 41	$-0{,}00294 + 1{,}7226 \cdot 0{,}07295 - 0{,}5123 \cdot 0{,}07295^2 - -0{,}4931 \cdot 0{,}07295^3$	0,1198
23. Поправочный множитель K_0 на тепловое расширение материала СУ	ГОСТ 8.563.1* Приложение В, формула (В.4)	$1 + 10^{-6} \cdot (11{,}1 + 10^{-3} \cdot 120 \cdot 7{,}7 - 10^{-6} \cdot 120^2 \cdot 3{,}4) \times \times (120 - 20)$	1,0011975
24. Толщина диафрагмы E	П. 6.6.2	$E \le 0{,}05 \cdot 0{,}3003593$	$E \le 0{,}015$ м = = 15,0 мм
Толщина кромки e	П. 6.6.2	$0{,}005 \cdot 0{,}3003593 < e < 0{,}02 \cdot 0{,}3003593$	0,0015 м < e < 0,0060 м 1,50 мм < e < 6,00 мм. Угол $30° \le \psi \le 45°$
25. Высота сегмента при рабочей температуре H	П. 6.6.4, формула (6.5)	$\frac{H}{D} = 0{,}04605 + 1{,}1997 \cdot 0{,}1198 - 0{,}9637 \cdot 0{,}1198^2 + + 0{,}7612 \cdot 0{,}1198^3$	0,17464
		$H = 0{,}3003593 \cdot 0{,}17464$	0,05245 м = = 52,45 мм

26. Высота сегмента H_{20} при температуре t = 20°C	П. 6.6.4	$\frac{H}{K_0} = \frac{0.05245}{1,0011975}$	0,052392 м = = 52,39 мм
Отклонение ΔH_{20}	Формула (6.1)	$\frac{0,03 \cdot 0,05239}{50}$	$\pm$0,000031 м = = 0,031 мм
27. Центральный угол сегмента Θ	П. 6.6.6	$H = \frac{D}{2}\left[1 - \cos\left(\frac{\Theta}{2}\right)\right]$, отсюда $2H = D\left[1 - \cos\left(\frac{\Theta}{2}\right)\right]$; $\cos\frac{\Theta}{2} = \frac{D - 2H}{D}$; $\cos\frac{\Theta}{2} = \frac{0,3003593 - 2 \cdot 0,05245}{0,3003593}$; $\cos\frac{\Theta}{2} = 0,65075$; $\frac{\Theta}{2} = 49°40'18''$	$\Theta = 99°20'36'' \approx$ $\approx 99,59°$
28. Площадь отверстия f	Формула (6.7)	$f = \frac{0.3003593^2}{8} \cdot \frac{(99°20'36'') \cdot 3,14159}{180} - \sin 99°20'36'' =$ $= 0,01127\frac{99,59 \cdot 3,14159}{180} - 0,9871 =$ $= 0,01127(1,7382 - 0,9860) = 0,01127 \cdot 0,7511$	0,008465 м^2

Продолжение таблицы Д.1

Определяемая величина	Номера пунктов, формул, приложений	Расчет	Результат
1	2	3	4
29. Относительная площадь m	Формула (6.8)	$m = \frac{1}{180}\arccos\left(1 - 2\cdot\frac{0{,}05245}{0{,}3003593}\right) -$ $- \frac{1}{3{,}14159}\left(1 - 2\frac{0{,}05245}{0{,}3003593}\right)\left[1 - \left(1 - 2\frac{0{,}05245}{0{,}3003593}\right)^2\right]^{0{,}5} =$ $= \frac{1}{180}\arccos 0{,}6508 - 0{,}2072\cdot 0{,}7593 =$ $= \frac{1}{180}\arccos 0{,}6508 - 0{,}1573 = \frac{1\cdot 49{,}4}{180} - 0{,}1573$	0,1171
Проверка правильности выполнения расчета			
30. Коэффициент расхода α	II. 3.2	$0{,}6085 - 0{,}03427\cdot 0{,}1171 + 0{,}3237\cdot 0{,}1171^2 +$ $+ 0{,}00695\cdot 0{,}1171^3$	0,60894
31. Расход, соответствующий наибольшему перепаду давления $\Delta p_{макс}$, $\varepsilon = 1$, $Q_м$	Формула (2.1), где $\frac{\pi d^2}{4} = f$	$0{,}60894\cdot 1\cdot\sqrt{2}\cdot 0{,}008477\cdot\sqrt{156906{,}4\cdot 943{,}4}$	88,8178 кг/с

32. Отклонение ΔQ $\Delta Q = \frac{Q_{мп} - Q_0}{Q_{мп}} \cdot 100\%$	П. 9.2.14	$\frac{88{,}8889 - 88{,}8178}{88{,}8889} \cdot 100\%$	0,08% 0,1% < 0,2%. Отклонение ΔQ от $Q_{макс}$ менее 0,2%, следовательно, расчет выполнен правильно
Средняя квадратическая относительная погрешность измерения расхода			
33. Погрешность коэффициента расхода для сегментных диафрагм σ_α	П. 5.2.1	$0{,}6 + 1{,}5 \cdot 0{,}1198^2$	0,62%
34. Погрешность поправочного множителя на расширение измеряемой среды σ_ε, $\varepsilon = 1$	П. 4.5.3		0
35. Отношение $\frac{d\alpha}{dm}$	П. 5.2, приложение 1	$-0{,}03 + 0{,}65\ m + 0{,}02\ m^2 =$ $= -0{,}03 + 0{,}65 \cdot 0{,}1198 + 0{,}02 \cdot 0{,}1198^2$	0,0482
36. Погрешность σ_{d20}	П. 6.1.5	В зависимости от требований к погрешности измерения расхода выбираем в пределах от 0,05 до 0,3%	0,05%
37. Погрешность σ_{D20}	П. 8.3	То же	0,05%

Окончание таблицы Д.1

Определяемая величина	Номера пунктов, формул, приложений	Расчет	Результат
1	2	3	4
38. Погрешность определения плотности $\sigma\rho$	Формула (5.20)	$50 \cdot \left[\left(\frac{2,4}{997} \right)^2 + \frac{(120-20)^2 \cdot 0,0000005^2 + 0,000518^2 \cdot 2,3^2}{[1-0,000518(120-20)]^2} \right]^{0,5}$	0,13%
39. Погрешность измерения перепада давления $\sigma^2_{\Delta p}$ для $Q_{70} = 0,7Q_{макс}$	Формула (5.12). Формула (2)* Рекомендаций	$0,25 \cdot \left(\frac{320000}{224000} \cdot \sqrt{0,5^2 + 0,25^2 + 0,5^2} \cdot 1,1 \right)^2 + 0,25 \cdot 0,5^2 + 0,25 \cdot 0,5^2$	0,47%
40. Средняя квадратическая погрешность измерений массового расхода σ_{Q70}	Формула (5.2). Формула (1)* Рекомендаций	$[0,62^2 + 0 + 4 \cdot \left(0,482 \cdot \frac{0,1206}{0,6090} + 1 \right)^2 \cdot 0,05^2 + 4 \cdot \left(\frac{0,1206}{0,6090} \cdot 0,482 \right)^2 \cdot 0,05^2 + 0,25 \cdot 0,13^2 + 0,47 + 1,1^2 + 0 + 0]^{0,5}$	1,44%
41. Предельная относительная погрешность измерений расхода δ_{Q70}	Формула (5.1). Формула (3)* Рекомендаций	$2 \cdot 1,44$	2,9%

Расчет выполнил _____ (подпись) _____ (инициалы, фамилия)

З а к л ю ч е н и е:

Площадь отверстия диафрагмы соответствует заданным параметрам.

Калибровщик _____ (подпись) _____ (инициалы, фамилия) _____ (дата)

Приложение Е
(справочное)

ПРИМЕР РАСЧЕТА ИЗНОСОУСТОЙЧИВОЙ ДИАФРАГМЫ

1. Исходные данные:

– измеряемая среда – мазут марки М100;

– наибольший измеряемый массовый расход $Q_{макс}$ = 100000 кг/ч = 27,778 кг/с;

– наименьший измеряемый массовый расход $Q_{мин}$ = 33333 кг/ч = 9,259 кг/с;

– температура измеряемой среды t = 150°С = 423,15 К;

– избыточное давление перед СУ $p_и$ = 30 кгс/см^2 = 2941995 Па;

– барометрическое давление $p_б$ = 755,0 мм рт. ст. = 100658,1 Па;

– потеря давления в СУ при расходе $Q_{макс}$, $P_{пд}$ = 1 кгс/см^2 = 98066,5 Па;

– предельный номинальный перепад давления $\Delta p_н^0$ = 0,63 кгс/см^2 = 61781,9 Па;

– плотность при t = 20 °С ρ_{20} = 0,955 г/см^3 = 955 кг/м^3.

Плотность измеряется ареометром типа АН, воспроизводимость результатов испытаний по ГОСТ 3900-85 [3] не превышает 0,0015 г/см^3;

– кинематическая вязкость при t = 80°С ν_{80} = 11,2 ВУ = 83,0 мм^2/с.

Вязкость измеряется вискозиметром ВУ, воспроизводимость результатов испытаний по ГОСТ 6258-85 не превышает 0,5%;

– внутренний диаметр трубопровода D_{20} = 145 мм = 0,145 м;

– материал СУ – сталь 12Х18Н9Т;

– материал трубопровода – сталь 20;

– длина прямого участка трубопровода до СУ (одно колено) – 2,0 м;

– длина прямого участка трубопровода после СУ (одно колено) – 18,5 м.

2. Определить геометрические характеристики износоустойчивой диафрагмы и среднюю квадратическую относительную погрешность измерения массового расхода. Расчет приведен в таблице Е.1. В графе 2 таблицы Е.1 указаны номера пунктов, формул, таблиц, приложений по РД 50-411-83 [5]. Обозначенные * соответствуют ГОСТ 8.563.1(2)-97 [1], [2], настоящим Рекомендациям и другим НД. Некоторые пояснения к расчету приведены в приложении П Рекомендаций.

Рабочие чертежи износоустойчивой диафрагмы, выполненные в соответствии с расчетом, РД 50-411-83, ГОСТ 8.563.1(2)-97 и другими НД, приведены в приложении И Рекомендаций.

Таблица Е.1

Определяемая величина	Номера пунктов, формул, приложений	Расчет	Результат
1	2	3	4
Определение недостающих для расчета данных			
1. Абсолютное давление потока мазута p_a	П. 4.1.1	2941995 + 100658,1	3042653,1 Па
2. Поправочный множитель на тепловое расширение материала трубопровода $K_т$	ГОСТ 8.563.1* Приложение В, формулы (В.2), (В.5)	$1 + 10^{-6} \cdot (11{,}1 + 10^{-3} \cdot 150 \cdot 7{,}7 - 10^{-6} \cdot 150^2 \cdot 3{,}4) \times$ $\times (150 - 20)$	1,0015832
3. Внутренний диаметр трубопровода D при температуре t	ГОСТ 8.563.1* Приложение В, формула (В.2)	0,145 · 1,0015832	0,145230 м
4. Плотность мазута в рабочих условиях ρ	Приложение К*, таблица К.1 Рекомендаций	При ρ = 0,955 γ = 0,000567, тогда $\rho_4^{50} = 0{,}955 - 0{,}000567 \cdot (50 - 20)$	0,9380 г/см^3
		При ρ = 0,9380 γ = 0,000620, тогда $\rho_4^{80} = 0{,}9380 - 0{,}000594 \cdot (80 - 50)$	0,9202 г/см^3
		При ρ = 0,9202 γ = 0,000607, тогда $\rho_4^{100} = 0{,}9202 - 0{,}000607 \cdot (110 - 80)$	0,9020 г/см^3
		При ρ = 0,9020 γ = 0,000633, тогда $\rho_4^{140} = 0{,}9020 - 0{,}000633 \cdot (140 - 110)$	0,8830 г/см^3
		При ρ = 0,8830 γ = 0,000660, тогда $\rho_4^{150} = 0{,}8830 - 0{,}000660 \cdot (150 - 140)$	0,8764 г/см^3 (876,4 кг/м^3)

5. Кинематическая вязкость мазута в рабочих условиях ν	Приложение Л* Рекомендаций	ν_{150}	8,8 мм^2/с = $= 0{,}88\ 10^{-5}$ м^2/с
6. Динамическая вязкость мазута в рабочих условиях μ	Формула (80)* РД 50-213-80 [16]	$\frac{8{,}8 \cdot 10^{-6} \cdot 876{,}4}{9{,}8}$	0,000787 Па · с
Выбор типа и разновидности дифференциального манометра			
7. Тип и разновидность дифференциального манометра	П. 9.2.3	Преобразователь измерительный Сапфир-22ДД Блок преобразования сигнала Устройство измерения и регистрации РП 160	Класс точности 0,5 Погрешность ±0,25% Класс точности 0,5; погрешность записи ±1,0%; погрешность хода диаграммы ±0,5%
8. Тип и разновидность термометра		Термопреобразователь сопротивления ТСМ	Допускаемое отклонение от $R_{ном}$ для класса С = 0,2 по ГОСТ 6651

Продолжение таблицы Е.1

Определяемая величина	Номера пунктов, формул, приложений	Расчет	Результат
1	2	3	4
		Устройство измерения и регистрации КСМ2, предел измерения 200°С	Класс точности 0,5; погрешность записи ±1,0%
		Наружный диаметр гильзы термометра (гильза термометра установлена после сужающего устройства)	18 мм
		Расстояние до сужающего устройства	1100 мм
9. Тип и разновидность: манометра		Преобразователь измерительный «Сапфир-22ДИ»	Класс точности 0,5
		Устройство измерений и регистрации РП 160	Класс точности 0,5; погрешность записи ±1,0%
барометра		МД-49-А, диапазон измерений от 610 до 790 мм рт. ст.	Максимальная абсолютная погрешность 1 мм рт. ст. = $= 1{,}3595\,10^{-3}$ кгс/см^2
10. Верхний предел измерений дифференциального манометра, $Q_{мп}$	П. 9.2.3	По ГОСТ 18140	100000 кг/ч = = 27,778 кг/с

Определение приближенного значения модуля			
11. Допустимая потеря давления, $p_{ПД}$	П. 9.2.4.1	$98066{,}5 \cdot \left(\frac{27{,}778}{27{,}778}\right)^2$	98066,5 Па
12. Вспомогательная величина С	Формула (9.5)	$\frac{27{,}778}{0{,}145230^2\sqrt{876{,}4}} \cdot \frac{4}{\sqrt{2} \cdot 3{,}14159}$	40,0534
13. Предельный номинальный перепад давления $\Delta p^0_н$	П. 9.2.4	По ГОСТ 18140	0,63 кгс/см^2 = = 61781,9 Па
14. Вспомогательная величина mα	Формула (9.6), приложение 2	$\frac{40{,}0534}{\sqrt{61781{,}9}}$	0,16114
15. Приближенное значение модуля m	Приложение 3, стр. 47		0,2529
16. Относительная потеря давления, П	П. 7.1. Рис. 11		0,74
Проверка выполнения неравенства $\frac{P_{ПД}}{П} \geq \Delta P^o_н$	Формула (9.7)	$\frac{98066{,}5}{0{,}74}$	132522,3 132522,3 > 61781,9 – условие выполнено

Продолжение таблицы Е.1

Определяемая величина	Номера пунктов, формул, приложений	Расчет	Результат
1	2	3	4
Проверка выполнения условия п. 9.2.5			
17. Число Рейнольдса при $Q_{макс}$, $Re_{макс}$	Формула (4.12). Приложение П* Рекомендаций	$\frac{4}{3,14159} \cdot \frac{27,778 \cdot 9,80665}{0,145230 \cdot 876,4 \cdot 0,88 \cdot 10^{-5}}$	309673
18. Число Рейнольдса при $Q_{мин}$, $Re_{мин}$	То же	$\frac{4}{3,14159} \cdot \frac{9,259 \cdot 9,80665}{0,145230 \cdot 876,4 \cdot 0,88 \cdot 10^{-5}}$	103223
19. Граничные значения числа Рейнольдса в зависимости от относительной площади m и типа СУ:			
$Re_{мин\ гр}$	Формула (3.1), таблица 3	$\frac{100000 - 60000}{0,3 - 0,2} \cdot 0,2529 + \frac{0,3 \cdot 100000 - 0,2 \cdot 60000}{0,3 - 0,2}$	81160 $Re_{мин} \geq Re_{мин\ гр}$ $103223 > 81160$
$Re_{макс\ гр}$	Формула (3.1), таблица 3		10^7 $Re_{макс} \leq Re_{макс\ гр}$ $309673 < 10^7$ – условия выполнены, расчет можно продолжить

Проверка выполнения условия п. 8.4			
20. Необходимая минимальная длина прямого участка трубопровода	П. 8.4, таблица 7, П. 9.3.7		
до СУ L_1		$L_1 = 14D = 14 \cdot 0{,}145230$	2,0 м 2,0 м < 20 м
после СУ L_2		$L_2 = 6D = 6 \cdot 0{,}145230$	0,9 м 0,9 м < 18,5 м – условие выполнено
21. Наибольший перепад давления в СУ, соответствующий Q_n, $\Delta p_{макс}$	П. 4.2, формула (4.2)	$\Delta p_{макс} = \Delta p_н^0$	0,63 кгс/см^2 = = 61781,7 Па
Проверка выполнения условий п. 1.6			
22. Отношение перепада давлений к абсолютному давлению на входе СУ, для воздуха x = 1,4	П. 1.6, формула (1.4). Приложение П* Рекомендаций	$\frac{61781{,}7}{3042653{,}1}$ $\frac{p_{нп}}{p_a} \approx 0$	0,020
		$F0 = 2{,}068 \cdot \exp(-867{,}1/500) - 0{,}259 = 2{,}068 \times \times e^{-1{,}753} - 0{,}259$	0,099

Продолжение таблицы Е.1

Определяемая величина	Номера пунктов, формул, приложений	Расчет	Результат
1	2	3	4
		$A = 2 \cdot \left(1 - 0{,}099 \cdot \frac{1{,}4}{1{,}4 - 1}\right) \cdot 0{,}099 - $ $- (1 - 0{,}2529^2) \cdot (0 - 0{,}099)^2$	0,1204
		$B = 4 \cdot 0{,}099 \cdot \left(0{,}099 \cdot \frac{1{,}4}{1{,}4 - 1} - 1\right) +$ $+ 2 \cdot (1 - 0{,}2529^2) \cdot (1 - 0{,}099) \cdot (0 - 0{,}099)$	-0,427
		$G = 2 \cdot 0{,}099 \cdot \left(1 - 0{,}099 \cdot \frac{1{,}4}{1{,}4 - 1}\right) -$ $- (1 - 0{,}2529^2) \cdot (1 - 0{,}099)^2$	-0,630
	Формула (1.5)	$CL = \frac{2 \cdot 0{,}1204}{\sqrt{(-0{,}427)^2 - 4 \cdot 0{,}1204 \cdot (-0{,}630)} - (-0{,}427)}$	0,252
	Формула (1.4)	$1 - 0{,}252$	0,748 Так как $0{,}020 < 0{,}748$, расчет продолжаем

Определение вспомогательной величины $m\alpha$, искомого значения модуля и геометрических характеристик диафрагмы			
23. Вспомогательная величина $m\alpha$	Формула (9.13)	$\frac{40{,}0534}{\sqrt{61781{,}9}}$	0,1611
24. Искомое значение модуля m	Приложение 3, стр. 47		0,2529
25. Поправочный множитель K_0 на тепловое расширение материала СУ	ГОСТ 8.563.1* Приложение В, формулы (В.4), (В.5)	$1 + 10^{-6} \cdot (15{,}6 + 10^{-3} \cdot 150 \cdot 8{,}3 - 10^{-6} \cdot 150^2 \cdot 6{,}5) \times$ $\times (150 - 20)$	1,0021708
26. Диаметр отверстия диафрагмы d_{20} при температуре t = 20°C	Формула (9.12)	$\frac{0{,}145230}{1{,}0021708}\sqrt{0{,}2529}$	0,072877 м = = 72,877 мм
Отклонение диаметра Δd_{20}		$\frac{0{,}1 \cdot 0{,}072877}{50}$	±0,000146 м = = ±0,146 мм
27. Диаметр отверстия СУ при рабочей температуре d	ГОСТ 8.563.1* Приложение В, формула (В.4)	$0{,}072877 \cdot 1{,}0021708$	0,0730347 м = = 73,0347 мм

Продолжение таблицы Е.1

Определяемая величина	Номера пунктов, формул, приложений	Расчет	Результат
1	2	3	4
Определение геометрических характеристик			
28. Толщина диафрагмы E	П. 6.7.2, ГОСТ 8.563.1*	$E \le 0{,}05D = 0{,}05 \cdot 0{,}145230 \cdot 1000$	7,3 мм принимаем E = 6 мм
29. Длина цилиндрической части отверстия e		$0{,}005 \cdot 145 < e < 0{,}02 \cdot (145 - 12{,}5 \cdot 10^{-3})$ Цилиндрическое отверстие должно переходить в коническую часть	0,7мм ≤ e ≤ 2,9мм. Принимаем e = 2 мм
30. Угол наклона образующей конуса к оси диафрагмы ψ	П. 6.7.2		$30° \le \psi \le 45°$
31. Глубина снятия фаски на входной кромке диафрагмы h	П. 6.7.3	$h = 0{,}25 \pm 0{,}0005 \cdot 73{,}0347$. Фаску выполнять под углом (45±5)°	0,250 ± 0,037 мм
32. Кратчайшее расстояние L между осью сужающего устройства и осью трубы	Формула (8.1)	$L = 0{,}015 \cdot 0{,}145230 \cdot \left(\frac{0{,}145230}{0{,}0730347} - 1 \right)$	0,002153 м L < 2,0 мм
33. Абсолютная эквивалентная шероховатость стенок трубопровода	РД 50-213-80* [16] таблица 4		0,04 мм

34. Средняя относительная шероховатость стенок прямого трубопровода длиной 10Д до СУ Проверка правильности выполнения расчета	П. 8.3	$\frac{Ra}{Д \cdot 10^4}$	Не превышает 4,9
35. Коэффициент расхода α	П. 3.2	При $m < 0,3$ $\alpha_c = 0,5950 + 0,04 \cdot 0,2529 + 0,3 \cdot 0,2529^2$ $\alpha = \left(1,0068 + \frac{1,03585}{73,0347}\right) \cdot 0,6243035$	0,6243035 0,637403
36. Расход, соответствующий наибольшему перепаду давления $\Delta p_{макс}$, $\varepsilon = 1$, $Q_м$	Формула (2.1), где $\frac{\pi d^2}{4} = f$	$0,637403 \cdot 1 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{3,14159 \cdot 0,0730347^2}{4} \cdot \sqrt{61781,7 \cdot 876,4}$	27,788 кг/с
37. Отклонение ΔQ $\Delta Q = \frac{Q_{мп} - Q_0}{Q_{мп}} \cdot 100\%$	П. 9.2.14	$\frac{27,788 - 27,778}{27,778} \cdot 100\%$	0,036%. Отклонение ΔQ от $Q_{мп}$ менее 0,2%, следовательно, расчет выполнен правильно

Продолжение таблицы Е.1

Определяемая величина	Номера пунктов, формул, приложений	Расчет	Результат
1	2	3	4
Средняя квадратическая относительная погрешность измерения расхода			
38. Погрешность коэффициента расхода для износоустойчивых диафрагм σ_α	П. 5.2.1	При $m < 0,4$	0,2%
39. Погрешность поправочного множителя на расширение измеряемой среды σ_ε, $\varepsilon = 1$	Формула (5.5)	Не определяется, так как $\varepsilon = 1$	0
40. Отношение $\frac{d\alpha}{dm}$	П. 5.2, приложение 1	Для износоустойчивых диафрагм $\frac{d\alpha}{dm} = m$	0,2529
41. Погрешность σ_{d20}	П. 6.1.5	В зависимости от требований к погрешности измерения расхода выбираем в пределах от 0,05 до 0,3%	0,1%
42. Погрешность σ_{D20}	П. 8.3	То же	0,1%

43. Погрешность определения плотности $\sigma\rho$	Формула (5.20)	$50 \cdot \left[\left(\frac{1,5}{955} \right)^2 + \frac{(150-20)^2 \cdot 0,0000005^2 + 0,000594^2 \cdot 2,3^2}{\left[1 - 0,000594 \cdot (150-20)\right]^2} \right]^{0,5}$	0,1%
где $\Delta\rho'_t$ – максимальная абсолютная погрешность измерений плотности при t = 20°С, ρ_{20} = 955 кг/м^3		Исходные данные	0,0015 г/см^3 = = 1,5 кг/м^3
Δt – максимальная абсолютная погрешность измерений температуры мазута	Приложение П* Рекомендаций	Зависит от погрешности записи регистрирующего прибора и термопреобразователя сопротивления	В абсолютных значениях ±2,3°С
$\Delta\beta$ – максимальная абсолютная погрешность измерений коэффициента объемного теплового расширения мазута, β = 0,000594 для ρ_{20} = 955 кг/м^3	Приложение К* Рекомендаций	Половина единицы разряда последней значащей цифры β	0,0000005°С

Окончание таблицы Е.1

Определяемая величина	Номера пунктов, формул, приложений	Расчет	Результат
1	2	3	4
44. Средняя квадратическая погрешность измерения перепада давления $\sigma^2_{\sqrt{\Delta p}}$ для $Q_{70} = 0{,}7Q_{макс}$	Формула (5.12). Формула (2)* Рекомендаций	$0{,}25 \cdot \left(\frac{27{,}778}{19{,}445} \cdot \sqrt{0{,}5^2 + 1^2 + 0{,}25^2} \cdot 1{,}1 \right)^2 + 0{,}25 \cdot 0{,}5^2 + 0{,}25 \cdot 0{,}5^2$	0,93%
45. Средняя квадратическая погрешность измерений массового расхода σ_{Q70}	Формула (5.2). Формула (1)* Рекомендаций	$[0{,}2^2 + 0 + 4 \cdot \left(\frac{0{,}2529 \cdot 0{,}2529}{0{,}637403} + 1 \right)^2 \cdot 0{,}1^2 + 4 \cdot \left(\frac{0{,}2529 \cdot 0{,}2529}{0{,}637403} \right)^2 \cdot 0{,}1^2 + 0{,}25 \cdot 0{,}1^2 + 0{,}93 + 1{,}1^2 + 0 + 0]^{0{,}5}$	1,49%
46. Предельная относительная погрешность измерений расхода $\delta_{Q_{70}}$	Формула (5.1). Формула (3)* Рекомендаций	$2 \cdot 1{,}49$	3,0%

Расчет выполнил _____ (подпись) _____ (инициалы, фамилия)

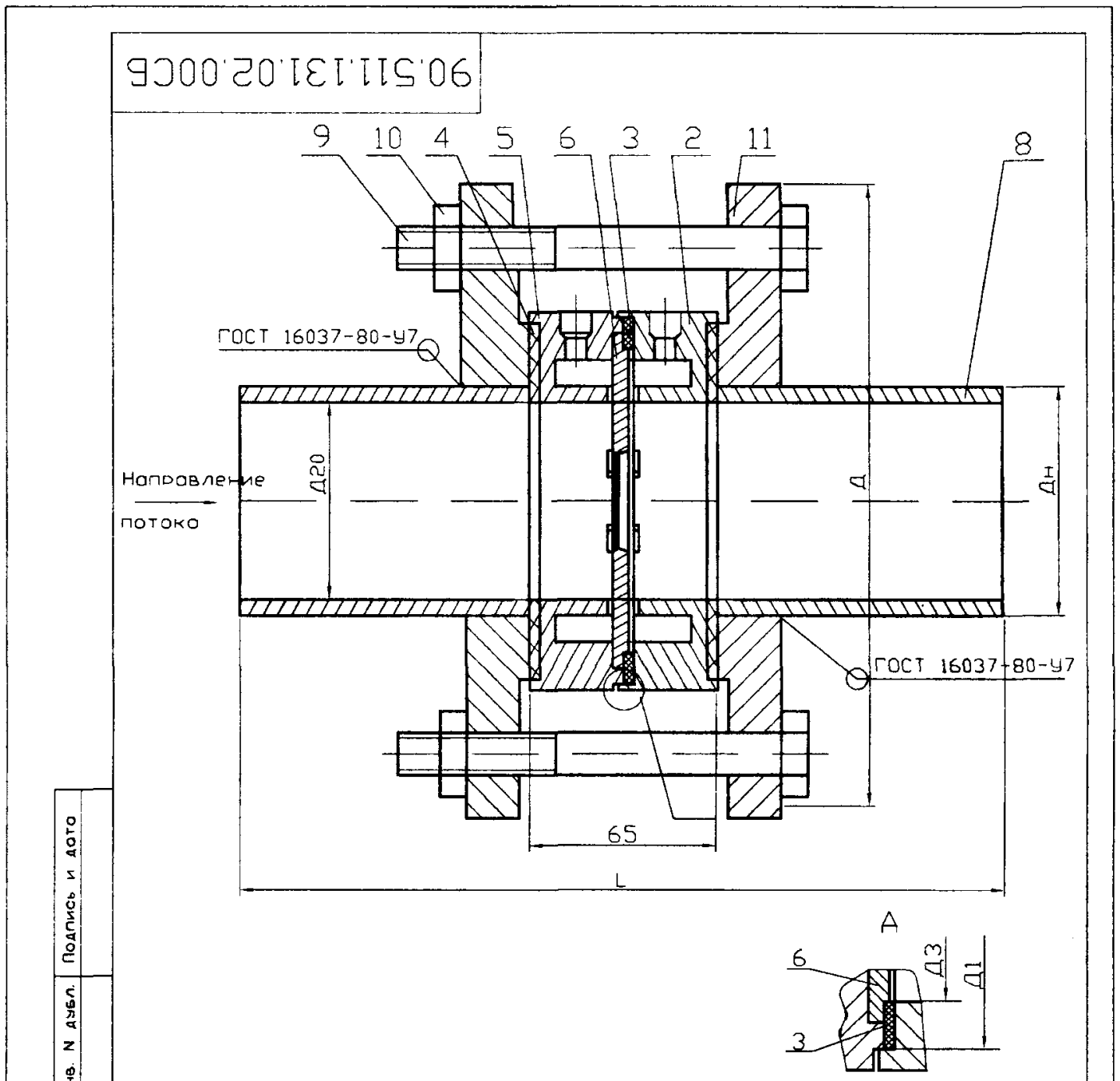
З а к л ю ч е н и е:

Площадь отверстия диафрагмы соответствует заданным параметрам.

Калибровщик _____ (подпись) _____ (инициалы, фамилия) _____ (дата)

Приложение Ж
(справочное)

РАБОЧИЕ ЧЕРТЕЖИ СПЕЦИАЛЬНОГО СУЖАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА



Обозначение	Д мм	Д20 мм	Дн мм	L мм	Д1 мм	Д3 мм
90.511.131.02.00СБ	195	82	89	460	135	105

Изм.	Лист	N документа	Подпись	Дата	90.511.131.02.00СБ		
Разраб.					Соединение фланцевое для комерных измерительных диафрагм трубопроводов давлением Ру=1,4МПа. Сборочный чертеж	Лит.	Масса	Масштаб
Провер.						И	–	–
Т.контр.						Лист	Листов 1	
Н.контр.								
Утверд.								

Подпись и дата | Инв. N дубл. | Взам. инв. N | Подпись и дата | Инв. N подл.

Продолжение приложения Ж

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				Документация		
А4			90.511.131.02.СБ	Сборочный чертеж		
				Детали		
А4		2	90.511.131.02 02	Корпус минусовой	1	
				кольцевой камеры		
А4		3	90.511.131.02.03	Прокладка	1	
А4		4	90.511.131.02.04	Прокладка	2	
А4		5	90.511.131.02.05	Корпус плюсовой	1	
				кольцевой камеры		
А4		6	90.511.131.02.06	Диафрагма с кони-	1	
				ческим входом		
А4		8		Патрубок		
				Труба 89х3,5 ГОСТ 8732-78	2	
				Ст.20 ГОСТ 1050-80		
				L=192=1мм		

Подпись и дата | Инв. N дубл. | Взам. инв. N | Подпись и дата | Инв. N подл

Изм	Лист	N документа	Подпись	Дата
Разраб.				
Провер				
Т.контр				
Н.контр				
Утверд.				

90.511.131.02.00

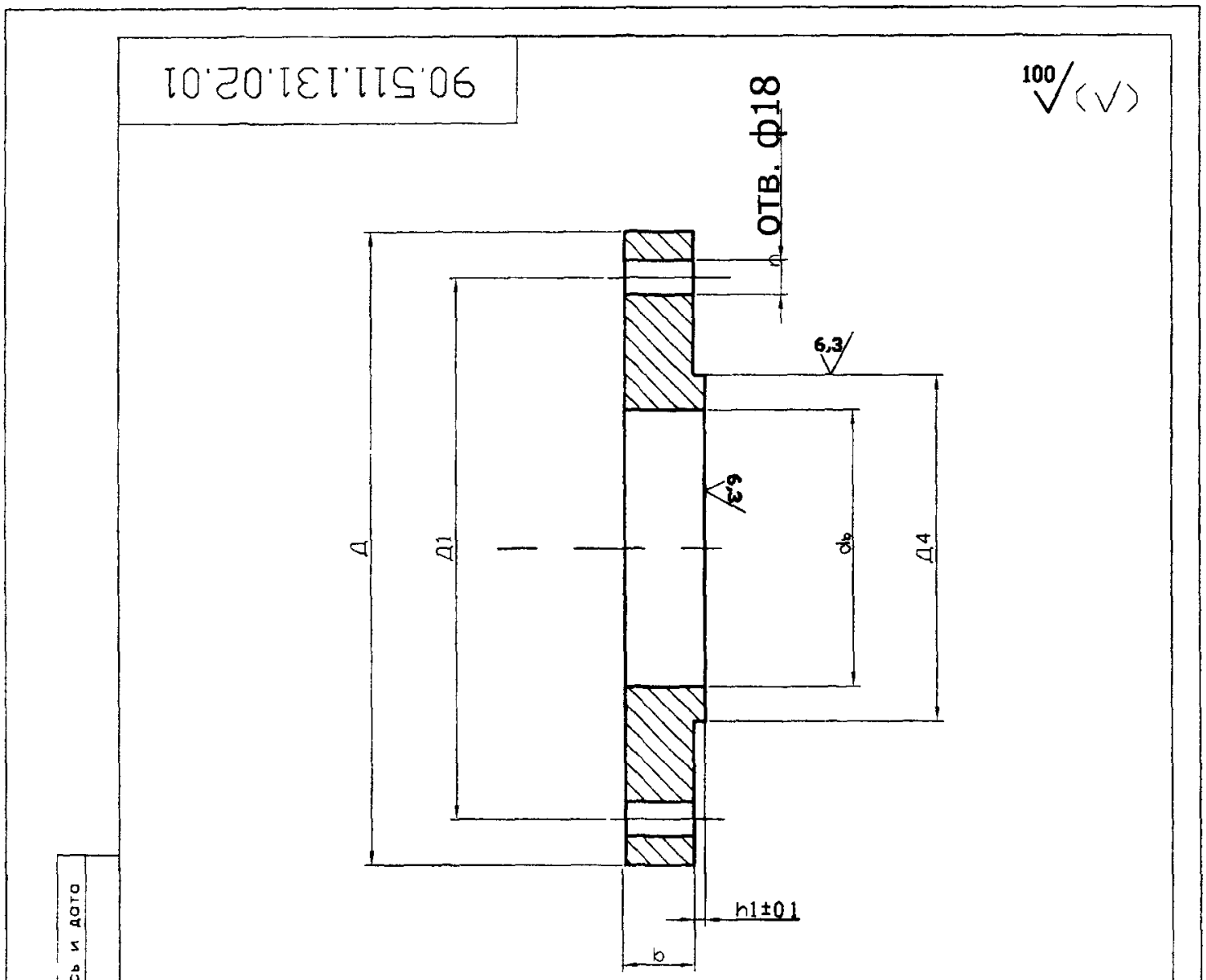
Соединение фланцевое для камерных измерительных диафрагм трубопроводов давлением Ру=1,4МПа

Лит.	Масса	Масштаб
И		
Лист 1	Листов 2	

Продолжение приложения Ж

Формат	Зона	Поз	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме-чание
				Стандартные		
				изделия		
		9		Болт М16х140.46	8	
				ГОСТ 7798-70		
		10		Гайка М16.5	8	
				ГОСТ 5915-70		
		11		Фланец 2х80х16 Ст.20	2	
				ГОСТ 12821-80		

Продолжение приложения Ж



Обозначение	h1 мм	b мм	n	d_b мм	Д мм	Д1 мм	Д4 мм
90.511.131 02 01	4,0	21=0,3	8	$91^{+0,87}$	$195_{-2,9}$	160	$120^{-0,145}_{-0,395}$

Подпись и дата | Инв N дубл | Взам инв N | Подпись и дата | Инв N подл

Изм	Лист	N документа	Подпись	Дата
Разраб				
Провер				
Т контр				
Н контр				
Утверд				

90.511.131 02.01

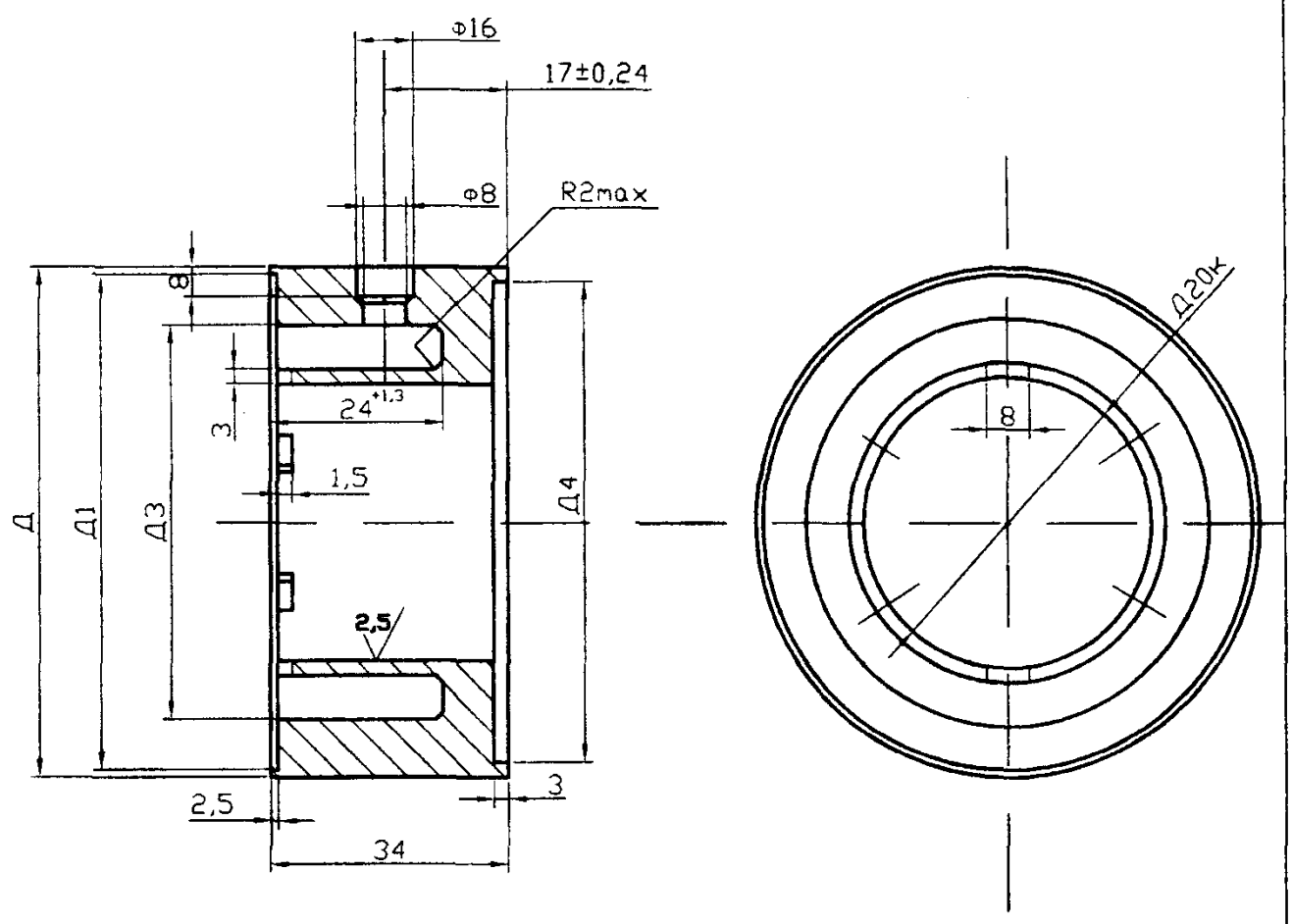
Фланец

Лит	Масса	Масштаб
И	-	-
Лист	Листов 1	

Ст 20 ГОСТ 1050-88

90.511.131.02.02

6,3 (√)



Обозначение	Д20к мм	Д мм	Д1 мм	Д3 мм	Д4 мм
90.511.131.02.02	$81^{+1.0}$	$142_{-2.5}$	$135^{+0.25}$	$105^{+2.2}$	$120^{+2.5}$

1. Неуказанные предельные отклонения размеров : H16, h16, IT16/2.

2. Биение диаметра Д1 относительно Д20к не более 0,001 Д20к.

Инв. N дубл. | Взам. инв. N | Подпись и дата | Инв. N подл. | Подпись и дата

Изм	Лист	N документа	Подпись	Дата
Разроб.				
Провер.				
Т.контр.				
Н.контр.				
Утверд.				

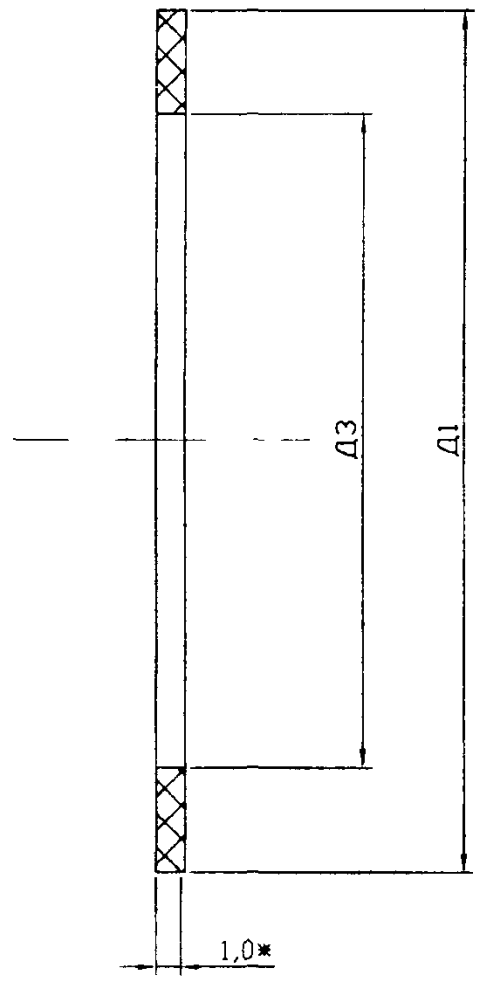
90.511.131.02.02

Корпус минусовой кольцевой камеры

Сталь 20 ГОСТ 1050-88

Лит.	Масса	Масштаб
И	–	–
Лист	Листов 1	

90.511.131.02.03



Обозначение	Д1 мм	Д3 мм
90 511 131 02 03	135	105

* Размер для справок.

Подпись и дата | Инв N дубл | Взам инв N | Подпись и дата | Инв N подл

Изм.	Лист	N документа	Подпись	Дата
Разраб				
Провер				
Т контр				
Н контр				
Утверд				

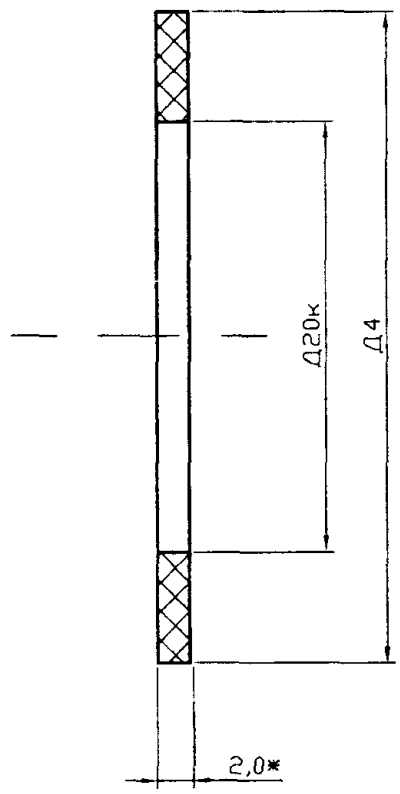
90.511.131 02.03

Прокладка

Лит	Масса	Масштаб
И	-	-
Лист	Листов 1	

ПОН Б 1,0 ГОСТ 481-80

90.511.131.02.04



Обозначение	Д20к мм	Д4 мм
90 511 131 02 04	82	120

* Размер для справок.

Подпись и дата | Инв N дубл | Взам инв N | Подпись и дата | Инв N подл

Изм	Лист	N документа	Подпись	Дата
Разраб				
Провер				
Т контр				
Н контр				
Утверд				

90.511.131.02.04

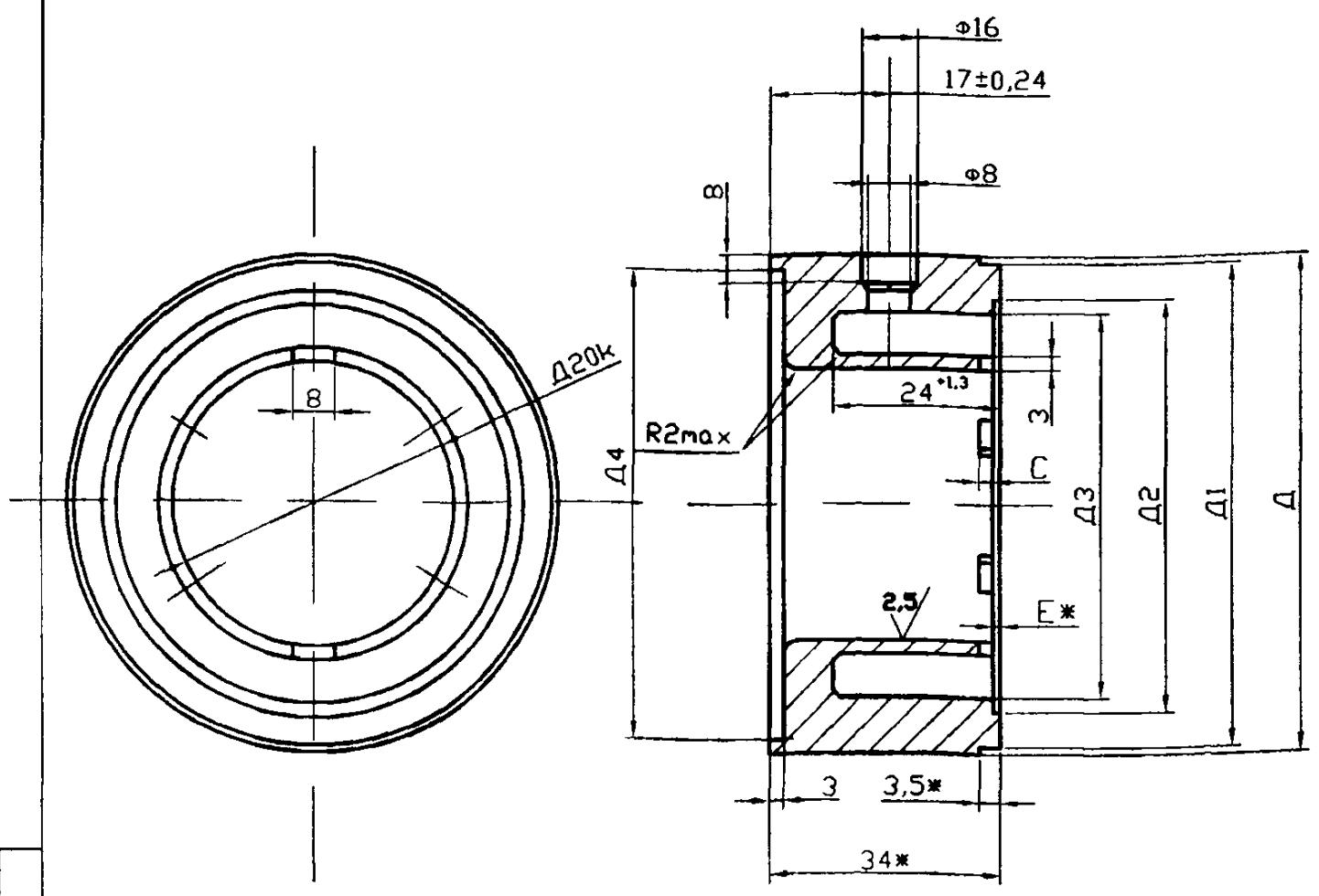
Прокладка

Лит	Масса	Масштаб
И	-	-
Лист	Листов 1	

ПОН А 2,0 ГОСТ 481-80

90.511.131.02.05

6,3 (√)



Обозначение	Д мм	Д1 мм	Д2 мм	Д3 мм	Д4 мм	Д20к мм	С мм	Е мм
90.511.131.02.05	$142_{-2,5}$	$135^{-0,145}_{-0,395}$	$115^{+0,140}$	$105^{+2,2}$	$120^{+2,2}$	$81^{+1,0}$	2,5	7,0±0,1

1 *Размеры после совместной обработки с диафрагмой не проверяют

2 Неуказанные предельные отклонения размеров H16, h16, IT16/2

3 Биение (удвоенная несоостность) диаметров Д1 и Д2 относительно Д20к не более 0,001 Д20к

Подпись и дата | Инв N дубл | Взам инв N | Подпись и дата | Инв N подл

Изм	Лист	N документа	Подпись	Дата
Разраб				
Провер				
Т контр				
Н контр				
Утверд				

90.511.131.02.05

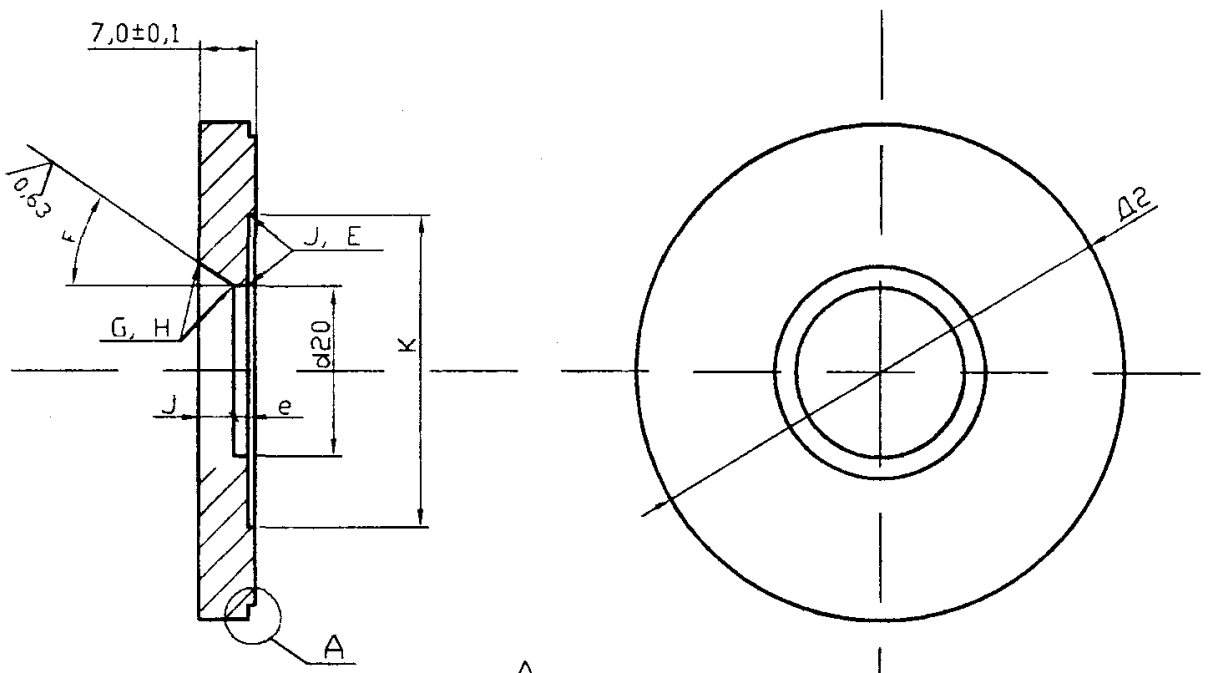
Корпус плюсовой кольцевой камеры

Сталь 20 ГОСТ 1050-80

Лит	Масса	Масштаб
И	–	–
Лист	Листов 1	

90.511.131.02.06

1,25 (√)



Обозначение	F град	d20 мм	K мм	Д2 мм	Д3 мм	J мм	e мм
90.511.131.02.06	32,56= 0,98	⌀39,89= 0,07	⌀79,78= 0,07	$115^{-0,12}_{-0,207}$	$105_{-2,2}$	4,28= 0,17	0,84= 0,04

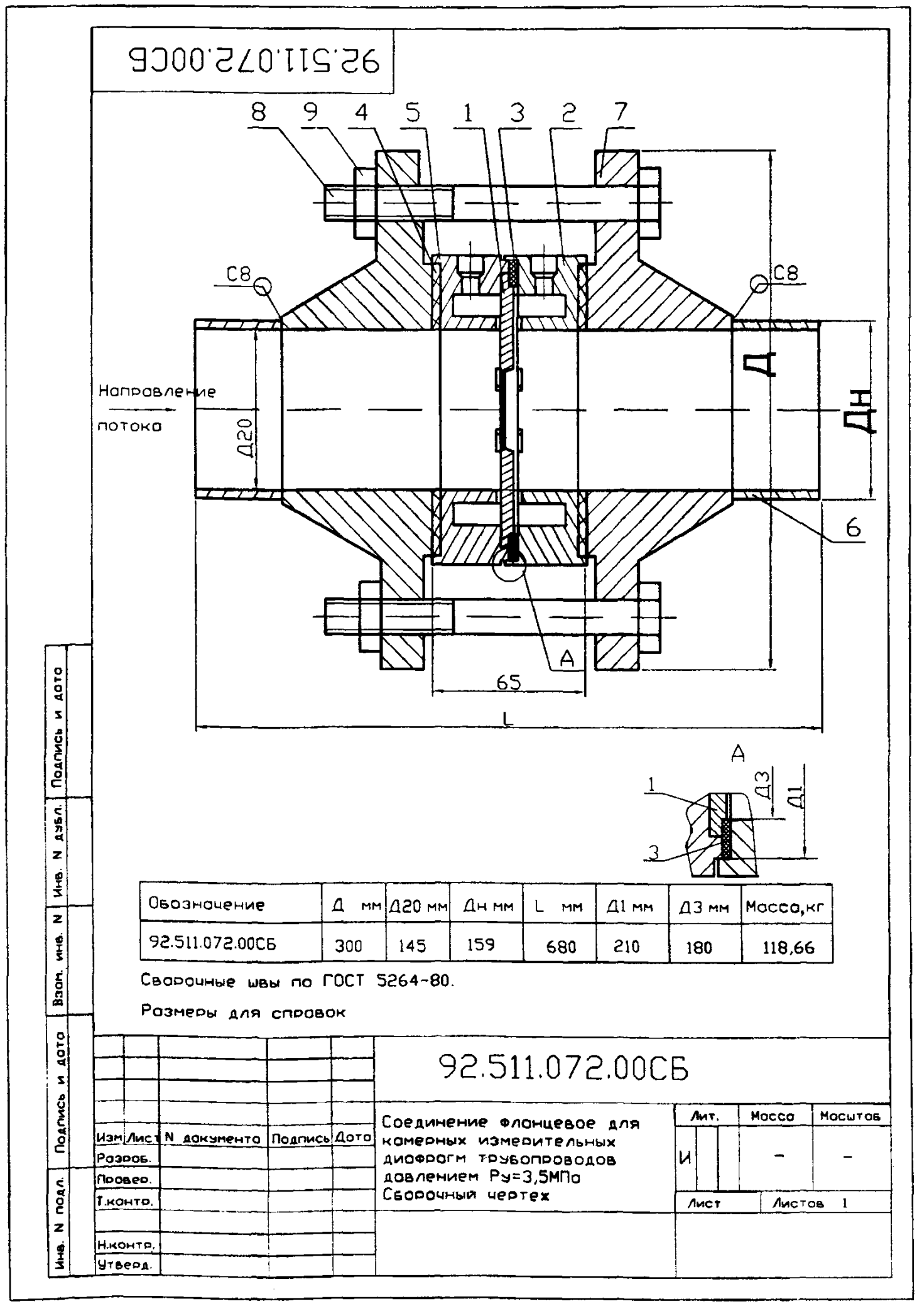
Кромки G, H, F, J – острые без заметных заусенцев.

					90.511.131.02.06		
Изм	Лист	N документа	Подпись	Дата	Диафрагма с коническим входом	Лит.	Масса / Масштаб
Разраб.						И	– / –
Провер.						Лист	Листов 1
Т.контр.					Сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72		
Н.контр.							
Утверд.							

Подпись и дата | Инв. N дубл. | Взам. инв. N | Подпись и дата | Инв. N подл.

П р и л о ж е н и е И
(справочное)

РАБОЧИЕ ЧЕРТЕЖИ ИЗНОСОУСТОЙЧИВОЙ ДИАФРАГМЫ



Обозначение	Д мм	Д20 мм	Дн мм	L мм	Д1 мм	Д3 мм	Масса,кг
92.511.072.00СБ	300	145	159	680	210	180	118,66

Сварочные швы по ГОСТ 5264-80.

Размеры для справок

Изм	Лист	N документа	Подпись	Дата
Разраб.				
Провер.				
Т.контр.				
Н.контр.				
Утверд.				

92.511.072.00СБ

Соединение фланцевое для камерных измерительных диафрагм трубопроводов давлением Ру=3,5МПа
Сборочный чертеж

Лит.	Масса	Масштаб
И	-	-
Лист	Листов 1	

Подпись и дата | Инв. N дубл. | Взам. инв. N | Подпись и дата | Инв. N подл.

Продолжение приложения И

Формат	Зона	Поз	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				Документация		
А4			92 511.072.00	Сборочный чертеж		
				Детали		
		1	92.511.072.01	Диафрагма	1	
				износоустойчивая		
А4		2	92.511.072 02	Корпус минусовой	1	
				кольцевой камеры		
А4		3	92 511 072.03	Прокладка	1	
А4		4	92.511.072 04	Прокладка	2	
А4		5	92 511 072.05	Корпус плюсовой	1	
				кольцевой камеры		
А4		6		Патрубок		
				Труба $\frac{159\times7\ \text{ГОСТ}\ 8732\text{-}78}{\text{Ст.20 ГОСТ 1050-80}}$	2	
				L=236=0,5 мм		

Подпись и дата | Инв N дубл | Взам инв N | Подпись и дата | Инв N подл

Изм	Лист	N документа	Подпись	Дата
Разраб				
Провер				
Т контр				
Н контр				
Утверд				

92.511.072.00

Соединение фланцевое для камерных измерительных диафрагм трубопроводов давлением Ру=3,5 МПа

Лит	Масса	Масштаб
Лист 1	Листов 2	

Продолжение приложения И

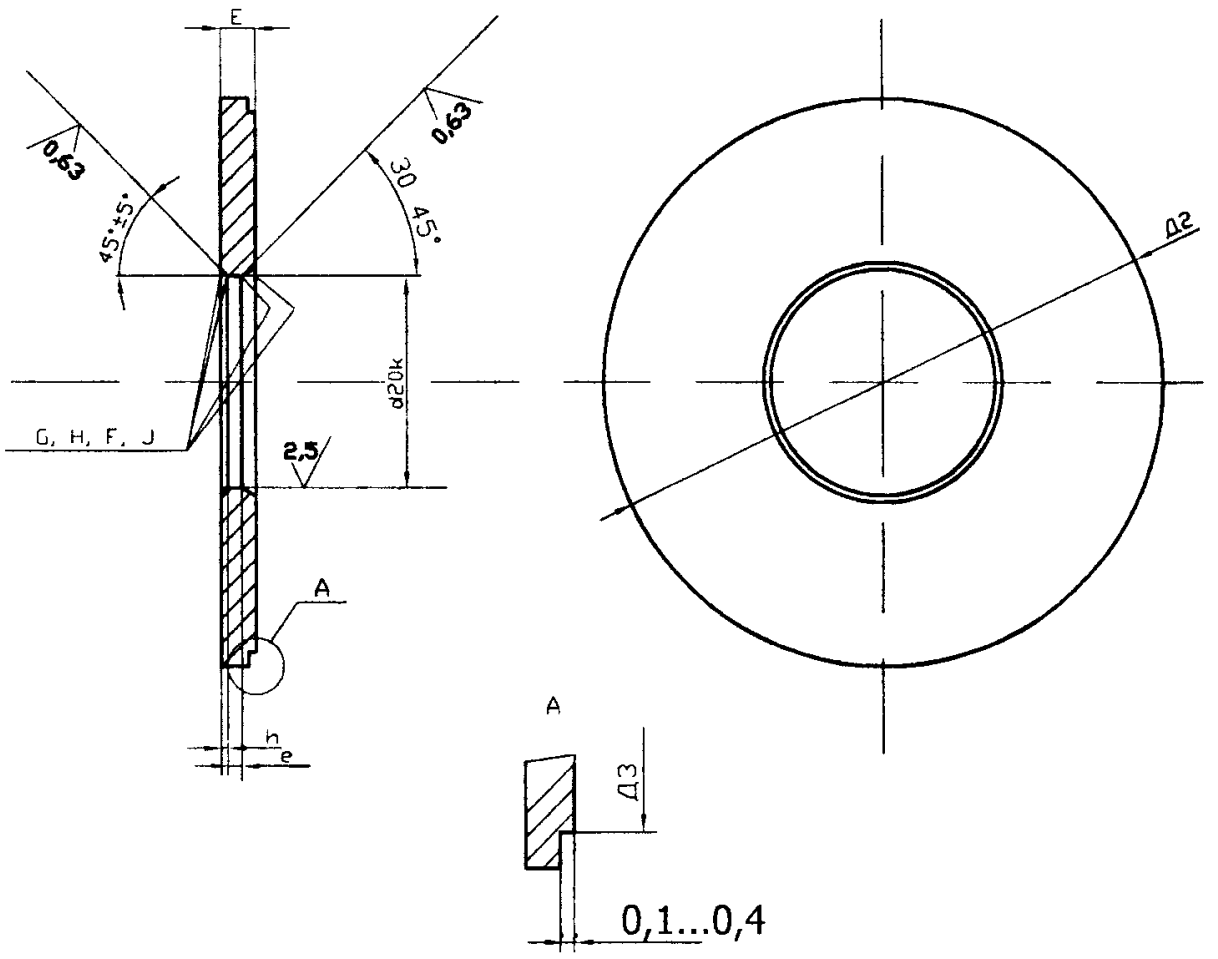
Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме-чание
				Стандартные		
				изделия		
		7		Фланец 2х150х40 Ст.20	2	
				ГОСТ 12821-80		
		8		Болт М24-6gх160.46	16	
				ГОСТ 7798-70		
		9		Гайка М24-6g.5	16	
				ГОСТ 5915-70		

Подпись и дата | Инв N дубл. | Взам. инв N | Подпись и дата | Инв N подл

Изм	Лист	N документа	Подпись	Дата	92.511.072.00	Лист 2

92.511.072.01

1,25 (√)



Обозначение	E мм	e мм	h мм	Д2 мм	Д3 мм	d20к мм	Масса,кг
92 511.072 01	6,0=0,1	2,0	0,250=0,036	190 $^{-0,170}_{-0,285}$	180 $^{}_{-2,5}$	72,87=0,15	1,1383

Кромки G, H, F, J — острые без заметных заусенцев

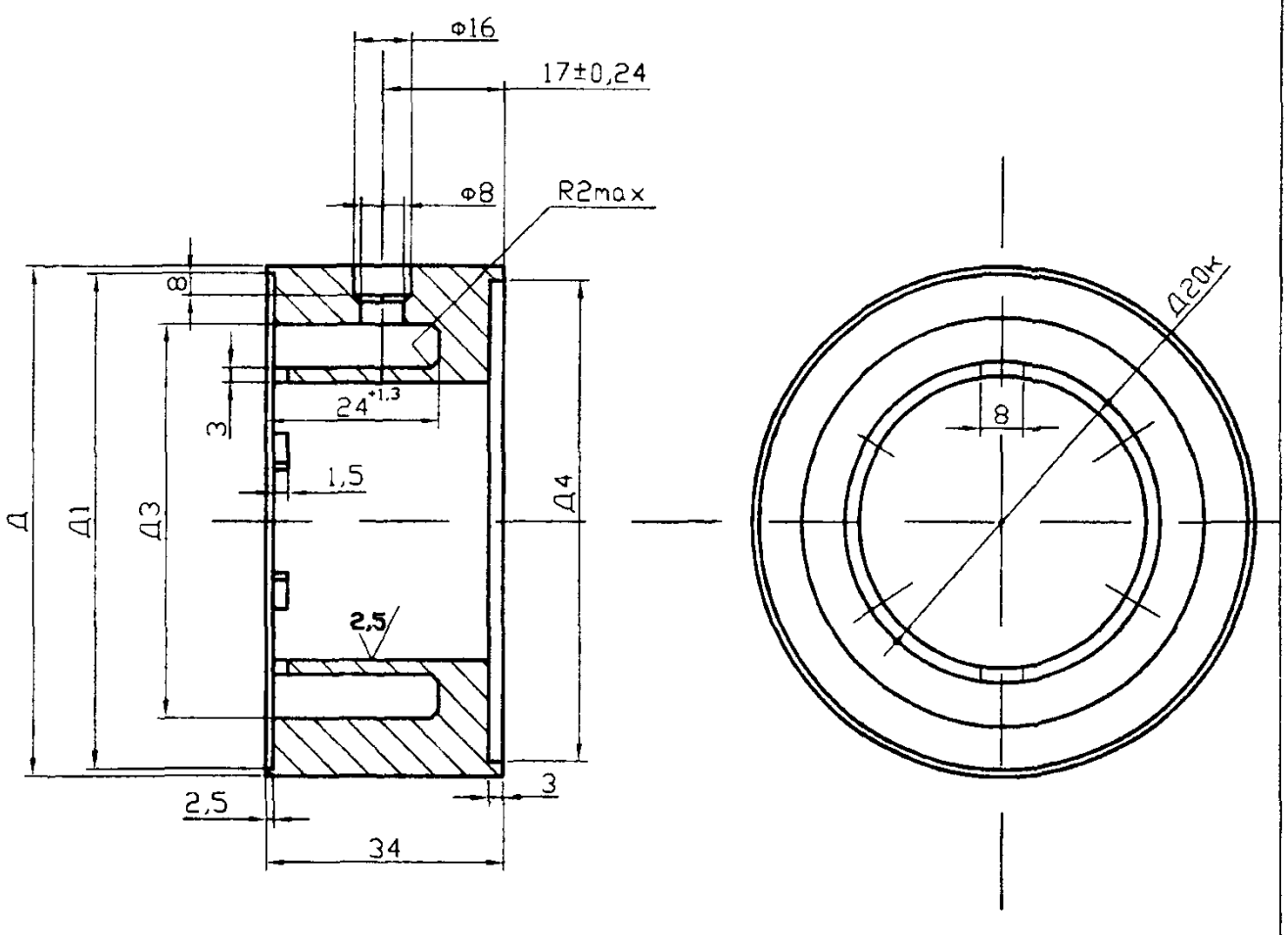
Изм	Лист	N документа	Подпись	Дата	92.511.072.01		
Разраб					Диафрагма износоустойчивая	Лит	Масса	Масштаб
Провер								
Т контр						Лист	Листов	
Н контр					Сталь 12Х18Н9Т ГОСТ 5632-72			
Утверд								

Подпись и дата | Инв N дубл | Взам инв N | Подпись и дата | Инв N подл

Продолжение приложения И

92.511.072.02

6,3 (√)



Обозначение	Д20к мм	Д мм	Д1 мм	Д3 мм	Д4 мм	Масса,кг
92.511.072.02	145	217	210	180	203	3,2419

1. Неуказанные предельные отклонения размеров : H16, h16, IT16/2.

2. Биение диаметра Д1 относительно Д20к не более 0,001 Д20к.

Подпись и дата | Инв. N дубл. | Взам. инв. N | Подпись и дата | Инв. N подл.

Изм	Лист	N документа	Подпись	Дата
Разраб.				
Провер.				
Т.контр.				
Н.контр.				
Утверд.				

92.511.072.02

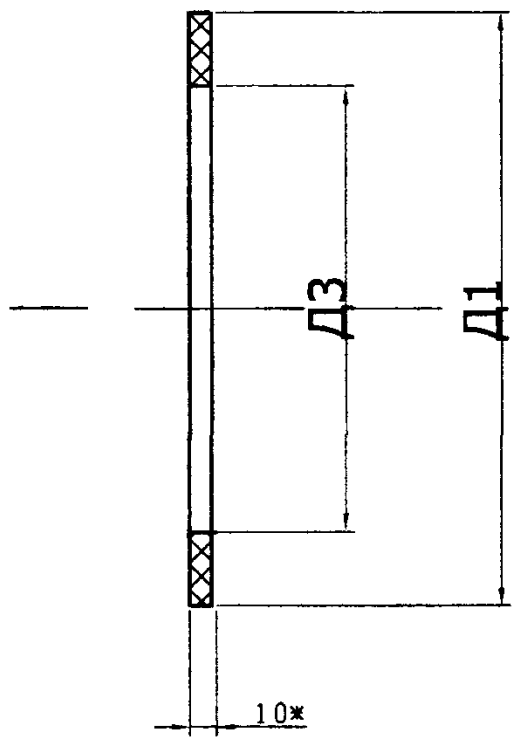
Корпус минусовой кольцевой камеры

Сталь 20 ГОСТ 1050-80

Лит.	Масса	Масштаб
		–
Лист	Листов	

Продолжение приложения И

92.511.072.03



Обозначение	Д1 мм	Д3 мм	Масса,кг
92 511 072 03	210	180	0,018

* Размер для справок.

Подпись и дата | Инв N дубл | Взам инв N | Подпись и дата | Инв N подл

Изм	Лист	N документа	Подпись	Дата
Разраб				
Провер				
Т контр				
Н контр				
Утверд				

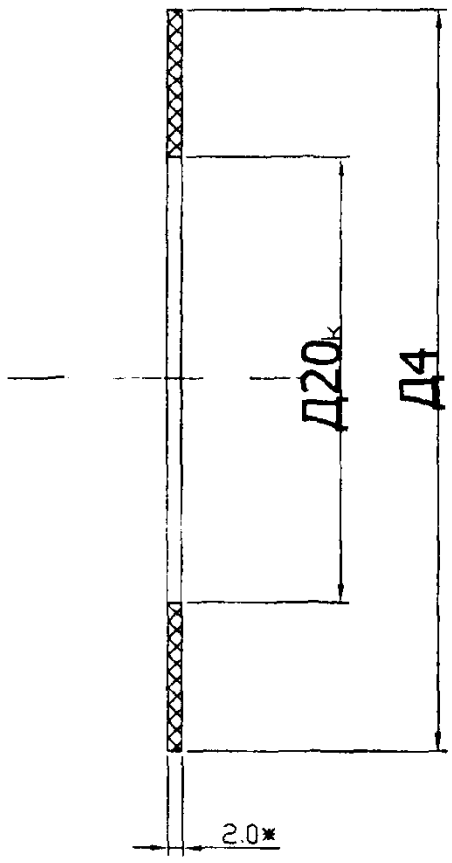
92 511.072.03

Прокладка

ПМБ-1-1,0 ГОСТ 481-80

Лит	Масса	Масштаб
И		-
Лист	Листов 1	

92.511.072.04



Обозначение	Д20к мм	Д4 мм	Масса,кг
92.511.072.04	145	203	0,063

* Размер для справок.

Подпись и дата | Инв. N дубл. | Взам. инв. N | Подпись и дата | Инв. N подл.

Изм	Лист	N документа	Подпись	Дата
Разраб.				
Провер.				
Т.контр.				
Н.контр.				
Утверд.				

92.511.072.04

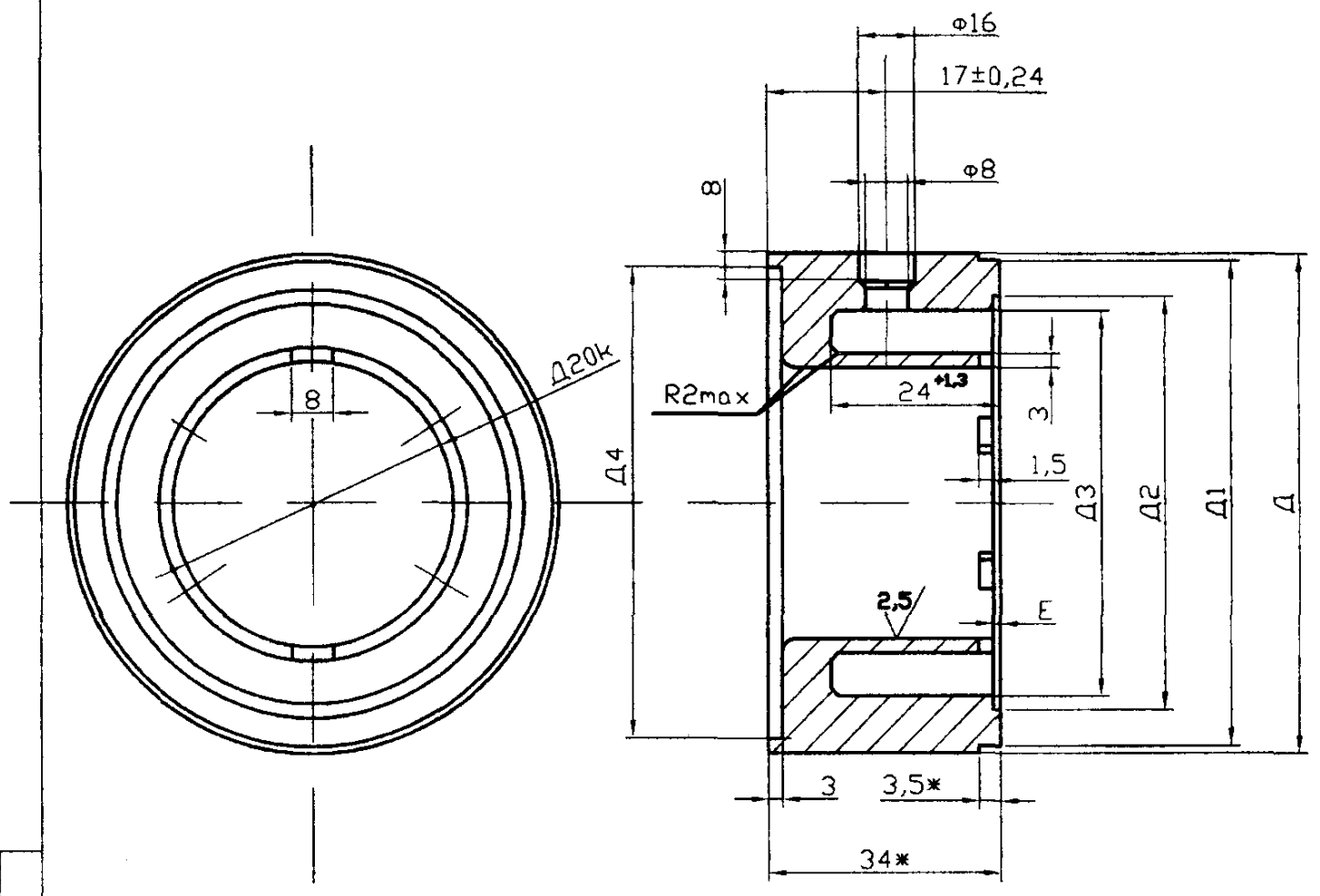
Прокладка

Лит.	Масса	Масштаб
И		-
Лист	Листов 1	

ПМБ-1-2,0 ГОСТ 481-80

92.511.072.05

6,3 (√)



Обозначение	Д20к мм	Д мм	Д1 мм	Д2 мм	Д3 мм	Д4 мм	E мм	Масса,кг
92.511.072.05	145	217	210	190	180	203	7,0±0,1	3,1699

1. Размеры после совместной обработки с диафрагмой не проверяют.
2. Неуказанные предельные отклонения размеров : H16, h16, IT16/2.
3. Биение (удвоенная несоосность) диаметров Д1 и Д2 относительно Д20к не более 0,001 Д20к.

Взам. инв. N | Подпись и дата | Инв. N дубл. | Подпись и дата | Инв. N подл.

Изм	Лист	N документа	Подпись	Дата	92.511.072.05			
						Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.					Корпус плюсовой кольцевой камеры			–
Провер.						Лист	Листов	
Т.контр.								
Н.контр.					Сталь 20 ГОСТ 1050-80			
Утверд.								

Приложение К
(справочное)

ПЕРЕСЧЕТ ПЛОТНОСТИ ЖИДКИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ ОТ ОДНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ К ДРУГОЙ

Для пересчета плотности жидких нефтепродуктов от одной температуры к другой следует пользоваться формулой Д.И. Менделеева

$$\rho_н^{t_2} = \rho_н^{t_1} - \gamma(t_2 - t_1),$$

где $\rho_н^{t_1}$ – относительная плотность при температуре t_1;

$\rho_н^{t_2}$ – относительная плотность при температуре t_2;

γ – средняя температурная поправка на 1°С при температуре $t_н$ и относительной плотности $\rho_н^{t_н}$.

Значения температурных поправок представлены в таблице К.1.

Формула обеспечивает высокую точность, если разница $(t_1 - t_2)$ не более 30°С. Более высокая точность обеспечивается при $(t_1 - t_2)$ не более 10°С. В других случаях интервал температур следует разбить на более мелкие (каждые из которых не более 30°С). Далее в соответствии с формулой следует определять ступенчато до заданной температуры новые значения ρ и γ для нахождения искомой плотности $\rho_н^{t_2}$.

Пример пересчета плотности мазута от одной температуры к другой

Исходные данные:

– температура мазута $t_1 = 20$°С;

– относительная плотность $\rho_н^{20} = 0{,}9650$ г/см^3.

Определить плотность мазута при $t_2 = 100$°С.

При $\rho = 0{,}9650$ кг/см^3 $\gamma = 0{,}000554$,

тогда $\rho_н^{50} = 0{,}9650 - 0{,}000554\ (50 - 20) = 0{,}9484$ г/см^3.

При $\rho = 0{,}9484$ кг/см^3 $\gamma = 0{,}000581$,

тогда $\rho_н^{80} = 0{,}9484 - 0{,}000581\ (80 - 50) = 0{,}9310$ г/см^3.

При $\rho = 0{,}9310$ кг/см^3 $\gamma = 0{,}000594$,

тогда $\rho_н^{100} = 0{,}9310 - 0{,}000594\ (100 - 80) = 0{,}9191$ г/см^3.

Следовательно, плотность мазута при $t_2 = 100$°С $\rho_{100} = 0{,}9191$ г/см^3.

Для быстрого, но менее точного пересчета плотности мазута от одной температуры к другой можно пользоваться графиком (рисунок К.1).

На оси **у** откладывают известное значение относительной плотности $\rho_н^{20}$ (точка А). Из полученной точки проводят линию, параллельную близлежащей наклонной прямой.

На оси **х** из точки, соответствующей рабочей температуре, восстанавливают перпендикуляр до пересечения с линией, соответствующей $\rho_н^{20}$ (точка В). Из полученной точки проводят прямую до пересечения с осью **у** и в точке пересечения находят искомую относительную плотность $\rho_н^{t_2}$ (точка С).

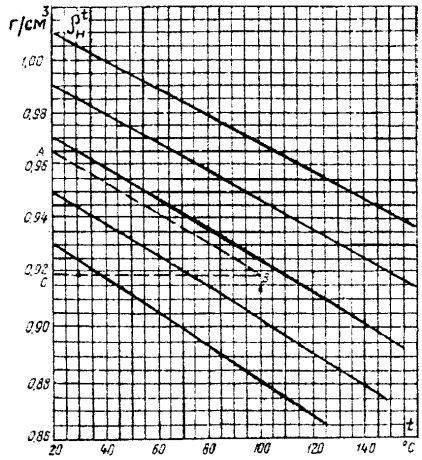


Рисунок К.1 – Номограмма зависимости различной плотности мазута от температуры

Таблица К.1

Относительная плотность $\rho_н^{t_п}$, г/см^3	Температурная поправка плотности γ, г/(см^3 · °С)	Коэффициент объемного расширения β, 1/°С
0,8500-0,8599	0,000699	0,000818
0,8600-0,8699	0,000686	0,000793
0,8700-0,8799	0,000673	0,000769
0,8800-0,8899	0,000660	0,000746
0,8900-0,8999	0,000647	0,000722
0,9000-0,9099	0,000633	0,000699
0,9100-0,9199	0,000620	0,000677
0,9200-0,9299	0,000607	0,000656
0,9300-0,9399	0,000594	0,000635
0,9400-0,9499	0,000581	0,000615
0,9500-0,9599	0,000567	0,000594
0,9600-0,9699	0,000554	0,000574
0,9700-0,9799	0,000541	0,000555
0,9800-0,9899	0,000528	0,000536
0,9900-0,9999	0,000515	0,000518
1,0000-1,0099	0,000502	0,000499
1,0100-1,0199	0,000489	0,000482
1,0200-1,0299	0,000476	0,000464
1,0300-1,0399	0,000463	0,000447
1,0400-1,0499	0,000450	0,000431
1,0500-0,0599	0,000437	0,000414
1,0600-1,0700	0,000424	0,000398

Приложение Л
(справочное)

ПЕРЕСЧЕТ ВЯЗКОСТИ МАЗУТА ОТ ОДНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ К ДРУГОЙ (по данным ВТИ)

Изменение вязкости мазута марок М40, М100 в зависимости от изменения температуры приведено на номограмме (рисунок Л.1). Линии, характеризующие в этой координатной сетке изменение вязкости от температуры для указанных марок топочных мазутов, являются прямыми, имеют почти одинаковый наклон и в первом приближении их можно считать параллельными.

Для пересчета вязкости мазута от одной температуры к другой по номограмме находят точку, соответствующую известному значению вязкости мазута при определенной температуре t_1 (точка А). Из полученной точки проводят прямую линию, параллельную оси **x**.

На оси **x** из точки, соответствующей температуре t_1, восстанавливают перпендикуляр до пересечения с данной линией (точка В). Через полученную точку проводят прямую, параллельную близлежащей наклонной прямой.

На оси **x** из точки, соответствующей рабочей температуре t_2, восстанавливают перпендикуляр до пересечения с наклонной прямой (точка С).

Из полученной точки проводят прямую линию до пересечения с осью **y** и в точке пересечения находят искомую вязкость (точка Д).

Для получения строгой зависимости вязкости от температуры для любой конкретной марки мазута необходимо определить его вязкость при любых двух значениях температуры, нанести эти точки на номограмму и соединить их прямой линией.

Промежуточные значения на шкале кинематической вязкости ν ($м^2/с$) для заданной условной вязкости можно определить по формуле

$$\nu = 10^{-4}\left(0{,}0731°\text{УВ} - \frac{0{,}0631}{°\text{УВ}}\right).$$

При использовании мазута малой вязкости число 0,0631 следует уменьшить до 0,050 при 2°УВ, до 0,0540 при 1,8°УВ, до 0,0570 при 1,6°УВ, до 0,0595 при 1,4°УВ и до 0,0620 при 1,15°УВ (Машиностроение. Энциклопедический справочник.– М.: 1947).

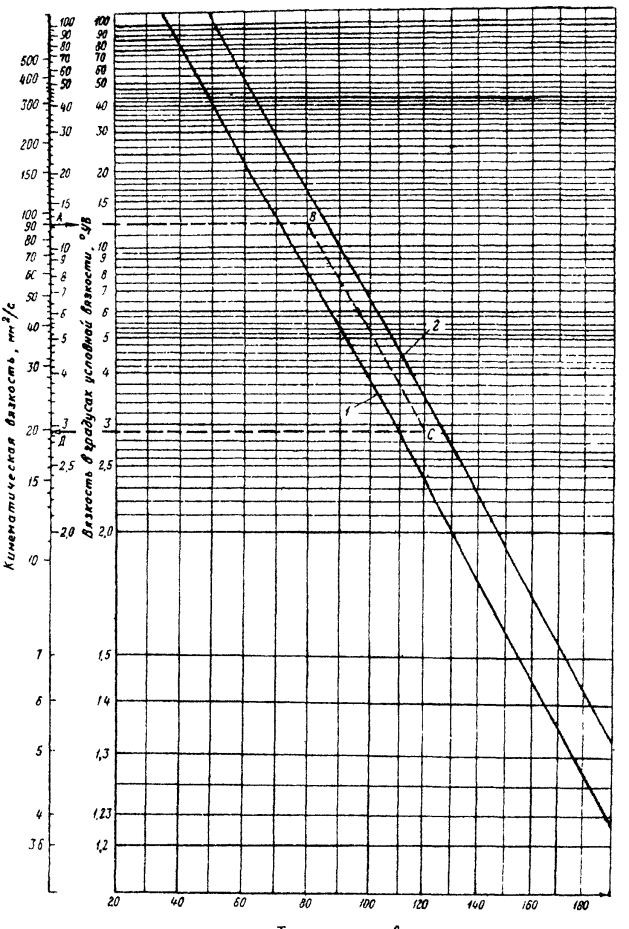
Пример пересчета вязкости мазута от одной температуры к другой

Исходные данные:
– мазут марки М100;
– кинематическая вязкость мазута при $t_1 = 80°C$

$$\nu_{80} = 90 \text{ мм}^2/\text{с} = 9{,}0 \cdot 10^{-5} \text{ мм}^2/\text{с}.$$

Определить кинематическую вязкость мазута при температуре $t_2 = 120°C$.

Для $\nu_{80} = 90$ мм^2/с и $t_1 = 80°C$ на рисунке Л.1 находят точку пересечения, проводят через нее прямую, параллельную оси **x**. На оси **x** из точки, соответствующей $t_1 = 80°C$, восстанавливают перпендикуляр до пересечения с указанной линией и через полученную точку проводят прямую, параллельную наклонной прямой. Из точки, соответствующей $t_2 = 120°C$, восстанавливают перпендикуляр до пересечения с наклонной прямой и из полученной точки проводят прямую, параллельную оси **x**, до пересечения с осью **y**. Находят искомую вязкость $\nu_{120} = 19{,}7$ мм^2/с $= 1{,}97 \cdot 10^{-5}$ мм^2/с.



1 – мазут М40; 2 – мазут М100

Рисунок Л.1 – Номограмма зависимости вязкости мазута от температуры

Приложение М
(справочное)

ФОРМА ВЫПУСКНОГО АТТЕСТАТА

Выпускной аттестат

на диск ССУ – диафрагма с коническим входом типа ДКС _____
№_____ изготовленный _____
принадлежащий _____

1. Расчетный диаметр трубопровода D_{20} _____ мм
2. Расчетный диаметр отверстия d_{20} _____ мм
3. Номинальный перепад давления $\Delta p_н^0$ _____ Па
4. Относительная площадь m _____
5. Коэффициент расхода α _____
6. Наружный диаметр диска D_2 _____ мм
7. Толщина диска E _____ мм
8. Длина цилиндрической части диска *e* _____ мм
9. Глубина скоса j _____ мм
10. Диаметр цилиндрической выточки K _____ мм

Расчет диска ССУ проверен

_____

_____
(дата проверки) (руководитель метрологической службы

_____
организации изготовителя ССУ, фамилия, инициалы, подпись, дата, печать)

Результаты измерений

d_{20}^1	d_{20}^2	d_{20}^3	d_{20}^4	d_{20}

Заключение:_____

Калибровщик _____
(должность, фамилия, инициалы, подпись, дата, печать)

Приложение Н
(рекомендуемое)

ФОРМА АКТА РЕВИЗИИ (УСТАНОВКИ) ССУ

_____
(наименование энергопредприятия)

Акт
ревизии (установки)
специального сужающего устройства

г._____ «____» _____ 20___ г.

Настоящий Акт составлен представителями _____
_____
_____
в присутствии _____

Была проведена ревизия (установка) ССУ на мазутопроводе _____
_____
в комплекте с _____
(тип и заводской номер датчика, прибора)

_____
(номер позиции по проекту)

В результате ревизии установлено:

1. Внутренний диаметр трубопровода перед ССУ:
D^1_{20} _____ D^2_{20} _____ D^3_{20} _____ D^4_{20} _____ D_{20} _____

2. То же на расстоянии 0,25D перед ССУ:
D^1_{20} _____ D^2_{20} _____ D^3_{20} _____ D^4_{20} _____ D_{20} _____

3. То же на расстоянии 0.5D перед ССУ:
D^1_{20} _____ D^2_{20} _____ D^3_{20} _____ D^4_{20} _____ D_{20} _____

4. Внутренний диаметр трубопровода после ССУ на расстоянии 2D:
D^1_{20} _____ D^2_{20} _____ D^3_{20} _____ D^4_{20} _____ D_{20} _____

5. Наличие уступов, неровностей, сварных швов на внутренней поверхности трубопровода _____

6. Расстояние прямых участков трубопровода до ССУ _____

7. То же после ССУ _____

8. Внутренний диаметр отверстия ССУ:
d^1_{20} _____ d^2_{20} _____ d^3_{20} _____ d^4_{20} _____ d_{20} _____

9. Толщина диска ССУ Е _____

10. Входная кромка отверстия (острота, углы скоса и др.) _____
_____

11. Наличие заусенцев и зазубрин на кромках отверстия ССУ _____
_____

12. Диаметр отверстия или ширина щели камеры для отбора перепада давления.
_____

13. Выявленные дефекты _____

При ревизии применялись следующие измерительные инструменты: _____
_____
(тип, заводской номер и дата поверки)
_____
_____

Заключение. По результатам ревизии установлено, что данное ССУ соответствует или не соответствует требованиям РД 50-411-83.

_____ _____ _____
(должность) (подпись) (фамилия, инициалы)

_____ _____ _____
(должность) (подпись) (фамилия, инициалы)

_____ _____ _____
(должность) (подпись) (фамилия, инициалы)

Приложение П
(справочное)

ПОЯСНЕНИЯ К РАСЧЕТУ НЕКОТОРЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И КОЭФФИЦИЕНТОВ

П.1 Давление насыщенного пара $p_{нп}$ – по формуле (1.5) РД 50-411-83 [5].

Зависит от температуры измеряемой среды и определяется в соответствии с ГОСТ 8.563.1-97; $\frac{p_{нп}}{p} \approx 0$.

П.2 Плотность жидкости ρ_t и значение максимальной абсолютной погрешности измерений плотности $\Delta\rho'_t$ при температуре 20°С – по формуле (5.20) РД 50-411-83.

$\Delta\rho'_t$ равно половине единицы разряда последней значащей цифры ρ_t. Если известна воспроизводимость результатов измерений ρ по ГОСТ 3900-85, то принимаются исходные данные.

П.3 Максимальная абсолютная погрешность измерений температуры мазута Δ_t – по формуле (5.20) РД 50-411-83.

Зависит от погрешности записи регистрирующего прибора и термопреобразователя сопротивления и равна $1{,}1 \cdot \sqrt{\Delta_{ТС}^2 + \Delta_{РП}^2}$.

П.4 Класс точности дифференциального манометра (комплекта расходомера) S_Q – по формулам (5.11); (5.12); (5.13) РД 50-411-83.

Характеризуется предельной относительной погрешностью комплекта в целом, первичного измерительного преобразователя и регистрирующего измерительного прибора $S_Q = 1{,}1\sqrt{\delta_{ПИП}^2 + \delta_{РП}^2}$.

П.5 Коэффициент, характеризующий изменение значения кинематической вязкости ν, при выполнении расчетов в единицах СИ по формулам (4.11) и (4.12) РД 50-411-83 равен 9,80665.

Так как при выполнении расчетов и определении вязкости мазута в рабочих условиях используются номограммы и другие справочные данные, составленные в системах МКС МКГСС, то при условии измерения динамической вязкости μ (кгс·с/м^2) кинематическая вязкость $\nu = \frac{\mu}{\rho}$. При переводе в систему СИ $\nu = \frac{\mu\, 9{,}80665}{\rho}$, отсюда $\mu = \frac{\nu\,\rho}{9{,}80665}$.

Следовательно, для вычисления числа Рейнольдса при известном объемном расходе, подставляя значения μ в формулу (4.11) РД 50-411-83,

число Рейнольдса $\mathrm{Re} = \frac{4}{\pi}\frac{Q_0\,\rho}{D\,\mu} = \frac{4}{\pi}\frac{Q_0\,\rho\,9{,}80665}{D\,\nu\,\rho} = \frac{4}{\pi}\frac{Q_0\,9{,}80665}{D\,\nu}$,

а при известном массовом расходе формула (4.12) РД 50-411-83 имеет вид

$$\mathrm{Re} = \frac{4}{\pi}\frac{Q_м}{D\,\mu} = \frac{4}{\pi}\frac{Q_м\,9{,}80665}{D\,\nu\,\rho}.$$

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 8.563.1-97. Измерение расхода и количества жидкостей и газов методом переменного перепада давления. Диафрагмы, сопла ИСА 1932 и трубы Вентури, установленные в заполненных трубопроводах круглого сечения.

2. ГОСТ 8.563.2-97. Измерение расхода и количества жидкостей и газов методом переменного перепада давления. Методика выполнения измерений с помощью сужающих устройств.

3. ГОСТ 3900-85. Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности.

4. ГОСТ 33-82. Нефтепродукты. Методы определения кинематической и расчет динамической вязкости.

5. РД 50-411-83. Методические указания. Расход жидкостей и газов. Методика выполнения измерений с помощью специальных сужающих устройств.

6. РД 153-34.0-11.201-97. Методика определения обобщенных метрологических характеристик измерительных каналов ИИС и АСУ ТП по метрологическим характеристикам агрегатных средств измерений.– М.: СПО ОРГРЭС, 1999.

7. РД 34.11.321-96. Нормы погрешности измерений технологических параметров тепловых электростанций и подстанций.– М.: Ротапринт ВТИ, 1997.

8. РД 153-34.0-11.326-00. Методика выполнения измерений расхода мазута с применением специальных сужающих устройств.– М.: СПО ОРГРЭС, 2001.

9. Измерительная техника, 1982, № 8.

10. Геллер З.И. Мазут как топливо.

11. Адамов В.А. Сжигание мазута в топках котлов.

12. Ляндо И.М. Эксплуатация мазутного хозяйства котельной промышленного предприятия.

13. Ляндо И.М. Сжигание топочного мазута и газа в промышленных котельных.

14. РД 34.09.114.92. Методические указания по контролю качества твердого, жидкого и газообразного топлива для расчета удельных расходов топлива на тепловых электростанциях.– М.: Ротапринт ВТИ, 1992.

15. РД 153-34.0-11.201-97. Методика определения обобщенных метрологических характеристик измерительных каналов ИИС и АСУ ТП по метрологическим характеристикам агрегатных средств измерений.– М.: СПО ОРГРЭС, 1999.

16. РД 50-213-80. Правила измерения расхода газа и жидкостей стандартными сужающими устройствами.

СОДЕРЖАНИЕ

1 Общие положения.....3
2 Расчет ССУ и определение геометрических характеристик элементов расходомерных узлов.....4
3 Расчет погрешности измерения расхода мазута.....5
Приложение А Пример расчета диафрагмы с коническим входом..... 7
Приложение Б Пример расчета сопла «четверть круга»..... 19
Приложение В Пример расчета цилиндрического сопла..... 32
Приложение Г Пример расчета двойной диафрагмы.....43
Приложение Д Пример расчета сегментной диафрагмы..... 56
Приложение Е Пример расчета износоустойчивой диафрагмы..... 69
Приложение Ж Рабочие чертежи специального сужающего устройства..... 83
Приложение И Рабочие чертежи износоустойчивой диафрагмы..... 92
Приложение К Пересчет плотности жидких нефтепродуктов от одной температуры к другой..... 100
Приложение Л Пересчет вязкости мазута от одной температуры к другой..... 102
Приложение М Форма выпускного аттестата..... 104
Приложение Н Форма акта ревизии (установки) ССУ..... 105
Приложение П Пояснения к расчету некоторых показателей и коэффициентов..... 107
Список использованной литературы..... 108

Подписано к печати 29.11.2002
Печать ризография
Заказ № 471

Усл. печ. л. 13,0
Изд. № 02-105

Формат 60×84 1/8
Тираж 400 экз.

Лицензия № 040998 от 27.08.99 г.

Производственная служба передового опыта эксплуатации
энергопредприятий ОРГРЭС
107023, Москва, Семеновский пер., д. 15

gost.e-ecolog.ru