

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Промышленная теплоэнергетика и экология»

СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ

ПРАКТИКУМ

**по одноименной дисциплине
для студентов специальности 1-43 01 03
«Электроснабжение (по отраслям)»
дневной и заочной форм обучения**

Гомель 2019

УДК 620.91(075.8)
ББК 31.15я73
С40

*Рекомендовано научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 6 от 27.02.2018 г.)*

Составители: *Н. В. Широглазова, Н. М. Кидун*

Рецензент: доц. каф. «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого
канд. техн. наук, доц. *Т. В. Алферова*

Системы производства и распределение энергоносителей : практикум по одноим. дисциплине для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)» днев. и заоч. форм обучения / сост.: Н. В. Широглазова, Н. М. Кидун. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2019. – 33 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Предназначен для совершенствования знаний студентов и приобретения ими навыков при решении задач, связанных с эксплуатацией теплотехнических установок.

Для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)» дневной и заочной форм обучения.

УДК 620.91(075.8)
ББК 31.15я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2019

Практическая работа 1

Расчет разветвленных тупиковых сетей среднего давления до газорегулирующего пункта

Задание

На основании исходных произвести расчет газопровода, обеспечивающего природным газом ряд категорий объектов газоснабжения (промышленные предприятия, коммунально-бытовых потребителей, районную отопительную котельную и жилой массив). Газ от магистрального газопровода поступает к газораспределительной сети среднего давления и затем в разветвленный тупиковый газопровод среднего давления, предназначенный для транзита газа к жилому массиву (ЖМ) и покрытия коммунально-бытовой и промышленной нагрузок (А, Б, В). Подача газа к жилому массиву и далее – в кольцевой газопровод выполнена от ГРП низкого давления.

Исходными данными для расчета являются: давления P_1 и P_2 , МПа, фактические длины участков l_{ϕ} , км, расходы газа на потребителей А, Б, В и ЖМ, м³/ч.

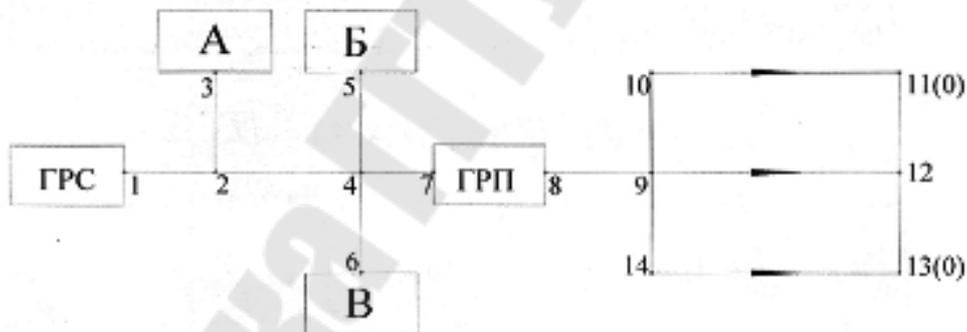


Рис. 1.1. Расчетная схема тупикового газопровода

На основании расчетных длин участков и начального давления газа в распределительной сети и давления в газопроводах, подключенных к самому отдаленному от газораспределительной сети потребителю, вычисляется коэффициент $\alpha_{\text{ср}}$ (коэффициент потерь по трубопроводу):

$$\alpha_{\text{ср}} = \frac{(P_1^2 - P_2^2) \cdot 10^2}{1,1L_{\phi}}, \quad (1.1)$$

где P_1 – начальное давление газа у ГРС, МПа; P_2 – давление в газопроводах, подключенных к самому отдаленному от ГРС потребителю, МПа; L_{ϕ} – фактическая длина газопровода от источника газоснабжения до дальнего потребителя, км.

По номограмме (Приложение 1), соответствующей расчетному давлению газа в сети при значении α_{cp} и расходу газа на участках определяется диаметр газопровода.

Выбирается диаметр, который обеспечит пропуск заданного расхода газа при полученных α_i . Затем уточняется коэффициент потерь давления, характерный для выбранного диаметра, после чего производится пересчет конечного давления на рассчитываемом участке. Пересчет произвести на примере одного расчетного участка по формуле

$$P_2 = \sqrt{P_1^2 - \frac{1,1 \cdot \alpha_i \cdot L_{\phi}}{100}}, \quad (1.2)$$

Уточнение давления для остальных участков производится аналогично. Гидравлический расчет разветвленной тупиковой сети представить в виде табл. 1.1.

Таблица 1.1

Гидравлический расчет газопроводов среднего давления

Расчетный участок	Расчетный часовой расход газа, м ³ /ч	Диаметр газопровода, мм	Длина расчетного участка, км		Начальное давление на участке, МПа	Значение α_i для расчетного участка	Конечное давление на участке, МПа
			фактическая	расчетная			

Гидравлический расчет разветвленного газопровода считается выполненным, если расчетное давление на каждом из участков равно или больше необходимого. Если же расчетное давление p_{ki} в газопроводах, подключенных к потребителям, меньше необходимого, то необходимо изменить диаметры на одном или нескольких участках сети и произвести перерасчет.

Практическая работа 2

Гидравлический расчет кольцевого газопровода низкого давления

Расчет замкнутой кольцевой сети отличается от расчета тупиковой разветвленной тем, что, кроме определения диаметров участков газопровода требуется равномерная работа кольцевой сети при заданных расходах газа и перепадах давления.

Рассмотрим простейшую кольцевую схему, представленную на рис. 2.1.

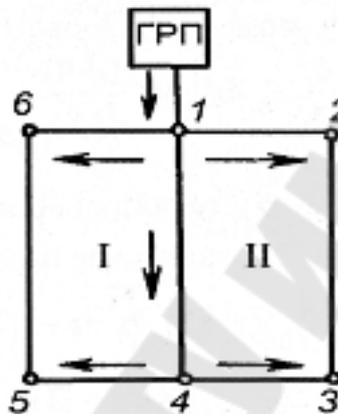


Рис. 2.1

Газ от ГРП поступает в точку 1 и далее к кольцам I и II, где разветвляется на участки 1–6, 5–6, 4–5 и 1–2, 3–2, 4–3. В условиях заводского или городского газоснабжения к этим участкам присоединены мелкие потребители. По газопроводу 1–4 газ подводится к потребителям через точку 4. От участка 1–4 отвода может и не быть, в этом случае он называется транзитным. Геометрически наиболее удаленными от ГРП являются точки 5 и 3. К ним газ поступает с двух сторон. При расчете кольцевых схем такого типа необходимо подобрать диаметры участков так, чтобы точки 5 и 3 стали местом встречи разветвленных в точке I потоков. Тогда газ, поступающий от ГРП в точке 1 равномерно распределится между транзитным участком 1–4 и боковыми ветвями колец I и II. Все участки сети загружаются равномерно. Кольца I и II разделяются на полукольца 1–6, 5–6 и 1–4, 4–5. Поскольку на этих участках газ поступает к многочисленным потребителям, расход его изменяется. Условно заменяя распределенную нагрузку, эквивалентной ей и сосредоточенной в конечных точках, расход для участков 5–6 и 4–5 определяют как $0,5 \dots 0,6$ путевого расхода.

На основании заданного расхода газа на снабжение жилого массива необходимо осуществить расчет кольцевого газопровода низкого давления. Питание осуществляется по двум полукольцам. Направление движения газа определяется исходя из принятых нулевых точек в каждом расчетном кольце.

Расчет выполняется согласно схеме приложения 2.

2.1. Определение удельного расхода газа $v_{уд}$:

$$v_{уд} = \frac{V_p}{\sum l_p},$$

где V_p – общий расчетно-часовой расход газа, м³/ч; $\sum l_p$ – общая расчетная длина участков, от которых производится отбор газа потребителям.

Для участка 9–12 $l_p = l_\phi$, а для всех остальных участков $l_p = l_\phi / 2$.

2.2. Определение попутных и эквивалентных расходов газа на каждом расчетном участке кольцевого газопровода.

Попутный расход газа:

$$v_{п} = v_{уд} l_\phi.$$

Эквивалентный расход газа:

$$v_{эkv} = 0,55 v_{п}.$$

Расчетные данные расходов газа на каждом участке кольцевого газопровода представить в виде табл. 2.1.

Таблица 2.1

Значения расходов к расчету кольцевого трубопровода

Расчетный участок	Длина расчетного участка, м		Расчет газа на расчетном участке, м ³ /ч	
	Фактическая	Расчетная	Попутный	Эквивалентный

2.3. Наиболее вероятное распределение потоков газа принимается от источников питания до самой отдаленной точки сети, при этом выделяются нулевые точки. Согласно этому распределению газа определяются транзитные v_t и расчетно-часовые расходы газа v_p .

Для участков сети 11–10, 11–12, 12–13, 13–14 транзитные расходы газа равны нулю. Можно записать, что

$$v_{T9-10} = v_{П10-11};$$

$$v_{T9-12} = v_{П11-12} = v_{П12-13};$$

$$v_{T9-14} = v_{П13-14}.$$

На участке 8–9 весь расчетно-часовой расход газа является транзитным.

Расчетно-часовые расходы на участках газовой сети с равномерно распределенными расходами определяются по формуле

$$v_{Pi} = v_{Ti} + 0,55v_{ni} = v_{Ti} + v_{эkv_i}.$$

2.4. При расчете суммарные потери давления не должны превышать и быть ниже заданных стандартных значений.

2.5. Учитывая значения расчетно-часовых расходов газа на участке и уровень потерь $H_{сp_i}$ по номограмме определяется соответствующий диаметр газопровода и значение удельных потерь давления H_i на каждом расчетном участке. Средние удельные потери давления от ГРП до нулевых точек определяется по формуле

$$H_{сp_i} = \Delta H_i / \sum l_{\phi},$$

где ΔH_i – потери давления в распределительных газопроводах от источника питания по полукольцу до нулевых точек. Для первого и второго полукольца $\Delta H_i = 1200$ Па; $\sum l_{\phi}$ – суммарная фактическая длина участка газопровода от источника питания по полукольцу до нулевой точки. Результаты расчета сводятся в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Гидравлический расчет кольцевого газопровода низкого давления

Расчетный участок	L_{ϕ} , м	Расход газа на участке, м ³ /ч				Диаметр участка D , мм	Потери давления, Па		
		$v_{П}$	$v_{эkv}$	v_{T}	v_{P}		На 1 м, H_i	$H_i \cdot L_{\phi}$	$H_i \cdot L_{\phi} + z$

Гидравлический расчет кольцевого трубопровода считается завершенным, если невязка в первом и втором кольцах газопровода не превышает 10 %.



Рис. 3.2. Теплопритоки от различных источников

При расчете расхода холода вычисляются вначале отдельные частные нагрузки как составляющие полной нагрузки, дающие в сумме общую потребность в холоде.

1. Расчет составляющих внешней нагрузки



Рис. 3.3. Камера для охлаждения

1.1 Расчет теплопритоков через ограждения камеры

Ограждающие конструкции холодильной камеры рассчитываются каждая отдельно и последовательно друг за другом.

Особое внимание при этом следует уделять положению стен, их конструктивному исполнению и соответствующей разности температур, а также относящимся сюда коэффициентам теплопередачи.

Далее рассчитываются теплопритоки от пола и потолка.

В заключение суммируются полученные результаты.

Для расчета теплопритоков предлагается следующее уравнение:

$$Q_E = Fk\Delta T, \text{ Вт}, \quad (3.1)$$

где F – площадь внутренней поверхности ограждения, м^2 ; ΔT – разность температур снаружи ограждения и внутри камеры, К ; k – коэффициент теплопередачи ограждения, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$

Таблица 3.1

Технические характеристики

Толщина стен, мм	100
Теплоизоляция	жесткий пенополиуретан
Плотность пены, кг/м	40
Теплопроводность, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	<0,02
Коэффициент теплопередачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	0,19
Рекомендуемая разность температур, К	до 45



Рис. 3.4. Структура элементов стен и потолка

Холодильная секция изнутри прилегает к имеющейся сплошной стене здания, поэтому учитывается только коэффициент теплопроводности ячеистого элемента.

Для внутренних стен холодильной камеры:

$$\alpha_{в} = 19 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}). \quad (3.2)$$

Значение $\alpha_{н}$ не учитывается (пол непосредственно прилегает к грунту).

Таблица 3.2

Конструкция пола (в направлении снаружи - внутрь)

	$\delta, \text{ м}$	$\lambda, \text{ Вт/мК}$	$\frac{\delta}{\lambda}, \text{ м}^2/\text{Вт}$
Бетонная подготовка	0,15	1,279	0,1173
Слой битума	0,015	0,16	0,0938
Звукоизоляция (стиродур)	0,1	0,03	3,333
Верхний слой бетона	0,1	1,279	0,0782
Бесшовное покрытие	0,05	1,924	0,026
Облицовочная плитка	0,015	1,05	0,0143
			$\Sigma = 3,6626$

Термическое сопротивление (равное обратной величине коэффициента теплопередачи) для пола составляет:

$$\frac{1}{k} = 3,7152 \text{ м}^2\text{К}/\text{Вт}.$$

Коэффициент теплопередачи для пола $k = 0,262 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$.

Температура грунта принимается $t_{гр} = +15 \text{ }^\circ\text{C}$.

Полный теплоприток в холодильную камеру:

$$Q_{\text{Еобщ}} = Q_{\text{Е,стена1}} + Q_{\text{Е,стена2}} + Q_{\text{Е,стена3}} + Q_{\text{Е,стена4}} + \\ + Q_{\text{Е,потолок}} + Q_{\text{Е,пол}}, \text{ Вт}. \quad (3.3)$$

1.2. Расчет теплопритока в результате воздухообмена

Рассматриваемый в качестве частичной нагрузки воздухообмен в холодильной камере необходимо учитывать в тех случаях, когда температура поступающего в камеру воздуха превышает температуру самой камеры, то есть осуществляется вентиляция помещения.

Рассчитывается коэффициент воздухообмена из расчета на 1 сутки:

$$m = \frac{70}{\sqrt{V_R}}, \text{ за 1 сутки,} \quad (3.4)$$

где V_R – объем вентилируемого помещения, м³.

Теплоприток от вентиляции рассчитывается с использованием следующих уравнений:

$$Q_L = m_L \Delta h, \text{ КВт} \quad (3.5)$$

или

$$Q_L = \frac{V_R n \rho_{Li} \Delta h}{24 \cdot 3600}, \text{ КВт,} \quad (3.6)$$

где m_L – расход вентилируемого воздуха, кг/с; Δh – разность энтальпий наружного и воздуха внутри камеры, кДж/кг; ρ_{Li} – плотность воздуха в холодильной камере, кг/м³.

При температуре 0 °С и нормальном атмосферном давлении $\rho_{Li} = 1,293$ кг/м³.

Для определения Δh используется диаграмма влажного воздуха (Приложение 3):

$$\Delta h = h_{La} - h_{Li}, \text{ кДж/кг.} \quad (3.7)$$

1.3. Расчет теплопритока при открывании дверей

Для холодильных камер небольшой площади достаточно вычисления части холодильной нагрузки, связанной с воздухообменом; для больших холодильников с множеством дверей рекомендуется выполнить дополнительный расчет возможных при этом теплопритоков. Такой расчет производится по расширенной формуле Тамма:

$$Q_{\text{двери}} = [8,0 + (0,067 \cdot \Delta T_{\text{двери}})] \tau_{\text{двери}} \cdot \rho_{Li} \cdot V_{\text{двери}} \cdot H_{\text{двери}} \times \\ \times \sqrt{H_{\text{двери}} \left(1 - \frac{\rho_{La}}{\rho_{Li}} \right)} \cdot (h_{La} - h_{Li}) \cdot \eta_{LS}, \text{ Вт,} \quad (3.8)$$

где $\Delta T_{\text{двери}} = T_R - T_B$; $\tau_{\text{двери}}$ – время открытия двери из расчета на тонну грузооборота, мин/т; $V_{\text{двери}} = 1,2$ м – ширина двери; $H_{\text{двери}} = 2$ м – высота двери; ρ_{Li} – плотность воздуха в камере, кг/м³; ρ_{La} – плот-

ность воздуха снаружи камеры, кг/м; h_{La} – энтальпия воздуха снаружи камеры, кДж/кг; h_{Li} – энтальпия воздуха внутри камеры, кДж/кг; η_{LS} – КПД воздушной завесы; для помещений без воздушной завесы $\eta_{LS} = 1$; для помещений с воздушной завесой $\eta_{LS} = 0,25$.

Фактический вес всех продуктов, помещенных в холодильную камеру:

$$m = F_B \cdot H_{st} \cdot m_B \cdot \eta_B, \text{ кг}, \quad (3.9)$$

где F_B – площадь холодильной камеры, м²; $H_{st} = 2,0$ м – максимальная высота штабеля охлаждаемого продукта; m_B – грузовая емкость, кг/м³ (Приложение 4); η_B – коэффициент грузораспределения (Приложение 5).

Продолжительность открытия двери холодильной камеры τ (в минутах) дается в пересчете на тонну грузооборота (Приложение 6).

Определяется соответствующая плотность загрузки конкретного продукта с учетом грузовой емкости камеры (Приложение 4).

Следует также учитывать суточный грузооборот, что позволит избежать выбора избыточных параметров конструктивных элементов. Ежедневная норма оборота продукта устанавливается с остаточными 25 % от m :

$$m_{\text{ост}} = 0,25m, \text{ кг}$$

$$\tau_{\text{двери}} = \frac{\tau \cdot m_{\text{ост}} / 100}{24}. \quad (3.10)$$

Плотность воздуха при температуре, отличной от 0 С:

$$\rho_L = \frac{1,293}{1 + \frac{T}{273,15}}, \text{ кг/м}^3. \quad (3.11)$$

2. Расчет внутренних теплопритоков

2.1 Эксплуатационные теплопритоки

• Теплоприток от освещения

Для стандартных камер хранения охлажденных продуктов, оснащенных специальными холодостойкими светильниками для влажных помещений, с родом защиты IP68 (непроницаемыми для пыли и воды под напором), где предусмотрена вспомогательная освещен-

ность от 60 до 100 люкс по ДИН 5035, в расчетах можно исходить из тепловой нагрузки порядка 6 Вт/м.

$$Q_{\text{осв}} = F_B \cdot 6 \text{ Вт/м}^2, \text{ Вт.} \quad (3.12)$$

Возможен расчет: в холодильной камере заказчиком предусмотрены i пластиковых светильника, мощностью каждый (вместе с предвключенным прибором) по p Вт.

Расчет теплового потока от освещения осуществляется по формуле

$$Q_{\text{осв}} = \frac{i \cdot p \cdot \tau}{24}, \text{ Вт,} \quad (3.13)$$

где i – число светильников; p – мощность светильников вместе с предвключенным прибором, Вт; τ – продолжительность включения, как правило, 8 часов в сутки.

Выбирается наибольшее значение.

• *Теплоприток от пребывания людей*

По температуре камеры t_R определяется теплоприток из расчета на одного человека (Приложение 7).

Расчет теплопритока производится по формуле

$$Q_{\text{л}} = \frac{i \cdot q \cdot \tau}{24}, \text{ Вт,} \quad (3.14)$$

где i – число лиц; q – удельный тепловой поток в зависимости от температуры холодильной камеры, Вт; τ – продолжительность пребывания людей в холодильной камере, как правило, 8 часов в сутки.

В расчетах необходимо учесть, что время освещения камеры и пребывания в ней людей одинаково.

• *Теплоприток от оборудования*

Определение теплопритока от оборудования аналогично определению теплопритока от пребывания людей.

2.2 Теплопритоки от продуктов при их холодильной обработке

• *Теплоприток от охлаждаемого продукта*

По данным п. 2.1 определяем ежедневно меняющуюся массу охлаждаемого продукта $m_{\text{ост}}$.

Значение удельной теплоемкости охлаждаемого продукта берем из соответствующих таблиц свойств охлаждаемых продуктов.

Расчет теплопритока от охлаждаемого продукта производится по формуле:

$$Q_A = \frac{m_{\text{ост}} \cdot c \cdot \Delta T}{24}, \text{ Вт}, \quad (3.15)$$

где c – удельная теплоемкость охлаждаемого продукта, кДж/кг; ΔT – разность температур продукта до и после замораживания.

3. Расчет холодопроизводительности испарителя

Вычисленный полный теплоприток (ΣQ) соотносят с выбранной продолжительностью работы холодильной установки ($\tau_{\text{уст}}$, часов в сутки) и определяют расчетную производительность испарителя (воздухоохладителя):

$$Q_{\text{O.расч}} = \frac{\Sigma Q \cdot 24}{\tau_{\text{уст}}}, \text{ Вт}, \quad (3.16)$$

• Теплоприток от электродвигателя вентилятора

На этой стадии проектирования известна лишь предварительная производительность воздухоохладителя $Q_{\text{O.расч}}$. Но, поскольку он еще не выбран, не ясны ни его тип, ни количество двигателей, ни потребляемая ими мощность, ни электрическая мощность, идущая на нагрев при оттаивании.

На практике в таком случае поступают следующим образом.

Производительность $Q_{\text{O.расч}}$ увеличивают на 20 % с учетом не известной пока производительности вентилятора и мощности, идущей на нагрев при оттаивании, а после выбора параметров испарителя осуществляют перерасчет на основе новых данных с последующей проверкой результата.

Выбирается воздухоохладитель, который комплектуется одним двигателем вентилятора мощностью 235 Вт. Электронагреватель для оттаивания обладает мощностью 3910 Вт.

Расчет тепловыделения от электродвигателя вентилятора, испарителя осуществляется по формуле:

$$Q_{\text{вент}} = \frac{i \cdot p \cdot \tau_{\text{вент}}}{\tau_{\text{уст}}}, \text{ Вт}, \quad (3.17)$$

где i – количество вентиляторов; p – мощность вентилятора, Вт; $\tau_{\text{вент}}$ – продолжительность работы вентилятора, часов/сутки; $\tau_{\text{уст}}$ – продолжительность работы установки, часов/сутки.

- Теплоприток при оттаивании испарителя

Расчет теплопритока, вызываемого электрическим нагреванием испарителя для процесса оттаивания, осуществляется по уравнению:

$$Q_{\text{от}} = \frac{P \cdot \tau_{\text{от}}}{\tau_{\text{уст}}}, \text{ Вт}, \quad (3.18)$$

где P – мощность электрообогревателя, Вт; $\tau_{\text{от}}$ – продолжительность оттаивания, часов/сутки (принимается 4 оттаивания в сутки каждое по 20 мин); $\tau_{\text{уст}}$ – продолжительность работы установки, часов/сутки.

Эффективная холодопроизводительность испарителя:

$$Q = Q_{\text{О.расч}} + Q_{\text{вент}} + Q_{\text{от}}, \quad (3.19)$$

Полученные результаты расчета заносятся в сводную таблицу теплопритоков (табл. 3.3).

Таблица 3.3

Сводная таблица результатов расчета

	Единица измерения	Результат
1. Внутренние размеры облицовочной плитки, длина × ширина × высота		
2. Наружные размеры, длина × ширина × высота		
3. Объем камеры		
4. Параметры воздуха снаружи камеры, t_a / φ_a		
5. Параметры воздуха внутри камеры, t_i / φ_i		
6. Вид охлаждаемого продукта		
7. Суточный грузооборот		
8. Начальная температура продукта		
9. Общая масса продукта в холодильной камере		
10. Пребывание обслуживающего персонала		
Продолжительность пребывания		
11. Освещение		
Продолжительность включения		
12. Теплоприток через стену 1		
13. Теплоприток через стену 2		

14. Теплоприток через стену 3		
15. Теплоприток через стену 4		
16. Теплоприток через дверь		
17. Теплоприток через потолок		
18. Теплоприток через пол		
19. Коэффициент воздухообмена		
20. Теплоприток от вентиляции		
21. Суточный грузооборот		
22. Теплоприток от охлаждаемого продукта		
23. Тепло от каждого человека		
24. Теплоприток от пребывания людей		
25. Теплоприток от освещения		
26. Прочие теплопритоки		
27. Общий теплоприток		
28. Продолжительность работы холодильной установки		
29. Холодопроизводительность испарителя, предварительная		
30. Теплоприток от вентилятора		
31. Длительность работы вентилятора		
32. Продолжительность оттаивания		
33. Теплоприток при оттаивании испарителя		
34. Холодопроизводительность испарителя		
35. Тип холодильной машины (согласно каталогу)		
36. Температуры кипения и конденсации		
37. Хладагент		
38. Прочее		

Практическая работа 4

Расчет генераторов для приготовления контролируемых атмосфер

Задание

Произвести расчет генератора для приготовления богатого очищенного экзогаза производительностью 100 м^3 . Рабочая температура (задается исходя из условий стойкости жароупорных материалов): в реакторе t_p , °С, в камере сгорания $t_{кс}$, °С. Температура охлажденных в скруббере продуктов сгорания $t_{опс}$, °С. Форма частиц теплоносителя и катализатора – сферическая. Порозность свободного насыпанного слоя: катализатора $\varepsilon_{ок}$, теплоносителя – ε_k .

Кажущаяся плотность катализатора $\rho_k = 2000 \text{ кг/м}^3$. Плотность теплоносителя $\rho_t = 3000 \text{ кг/м}^3$. Средний размер частиц катализатора и теплоносителя $d = 1 \text{ мм}$.

Тип катализатора – алюмоникелевый.

Топливо и технологическое сырье – газ с теплотой сгорания Q_H^p , МДж/м³.

Плотность газовой смеси в реакторе $\rho_{см}$, кг/м³.

Динамическая вязкость газов смеси в реакторе $\mu_{см}$, кгс/м².

Плотность продуктов горения в камере сжигания $\rho'_{см}$, кг/м³.

Динамическая вязкость продуктов горения в камере сжигания $\mu'_{см}$, кгс/м².

Кинематическая вязкость смеси в реакторе $\nu_{см}$, м²/с.

Кинематическая вязкость продуктов сгорания в камере сжигания $\nu'_{см}$, м²/с.

Расчетная часть

Принимается для расчета конструкция генератора с кипящим слоем катализатора.

Реактор с катализатором размещается в реторте из жароупорной стали, снизу реторта снабжена газораспределительной решеткой, верхняя часть расширена с целью уменьшения скорости движения продуктов сгорания и предотвращения уноса катализатора. Кольцевая камера сжигания расположена вокруг реторты.

Для интенсификации теплообмена сжигание производится в слое огнеупорного теплоносителя, теплота в реактор переносится че-

рез стенку реторты. Для того, чтобы предотвратить избыточное содержание кислорода в продуктах сгорания газ сжигается при $\beta = 0,95$.

4.1 Состав продуктов горения топлива

При расчете необходимо сделать допущения и определить основные характерные параметры процесса горения топлива. Принимается к расчету газ с соответствующим составом продуктов горения топлива.

Содержание составляющих продуктов горения представить в виде табл. 4.1.

Таблица 4.1

Содержание составляющих продуктов горения

Сухих продуктов сгорания		При $\phi = 75 \%$	
$\text{м}^3/\text{м}^3$	%	$\text{м}^3/\text{м}^3$	%
$\text{H}_2\text{O}_{\text{C}'}$	$\text{H}_2\text{O}_{\text{C}}$	$\text{H}_2\text{O}_{\text{B}'}$	$\text{H}_2\text{O}_{\text{B}}$
$\text{CO}_{2\text{C}'}$	$\text{CO}_{2\text{C}}$	$\text{CO}_{2\text{B}'}$	$\text{CO}_{2\text{B}}$
$\text{N}_{2\text{C}'}$	$\text{N}_{2\text{C}}$	$\text{N}_{2\text{B}'}$	$\text{N}_{2\text{B}}$
$\text{H}_{2\text{C}'}$	$\text{H}_{2\text{C}}$	$\text{H}_{2\text{B}'}$	$\text{H}_{2\text{B}}$
$\text{CO}_{\text{C}'}$	CO_{C}	$\text{CO}_{\text{B}'}$	CO_{B}

Определение объема продуктов сгорания по сухому воздуху.

$$\text{H}_2\text{O}_{\text{Cr}} + \text{CO}_{2\text{Cr}} + \text{N}_{2\text{Cr}} + \text{H}_{2\text{Cr}} + \text{CO}_{\text{Cr}}, \text{ м}^3/\text{м}^3. \quad (4.1)$$

$$\text{H}_2\text{O}_{\text{C}} + \text{CO}_{2\text{C}} + \text{N}_{2\text{C}} + \text{H}_{2\text{C}} + \text{CO}_{\text{C}}, \%. \quad (4.2)$$

Объем продуктов сгорания по влажному воздуху:

$$\text{H}_2\text{O}_{\text{B1}} + \text{CO}_{2\text{Br}} + \text{N}_{2\text{Br}} + \text{H}_{2\text{Br}} + \text{CO}_{\text{Br}}, \text{ м}^3/\text{м}^3. \quad (4.3)$$

$$\text{H}_2\text{O}_{\text{B}} + \text{CO}_{2\text{B}} + \text{N}_{2\text{B}} + \text{H}_{2\text{B}} + \text{CO}_{\text{B}}, \%. \quad (4.4)$$

Расчетным путем определяются следующие величины: расход воздухоокислителя V'_0 , $\text{м}^3/\text{м}^3$.

Химический недожог топлива: Q_3 , кДж/м.

Количество теплоты, выделяющееся при горении топлива при $\alpha = 0,95Q$, кДж/м³.

Массовые доли продуктов сгорания:

$$G_{\text{H}_2\text{O}}, \text{ кг/м}^3; G_{\text{CO}_2}, \text{ кг/м}^3; G_{\text{N}_2}, \text{ кг/м}^3; G_{\text{H}_2}, \text{ кг/м}^3; G_{\text{CO}}, \text{ кг/м}^3.$$

Суммарная масса дымовых газов:

$$G_B = \sum G_i, \text{ кг/м}^3. \quad (4.5)$$

Суммарная масса сухих газов:

$$G_C = G_B - G_{\text{H}_2\text{O}} - 1,593, \text{ кг/м}^3. \quad (4.6)$$

Производится расчет охлаждения и частичной осушки газов в скруббере. По $H-d$ диаграмме определяется, что на 1 кг сухого газа при температуре t °С приходится x граммов водного пара.

Масса оставшейся в дымовых газах влаги:

$$G_{\text{остH}_2\text{O}} = \chi \cdot G_C, \text{ кг/м}^3. \quad (4.7)$$

Объем влаги при плотности пара ρ_0 , кг/м³:

$$V_{\text{остH}_2\text{O}} = \frac{G_{\text{остH}_2\text{O}} \cdot 10^{-3}}{\rho_0}, \text{ м}^3. \quad (4.8)$$

Масса сконденсировавшейся в скруббере влаги:

$$G_{\text{конH}_2\text{O}} = G_{\text{H}_2\text{O}} - G_{\text{остH}_2\text{O}}, \text{ кг/м}^3. \quad (4.9)$$

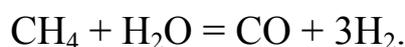
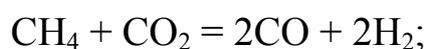
Состав продуктов горения топлива после скруббера представить в виде таблицы 4.2.

Таблица 4.2

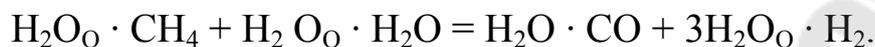
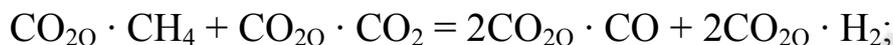
Состав продуктов горения топлива после скруббера

По массе		По объему	
кг/м ³	%	м ³ /м ³	%
H ₂ O _{М'}	H ₂ O _М	H ₂ O _{О'}	H ₂ O _О
CO _{2М'}	CO _{2М}	CO _{2О'}	CO _{2О}
N _{2М'}	N _{2М}	N _{2О'}	N _{2О}
H _{2М'}	H _{2М}	H _{2О'}	H _{2О}
CO _{М'}	CO _{М'}	CO _{О'}	CO _О
<i>Итого</i>	100	<i>Итого</i>	100

Уравнение химических реакций получения экзогаза:



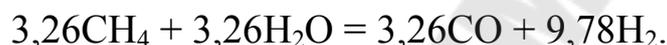
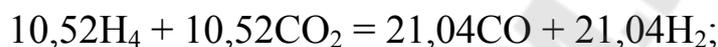
В расчетах допускается пренебрежение содержанием примесей в природном газе и считается, что он состоит только из метана. В результате на 100 м исходных продуктов (дыма, охлажденного в скруббере):



В соответствии с приведенными уравнениями реакций для получения X , м³, газа необходимо:

$$\text{CH}_4 = (\text{CO}_{20} + \text{H}_2\text{O}_0), \text{ м}^3/\text{м}^3. \quad (4.10)$$

При этом получится: $\text{CO} = 2\text{CO}_{20} + \text{H}_2\text{O}_0$; $\text{H}_2 = 2\text{CO}_{20} + 3\text{H}_2\text{O}_0$.
На 100 м³ газа уравнения реакции будут выглядеть:



Соответственно на 100 м³ исходного газа необходимо подать 13,78 м³ метана. При этом получится $\text{CO} = 24,3 \text{ м}^3$, $\text{H}_2 = 30,82 \text{ м}^3$.

Так как необходимо получить очищенный экзогаз, то CO и H_2 отсутствуют.

Очищенный экзогаз после конверсии будет иметь следующий состав: (на 100 м³ дымовых газов)

$$\text{CO} = 25,6 \text{ м}^3, \quad \text{CO}' = 18 \%,$$

$$\text{H}_2 = 32,9 \text{ м}^3, \quad \text{H}'_2 = 23,1 \%,$$

$$\text{N}_2 = 83,85 \text{ м}^3, \quad \text{N}'_2 = 58,9 \%,$$

$$\text{CO}' + \text{H}'_2 + \text{N}_2 \text{ \%}.$$

В экзогенераторах очистка от водяного пара и углекислого пара осуществляется методом каталитической конверсии.

Для приготовления 100 м³ экзогаза в час необходимо подать в реактор охлажденных дымовых газов:

$$\text{ОДГ} = 100 \cdot \frac{100}{(\text{CO} + \text{H}_2 + \text{N}_2)}, \text{ м}^3. \quad (4.11)$$

Для того, чтобы получить необходимый объем дымовых газов нужно сжечь X , м³, природного газа.

$$X = \frac{\text{ОДГ}}{\text{H}_2\text{O}'_0 + \text{CO}'_{20} + \text{N}'_{20} + \text{H}'_{20} + \text{CO}'_{20}}, \text{ м}^3. \quad (4.12)$$

Расчет теплоты для реакции: $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 = 2\text{CO} + 2\text{H}_2$.

Данная реакция должна протекать при температуре 900 °С

$$q'_a = (-53246 - 15,18 \cdot T + 0,008445 T^2 - 1,552 \cdot 10^{-6} \cdot T^3), \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{моль}); \quad (4.13)$$

$$\text{На } 1 \text{ м}^3 \text{ метана: } q'_{a1} = \frac{q'_a}{22,4} = \text{кДж}/\text{м}^3.$$

Тепловой эффект реакции при той же температуре:

$$q''_a = (-42566 - 16,2 \cdot T + 9,45 \cdot 10^{-3} \cdot T^2 - 1,6361 \cdot 10^{-6} \cdot T^3), \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{моль}); \quad (4.14)$$

$$q''_{a1} = \frac{q''_a}{22,4}, \text{ кДж}/\text{м}^3. \quad (4.15)$$

Количество теплоты, израсходованное за 1 час на нагрев смеси частично осушенных и охлажденных в скруббере дымовых газов: Q_G , кДж/час.

Суммарный расход теплоты на реакции конверсии метана:

$$Q_1 = \frac{100}{(\text{CO} + \text{H}_2 + \text{N}_2)} \cdot (\text{CO}_{20} \cdot q'_a + \text{H}_2\text{O}_0 \cdot q''_a), \text{ кДж}/\text{час}. \quad (4.16)$$

Суммарное количество теплоты, которое необходимо подвести к реактору:

$$Q = Q_1 + Q_G, \text{ Дж}/\text{час}. \quad (4.17)$$

4.2 Расчет гидродинамических параметров, размеров реактора и камеры сгорания

Расчет критерия Архимеда для катализатора:

$$\text{Ar} = \frac{g \cdot d^3 \cdot (\rho_k - \rho_{\text{см}})}{v_{\text{см}}^2 \cdot \rho_{\text{см}}}. \quad (4.18)$$

Число Рейнольдса, соответствующее пределу устойчивости кипящего слоя и уноса частиц:

$$\text{Re}_{\text{кр}} = \frac{\text{Ar}}{1400 + 5,22 \cdot \sqrt{\text{Ar}}}. \quad (4.19)$$

$$Re_{\text{yH}} = \frac{Ar}{18 + 0,16 \cdot \sqrt{Ar}}. \quad (4.20)$$

В соответствии с найденными $Re_{\text{кр}}$ и Re_{yH} определяются скорости начала псевдооживления и уноса:

$$\omega_{\text{кр}} = \frac{Re_{\text{кр}} \cdot v_{\text{cm}}}{d}, \quad (4.21)$$

$$\omega_{\text{yH}} = \frac{Re_{\text{yH}} \cdot v_{\text{cm}}}{d}. \quad (4.22)$$

Число Рейнольдса, соответствующее оптимальной скорости:

$$Re_{\text{опт}} = \frac{Ar}{18 + 5,22 \cdot \sqrt{Ar}}. \quad (4.23)$$

Оптимальная (рабочая) скорость фильтрации:

$$\omega_{\text{ф}} = \frac{Re_{\text{опт}} \cdot v_{\text{cm}}}{d}. \quad (4.24)$$

Площадь поверхности реактора:

$$F_{\text{р}} = \frac{V_{\text{р}}}{\omega_{\text{ф}}}. \quad (4.25)$$

Конструкция реакционной камеры выбирается в виде цилиндрической реторты с диаметром:

$$D_{\text{в.рет}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{F_{\text{кк}}}{\pi}}. \quad (4.26)$$

Толщина стенки принимается на основании расчетных данных.

Наружный диаметр реторты:

$$D_{\text{н.рет}} = D_{\text{в.рет}} + 2 \cdot \delta. \quad (4.27)$$

4.3 Скорость фильтрации и размеры камеры сжигания

Камера сжигания размещена снаружи реторты и имеет общую с ней стенку. Рассчитывается аналогично реактору.

Определяется Ar и Re :

$$Ar = \frac{g \cdot d^3 \cdot (\rho_{\text{к}} - \rho_{\text{cm}})}{(v'_{\text{cm}})^2 \cdot \rho'_{\text{cm}}}. \quad (4.28)$$

$$\text{Re}_{\text{опт}} = \frac{\text{Ar}}{18 + 5,22 \cdot \sqrt{\text{Ar}}}. \quad (4.29)$$

$$\omega_{\text{ф}} = \frac{\text{Re}_{\text{опт}} \cdot v'_{\text{см}}}{d}. \quad (4.30)$$

Сечение камеры сгорания:

$$F_{\text{кс}} = \frac{V_{\text{пр}}}{\omega_{\text{ф}}}, \quad (4.31)$$

где $V_{\text{пр}}$ – объем продуктов сгорания после камеры сжигания м³/ч.

Суммарная площадь камеры сгорания и реактора:

$$F = F_{\text{р}} + F_{\text{кс}}. \quad (4.32)$$

Диаметр камеры сгорания:

$$D_{\text{кс}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{F_{\text{кс}}}{\pi}}. \quad (4.33)$$

Толщина кольца:

$$\delta = \frac{D_{\text{кс}} - D_{\text{н.рег}}}{2}. \quad (4.34)$$

4.4 Расчет коэффициентов теплоотдачи и теплоотдающей поверхности

Коэффициент теплопроводности в реакторе $\lambda_{\text{р}}$ при $t_{\text{р}}$, °С.

Коэффициент теплопроводности для дымовых газов $\lambda_{\text{дг}}$ при $t_{\text{кс}}$, °С.

Коэффициент теплоотдачи от кипящего слоя катализатора:

$$\lambda_{\text{к}} = 35,7 \cdot \lambda_{\text{г}}^{0,6} \cdot \rho_{\text{к}}^{0,2} \cdot d^{-0,36} \left(1 + \frac{d^{-3} \cdot 10^4 - 2,5}{11,7} \right) (0,296 \cdot t^{0,22} - 1). \quad (4.35)$$

В действительности

$$\lambda_{\text{кд}} = \lambda_{\text{к}} \cdot 0,88. \quad (4.36)$$

Коэффициент теплоотдачи от кипящего слоя катализатора:

$$\lambda_{\text{т}} = 35,7 \cdot \lambda_{\text{дг}}^{0,6} \cdot \rho^{0,2} \cdot d^{-0,36} \left(1 + \frac{d^{-3} \cdot 10^4 - 2,5}{11,7} \right) (0,296 \cdot t^{0,22} - 1). \quad (4.37)$$

Коэффициент теплопередачи:

$$K = \left(\frac{1}{\lambda_k} + \ln \left(\frac{D_{н.рет}}{D_{в.рет}} \right) + \frac{1}{\lambda_T} \right)^{-1}, \quad (4.38)$$

т. к. $\frac{D_{н.рет}}{D_{в.рет}} \approx 1$, то составляющую $\ln \left(\frac{D_{н.рет}}{D_{в.рет}} \right)$ не учитывают.

Поверхность теплообмена:

$$F_{рет} = \frac{Q}{(1100 - 900) \cdot k}. \quad (4.39)$$

Высота вектора:

$$h = \frac{2 \cdot F_{рет}}{(D_{н.рет} - D_{в.рет}) \cdot \pi}. \quad (4.40)$$

Высоту неподвижного слоя катализатора принимаем равной 80–90 % от высоты реактора. Над реактором устанавливается сепарационная зона, большего чем реторта сечения. При этом за счет падения скорости газа уменьшается высота выброса частиц из слоя и их унос.

Высота сепарационной зоны составляет 50–60 % высоты неподвижного слоя катализатора.

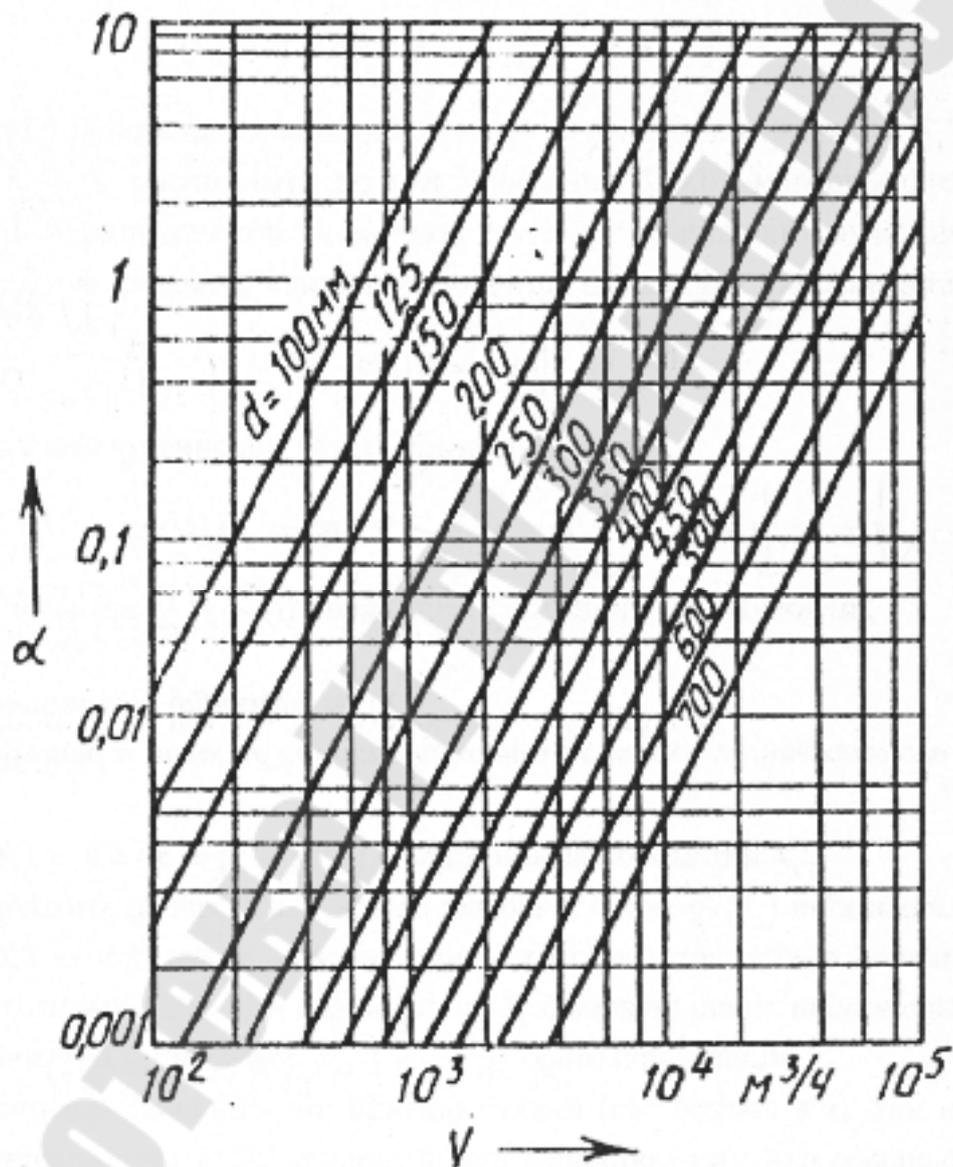
Определение гидравлического сопротивления слоя катализатора при заданной насыпной плотности:

$$\Delta p = \rho_{нас} g h. \quad (4.41)$$

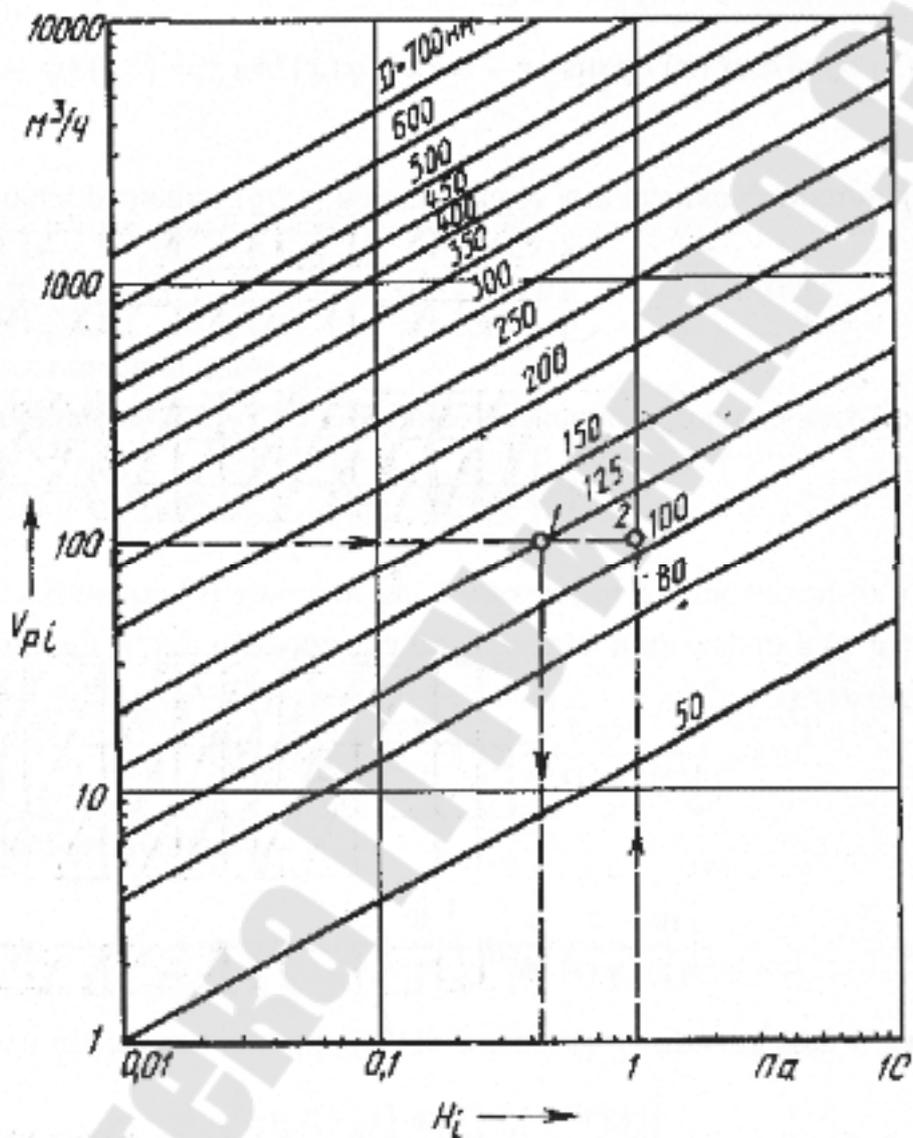
ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Номограмма для расчета газопровода высокого и среднего давления



Номограмма для расчета газопровода
низкого давления



Приложение 3

Грузовая емкость холодильной камеры

Охлаждаемый продукт	m_v , кг/м ³	Вид упаковки	Охлаждаемый продукт	m_v , кг/м ³	Вид упаковки
Яблоки	350	ящики	Торты и пирожные с кремом	70	складные
Апельсины	400	ящики			короба
Бананы	250	связки	Морковь, нарезанная кубиками	420	экспресс-упаковка
	300	картонные коробки			
Пиво	600	бочки	Миндаль, очищенный	500	мешки
	650	ящики	Миндаль, неочищенный	350	мешки
Фасоль	600	мешки	Молоко	800	ящики
	700	без тары	Устрицы	400	корзины
Хлеб	250	без тары	Масло растительное	650	бочки
Масло сливочное	650	кадки	Перец	400	мешки
	1000	картонные коробки	Сливы сушеные	600	ящики
800				без тары	
Кишки	500	бочки	Рис	700	мешки
Яйца	350	ящики	Изюм	600	ящики
Яичный желток	600	кадки	Свекла	600	без тары
Яичный желток, замерзший	1000	консервные банки	Ром	550	бочки
			Топленый свиной жир	550	чаны
Горох	700	мешки	Соевые бобы	800	мешки
Земляной орех, очищенный	400	мешки	Шпиг соленый	650	бочки
			Сладкие фрукты	350	ящики
Земляной орех, неочищенный	250	мешки	Табак	350	бочки
				250	тюки
Жир	900	бочки	Жир животный	500	кадки
Рыба, в тузлуке – сельдь – разделанная на клипфиск – сардины	350	бочки	Вино	400	бочки
	800	бочки		650	ящики
	600	ящики	Сахар	750	мешки
	900	бочки	Лук	450	мешки

Охлаждаемый продукт	m_v , кг/м ³	Вид упаковки	Охлаждаемый продукт	m_v , кг/м ³	Вид упаковки
Мясо, замороз. – говядина – четвертины гов- вяжьих туш – баранина – свинина	400	без тары	Свежемороженые продукты в мелкой упаковке: Яблочное пюре Ягоды	670	экспресс- упаковка
	300	без тары			
	300	без тары			
	350	без тары			
Мясо, охлажд. – на подвесном пути – соленое – сушеное	350	жестяные	Сдоба, выпекаемая на листах	250	картонки в пленке
	650	банки	Цветная капуста	330	экспресс- упаковка
	650	тюки	Зеленая фасоль	370	упаковка
Зерно	650	без тары	Сладкие блюда и десерты	155	картонки в пленке
Мед	900	бочки	Зеленый горошек	440	экспресс- упаковка
Кофе, очищен.	500	мешки	Готовые блюда	175	формы с 3 отделен.
Кофе, неочищ.	450	мешки		325	
Какао	450	мешки			
Картофель	700	без тары	Огурцы, нарезан- ные	500	экспресс- упаковка
	400	мешки			
Сыр	500	ящики	Дрожжи пресо- ванные	260	мешки
Чечевица	600	мешки	Вишня, черешня	450	экспресс- упаковка
Кукуруза	700	мешки	Мелкоштучные хлебобулочные изделия	100	мешки
Макаронные из- делия	200	ящики			
Солод	400	экспресс- упаковка	Капуста брюссель- ская	610	экспресс- упаковка
	650	мешки	Морковь с зеле- ным горошком	420	экспресс- упаковка
Мандарины	450	ящики	Сливы половинка- ми Шпинат	510	экспресс- упаковка
Капуста	440	экспресс- упаковка		610	экспресс- упаковка
			Томаты, нарезан, кружками	500	экспресс- упаковка

Приложение 5

Коэффициенты грузораспределения с учетом имеющихся контрольных проходов, проездов, стендов и стеллажей

Способ хранения	η_v
Охлажденные продукты (долгосрочное хранение, на поддонах)	0,65...0,7
Охлажденные продукты (хранение в зависимости от ассортимента, на поддонах)	0,45...0,5
Свежемороженые продукты в мелкой расфасовке (долгосрочное хранение, на поддонах)	0,75...0,8
Свежемороженые продукты в мелкой расфасовке (хранение в зависимости от ассортимента, на поддонах)	0,6...0,6

Приложение 6

Грузооборот в холодильной камере

Тип раздвижной двери	Вид продукта	$\Phi_{двери}$, мин/тонну грузооборота
С ручным обслуживанием	Замороженные туши	15
	Продукты на поддонах	6
С механическим управлением	Замороженные туши	1
	Продукты на поддонах	0.8

Приложение 7

Теплоприток от пребывания людей

Температура камеры, °С	Теплоприток, Вт/чел
20	180
15	200
10	210
5	240
0	270
-5	300
-10	330
-15	360
-20	390
-25	420

Литература

1. Барон, Р. Ф. Криогенные системы / Р. Ф. Баррон - 2-е изд. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 408 с.

2. Брайдерт, Г. И. Проектирование холодильных установок. Расчеты, параметры, примеры / Г. И. Брайдерт. – М. : Техносфера, 2006. – 336 с.

3. Промышленные теплотехнологии : Машиностроительное и металлургическое производство : В 2 ч. Ч. 2 / А. П. Несенчук, В. И. Тимошпольский, Н. И. Подберезный [и др.] ; под общ. ред. А. П. Несенчука, В. И. Тимошпольского. – Минск : Выш. шк., 1997.

4. Системы производства и распределения энергоносителей промышленных предприятий/ А. П. Несенчук, В. Г. Лисиенко, Н. М. Беляев ; под ред. А. П. Несенчука. – Минск : Высш. шк., 1989. – 279 с.

5. Соколов, Е. Я. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения / Е. Я. Соколов, В. М. Бродянский. – 2-е изд. – М. : Энергоиздат, 1981. – 319 с.

Содержание

<i>Практическая работа 1. Расчет разветвленных тупиковых сетей среднего давления до газорегулирующего пункта</i>	3
<i>Практическая работа 2. Гидравлический расчет кольцевого газопровода низкого давления</i>	5
<i>Практическая работа 3. Определение требуемого количества холода</i>	8
<i>Практическая работа 4. Расчет генераторов для приготовления контролируемых атмосфер</i>	18
Приложения	26
Литература	32

СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ

**Практикум
по одноименной дисциплине
для студентов специальности 1-43 01 03
«Электроснабжение (по отраслям)»
дневной и заочной форм обучения**

Составители: **Широглазова** Наталия Владимировна
Кидун Наталья Михайловна

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 15.01.19.

Рег. № 31Е.
<http://www.gstu.by>