

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Клочков Юрий Сергеевич
Должность: Ректор
Дата подписания: 29.09.2026 10:03:27
Уникальный программный ключ:
3beb265d5d589e7ff4c954946f3ad99a1e70ac12

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Строительный институт**

Кафедра Теплогазоснабжения и вентиляции

РАСЧЁТ ГРУППОВЫХ РЕЗЕРВУАРНЫХ УСТАНОВОК

методические указания к курсовой работе
по дисциплине «Использование сжиженных природных газов»
для обучающихся направления подготовки 08.04.01 Строительство,
программа подготовки Системы теплогазоснабжения и вентиляции,
энергоаудит,
очной формы обучения

Составители: *Н.И. Куриленко, кандидат
физико-математических наук, доцент,
Л.Ю. Михайлова,
кандидат технических наук, доцент,*

Тюмень
ТИУ
2020

Расчёт групповых резервуарных установок: методические указания для выполнения курсовой работы для обучающихся направления подготовки 08.04.01 Строительство, программа подготовки Системы теплогазоснабжения и вентиляции, энергоаудит (академическая магистратура) очной формы обучения.— Тюмень: Издательский центр БИК, ТИУ, 2020.— 42 с.

Ответственный редактор: К.В. Афонин, к.т.н., доцент.

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию на заседании кафедры Теплогазоснабжения и вентиляции 18.03.2020 года, протокол № 10.

АННОТАЦИЯ

Методические указания по выполнению курсовой работы «Расчёт групповых резервуарных установок»

В пояснительной записке излагаются обоснования проектных решений, приводятся расчёты с необходимыми пояснениями. В конце записки приводится список использованной литературы.

Графическая часть представляет собой 1-2 листа формата А-3 чертежей, на которых должны быть отражены основные аспекты проектирования групповых резервуарных установок для хранения сжиженных углеводородных газов у потребителей.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Порядок защиты курсовой работы, критерии оценки	4
2. Общие сведения	6
3. Основные законы газового состояния	8
4. Основные свойства и характеристики сжиженных углеводородных газов	11
5. Критические параметры углеводородов	15
6. Внутренняя энергия, энтальпия, энтропия	16
7. Основные характеристики автономного газоснабжения	18
7.1. Баллонные установки	19
7.2. Резервуарные установки	28
8. Подбор газоиспользующего оборудования	36
9. Определение требуемой производительности групповой резервуарной установки	37
10. Расчёт резервуарных установок с искусственным испарителем	38
Библиографический список	40

ВВЕДЕНИЕ

С целью приведения изучаемого курса «Использование сжиженных углеводородных газов» в соответствии с достигнутым научно-техническим прогрессом в области энергосбережения и энергетической эффективности в строительстве и гармонизации с требованиями международных стандартов были разработаны данные методические указания.

Методические указания предназначены для обучающихся программы «Системы теплогазоснабжения и вентиляции, энергоаудит», выполняющих курсовую работу «Расчёт групповых резервуарных установок». Выполнение курсовой работы имеет цель: закрепить теоретический материал по основным вопросам курса «Использование сжиженных углеводородных газов», приобрести навыки самостоятельной работы в области сжиженных углеводородных газов и опыт работы со справочной и специальной литературой.

1. ПОРЯДОК ЗАЩИТЫ КУРСОВОЙ РАБОТЫ, КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ

Подведение итогов курсовой работы включает следующие этапы: сдачу курсовой работы на проверку руководителю; доработку курсовой работы с учётом замечаний руководителя; сдачу готовой работы на защиту; защиту курсовой работы.

Срок сдачи курсовой работы на проверку руководителю определяется заданием.

Срок доработки работы, если в этом есть необходимость, устанавливается руководителем с учётом времени на устранение замечаний.

Готовая работа подписывается обучающимся на титульном листе и представляется на защиту.

Курсовая работа, удовлетворяющая предъявленным требованиям, допускается руководителем к защите, что удостоверяется его подписью на титульном листе.

Оценка курсовой работы производится с учётом качества работы, обоснованности и оригинальности решения практических задач энергосбережения, соблюдения требований к оформлению пояснительной записки, содержания доклада при защите работы, ответов на вопросы и замечания.

Критерии оценки:

Отлично (91-100 баллов):

- курсовая работа выполнена в полном объёме и соответствует заданию;

- пояснительная записка составлена с учетом требований стандартов по составлению текстовых документов, последовательно, аккуратно, со-

держит все необходимые разделы, приведенные расчеты верны и обоснованы;

- графическая часть выполнена в полном объеме с соблюдением требований ГОСТ;

- защита курсовой работы проведена технически грамотно, охватывает все разделы работы;

- ответы на все поставленные вопросы верные, обоснованные и четкие.

Хорошо (76-90 баллов):

- курсовая работа выполнена в полном объеме и соответствует заданию;

- пояснительная записка составлена с учетом требований стандартов по составлению текстовых документов, аккуратно, содержит все необходимые разделы, приведенные расчеты верны и обоснованы, но имеются некоторые замечания;

- графическая часть выполнена с незначительными отступлениями от стандартов;

- при защите курсовой работы доклад студента краток, строен, но допущены неточности в определениях и специальной терминологии;

- ответы на все поставленные вопросы верны, обоснованы, но на некоторые из них даны ответы после наводящих вопросов.

Удовлетворительно (61-75 баллов):

- курсовая работа выполнена в полном объеме и соответствует заданию;

- пояснительная записка составлена с учетом требований стандартов по составлению текстовых документов, аккуратно, содержит все необходимые разделы, приведенные расчеты верны и обоснованы, записка составлена непоследовательно, с ошибками;

- графическая часть выполнена с отклонениями от требований ГОСТ;

- доклад студента сбивчив, непоследователен;

- на 30-40 % вопросов даны неправильные ответы.

Неудовлетворительно (меньше 61 балла):

- курсовая работа выполнена в полном объеме и соответствует заданию;

- пояснительная записка содержит все необходимые разделы, но составлена непоследовательно, с ошибками, без учета требований стандартов по составлению текстовых документов;

- доклад обучающегося непоследователен, сбивчив, без выделения ключевых моментов;

- нет ответов на 50% и более поставленных вопросов;

2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Сжиженными углеводородными газами называются углеводороды (УВ), которые при сравнительно небольшом сжатии в условиях окружающей среды могут быть переведены из газообразного состояния в жидкое.

Сжиженные углеводородные газы (СУГ) являются одним из чистейших видов топлива, удовлетворяющим широкий круг потребителей. Их назначение как самостоятельного топлива для энергообеспечения страны трудно переоценить.

Основное преимущество СУГ – возможность их существования при температуре окружающей среды и умеренном давлении как в жидком, так и в газообразном состоянии. В жидком состоянии они легко перерабатываются, хранятся и транспортируются, в газообразном имеют лучшую характеристику сгорания.

Около половины суммарного объема расходуемых в мире сжиженных газов (СУГ) приходится на коммунально-бытовой сектор. В России 19–20% объема СУГ, потребляемого внутри страны, расходуется на коммунально-бытовые нужды. Спрос на сжиженный газ в данном секторе определяется территориальными и климатическими особенностями страны (напр. Западная и Восточная Сибирь, Дальний Восток), величиной площадей, не охваченных сетью магистральных газопроводов, ценами на конкурирующие виды источников тепла (дрова, уголь, дизельное топливо, электричество). В газификации жилищно-коммунального хозяйства многих регионов (напр. Западной и Восточной Сибири, Дальнего Востока) их преимущественная роль очевидна.

Согласно ГОСТ Р 52087-2018 Газы углеводородные сжиженные топливные» (Настоящий стандарт распространяется на сжиженные углеводородные газы (далее - сжиженные газы), применяемые в качестве топлива для коммунально-бытового потребления, моторного топлива для автомобильного транспорта, а также в промышленных целях) различают следующие марки СУГ:

Таблица 2

Марка	Наименование
ПТ	Пропан технический
ПА	Пропан автомобильный
ПБА	Пропан-бутан автомобильный
ПБТ	Пропан-бутан технический
БТ	Бутан технический

По физико-химическим показателям, сжиженные газы должны соответствовать требованиям и нормам, приведенным в табл. 3.

Таблица 3

Наименование показателя	Норма для марки		
	ПТ	ПБТ	БТ
1. Массовая доля компонентов, %:			
сумма метана, этана и этилена	Не нормируется		
сумма пропана и пропилена, не менее	75	Не нормируется	
сумма бутанов и бутиленов:			
не менее	Не нормируется	-	60
не более		60	-
2. Объемная доля жидкого остатка при 20 °С, %, не более	0,7	1,6	1,8
3. Давление насыщенных паров и избыточное, МПа, при температуре:			
плюс 45 °С, не более	1,6	1,6	1,6
минус 20 °С, не менее	0,16	-	-
4. Массовая доля сероводорода и меркаптановой серы, %, не более	0,013	0,013	0,013
в том числе сероводорода, не более	0,003	0,003	0,003
5. Содержание свободной воды и щелочи	Отсутствие		
6. Интенсивность запаха, баллы, не менее	3	3	3

Источниками получения сжиженного газа являются природные газы газоконденсатных месторождений, попутные нефтяные газы, газы нефтепереработки. При высоком пластовом давлении нефть насыщается углеводородными газами. При снижении давления на поверхности земли до атмосферного из 1 т нефти выделяется от 100 до 500 м³ УВ-газов, которые содержат 40 – 80% метана (СН₄) этана (С₂Н₆) и 20 – 60% пропана (С₃Н₈), бутана (С₄Н₁₀) и высших углеводородов. Эти насыщенные (предельные) УВ метанового ряда (алканы) имеют общую формулу С_nН_{2n+2}. Проектирование систем газоснабжения осуществляется в соответствии с требованиями СП 62.13330.2011 «Газораспределительные системы».

Технологические особенности получения сжиженного газа определяются источниками производства: нефте- или газопереработкой, нефтехимией. При нефтепереработке (на нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятиях) сжиженный газ - фактически дополнительный продукт при получении бензинов и прочих продуктов. В отраслях газопереработки и частично в нефтехимии ситуация иная: производимый сжиженный газ является основным продуктом для реализации и/или последующей переработки в продукцию более высоких переделов.

Транспортировка сжиженного газа от предприятий-производителей до оптовых потребителей (нефтехимических предприятий, баз, газонаполнительных станций и т.д.) осуществляется в основном железнодорожным транспортом в специально оборудованных цистернах или непосредственно по трубопроводам (продуктопроводам). Продуктопроводы, протяженность которых невелика, обычно соединяют несколько предприятий, объединенных единой технологией, или предприятия и наливные железнодорожные эстакады.

Доставка сжиженного газа конечным розничным потребителям проводится через сеть кустовых баз и газонаполнительных станций, предназначенных для приема, хранения и распределения сжиженного газа. Большая часть сжиженного газа для бытовых нужд перевозится цистернами, причём его территориальные филиалы, осуществляющие реализацию газа, играют существенное значение (как базы хранения) для обеспечения населения сжиженным газом.

3. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ ГАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ

Закон Бойля – Мариотта. При постоянной температуре объём идеального газа изменяется обратно пропорционально давлению, т. е.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{P_2}{P_1}, \quad (1)$$

откуда

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 = \text{const} \quad (2)$$

Здесь V_1 - объём газа при давлении P_1 ; V_2 - объём того же количества газа при давлении P_2 .

Учитывая, что удельные объёмы газа обратно пропорциональны плотности, можно написать

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{T_2}{T_1}, \quad (3)$$

где ρ_1 и ρ_2 - плотности газа соответственно при давлениях P_1 и P_2 .

Закон Гей-Люссака. Объём определенного количества идеального газа при постоянном давлении увеличивается с повышением температуры. Так, если при температуре 0°C газ занимает объём V_0 , м^3 , то при температуре t объём газа составляет

$$V_t = V_0(1 + a_t) \quad (4)$$

где a_t - коэффициент расширения газа при повышении температуры на 1°C , приблизительно равно $1/273$.

Для одного и того же газа при постоянном давлении, но различных температурах справедливо соотношение

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}, \quad (5)$$

где T - абсолютная температура, равная $273 + t$.

Если газ находится в закрытой ёмкости постоянного объёма, то при повышении температуры газа в ней будет возрастать давление, причем

$$P_t = P_0(1 + a_p t), \quad (6)$$

где a_p - коэффициент объёмного расширения.

Соотношение между абсолютной температурой и давлением для одного и того же количества газа при постоянном объёме будет

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}, \quad (7)$$

Для идеальных газов коэффициент a_p и a_t одинаковы.

Закон Авогадро

Равные объёмы различных газов при одинаковой температуре и давлении прямо пропорциональны их молекулярным весам, т.е.

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{M_1}{M_2}, \quad (8)$$

поскольку

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1} \text{ и } \frac{V_2}{V_1} = \frac{M_1}{M_2}, \quad (9)$$

то

$$M_1 V_1 = M_2 V_2 = \text{const.} \quad (10)$$

Равные объёмы разных газов при одинаковой температуре и давлении содержат равное число молекул. Это число для одной моль любого газа составляет $N = 6.025 \cdot 10^{23}$ и называется числом Авогадро. Из этого следует, что при определённой температуре и давлении г/моль любого газа будет занимать почти один и тот же объём, равный частному от деления веса одной г/моль на вес 1 м³ газа. При 0°C и $P = 1.01 \cdot 10^5 \text{ Па}$, $MV = 22.4 \text{ м}^3$.

Закон Авогадро позволяет определить плотность любого газа при нормальных условиях по молекулярному весу, кг/м³ при н. ф. у.

$$\rho = \frac{M}{V_\mu} \quad (11)$$

и относительный удельный вес по воздуху

$$S = \frac{M}{1,293}, \quad (12)$$

где M - молекулярный вес газа, кг; V_μ - молекулярный объём газа, м³/моль при н. ф. у.; 1,293 - удельный вес воздуха, кг/м³ при н. ф. у.

Уравнение Клапейрона

$$\frac{PV}{T} = \text{const.} \quad (13)$$

Обозначая постоянную величину через R, получим для 1 кг газа

$$PV=RT. \quad (14)$$

Для m кг газа уравнение будет

$$PV=mRT, \quad (15)$$

где P - давление в Па; V - объём газа в м³; m - масса газа в кг; R - газовая постоянная в Дж/(кг·К); T - абсолютная температура в К.

В газовом хозяйстве рабочим телом является не отдельный однородный газ, а смесь, состоящая из разных газов. Смесь газов, не вступающих между собой в химические соединения, ведет себя, как идеальный газ и подчиняется уравнению состояния (1.15)

Для реальных газов уравнение состояния имеет вид:

$$PV=zmRT, \quad (16)$$

где z - коэффициент сжимаемости газа.

Каждый близкий по своим свойствам к идеальному газ, входящий в смесь ведет себя так, как если бы в смеси не было других газов: распространяется по всему объему смеси и следует своему уравнению состояния.

Закон Дальтона

Смесь газов подчиняется закону Дальтона, согласно которому общее давление смеси равняется сумме давлений отдельных компонентов, образующих смесь, т.е. сумме парциальных давлений.

$$P=P_1+P_2+...+P_n. \quad (17)$$

Парциальным давлением называется давление, которое имеет каждый газ в объеме смеси при температуре смеси. При этом парциальное давление каждого компонента равняется общему давлению, умноженного на величину объёмного (молярного) содержания данного компонента в смеси.

$$P_i=r_iP \quad (18)$$

Аналогично закону Дальтона, Амага предложил закон аддитивности парциальных объемов, согласно которому общий объём газовой смеси равняется сумме парциальных объёмов компонентов смеси:

$$V=V_1+V_2+...+V_n. \quad (19)$$

Под парциальным объёмом компонента идеальной газовой смеси понимается объём, который занимал бы данный компонент при отсутствии остальных, находясь в таком же количестве, под тем же давлением и при той же температуре, что и в смеси.

Парциальный объём каждого компонента газовой смеси равен общему объёму, умноженного на объёмную (молярную) концентрацию его в смеси

$$V_i=r_iV. \quad (20)$$

Соотношения между количеством отдельных газов, входящих в смесь, могут задаваться объёмным или весовым составом. Объёмный со-

став газовых смесей является одновременно и молярным составом, т.к. объём 1 кмоль углеводородного газа есть величина постоянная, равная $\approx 22,4 \text{ м}^3$ при н. ф. у.

Закон Гейма (Гремма)

Скорость диффузии газа обратно пропорциональна корню квадратному из его плотности:

Распространяя этот закон на истечение газа из малых отверстий, закон Гейма гласит, что при одинаковых давлениях и температурах скорости истечения разных газов из малых отверстий обратно пропорционально корням квадратным из их плотностей ρ , т.е.

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{\sqrt{\rho_2}}{\sqrt{\rho_1}}. \quad (21)$$

Время истечения газов τ через отверстия обратно пропорционально скоростям истечения этих газов w

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{W_2}{W_1} = \frac{\sqrt{\rho_1}}{\sqrt{\rho_2}}. \quad (22)$$

Скорость истечения определяется по формуле

$$W = \frac{\sqrt{2(P_1 - P_2)}}{\rho}, \quad (23)$$

где P_1 и P_2 - начальное и конечное давление;

ρ - плотность газа.

4. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА И ХАРАКТЕРИСТИКИ СЖИЖЕННЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ

Сжиженные газы представляют собой смесь химических соединений, состоящую в основном из водорода и углерода с различной структурой молекул, т.е. смесь углеводородов (УВ) различной молярной массы и различного строения. Основными компонентами СУГ являются пропан и бутан, в виде примесей в них содержатся более лёгкие УВ (метан и этан) и более тяжёлые (пентан). Все перечисленные компоненты являются предельными УВ. В состав СУГ могут входить также непредельные УВ: этилен, пропилен, бутилен. Бутан-бутилены могут присутствовать в виде изомерных соединений (изобутана и изобутилена).

СУГ всегда находятся в виде двухфазной системы жидкость-пар, т.е. состоят из жидкой и паровой фаз. В газовых сетях жидкое состояние углеводородов чаще называется конденсатом. По составу конденсат отличается от паровой фазы лишь концентрацией компонентов.

Основные свойства паровой фазы, которые необходимо учитывать при эксплуатации, следующие: высокая плотность $\rho_{\text{ж}} = 0,5 \text{ кг/л}$, медленная диффузия, низкая температура самовоспламенения - $430 \div 560^\circ\text{C}$, низкие пределы воспламенения (взрываемости) - 1,9 – 10%, способность образо-

вания газогидратов, непостоянная теплота сгорания, токсичность и содержание опасных примесей.

Основные свойства жидкой фазы следующие: способность к сильному объёмному сжатию и расширению – при регазификации 1 л жидкости образуется - ≈ 250 л газа; малая относительная плотность - $\approx 0,4$, охлаждающая способность при регазификации.

Основные характеристики жидкой и паровой фаз некоторых газов, входящих в состав СУГ, приведены в справочной литературе, напр. «Справочник по сжиженным углеводородным газам», Н. Л. Стаскевич, Г. Н. Северинец.

Жидкие углеводороды обладают высоким коэффициентом объёмного расширения φ_p , который показывает относительное изменение объёма при изменении температуры на 1°C . При одном и том же повышении температуры пропан (бутан) расширяется в 16,1 (11,2) раза больше, чем вода (табл. 1). Высокий коэффициент объёмного расширения необходимо учитывать при заполнении баллонов и резервуаров В противном случае при повышении температуры будет возникать давление, которое может привести к разрушению сосуда, содержащего СУГ.

Таблица 1

Продукт	При $t = 15^\circ\text{C}$	Интервал температур, $^\circ\text{C}$	
		-20/+10	+10/+40
Пропан	0,00306	0,00290	0,00372
н-Бутан	0,00212	0,00209	0,00220
Вода	0,00019	—	—

При отсутствии опытных данных коэффициент объёмного расширения может быть приближенно определен из формулы:

$$\rho_1 = \rho_2 [1 + \varphi_p (t_2 - t_1)],$$

где ρ_1, ρ_2 - плотности жидкой фазы при t_1 и t_2 .

Степень сжатия жидкой фазы в сосуде оценивается коэффициентом объёмного сжатия $\varphi_{сж}$, который показывает относительное изменение объёма при повышении давления на 0,1 МПа. Зависимость давления от коэффициентов расширения и сжатия следующая:

$$\Delta p = (\varphi_p / \varphi_{сж}) \Delta t,$$

где Δt - разность температур, $^\circ\text{C}$.

По нормам безопасного использования сосудов, работающих под давлением, резервуары (баллоны) должны быть заполнены не более, чем на 85 % геометрического объёма сосуда. В этом случае, чтобы жидкость заполнила ёмкость, требуется перепад 55 – 57 градусов.

Перепад температуры, при котором происходит расширение жидкости и заполнение всего объёма резервуара, определяется следующей зависимостью

$$\Delta t = \frac{1-k}{k \cdot \varphi_p} \text{ град},$$

где k – коэффициент заполнения резервуара в долях единицы; φ_p – коэффициент объёмного расширения.

Для примера: коэффициент объёмного расширения пропана – 0,003, бутана – 0,002, что в 16÷20 раз больше, чем для воды.

Пример 1. Определить Δt , при котором произойдёт заполнение резервуара жидким пропаном, если он на ГНС был заполнен на 85% , на 95% своей геометрической ёмкости.

Решение.1. Примем для пропана $\varphi_p=0,003$, табл. 1. Тогда

$$1. \Delta t = \frac{1-0,85}{0,85 \cdot 0,003} = 58 \text{ град.}$$

$$2. \Delta t = \frac{1-0,95}{0,95 \cdot 0,003} = 17,5 \text{ град.}$$

Давление, которое возникает в резервуаре, целиком заполненном жидким газом ($k=1$) при повышении температуры жидкости определяют следующей зависимостью

$$p = 0,1 \frac{\varphi_p}{\varphi_{сж}} \Delta t', \text{ МПа,}$$

где $\varphi_{сж}$ – коэффициент сжатия жидкости углеводорода (для пропана - 0,0003); $\Delta t'$ - повышение температуры в заполненном баллоне ($k=1$).

Пример 2. Определить давление, которое возникает в резервуаре, заполненном на 95% жидким газом. Температура жидкости при заполнении

$t_1=-20^\circ\text{C}$, после нагрева $t_1=20^\circ\text{C}$.

Решение. Δt из предыдущего примера – 17 град.

$$\Delta t' = 40 - 17 = 23 \text{ град.}$$

$$p = 0,1 \frac{0,003}{0,0003} 23 = 23 \text{ МПа.}$$

Паровая фаза пропан-бутановой смеси тяжелее воздуха и при утечках будет скапливаться внизу (в подвалах, колодцах, приятках). Плотность жидкой фазы $\rho_{ж} = 0,5 \text{ кг/л}$, плотность паровой фазы $\rho_{п} = 2 \div 2,5 \text{ кг/м}^3$.

Паровая фаза СУГ вследствие высокой плотности долгое время не рассеивается в окружающей среде (медленная диффузия), а стелется по поверхности земли, воды или пола помещения. Смесь паров газа с воздухом долгое время и на большом расстоянии от места испарения является взрыво- и пожароопасной, особенно при отсутствии ветра и солнечной радиации. Поэтому следует быть предельно осторожным при обнаружении утечки газа.

При работе со сжиженным углеводородным газом необходимо учитывать его низкую температуру самовоспламенения. Например, при атмосферном давлении для пропана температура самовоспламенения составляет 466°C , для изобутана – 462°C , для бутана – 405°C , т. е. воспламенение газа может произойти даже при отсутствии открытого огня от сильно нагретых предметов.

Если горючая газовоздушная смесь (ГВС) находится в замкнутом объёме, например, в помещении, аппарате, трубопроводе или в резервуарах большого диаметра, то при появлении в какой-либо точке этого объёма источника тепла или пламени с температурой, достигающей или превышающей температуру воспламенения смеси, происходит её взрыв. Особенно опасны с точки зрения возможного взрыва сжиженные газы, так как у них низкие пределы взрываемости (воспламенения).

СУГ при атмосферном давлении не обладают токсическим (отравляющим) действием на организм человека, т. к. очень малорастворимы в крови. Они могут вызвать удушье при очень высоких концентрациях вследствие уменьшения содержания кислорода в воздухе. Вдыхание в течение 10 мин. воздуха, содержащего 1 % пропана или бутана, не вызывает никаких симптомов удушья. Двухминутное вдыхание воздуха с 10-процентным содержанием пропана или бутана вызывает головокружение. При содержании в воздухе 15% пропилена через 30 мин. после начала вдыхания наступает потеря сознания, при 24 % сознание теряется через 3 мин., а при 35-40 % содержании – через 20 сек. Входящие в состав СУГ пропилен и бутилен обладают наркотическими свойствами. Признаками наркотического действия являются недомогание и головокружение, вслед наступает состояние опьянения.

В производственных помещениях должны соблюдаться требования санитарной гигиены в соответствии ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

Как правило, СУГ содержат вредные примеси. Наиболее опасными из них являются сероводород и вода. Повышенное их содержание приводит к образованию на смоченной поверхности металла расслоений. Такого рода повреждение сосудов, транспортных цистерн, баллонов, трубопроводов, которые постоянно находятся под большим давлением, представляют большую опасность. Одной из мер, предотвращающих вредное влияние сероводорода на сосуды, является ограничение его содержания в газе, используемом как топливо. ГОСТ Р 52087-2018 устанавливает содержание сероводорода в газе не более 0,003% (по массе). В резервуарах и баллонах способностью воспламеняться при соприкосновении с воздухом могут обладать отложения, состоящие из продуктов коррозии металла (пирофорность). Пирофорные соединения представляют собой сульфиды железа в виде чёрного порошкообразного продукта, похожего на сажу, имеют рыхлую структуру и низкую теплопроводность.

В продуктах сгорания может присутствовать сернистый газ SO_2 , который при высоких температурах частично окисляется до сернистого ангидрида, который, в свою очередь, является причиной сильной коррозии латунных и алюминиевых деталей газовых аппаратов. Предельное содержание сероводорода в СУГ определяется ГОСТ 11382-76* «Газы нефтяные. Способы определения сероводорода».

4. КРИТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ УГЛЕВОДОРОДОВ

Практически все газы могут быть превращены в жидкость сжатием, но при условии, что температура не превышает значения, строго определенного для каждого однородного газа. Температура, при которой и выше которой данный газ не может быть сжижен никаким повышением давления, называется критической $T_{кр}$. Давление, при котором и выше которого повышением температуры нельзя испарить жидкость, называется критическим $p_{кр}$. Объем газа, соответствующий критической температуре, называется критическим $V_{кр}$, а состояние газа, отвечающее критической температуре, критическому давлению и критическому объему, - критическим состоянием газа. При критическом состоянии плотность пара становится равной плотности жидкости.

Приведём примеры критических параметров некоторых индивидуальных газов (табл. 4).

Чем ниже температура газа относительно критической, тем меньшим давлением можно превратить его в жидкость.

Таблица 4

Название	$t_{кр}, ^\circ\text{C}$	$P_{кр}, \text{МПа}$	$t_{кип}, ^\circ\text{C}$, при $P = 101,3 \text{ кПа}$
Метан	-82,5	4,58	-161
Этан	+32,3	4,82	-88,6
Пропан	+96,84	4,21	-42,1
Бутан	+152,01	3,747	-0,5 (и-бутан - -11,7)

Такие характеристики топлива позволяют безопасно транспортировать и хранить его в замкнутых сосудах под небольшим давлением, а использовать после регазификации в газообразной фазе.

Коротко охарактеризуем приведённые газы. Как видно из таблицы 4, использовать метан в жидком состоянии крайне затруднительно, т.к. при $P_{атм}$ сжижение его происходит при $t = -161 ^\circ\text{C}$.

Коротко охарактеризуем приведённые газы.

5. ХАРАКТЕРИСТИКА ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ГАЗОВ, ВХОДЯЩИХ В СОСТАВ СУГ

Этан (C_2H_6) – газ по плотности близкий к воздуху ($\rho = 1,356 \text{ кг/м}^3$) входит в состав сжиженных газов в незначительном количестве.

Главная причина ограничения - $t = +32 ^\circ\text{C}$ упругость его насыщенных паров достигает 4,8 Мпа, тогда как стальные сварные баллоны для сжиженных газов выпускают на рабочее давление 1,6 МПа. В тоже время незначительное количество этана в пропан-бутановой смеси повышает общее

давление насыщенных паров газовой смеси, что обеспечивает в зимнее время избыточное давление, необходимое для нормального газоснабжения потребителей.

Пропан (C_3H_8) – тяжёлый газ ($\rho = 2,0037 \text{ кг/м}^3$, $\rho_{\text{по в.}} = 1,55$). Технический пропан является основной составляющей сжиженного газа. С учётом оптимальной упругости насыщенных паров ГОСТ Р 52087-2018 предусматривает содержание пропана и пропилена не менее 75 % (по массе), а в ПБТ и БТ не нормируется.

С учётом разнообразия климатических условий максимальная расчётная температура применения сжиженных газов принимается $+45^\circ\text{C}$. Этой температуре соответствует упругость насыщенных паров пропана 1,6 МПа, что соответствует требованиям ГОСТ на стальные баллоны для сжиженных газов.

Бутан (C_4H_{10}) – газ, имеющий два изомера ($\rho = 2,685 \text{ кг/м}^3$ (и), $\rho = 2,7023 \text{ кг/м}^3$ (н), $\rho_{\text{по в.}} = 2,06 - 2,01$, т. е. разновидности с одинаковой химической формулой и, следовательно, с одинаковой молекулярной массой, но различающихся расположением атомов в молекуле. Бутан и его изомеры являются тяжелокипящими жидкостями. Пары технического бутана начинают конденсироваться при температуре $-0,5^\circ\text{C}$. Это не позволяет использовать бутан в зимнее время для коммунально-бытовых нужд.

Пентан C_5H_{12} – тяжёлый газ (плотность по воздуху 2,49). Формуле C_5H_{12} отвечают три пентана – нормальный пентан и два изопентана (2-метилбутан и 2-диметилпропан).

Изомеры отличаются от нормальных углеводородов физическими и химическими свойствами. При нормальных условиях метан, этан, пропан и бутан – газы, пентан и некоторые другие алканы с числом углеродных атомов больше пяти – жидкости с плотностью меньше единицы.

В составе топливного газа пентан в большинстве случаев находится в жидком состоянии, при 20°C его не должно быть больше 1-2%. Пентан резко снижает упругость паров и повышает точку росы. Температура конденсации пентана около 3°C . В связи с этим на газопроводах, оборудованных испарителями, устанавливаются конденсатосборники.

6. ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ, ЭНТАЛЬПИЯ, ЭНТРОПИЯ

В молекулярно-кинетической теории внутренняя энергия составляется из кинетической энергии всех частиц, потенциальной энергии взаимодействия молекул и энергии колебательного движения атомов (т. н. нулевой энергии). Внутренняя энергия – функция состояния, зависящая от температуры и давления, а для идеального газа – только от температуры (в этом случае потенциальной энергией взаимодействия пренебрегают).

На практике значение имеет не сама величина внутренней энергии, и её изменение ΔU :

$$\Delta U = c_{VM} \cdot (t_2 - t_1), \quad (3.1)$$

где c_{VM} - средняя удельная массовая теплоёмкость при постоянном объёме в пределах от t_1 до t_2 , кДж/(кг·°С). Таким образом, изменение внутренней энергии идеального газа равно произведению средней теплоёмкости при постоянном объёме на разность температур газа.

Единицы удельной внутренней энергии джоуль на килограмм (Дж/кг), джоуль на киломоль (Дж/кмоль) и джоуль на метр кубический (Дж/м³).

Э н т а л п и я (теплосодержание насыщенного газа) - количество теплоты, необходимое для повышения температуры 1 кг вещества от абсолютного нуля до пара заданной температуры. В общем случае энтальпия является функцией температуры и давления.

Как и в случае с внутренней энергией, чаще надо знать изменение энтальпии ΔI , а не её абсолютное значение:

$$\Delta U = c_{pM} \cdot (t_2 - t_1), \quad (3.2)$$

где c_{pM} - средняя удельная массовая теплоёмкость при постоянном давлении в пределах от t_1 до t_2 , кДж/(кг·°С).

Следовательно, изменение энтальпии идеального газа равно произведению средней теплоёмкости при постоянном давлении на разность температур газа.

Энтальпию реального газа можно рассматривать как сумму энтальпии в идеальном состоянии и соответствующего корректирующего члена:

$$I = I_{ид} + \Delta I \quad (3.3)$$

Корректирующий член ΔI может быть определен по графику зависимости энтальпии газов от приведённых температуры и давления (рис. 8.2).

Э н т р о п и я, так же как энтальпия и внутренняя энергия, - функция состояния рабочего тела (системы). Элементарное приращение энтропии в любом обратимом процессе выражается соотношением

$$dS = \frac{dQ}{T} = (dU + AdI)/T \quad (3.4)$$

где dS - приращение энтропии, кДж/(кг·К); dQ - изменение тепловой энергии рабочего тела, кДж/кг; dU - приращение внутренней энергии, кДж/кг;

dI - внешняя работа, кДж/кг; A - тепловой эквивалент работы, равный

1/101,7 кДж (кг·м); T - абсолютная температура, К.

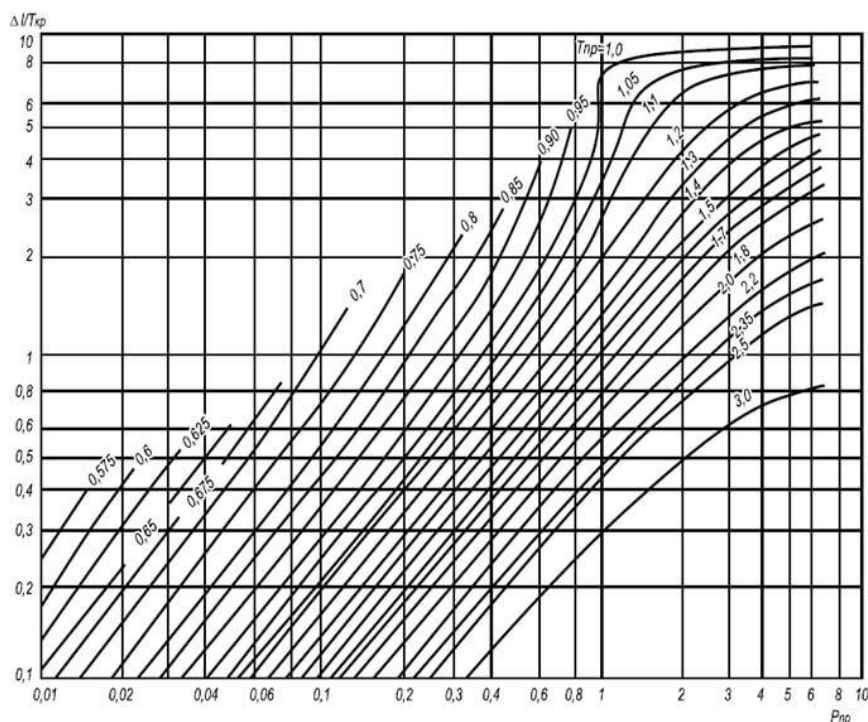


Рис. 3.1. Зависимость энтальпии газов от приведённых температуры и давления

В практике расчёт энтропии встречается редко, поэтому в данном случае имеет смысл обратиться к специализированной литературе.

7. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОНОМНОГО ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

В нашей стране газоснабжение жилых домов, общественных зданий и предприятий бытового обслуживания осуществляется на базе природных и сжиженных углеводородных (СУГ) газов. Поскольку природные газы и СУГ взаимозаменяемы, приборы, аппараты, газогорелочные устройства, многие требования и решения пригодны для обоих видов топлива. Но есть и отличия, учитывающие особенности СУГ. Например, вопросы газоснабжения на базе СУГ решаются сложнее.

Системы газоснабжения в зависимости от вида потребителей, расхода газа, климатических условий подразделяются на:

- индивидуальные баллонные,
- групповые резервуарные (с естественным или искусственным испарением);
- групповые резервуарные установки по получению взрывобезопасных смесей газа с воздухом (со смесительными агрегатами).

В соответствии с требованиями СП 62.13330.2011 индивидуальной баллонной установкой следует считать установку, имеющую не более двух

баллонов со сжиженным газом; групповой баллонной — установку, в состав которой входит более двух баллонов. Резервуарные установки допускается проектировать с подземным и надземным размещением резервуаров, при этом число резервуаров, определенное расчётом, должно быть не менее двух.

Смешение паровой фазы сжиженных газов с воздухом следует предусматривать в соотношениях, обеспечивающих превышение верхнего предела воспламеняемости смеси не менее чем в 2 раза, при этом должны предусматриваться автоматические устройства для отключения смеси-тельной установки в случае приближения состава смеси к пределам опасной концентрации или в случае внезапного прекращения поступления одного из компонентов смеси.

По месту испарения жидкости установки подразделяются на:

- проточные, обеспечивающие получение паровой фазы постоянного химического состава в специальных теплообменных аппаратах-испарителях;
- ёмкостные, с испарением сжиженных газов непосредственно в расходных резервуарах при помощи специальных нагревателей-регазификаторов (испарителей).

В качестве теплоносителя испарительных установок могут быть использованы горячая вода, пар, электрическая энергия, горячие инертные газы и др. Возможность применения огневых испарителей должны регламентироваться специальными техническими условиями, утвержденными в установленном порядке. В групповых установках по получению смесей газа с воздухом испарение жидкости происходит вне резервуара за счет теплоты искусственного теплоносителя.

7.1. БАЛЛОННЫЕ УСТАНОВКИ

Самой простой баллонной установкой является индивидуальная с одним баллоном вместимостью 50 л или с двумя баллонами вместимостью по 27 л, устанавливаемыми непосредственно на кухне. Второй тип - индивидуальные установки с двумя баллонами, размещаемыми вне здания в металлическом шкафу. Третий тип - групповые (многобаллонные) установки с баллонами вместимостью 50 л, устанавливаемыми как вне здания в металлическом шкафу, так и в отапливаемом помещении.

Индивидуальные баллонные установки. Индивидуальные баллонные установки предназначены в основном для газоснабжения потребителей с небольшим расходом газа, например, отдельных квартир. Для жилого фонда могут применяться индивидуальные установки двух типов: шкафовая наружная с двумя баллонами вместимостью 50 л и подачей паровой фазы газа к плите, размещенной на кухне, по газопроводу от наружного шкафа до плиты; внутриквартирная с установкой на кухне 2-горелочной газовой

плиты с баллоном вместимостью 5 л, 3-горелочной плиты со встроенным баллоном 27 л и 2-х и 4-горелочных плит с баллоном 50 л.

В соответствии с действующими правилами взамен одного баллона вместимостью 50 л допускается в одном помещении устанавливать два баллона вместимостью не более 27 л каждый, один из которых — резервный.

Во втором случае положительные температуры воздуха обеспечивают бесперебойное газоснабжение потребителей при использовании СУГ любой марки. Однако такие установки обладают повышенной опасностью вследствие возможных утечек газа или разрыва переполненного баллона, находящегося внутри помещения, что может привести к образованию взрывоопасных концентраций.

Эксплуатация баллонов, размещенных вне помещения, безопасней, однако при низких температурах испарительная способность газа резко снижается. При этом количество неиспарившихся остатков газа в баллоне может быть весьма значительным. При установке баллонов в шкафах вне помещения это обстоятельство усложняет работу газонаполнительных станций (ГНС), так как требуется организовать слив неиспарившихся остатков из баллонов. Следовательно, при использовании баллона для индивидуально-бытовых, а также ограниченных производственных нужд, важен не только состав газа, но и способ установки баллона, т.е. находится ли он вне (в шкафу) или внутри помещения (рядом с плитой).

При газоснабжении от одnobаллонных установок необходимо выполнять следующие требования:

- не разрешается устанавливать баллоны с газом в помещениях, имеющих подвалы и погреба, вход в которые осуществляется из этих помещений (однако при газификации существующего жилого фонда допускается устанавливать баллоны с газом в таких помещениях при условии уплотнения входов и полов, перекрытий между ними, заделки щелей и выполнения других мероприятий, исключающих возможность проникновения газа в эти подземные сооружения); в цокольных и подвальных помещениях; в жилых комнатах; в кухнях, расположенных непосредственно под больничными палатами, аудиториями и классами учебных заведений, а также под фойе зрительными, обеденными, торговыми залами и т.п.;
- баллон должен быть установлен в легкодоступном для осмотра месте и прочно прикреплен к стене специальными хомутами;
- запрещается устанавливать баллон против топки отопительной печи;
- объем баллона при установке внутри жилых и общественных зданий не должен превышать 50 л;

- баллон следует устанавливать не ближе 1 м от газовой плиты или другого газового прибора, радиатора отопления, печи, электрических выключателей и счетчиков. Это расстояние может быть уменьшено до 0,5 м, если предусматривается экранирование баллона. Расстояние до топочных дверок печи должно быть не менее 2 м.

Двухбаллонные установки (в случае технической обоснованности) снабжают двумя баллонами, устанавливаемыми в металлических шкафах, которые крепятся снаружи у стен здания. Кроме общих требований при монтаже этих установок должны быть выполнены следующие дополнительные условия:

- шкаф для баллонов устанавливается на прочное несгораемое основание не ближе 0,5 м от дверей и окон первого этажа и 3 м от окон и дверей подвальных и цокольных помещений, выгребных ям, колодцев, погребов и других заглубленных в грунт сооружений. Он крепится к стене здания металлическими скобами или специальными костылями. Высота основания под шкаф должна быть не менее 0,1 м от уровня земли. Две дверцы шкафа облегчают установку и извлечение баллонов, а для его вентиляции в нижней и верхней частях стенок должны иметься прорези или жалюзийные решетки. В шкафах необходимо предусмотреть гнезда для установки в них баллонов, а на задней стенке — узел для крепления регулятора давления.

На промышленных предприятиях баллоны с газом должны быть предусмотрены в местах, защищенных от повреждения баллонов внутрицеховым транспортом, от брызг металла и воздействия корродирующих жидкостей и газов, а также от нагрева выше 45°C. Баллонные установки, применяемые для снабжения сжиженным газом животноводческих и птицеводческих ферм, следует размещать вне зданий; допускается устанавливать баллоны внутри оранжерей и теплиц, имеющих вентиляцию, которая обеспечивает удаление 2/3 воздуха из нижней зоны помещения.

Для обеспечения газом потребителей на сезонных сельскохозяйственных работах (сушка зерна и овощей, выжигание сорняков, борьба с вредителями и т.п.), при строительстве зданий и сооружений (например, сушка штукатурки, обогрев сооружений из бетона и т.п.) допускается предусматривать передвижные или переносные баллонные установки сжиженных газов.

Газоснабжение передвижных буфетов, столовых и т.п. допускается при наличии проекта, согласованного в установленном порядке с местной организацией по эксплуатации газового хозяйства.

Баллонные установки, устанавливаемые снаружи, могут применяться без подогрева только при положительной температуре наружного воздуха. В остальных случаях использовать баллонные установки можно только при условиях размещения их в отапливаемых помещениях, т.е. в кухнях, и

заправки техническим бутаном (БТ) или сжиженными пропан-бутанами летней марки (СПБТЛ).

Групповые баллонные установки. Для газоснабжения жилых мало-квартирных зданий, мелких коммунально-бытовых и промышленных предприятий, можно использовать групповые баллонные установки (в состав их входит более двух баллонов), размещаемые в металлических шкафах.

Внимание: такие установки следует применять для газоснабжения только в исключительных случаях, когда невозможно устройство групповых резервуарных установок.

Согласно действующим правилам суммарный объем баллонов в такой установке не должен превышать 600 л при расположении шкафа у глухой несгораемой стены жилых и общественных зданий и коммунально-бытовых предприятий и 1000 л при размещении шкафа в отрыве от здания. Для промышленных и коммунальных предприятий допускается устанавливать баллоны общим объемом 1000 и 1500 л у глухой несгораемой стены, с разрывом от зданий (табл. 8.1).

Таблица 4.1. Минимальные расстояния от групповой баллонной установки до зданий и сооружений

Таблица 8.1

Здания	Расстояние от групповой баллонной установки, м
Жилые дома, производственные здания промышленных предприятий, здания предприятий бытового обслуживания производственного характера и другие здания степени огнестойкости:	
I и II	8
III	10
IV, и V	12
Общественные здания независимо от степени огнестойкости	25
Временные отдельно стоящие хозяйственные строения (например, дровяные сараи, навесы и т. п.)	8
Канализация, теплотрасса	3,5
Водопровод и другие бесканальные коммуникации	2,0
Колодцы подземных коммуникаций, выгребные ямы	5,0

Электрокабели и воздушные линии электропередачи	В соответствии с ПУЭ
Телефонные кабели и воздушные линии телефонной и радиотрансляционной сети	В соответствии с ВСН 116-87 и ВСН 600-81 Минсвязи СССР

Возле одного общественного и коммунально-бытового здания разрешается ставить только одну групповую установку, возле жилого дома - не более трех групповых установок на расстоянии не менее 15 м одна от другой. Шкафы и баллоны следует устанавливать на фундаментах с отстойкой шириной не менее 0,5 м. Групповые баллонные установки должны размещаться в местах, имеющих удобный подъезд для автотранспорта.

Групповые баллонные установки снабжаются коллекторами высокого давления, регулятором давления газа или редуктором, общим отключающим устройством, показывающим манометром, сбросным предохранительным устройством (клапаном). Для бесперебойного снабжения потребителей газом обычно применяют одну установку с двумя параллельными рядами баллонов, подключаемых к одному регулятору давления.

Максимальная общая вместимость группы резервуаров

Таблица 8.2.

Назначение групповой резервуарной установки	Общая вместимость резервуаров, м ³ , при расположении	
	надземном	подземном
Газоснабжение общественных и жилых зданий и сооружений	5	300
Газоснабжение промышленных, сельскохозяйственных предприятий и предприятий бытового обслуживания производственного характера	20	300

Наружные газобаллонные установки могут быть допущены для круглогодичного газоснабжения только в случае принятия мер по обеспечению номинальной испарительной способности (установка баллонов в отапливаемых помещениях, утепленных обогреваемых шкафах и др.). Помещения, в которых размещают групповые газобаллонные установки, могут быть отдельно стоящими или пристроенными к глухой наружной стене здания. Они должны быть одноэтажными, выполненными из негорючих материалов, с легкобрасываемыми покрытиями, безыскровыми полами и без чердака, с открывающимися наружу окнами и дверьми, отапливаемыми, вентилируемыми, с электрическим освещением во взрывозащищенном исполнении. Отопление помещений следует проектировать водяным или паровым от системы отопления здания или водяным с естественной цир-

куляцией. Максимальная температура на поверхности нагревательных приборов не должна превышать 95 °С, температура в помещении — +30 °С. Вентиляция должна предусматриваться из нижней и верхней зон помещения. Газопроводы от групповой газобаллонной установки необходимо прокладывать в грунте ниже зоны промерзания. На газопроводах в наиболее низких точках, но не ближе 2-3 м от зданий, надо устанавливать конденсатосборники, соответствующие диаметру газопровода. При этом подземные газопроводы следует прокладывать с уклоном не менее 0,002 в сторону конденсатосборника. Прокладка газопроводов низкого давления в зоне на глубине 1,0–1,5 м возможна при условии установки обогрева конденсатосборников и теплоизоляции газопроводов материалом толщиной 30–40 мм с коэффициентом теплопроводности 0,7–0,9 Вт/(м·°С). Вводы газопровода в лестничные клетки должны быть утепленные, цокольные, с отключающим устройством, устанавливаемым снаружи здания.

При использовании для газоснабжения групповой газобаллонной установки, расположенной в шкафу у стены здания, для получения температуры, обеспечивающей постоянную номинальную испарительную способность, металлический шкаф рекомендуется обогревать горячей водой от системы отопления здания.

Шкаф должен иметь теплоизоляцию минеральной ватой толщиной 50–60 мм. Пуск системы обогрева шкафной установки в эксплуатацию рекомендуется осуществлять одновременно с пуском системы отопления жилых зданий. Прокладку газопроводов паровой фазы сжиженного газа следует предусматривать с уклоном в сторону баллонов. Газопровод паровой фазы от шкафа групповой баллонной установки до ввода в здание необходимо теплоизолировать минеральной ватой толщиной 30–40 мм.

Процесс испарения пропан-бутановой смеси при отборе паровой фазы из баллона происходит фракционно - по мере испарения постоянно увеличивается доля бутановых фракций. Решающее влияние на испарительную способность оказывает соотношение пропана и бутанов в газе. Кроме того, по мере отбора паров из баллона его испарительная способность непрерывно снижается, во-первых, за счёт уменьшения смоченной поверхности через которую осуществляется подвод тепла для кипения сжиженных пропан-бутанов, и, во-вторых, за счёт падения температурного напора, обусловленного повышением температуры кипения вследствие роста содержания бутанов в жидкой смеси.

При оптимальном отборе паров приток теплоты из окружающей атмосферы компенсирует затраты ее на испарение жидкости и испарительная способность баллона уменьшается медленно, приближенно пропорционально уменьшению смоченной поверхности баллона. Число баллонов в групповых установках для газоснабжения жилых зданий можно определять по приведенной ниже формуле, составленной на основании эксплуатационных данных, учитывающих режим потребления газа квартирами:

$$N = 3,62ngK_o/(Q_nV) \quad (4.1)$$

где N - число рабочих баллонов в групповой установке; n - число газоснабжаемых квартир; g - номинальная тепловая мощность газовых приборов, установленных в одной квартире, кВт; K_o - коэффициент одновременности, принимаемый по табл. 8.33; Q_n - низшая теплота сгорания газа, кДж/м³; V - расчётная испарительная способность по газу одного баллона, м³/ч.

Для зимнего периода в средней полосе России расчётная испарительная способность одного баллона может быть принята на основании средних расчётных данных в пределах 0,220–0,436 м³/ч (для 50-литровых баллонов).

Коэффициент одновременности

Таблица 8.3

Число квартир	Коэффициент одновременности K_{sim} в зависимости от установки в жилых домах газового оборудования			
	Плита 4-конфорочная	Плита 2-конфорочная	Плита 4-конфорочная и газовый проточный водонагреватель	Плита 2-конфорочная и газовый проточный водонагреватель
1	1	1	0,700	0,750
2	0,650	0,840	0,560	0,640
3	0,450	0,730	0,480	0,520
4	0,350	0,590	0,430	0,390
5	0,290	0,480	0,400	0,375
6	0,280	0,410	0,392	0,360
7	0,280	0,360	0,370	0,345
8	0,265	0,320	0,360	0,335
9	0,258	0,289	0,345	0,320
10	0,254	0,263	0,340	0,315
15	0,240	0,242	0,300	0,275
20	0,235	0,230	0,280	0,260
30	0,231	0,218	0,250	0,235
40	0,227	0,213	0,230	0,205
50	0,223	0,210	0,215	0,193
60	0,220	0,207	0,203	0,186
70	0,217	0,205	0,195	0,180
80	0,214	0,204	0,192	0,175
90	0,212	0,203	0,187	0,171
100	0,210	0,202	0,185	0,163
400	0,180	0,170	0,150	0,135
Примечания:				
1. Для квартир, в которых устанавливается несколько однотипных газовых приборов, коэффициент одновременности следует принимать как для такого же числа квартир с этими газовыми приборами.				
2. Значение коэффициента одновременности для емкостных водонагревателей, отопительных котлов или отопительных печей рекомендуется принимать равным 0,85 независимо от количества квартир.				

Расчётную испаряемость газа из баллона вместимостью 50 л при использовании его для газоснабжения жилого дома принимают равной 0,25

м³/ч при нормальных физических условиях. Эти значения пригодны для установок, предназначенных для газоснабжения жилых квартир, так как они учитывают периодичность и неодновременность работы газовых приборов. Кроме того, для обеспечения бесперебойности газоснабжения в каждой групповой установке рекомендуется предусматривать число резервных баллонов, равное числу рабочих баллонов, и создавать возможность их отдельной и совместной работы.

Условия прокладки газопроводов паровой фазы низкого давления от резервуарных и групповых баллонных установок до зданий и сооружений

Таблица 8.4

Установки	При естественном испарении	При искусственном испарении	
		В проточных испарителях	В резервуарах
Резервуарные с подземными резервуарами	Подземная прокладка с глубиной заложения не выше осевой линии резервуаров с установкой конденсатосборников	Подземная прокладка с глубиной заложения не менее 1 м с установкой конденсатосборников	Подземная прокладка с глубиной заложения ниже глубины промерзания с установкой конденсатосборников
Резервуарные с надземными резервуарами	Надземная или подземная прокладка (исходя из местных условий)		
Групповые баллонные с разрывами от зданий согласно табл. 4.1		-	-
Групповые баллонные, размещенные в отапливаемых помещениях	Подземная прокладка с глубиной заложения ниже глубины промерзания с установкой конденсатосборников	-	-

Примечания:

1. При искусственном испарении в проточных испарителях и концентрации пропана в газе менее 40% прокладку наружных газопроводов следует предусматривать ниже глубины промерзания грунта, а при концентрации пропана в газе 40% и более - на глубине 1 м. Вводы газопроводов в лестничные клетки должны быть цокольными, утепленными;

2. В отдельных случаях при невозможности или нецелесообразности выполнения цокольных вводов газопроводов от подземных резервуаров в здания допускается надземная прокладка газопроводов по стенам жилых зданий, при этом газопровод должен прокладываться с тепловым спутником в общей изоляции.

В феврале 2012 года на IX Красноярском экономическом форуме был представлен проект «Безопасный газ», поддержанный Агентством Стратегических инициатив и инициировавший изменение стандартов в сфере производства и эксплуатации газовых баллонов. Он направлен на внедрение современных безопасных технологий хранения и транспортировки газа.

Одной из стратегических целей проекта стало ускоренное внедрение в газооборот взрывобезопасных газовых баллонов (рис. 8.1), призванных заменить традиционные стальные. К преимуществам полимерных баллонов низкого давления относятся: малый вес (на 70% легче металлических), отсутствие корродирующих элементов, прозрачность и видимость уровня

газа внутри баллона. Существенным недостатком композитных изделий остается высокая стоимость - €10 за литр объема, что в 4-5 раз дороже, чем стальные.



Рис. 8.1. Композитные газовые баллоны - новый стандарт безопасности

Традиционные стальные и композитные баллоны для сжиженного газа различаются по способности теплообмена, поэтому в холодную погоду или при экстремальном потреблении газа более 1 кг/час есть заметная разница в мощности испарения. Однако в нормальных условиях при потреблении около 0,3-0,5 кг/час производительность баллонов сравнима. Также следует иметь в виду, что количество газа, оставшегося в металлическом баллоне, по сравнению с композитным баллоном, как правило, меньше.

Композитные баллоны для сжиженного газа нуждаются в мерах по защите от УФ-излучения. Общеизвестно, что пластмасса изменяется под влиянием ультрафиолетового излучения, в результате чего качество материала и технические свойства ухудшаются. Наиболее распространенными материалами для изготовления современных баллонов являются винилэфирная синтетическая смола и армирующее стекловолокно без содержания бора, сравнительно устойчивые к воздействию УФ-излучения, но и у них при нарушении рекомендаций могут проявляться небольшие изменения цвета и прозрачности, не влияющие на эксплуатационные характеристики.

В качестве дополнительной функции безопасности клапаны композитных баллонов оснащены плавким предохранителем, срабатывающим

только при сильном нагреве. Это устройство позволяет избежать критического превышения давления.

Особое внимание при эксплуатации композитных баллонов следует уделить статическому электричеству и риску, который оно представляет для использования баллонов. Хотя исследования показали, что даже в экстремальных условиях баллон, заряженный статическим электричеством, не может создать потенциал, способный привести к образованию искры и воспламенению источника сжиженного газа, все же следует учесть отличия полимерных материалов, применяемых разными производителями. Таким образом, необходимо обеспечить эффективное заземление во всех пунктах обслуживания и транспортировки баллонов.

Условия хранения композитных баллонов допускают возможность штабелирования и рядной укладки. Температурный диапазон использования баллонов – $-40...+50^{\circ}\text{C}$, в соответствии с нормами EN, в отдельных случаях – до $+65^{\circ}\text{C}$ (на основании сертификатов и заверенных органами технического контроля результатов проверок).

Для хранения СУГ непосредственно используются стационарные и передвижные резервуарные установки различной вместимости. Для резервуарных установок следует применять стальные резервуары цилиндрической формы.

7.2 РЕЗЕРВУАРНЫЕ УСТАНОВКИ

Резервуарные установки СУГ бывают надземными и подземными. Надземные установки, как правило, применяют для газоснабжения предприятий промышленного и сельскохозяйственного производства, подземные – для газоснабжения промышленных и коммунальных предприятий, отдельных жилых и общественных зданий и их групп, а также объектов сельского хозяйства.

Для надземной установки разрешается предусматривать как стационарные, так и транспортабельные (съёмные) резервуары, наполняемые СУГ на газонаполнительных станциях (ГНС).

Для экономии площади земельных участков и обеспечения безопасности использования газа чаще применяют подземную установку резервуаров. Подземные резервуары устанавливаются на глубине не менее 0,6 м от поверхности до верхней образующей резервуаров в районах с сезонным промерзанием грунта и 0,2 м в районах без промерзания грунта.

Резервуарные установки размещаются на отведенных площадках с удобными подъездами для заправочных автоцистерн. Площадки ограждаются забором высотой не менее 1,6 м из негорючих материалов. Расстояние от резервуарной установки до ограждения должно быть не менее 1 м. На территории резервуарных установок обязательно размещается противопожарное оборудование.

Число резервуаров главным образом определяется характером и числом потребителей, планируемым расходом газа и объёмом используемых резервуаров, в меньшей степени - климатическими условиями.

При проектировании групповых резервуарных установок с естественным испарением в качестве расчётной принимается температура грунта в марте-апреле (для подземных резервуаров), когда фиксируется самая низкая температура грунта.

При подземном хранении резервуары должны быть защищены от коррозии в соответствии с требованиями ГОСТ 9.602-2016. Надземные резервуары должны быть окрашены (светлой краской).

Количество резервуаров определяется расчётом, но не должно быть менее двух. Резервуары могут размещаться в один или два ряда.

Резервуары могут работать как совместно, так и отдельно.

В состав установки должны входить: собственно резервуары, трубопроводы обвязки по жидкой и паровой фазам, запорная арматура, регуляторы давления газа, предохранительные, запорные и сбросные устройства, показывающие манометры, устанавливаемые для регулятора давления, штуцеры с кранами после регулятора давления для присоединения контрольного манометра, устройства для контроля уровня сжиженных газов в резервуарах и испарители (в установках с принудительным испарением). Арматура и приборы групповых резервуарных установок защищаются кожухами (редукционная или редукторная головка) от воздействия атмосферных осадков и для защиты от механических повреждений.

Резервуарные установки комплектуются в секции по две в каждой. На каждую секцию устанавливается одна редукционная головка, размещающаяся на фланце горловины резервуара в защитном кожухе.

В зависимости от состава СУГ или климатических условий в состав резервуарной установки могут входить также испарители или испарительные установки.

По правилам безопасности максимальное количество сжиженного газа в одной групповой резервуарной установке не должно превышать:

а) для газоснабжения общественных и жилых зданий и сооружений

-при подземном хранении – 300 м³;

-при надземном хранении – 5 м³;

б) для газоснабжения промышленных, сельскохозяйственных предприятий и предприятий бытового обслуживания производственного характера

-при подземном хранении – 300 м³;

-при надземном хранении – 20 м³;

В таблице 5.1 показана максимально допустимая вместимость одного резервуара.

Максимальная вместимость одного резервуара

Таблица 5.1

Общая вместимость резервуарных установок, м ³	Вместимость одного резервуара, м ³ , при расположении	
	надземном	подземном
Передвижные резервуары до 5	1,6	-
Непередвижные резервуары:		
до 20	5	5
>20 – 50	-	10
>50 – 100	-	25
>100 – 300	-	50

Расстояние в свету между подземными резервуарами должно быть не менее 1 м, а между надземными резервуарами равно диаметру большего смежного резервуара, но не менее 1 м. Расстояние от резервуаров до зданий зависит от способа их установки и геометрического объёма.

Минимальные расстояния от резервуаров групповых резервуарных установок до зданий и сооружений различного назначения приведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Здания и сооружения	Расстояние, м, от резервуаров								
	надземных			подземных					
	При общей вместимости резервуаров в резервуарной установке, м³								
	до 5	св. 5 до 10	св. 10 до 20	до 10	св. 10 до 20	св. 20 до 50	св. 50 до 100	св. 100 до 200	св. 200 до 300
Общественные здания и сооруже- ния	40	-	-	15	20	30	40	40	75
Жилые дома									
с проёмами в стенке, обращённых к установке	20	-	-	10	15	20	40	40	75
без проёмов в стенке, обращённых к установке	15	-	-	8	10	15	40	40	75
Здания и сооружения промышлен- ных, сельскохозяйственных пред- приятий и предприятий бытового обслуживания производственного характера	15	20	25	8	10	15	25	35	45

Примечания:

1. Если в жилом доме размещены учреждения (предприятия) общественного назначения, расстояния следует принимать как до жилого дома.

2. Расстояния между смежными резервуарными установками следует принимать по поз. 3.

На рис. представлена схема подземной резервуарной установки. Резервуары секции объединяются трубопроводом жидкой фазы 2, на котором устанавливается контрольная трубка высотой не менее 1 м от поверхности земли.

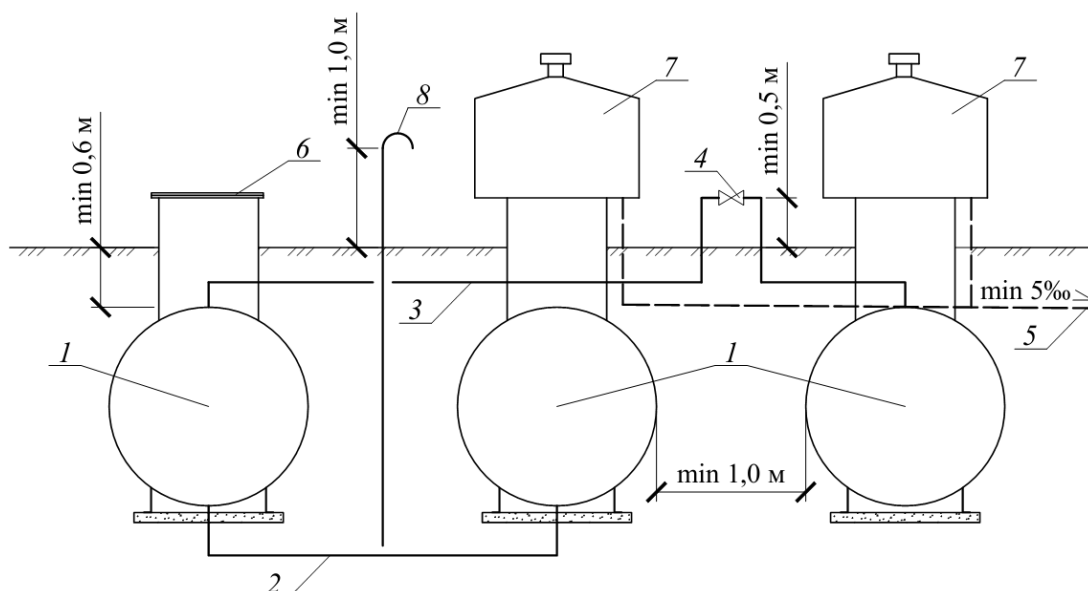


Рис. Схема групповой резервуарной установки: 1 – резервуары; 2 – трубопровод паровой фазы; 4 – запорное устройство; 5 – газопровод к потребителю; 6 – заглушка; 7 – защитный кожух редукционной головки; 8 – контрольная трубка.

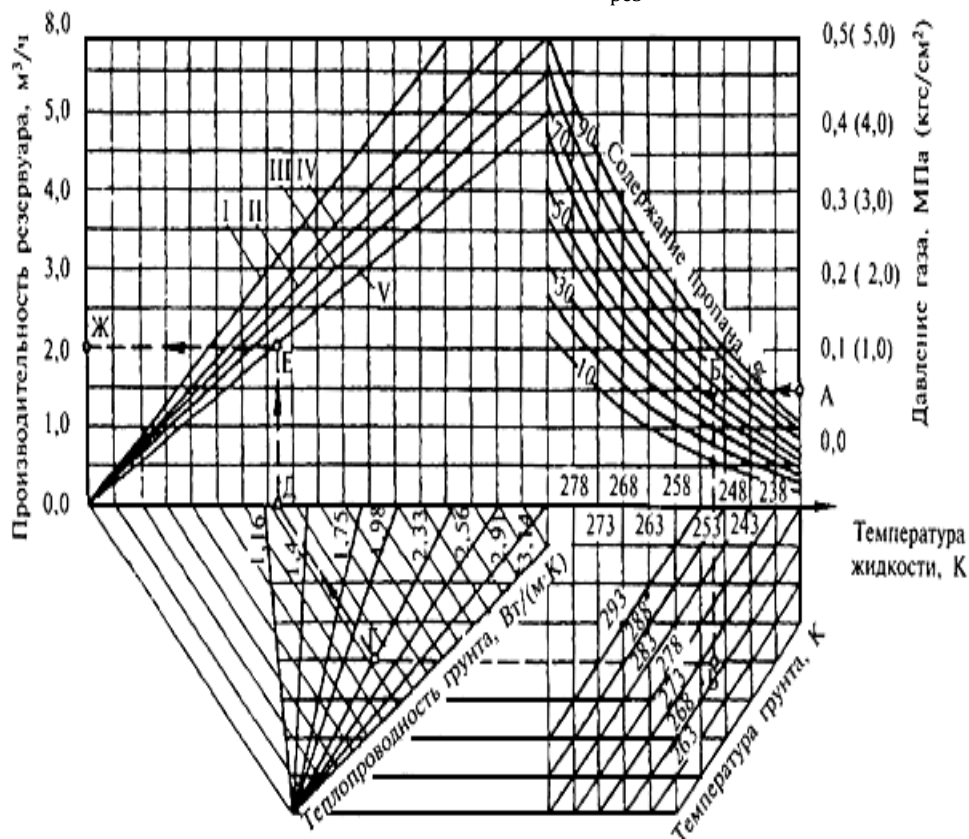
Конструкция трубки должна исключать возможность попадания в трубку атмосферных осадков. Паровое пространство всех резервуаров подключается к общему коллектору 3 с возможностью отключения каждой из секций посредством устройства 4, устанавливаемого на высоте не менее 0,5 м от поверхности земли. Уклон газопроводов должен быть не менее 5 промилле в сторону конденсатосборников (для подземных газопроводов) или в сторону газоснабжаемой установки (для надземных газопроводов). Вместимость конденсатосборников следует приниматься не менее 4 л на 1 м³ расчётного часового расхода газа.

Установки с естественным испарением используют теплоту окружающей среды (воздуха или грунта) и применяются для газоснабжения мелких потребителей, расход газа для которых невелик. Расход испаряющихся в резервуарах СУГ зависит от многих факторов: состава газа; степени заполнения резервуара (поверхности испарения); температуры и коэффициента теплопроводности грунта; вида и толщины изоляции и интенсивности отбора паровой фазы потребителями. Так как точный учёт данных факторов невозможен, то для практических расчётов используют номограммы.

Для газоснабжения коммунальных предприятий, отдельных жилых и общественных зданий и их групп, применяют, как правило, резервуары вместимостью 2,5 и 5 м³. Производительность резервуаров вместимостью 2,5 и 5 м³ при подземном расположении и естественном испарении следует определять по рисунку 6.

Количество резервуаров $N_{рез}$, в установке рассчитывается исходя из расчётного расхода газа V_p , м³/ч, и объёмной производительности одного резервуара $V_{рез}$, м³/ч, определённой по номограмме, по выражению

$$N_{рез} = \frac{V_p}{V_{рез}}.$$



I - резервуар 5 м³, заполнение 85%; II - резервуар 5 м³, заполнение 50%; III - резервуар 5 м³, заполнение 35% и резервуар 2,5 м³, заполнение 50%; IV - резервуар 2,5 м³, заполнение 85%; V - резервуар 2,5 м³, заполнение 35%

Рисунок 6 - Номограмма для определения производительности резервуара сжиженного газа вместимостью 2,5 и 5 м³ (подземного).

Пример 1. Дано давление газа – 0,04 МПа; содержание пропана – 60%; температура грунта – 270 К; теплопроводность грунта – 2,33 Вт/(м·К); заполнение – 35%.

Решение. Находим производительность резервуаров – 2 м³/ч по линии А-Б-В-Г-Д-Е-Ж (рисунок 5).

Для резервуаров большей вместимости их производительность следует определять опытным путём. Производительность резервуаров вместимостью 600, 1000, 1600 л при надземном расположении определяется теплотехническим расчетом исходя из условий теплообмена с воздухом или по таблице 16 СП 42-101-2003.

Для учета теплового воздействия подземных резервуаров, расположенных на расстоянии не более 1 м один от другого, полученную по номо-

грамме производительность следует умножить на коэффициент теплового воздействия m в зависимости от числа резервуаров в установке:

При числе резервуаров больше восьми значение коэффициента m определяется экстраполяцией.

Число резервуаров в установке	Значение коэффициента теплового воздействия m
2	0,93
3	0,84
4	0,74
6	0,67
8	0,64

При числе резервуаров больше восьми значение коэффициента m определяется экстраполяцией.

Расчётный расход газа для жилых домов определяется по формуле

$$V_p = \frac{nq_{\text{год}}k_nK_q^H}{365Q_H}, \text{ м}^3/\text{ч} \quad (10.35)$$

где n – число жителей, пользующихся газом, чел.; при отсутствии данных n принимается по числу газифицируемых квартир и коэффициенту семейности для газифицируемого района;

$q_{\text{год}}$ – годовая норма расхода теплоты для жилых зданий (табл. 5.1), кДж/год;

$k_n = 0,12$ – коэффициент часового максимума;

K_q^H – коэффициент суточной неравномерности потребления газа в течение года; принимается $k_{\text{неравн}} = 1,4$ – при наличии в квартирах только газовых плит; $k_{\text{неравн}} = 2,0$ – при наличии плит и проточных водонагревателей;

Q_H – низшая объёмная теплота сгорания паровой фазы СУГ, кДж/м³.

Действительная производительность установки находится по выражению

$$V_{\text{рез}}^D = V_{\text{рез}}N_{\text{рез}}m, \quad (10.36)$$

где m – коэффициент теплового взаимодействия; для одного резервуара $m = 1$, для двух – $m = 0,93$; трёх – $m = 0,84$; четырёх – $m = 0,74$; шести – $m = 0,67$; восьми – $m = 0,64$; при большем – определяется экстраполяцией.

Установки с естественным испарением СУГ имеют ряд существенных недостатков:

- из-за малой интенсивности подвода теплоты производительность установок невелика;

- увеличение производительности установки возможно только увеличением числа резервуаров, что повышает металлоёмкость и затраты на возведение установки;

- возможность перебоев в газоснабжении при интенсивном отборе газа, так как при этом понижается температура в резервуаре и, соответственно, давление насыщения СУГ;

- фракционное испарение;

- невозможность использования неиспарившегося остатка (бутан, пентан).

Данные недостатки устраняются в установках с искусственным испарением СУГ, которые имеют специальный теплообменный аппарат - испаритель.

По принципу действия испарители бывают:

- жидкостные;

- электрические;

- огневые (прямого горения).

По способу размещения:

- внешние (отдельно стоящий блок, собираемый на раме или в шкафу);

- погружные (помещаются в резервуар для хранения СУГ).

По конструкции:

— змеевиковые;

— плёночные;

— трубчатые.

На рис. 10.30 приведена принципиальная схема установки с искусственной регазификацией СУГ со змеевиковым испарителем.

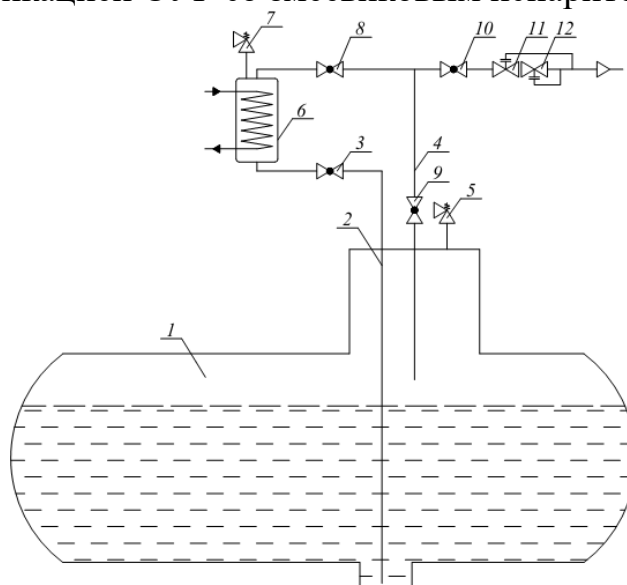


Рис. 10.30. Принципиальная схема установки с искусственной регазификацией:

1 – резервуар; 2 – трубопровод жидкой фазы; 3, 8–10 – запорные устройства; 4 – трубопровод паровой фазы из резервуара; 5 и 7 – предохранительные сбросные клапаны; 6 – испаритель; 11 – предохранительный запорный клапан; 12 – регулятор давления.

Установка работает следующим образом. Когда отключающие устройства 3 и 8 закрыты, потребителям поступает паровая фаза, полученная при естественной регазификации. В случае необходимости повышения расхода или испарения остатков кран 9 закрыт, а жидкая фаза под давлением собственных паров поступает из резервуара 1 в испаритель 6, где происходят передача теплоты от горячей воды и испарение СУГ.

На рис. 10.31 представлена схема испарителя Algas-SDI Azeovaire W с теплоносителем горячей водой. В случае использования водяного пара вместо буквы W (water) в названии будет буква S (steam).

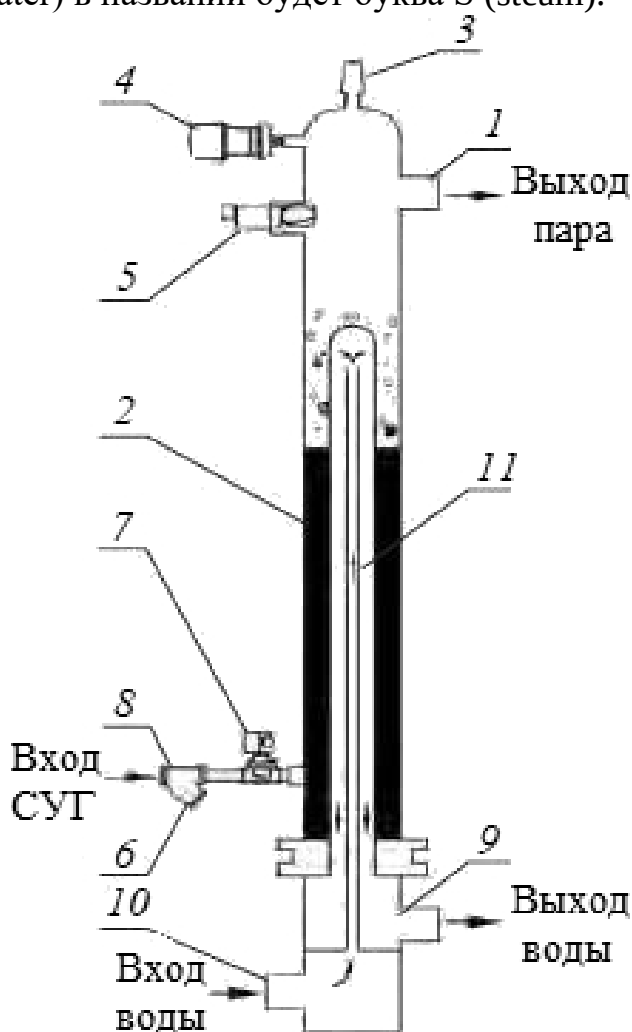


Рис. 10.31. Схема испарителя Algas-SDI Azeovaire W (производитель – Algas-SDI International, LLC, США):

1 – патрубок для отвода газа к потребителю; 2 – корпус; 3 – предохранительный сбросной клапан; 4 – индикатор температуры; 5 – датчик уровня;

6 – фильтр; 7 – электромагнитный клапан; 8 – вход жидкой фазы СУГ; 9 – патрубок выхода воды; 10 – патрубок входа воды; 11 – теплообменник.

Жидкая фаза СУГ поступает на вход в испаритель 8 через сетчатый фильтр 6 и электромагнитный клапан 7. Предельно допустимый уровень жидкой фазы контролируется уровнемером 5, сигнал с которого управляет электромагнитным клапаном 7, ограничивая поступление СУГ в испаритель. Поступающая на вход горячая вода (пар) в нижнюю часть испарителя через теплообменник 11 нагревает СУГ до температуры активного парообразования. Выход паровой фракции СУГ происходит через патрубок 1 к потребителю. Отдавшая теплоту горячая вода или образующийся при работе испарителя конденсат удаляется через патрубок 9. В случае превышения давления паровой фазы СУГ срабатывает расположенный в верхней части испарителя предохранительный сбросной клапан 3. Контроль за температурой паровой фазы СУГ осуществляет датчик температуры, который также вырабатывает сигнал для управления электромагнитным клапаном, отвечающим за поступление жидкой фазы СУГ в испаритель. Электрический испаритель Algas-SDI Torrex TX (рис. 10.32) относится к электрическим испарителям, в которых для испарения жидкой фазы СУГ применяются залитые алюминием электрические ТЭН. Конструкция Torrex является взрывобезопасной и исключает возможность переполнения испарителя.

8 ПОДБОР ГАЗОИСПОЛЬЗУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

В курсовой работе в кухне каждой квартиры запроектирована установка четырехконфорочной газовой плиты и газового водонагревателя. Газоиспользующее оборудование подбирается студентом по существующим каталогам производителей. В работе учтены требования СП 60.13330.2011 [1].

Водонагреватель газовый проточный

Проточный газовый водонагреватель от компании «BAXI» модель SIG 13i предназначен для комфортного обеспечения горячей водой, используемой в бытовых целях, в объеме 13 литров в минуту при $\Delta T = 25$ °C. Он устанавливается на стене внутри помещения.

Газовая колонка имеет модуляцию мощности, а это значит, что при изменении количества воды, которая протекает через колонку, температура горячей воды на выходе остается постоянной. Также газовая колонка имеет электронное зажигание и ионизированный контроль пламени.

Колонки имеют несколько степеней безопасности – они автоматически отключают подачу газа при пропадании тяги в дымоходе, при перегреве воды в теплообменнике, при погасании пламени. Технические данные приведены в таблице 3.

Плита газовая

Плита газовая предназначена для приготовления пищи и нагрева воды.

В проекте предусматривается установка четырехконфорочной газовой плиты модели 3200 торговой марки GEFEST Брестского завода «Брестгазоаппарат». Она состоит из следующих основных частей: корпуса, рабочего стола с конфорочными вкладышами, духового шкафа, газовых горелок, газораспределительного устройства с кранами.

Таблица 3

Технические данные газовой плиты

Полезная тепловая мощность, кВт	22,7
Макс. производительность (КПД), %	85
Макс. давление воды в системе, Бар	10
Камера сгорания	откр
Расход горячей воды при $\Delta T=25$ °C, л/мин	13
Диаметр дымоотводящего патрубка, мм	130
Номинальное давление газа, Па	2000
Габаритные размеры, мм: Высота Ширина Глубина	660 360 248
Вес, кг	15

Технические характеристики газовой плиты приведены в таблице 4:

Таблица 4

Технические характеристики газовой плиты

Мощность конфорок стола, кВт передняя левая передняя правая задняя левая задняя правая	2,0 3,05 2,0 0,7
Мощность духовки, кВт основная горелка горелка гриля	3,55 2,0
Полезный объем духовки, дм ³	44
Габаритные размеры, мм: Высота Ширина Глубина	850 500 570
Вес, кг	37

К установке принимаем четырехконфорочную плиту ПГ-4 и проточный водонагреватель ВПГ-23, тепловая мощность приборов соответственно равна $N_{\text{п}}=6,64$ кВт, $N_{\text{в}}=23$ кВт.

Номинальный расход газа в газоиспользующем оборудовании составляет:

$$\text{для газовой плиты: } q_{\text{п}} = \frac{3600 \cdot Q_{\text{п}}}{Q_{\text{н}}^{\text{р}}} = \frac{3600 \cdot 13,3}{35899} = 1,33, \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$\text{для газового водонагревателя: } q_{\text{п}} = \frac{3600 \cdot Q_{\text{в}}}{Q_{\text{н}}^{\text{р}}} = \frac{3600 \cdot 22,7}{35899} = 2,28, \text{ м}^3/\text{ч};$$

где $Q_{\text{п}}$, $Q_{\text{в}}$ – номинальная мощность прибора (принимается по паспортным данным), кВт.

Бытовые газовые плиты оборудуют атмосферными инжекционными горелками с отводом продуктов сгорания непосредственно в кухню. При этом высота помещения кухни должна быть не менее 2,5 м и иметь окно с форточкой. Газовые плиты устанавливают таким образом, чтобы обеспечить удобное пользование ими и свободный подход не менее чем с двух сторон. Расстояние между краем плиты и стеной принимают не менее 5 см. Проход между плитой и противоположной стеной должен быть не менее 1 м.

9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБУЕМОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ГРУППОВОЙ РЕЗЕРВУАРНОЙ УСТАНОВКИ

Требуемую производительности групповой резервуарной установки необходимо определять исходя из расчётного расхода газа при максимальном суточном потреблении, определяемого по формуле 10.35.

По номограмме, рис. 6, определяется производительность подземного резервуара сжиженного газа объёмом 5 м³.

Требуемое количество рабочих резервуаров в установке, обеспечивающих часовой расход газа, определяется по формуле

$$N_{\text{рез}} = \frac{V_{\text{р}}}{V_{\text{рез}}}.$$

10. Расчёт резервуарных установок с искусственным испарителем

Количество и требуемую производительность испарителей G необходимо определять из расчётного расхода газа из расчётного расхода газа при максимальном суточном потреблении, определяемого по формуле

$$G = \frac{nq_{\text{год}}k_nK_{\text{ч}}^{\text{н}}}{365Q_{\text{н}}\gamma}, \quad \text{кг/ч},$$

где n – число жителей, пользующихся газом, чел.; при отсутствии данных n принимается по числу газифицируемых квартир и коэффициенту семейности для газифицируемого района;

$q_{\text{год}}$ - годовая норма расхода теплоты для жилых зданий (табл. 5.1), кДж/год;

$k_n = 0,12$ – коэффициент часового максимума;

$K_{\text{ч}}^{\text{н}}$ – коэффициент суточной неравномерности потребления газа в течение года; принимается $k_{\text{неравн}} = 1,4$ – при наличии в квартирах только газовых плит; $k_{\text{неравн}} = 2,0$ – при наличии плит и проточных водонагревателей;

$Q_{\text{н}}$ – низшая объёмная теплота сгорания паровой фазы СУГ, кДж/м³;

γ – удельный вес газообразного пропана в кг/м³.

Требуемое количество газа определяется из выражения

$$V_{\text{зап}} = G \cdot 6 \text{ часов} \cdot 14 \text{ суток}, \quad \text{кг.}$$

Количество газа в одном резервуаре

$$G_{\text{рез}} = V_{\text{геом}} \cdot h \cdot \rho_{\text{ж}}, \quad \text{кг,}$$

где $h=0,85$ – начальный уровень заполнения резервуара;

$\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкого пропан-бутана, кг/м³;

$V_{\text{геом}}$ – геометрическая ёмкость резервуара, м³.

Требуемое количество резервуаров определяем по формуле

$$N = \frac{V_{\text{зап}}}{G_{\text{рез}}}.$$

Выполняем тепловой расчёт испарителя, который сводится к определению поверхности теплообмена при заданном расходе газа. С достаточной точностью для практических расчётов теплообменную поверхность испарителя (поверхность змеевика, пучка труб и т. п.) можно определить по формуле:

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 60.13330.2016. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» [Текст] : введ. 2017-06-17. – Москва : ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2012. – 76 с.
2. СП 42-101-2003. Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://studfiles.net/preview/2995338> (дата обращения: 11.08.2016).
3. ГОСТ 21.610 – 85. Газоснабжение. Наружные газопроводы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://allgosts.ru/75/200/gost_r_58094-2018 (дата обращения: 17.89.2016).
4. Шибeko A.C. Газоснабжение : учебное пособие / A.C. Шибeko.- Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 520 с.

Учебное издание

РАСЧЁТ ГРУППОВЫХ РЕЗЕРВУАРНЫХ УСТАНОВОК

Методические указания по выполнению курсовой работы
по дисциплине «Использование сжиженных природных газов»

Составители

Куриленко Николай Ильич
Михайлова Лариса Юрьевна

В авторской редакции

Подписано в печать _____ 2020. Формат 60х90 1/16. Печ.л. 1,5
Тираж 5 экз. Заказ № _____

Библиотечно-издательский комплекс
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Тюменский индустриальный университет».
625000, Тюмень, ул. Володарского, 38.

Типография библиотечно-издательского комплекса.
625039, Тюмень, ул. Киевская, 52.