Всесоюзный научно-исследовательский институт
по строительству магистральных трубопроводов
ВНИИСТ

Институт "НИПИОРГнефтегазстрой"

УТВЕРЖДАЮ
Директор ВНИИСТа
А.М.ОНЛЕВИЧ
"1" 06 1983 г.

УТВЕРДЖАЮ
Директор НИПИОРГнефтегазстроя
Н.М.ПАВЛОВ
"23" мая 1983 г.

СОГЛАСОВАНО
Начальник Союзтрубопроводстроя
В.Н.Герасимов
"26" 06 1983 г.

РЕКОМЕНДАЦИИ
по гидравлическому испытанию плетей трубопроводов в условиях низких температур

Р 508-83

Зам.директора ВНИИСТ, к.т.н. И.Д.КРАСУЛИН

Зав. ОПН ВНИИСТа, к.т.н. В.В.РОЖДЕСТВЕНСКИЙ

Зав. лабораторией ВНИИСТа Е.М.КЛИМОВСКИЙ

Зав. лабораторией ВНИИСТа, к.т.н. С.И.ЛЕВИН

Мл.научный сотрудник ВНИИСТа Т.П.БОГАЧЕВА

Зав.лабораторией НИПИоргнефтегазстроя, д.т.н. Б.Л.КРИВОШЕИН

gost.e-ecolog.ru

Ст. научный сотрудник
НИПИоргнефтегазстроя, к.т.н. В.П.КОВАЛЬКОВ

Мл. научный сотрудник
НИПИоргнефтегазстроя Т.И.ПРОНЯЕВА

Соисполнители:
Гл.инженер Союзподводтрубопровод-
строя А.Я.ЕРМОЛИН

Зам. начальника технического
отдела Союзподводтрубопроводстроя В.Я.КАНАЕВ

Москва, 1983 г.

УДК

Одной из проблем круглогодичного строительства магистральных трубопроводов является проведение гидравлического испытания в условиях низких температур плетей переходов трубопроводов.

Известные способы предотвращения замерзания жидкости в плетях переходов при низких температурах (использование антифризов, растворов поваренной соли и др.) мало эффективны по техническим и экономическим соображениям. Вместе с тем такие испытания при температурах до – 40°С могут осуществляться путем реализации технологии, изложенной в настоящих Рекомендациях и предусматривающей подачу перегретого водяного пара в трубчатые греющие элементы, расположенные внутри плетей.

Рекомендации предназначены для инженерно-технических работников строительных и проектных организаций, занятых организацией и производством работ по испытанию трубопроводов.

Рекомендации разработали: инж.Климовский Е.М., к.т.н. Левин С.И., м.н.с. Богачева Т.П. (ВНИИСТ); д.т.н. Кривошеин Б.Л., к.т.н. Ковальков В.П., м.н.с. Пронявева Т.И. (НИПИоргнефтегазстрой) при участии инженеров Ермолина А.Я. и Канаева В.Я. (Союзподводтрубопроводстрой).

Министерство строительства предприятий нефтяной и газовой промышленности	Рекомендации по гидравлическому испытанию плетей трубопроводов в условиях низких температур	Р 508-83 Миннефтегазстр Впервые

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Рекомендации разработаны в развитие СНиП Ш-42-80 "Магистральные трубопроводы. Правила производства и приемки работ".

I.2. Рекомендации разработаны во исполнение решения секции организации и технологии строительства магистральных трубопроводов научно-технического совета Миннефтегазстроя от 3 ноября 1982 г.

I.3. При производстве испытаний трубопроводов следует учитывать требования действующих нормативных документов и в том числе требований по технике безопасности проведения указанных работ.

I.4. Рекомендации предназначены для использования при проведении I этапа испытаний, регламентированного таблицей I7 СНиП Ш-42-80 для участков:

категорий В и I - переходов нефте и нефтепродуктопроводов через водные преграды и прилегающие прибрежные участки;

категории I - переходов газопроводов через водные преграды и прилегающие участки;

категории I - переходы через железные и автомобильные дороги, пересечения с воздушными линиями электропередачи напряжением 500 кВ и более.

II. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ПЛЕТЕЙ ПЕРЕХОДОВ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

2.I. Технологическая схема гидравлического испытания плетей переходов в условиях низких температур приведена на рис. I.

Внесены ОПН и ОПТС ВНИИСТа	Утверждено ВНИИСТом "1" июня 1983 г. и НИПИОРГнефтегазстроем "16" июня 1983 г.	Срок введения в действие "1" января 1984

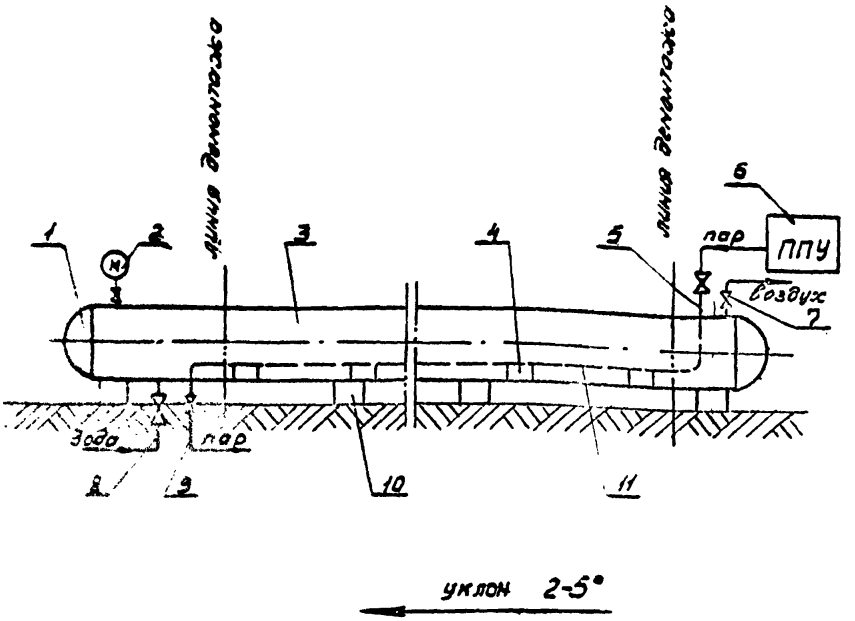

Рис. I. Технологическая схема гидравлического испытания пилотей переходов в условиях низких температур.
I – заглушка; 2 – манометр; 3 – испытываемая плеть; 4 – подкладка деревянная под трубчатый нагревательный элемент; 5 – входной патрубок с задвижкой для пара; 6 – паропреобразователь; 7 – выпускной патрубок с задвижкой для воздуха; 8 – входной патрубок с задвижкой для воды; 9 – выпускной патрубок с задвижкой для пара; IO – ложки деревянные; II – трубчатый нагревательный элемент.

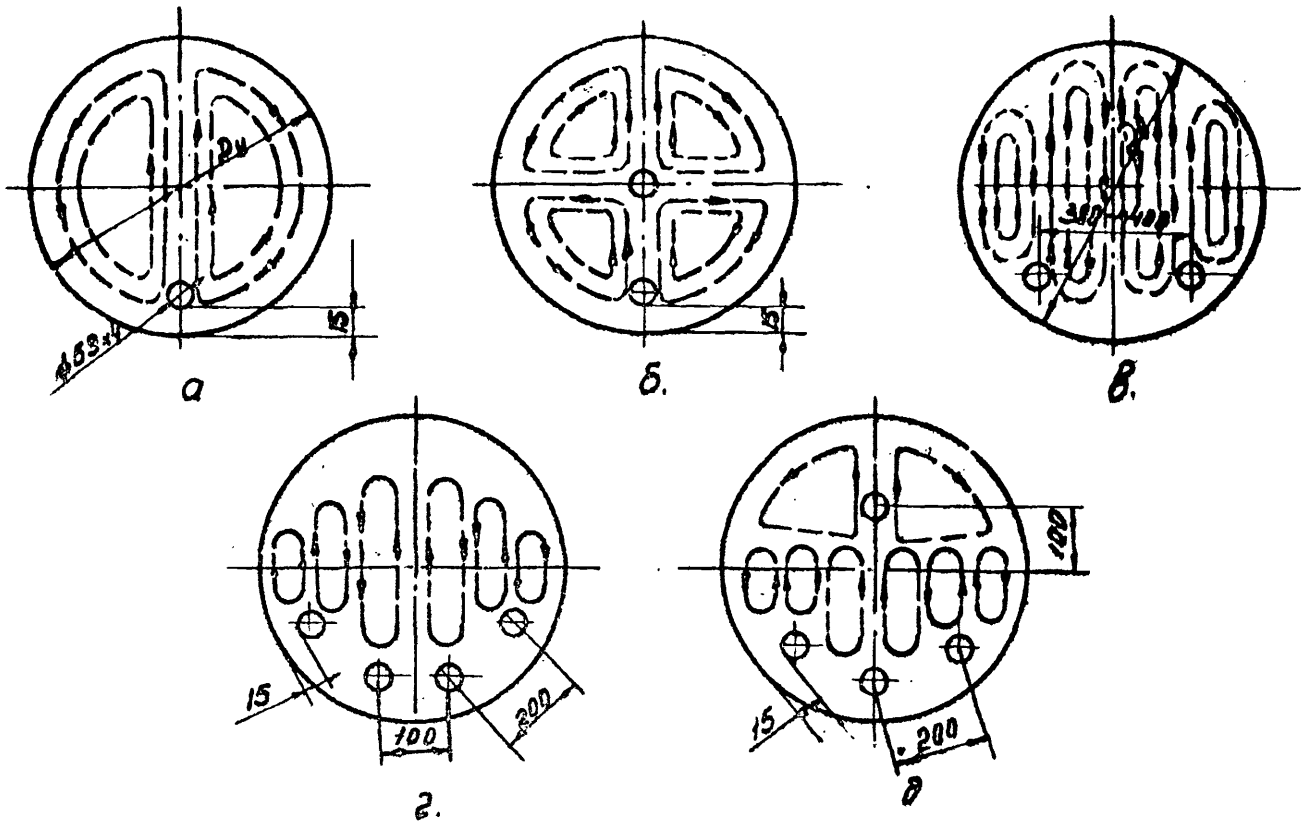

Рис. 2. Варианты расположения в испытываемой плети трубчатых нагревательных элементов. Стрелками с пунктиром показаны циркуляционные токи конвективного движения воз... а; б и в; г и д – соответственно варианты нагревательных элементов с одной, двумя и четырьмя трубками.

Схема разработана с учетом того, что для предотвращения замер зания воды в испытываемой плети при низких температурах наружного воздуха внутри плети прокладывается трубчатый нагревательный элем (элементы), по которому пропускается непроход перегретый пар от па ропреобразователей.

2.2. Работы по проведению гидравлического испытания плетей в соответствии с указанной выше схемой необходимо выполнять в следующей последовательности:

а) испытываемую плеть 3 монтируют и сваривают из отдельных труб открыто на лежках IO с уклоном 2 - 5 °.

После сварки плети проводят IOO%-контроль всех сварных соединений;

б) внутри плети монтируют трубчатый нагревательный элемент, состоящий из одной или нескольких стальных цельнотянутых труб 59 х 4 мм, расположенных в сечении плети в зависимости от числа труб в элементе, как показано на рис. 2. Число труб (n) в элементе в зависимости от длины плети (L) и температуры наружного воздуха (t) определяют по табл. I. Также по табл. I одновременно определяют количество (N) парообразователей типа Д-563, необходимых для проведения испытаний. Для обеспечения необходимых зазоров (размеры приведены на рис.2) между внутренней поверхностью плети и трубчатым нагревательным эмелентом необходимо использовать деревянные подкладки 4 или подставки. Концы нагревательного элемента присоединяют к входному 5 и выпускному 9 патрубкам и задвижкам. Затем на концах плети монтируют, как показано на рис. I, патрубок 8 с задвижкой для подачи в плеть воды, манометр 2 и воздухоспускной патрубок 7. После этого к концам подготовленной плети приваривают сферические заглушки и проводят контроль сварных соединений;

в) для проведения испытания к патрубку 8 подключают трубопровод от источника воды (наполнительно-опрессовочный агрегат АНО-20I или другого типа), а к патрубку 5 трубопровод от источника перегретого пара.

Затем при открытых задвижках на патрубках 5 и 9 пропускают по нагревательному элементу пар с выпуском пара на открытый конец в атмосферу.

Одновременно заполняют плеть водой при открытых задвижках на патрубках 8 и 7. В момент, когда из задвижки на патрубке 7 закончится выход воздуха и начнет поступать сплошная струя воды, задвижку на патрубке 7 закрывают и начинают подъем давления в плети для испытания;

г) испытания плети проводят в соответствии с требованиями табл. I7 СНиП Ш-42-80 и составляют соответствующий акт;

д) сразу после проведения испытаний из плети необходимо полностью слить воду. Для этого давление в плети снижают до атмосферного путем сброса воды через задвижку на патрубке 7. Затем через задвижку на патрубке 8 сливают из плети и после этого прекращают подачу пара; открытие задвижек производится дистанционно;

е) для проведения дальнейших операций по подготовке плети к монтажу ее конечные участки с заглушками и задвижками на переходе следует демонтировать. Демонтаж проводится по линиям, указанным на рис. I.

2.2. Рекомендуемое число труб нагревательного элемента и количества пароопреобразователей приведены в табл. I; теплотехнический расчет приведен в прил. I.

Таблица I

Допустимая $t_{возд}$, °С / L, м	Открытый ветру трубопровод								Прикрытый от ветра трубопровод			
	-7		- I4		- 20		- 40		- 20		- 40	
	n	N	n	N	n	N	n	N	n	N	n	N
50	I	I	2	I	4	I	4	2	I	I	2	I
I00	I	I	2	I	4	2	4	3	I	I	2	I
I50	I	I	2	I	4	3	4	5	I	I	2	I
200	I	I	2	2	4	4	4	6	I	I	2	2
250	I	I	2	2	4	5	4	7	I	I	2	2
300	I	I	2	2	4	6	4	9	I	I	2	2

n – количество труб нагревательного элемента ∅ 59 х 4 мм;

N – количество пароопреобразователей Д-563;

L – расчетная длина испытываемой плети.

В таблице приведены данные, рассчитанные для трубопровода диаметром I220 – I420 мм.

Ш. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

3.I. Работы по гидравлическому испытанию плетей должны проводиться в соответствии с требованиями СНиП Ш-4-80 "Техника безопасности в строительстве", Правилами устройства и безопасности паровых и водогрейных котлов", "Правилами устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов", "Правилами техники безопасности при строительстве магистральных стальных трубопроводов".

3.2. Проведение гидравлического испытания плетей переходов в условиях низких температур по технологии, разработанной в данных "Рекомендациях...", разрешается только на трубопроводах диаметром не менее I020 мм с соблюдением следующих требований безопасности:

передвигаться внутри плети можно только на специальной тележке на расстояние не более 36 м от торца;

у торца плети должны постоянно находиться двое страхующих рабочих; между страхующими и работающими внутри трубопровода следует установить сигнальную связь;

освещение внутри трубопровода должно осуществляться от источника питания напряжением не более I2 В.

3.3. Категорически запрещается проведение испытания плетей в непосредственной близости от железных дорог, действующих газопроводов, а также воздушных линий электропередач напряжением 500 кВ и более.

3.4. На период проведения работ непосредственно по испытанию плетей переходов устанавливается охранная зона, из пределов которой до начала работ выводятся все люди, техника.

3.5. Размеры охранной зоны назначаются в зависимости от величины давления испытания $P_{исп}$. При $P_{исп} \leq 82{,}5$ кгс/см^2 (8,25 МПа) охранная зона в обе стороны от оси трубы назначается I00 м, а в направлении отрыва заглушки от торца трубопровода - I000м. При $P_{исп}$ свыше 82,5 кгс/см^2 (8,25 МПа) границы охранной зоны назначаются соответственно I50 м и I500 м.

3.6. Люди, механизмы и оборудование во время испытания должны находиться за пределами охранной зоны.

3.7. Обнаруженные дефекты плетей подлежат устранению после снижения давления до уровня, обеспечивающего безопасность ведения ремонтных работ.

ЛИТЕРАТУРА

I. СНиП Ш-42-80 "Магистральные трубопроводы. Правила производства и приемки работ". М., Стройиздат, I98I г.
2. СНиП Ш-4-80 "Техника безопасности в строительстве". М., Стройиздат", I979 г.
3. Правила устройства и безопасности эксплуатации паровых и водогрейных котлов. М., Недра, I974 г.
4. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов. М., Металлургия, I976 г.
5. Правила техники безопасности при строительстве магистральных трубопроводов. М., Недра, I982 г.

П Р И Л О Ж Е Н И Я

Приложение I

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

При выборе схемы расположения трубчатого нагревательного элемента надо руководствоваться тем, чтобы нагрев воды в трубопроводе компенсировал его теплопотери, был равномерным по всему периметру трубопровода, не допуская локальных образований льда на внутренней его поверхности.

Учитывая, что конвективное движение жидкости развивается лишь в зоне выше нижних образующих поверхностей нагревательного элемента последний следует располагать на небольшом расстоянии ($\delta_н$) от дна горизонтально расположенного с малым наклоном трубопровода.

Внешние условия: температура воздуха $t_{возд}$ = - (30 - 40)^{0}С, скорость ветра $v_в$ = 20 - 25 м/с. Для этих параметров эффективный коэффициент теплоотдачи к воздуху $\alpha_в$ = 25 ккал/м^2·ч·град. В случае установки защитных щитов или тента от ветра над трубопроводом $\alpha_в$ снижается до значения 8 - I0 ккал/м^2·ч·град.

Примем в качестве расчетного сечения самое последнее (по ходу течения греющего пара) испытываемой плети трубопровода. Будем исходить из ограничения, чтобы температура воды в самой удаленной точке внутренней поверхности трубопровода данного расчетного сечения имела минимальную температуру0^{0}С (без образования льда), а температура греющего пара в трубках снизилась бы в этом сечении до I00^{0}С (конденсация пара). Таким образом, расчетная температура при выборе значений физических характеристик для вычисления критериев Грасгоффа Gr и Прандтля Pr будет равна 50^{0}С как средняя в полученном интервале температур.

Выбирая в качестве характеристического размера ℓ среднюю величину толщины зазора между греющей трубкой и наиболее удаленной образующей внутренней полости трубопровода, определяем значения критериев

$$Gr = Ar = \frac{g \cdot \ell^3}{\nu^2} \cdot \frac{\rho_0 - \rho}{\rho}; \quad Pr = \frac{\nu}{a},$$

где Ar - критерий Архимеда;

g - ускорение свободного падения; м/ч^2;

ν - коэффициент кинематической вязкости; м^2/ч;

$\rho_0, \rho, \bar{\rho}$ - соответственно плотность воды у стенки трубы, у нагревательного элемента и их среднее значение; г/см^3;

a - коэффициент температуропроводности, м^2/ч.

Находим $P_{r_{50}} = 3{,}54$, $A_{r_{50}} = 3{,}64 \cdot 10^{11}$ при $\ell = 0{,}65$ м.

По номограмме из работы* для произведения $P_{r_{50}} G_{r_{50}} = 1{,}2\ 10^{12}$ находим $\frac{\lambda_{эк}}{\lambda_в} = 80$, определяем эквивалентный коэффициент теплопроводности асимметричного кольцевого слоя воды $\lambda_{эк} = 40$ ккал/м·ч·гра принимая коэффициент теплопроводности воды равный $\lambda_в = 0{,}52$ ккал/м·ч град. Тогда термическое сопротивление верхнего слоя воды над нагревательным элементом диаметром 59 мм составит

$$r_в = \frac{2\ell}{\lambda_{эк}} = \frac{1{,}1}{40} = 0{,}0275 \text{ м}^2 \text{ ч град/ккал}$$

Считая, что термическое сопротивление нижнего слоя воды $r_н = \frac{\delta_н}{\lambda_в}$, находим из условия $r_в = r_н$ расстояние от нагревательного элемента до дна трубы $\delta_н = 0{,}0144$ м $\cong$ 15 мм.

Поскольку при течении греющего пара будет возможна конденсация его, следовательно, необходимо всю плеть испытываемого трубопровода располагать с некоторым уклоном в сторону движения греющего пара, с тем, чтобы способствовать сдуву конденсата, который является дополнительным термическим сопротивлением. В настоящей работе не учитывалось это дополнительное термическое сопротивление конденсата, а также и радиационная составляющая коэффициента теплоотдачи от греющего пара, считая, что эти два фактора примерно взаимно компенсируются.

В дальнейшем расчет построен таким образом, чтобы определять при данной скорости ветра минимальную температуру наружного воздуха, при которой исключается образование льда в испытываемом трубопроводе.

Расчетная схема термических сопротивлений и соответствующих им температурных перепадов показана на рис. 3. Из подобия треугольников этой схемы находим выражение для допустимой температуры наружного воздуха

$$t_{возд} = -t_к \frac{r_{нар}}{r_{вн}}, \qquad (1)$$

---

*) Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача, М.; Энергия, 1969.

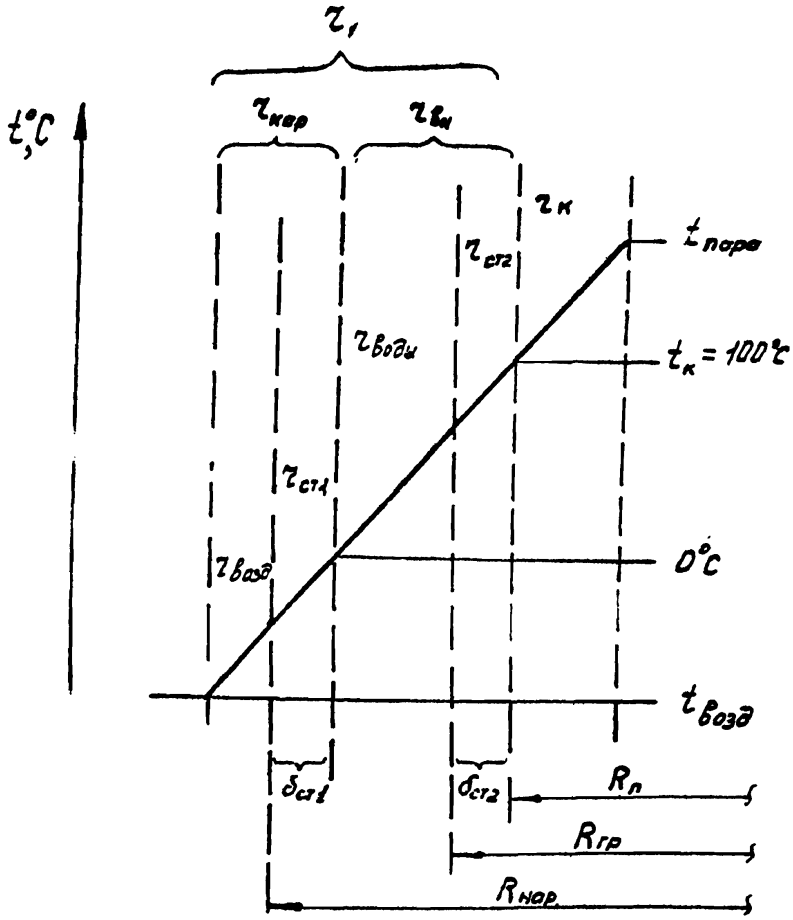

Рис. 3. Расчетная схема термических сопротивлений (r) и соответствующих им температурных перепадов; $R_п$, $R_{гр}$, $R_{нар}$ - радиусы соответственно внутренней и наружной поверхности нагревательного элемента и наружной поверхности трубопровода; $\delta_{ст1}$, $\delta_{ст2}$ - толщина стенки элемента и трубопровода.

где $r_{нар} = r_{возд} + r_{ст_1} = \frac{R_{гр}}{R_{нар}}\left(\frac{1}{\alpha_в} + \frac{\delta_{ст_1}}{\lambda_{ст}}\right)$ (2)

$$r_{вн} = r_в + r_{ст_2} = r_в + \frac{\delta_{ст_2}}{\lambda_{ст}} \quad (3)$$

$\lambda_{ст}$ – коэффициент теплопроводности стали, принят 40 ккал/м ч град
$\delta_{ст_1}$ и $\delta_{ст_2}$ – толщины стенок двух труб (см. рис. 3);
$R_{гр}$, $R_{нар}$ – условные радиусы наружной поверхности нагревательного элемента и трубопровода;
$t_к$ – температура внутренней поверхности нагревательного элемента
$r_{возд}$, $r_{ст_1}$, $r_{ст_2}$ – соответственно удельные термические сопротивления пограничного слоя воздуха, стенки трубы и стенки нагревательного элемента, $м^2 \cdot ч \cdot град/ккал$;
$r_{нар}$ – сумма термических сопротивлений воздуха и стенки трубы, $м^2 \cdot ч \cdot град/ккал$;
$r_{вн}$ – сумма термических сопротивлений воды и стенки нагревательного элемента, $м^2 \cdot ч \cdot град/ккал$.

Для трубопровода Ду 1220 мм, одного нагревательного трубчатого элемента ∅ 59 х 4 мм, $t_к = 100^0$С, $\alpha_в = 25$ ккал/$м^2 \cdot ч \cdot град$ и $r_в = 0{,}0275$ $м^2 \cdot ч \cdot град/ккал$ находим по формуле (1) – (3) $r_{нар} = 0{,}002$ $м^2 \cdot ч \cdot град/ккал$, $r_{вн} = 0{,}028$ $м^2$ ч град/ккал и $t_{возд} = -7{,}1^0$С.

При установке защитных щитов или тента от ветра над трубой допустимая температура воздуха, согласно (1) – (3) составит $t_{возд} = -(17{,}5 - 22{,}2)^0$С. Однако в реальных условиях температура воздуха бывает гораздо ниже, поэтому одного нагревательного элемента часто бывает недостаточным. При установке двух, трех или четырех элементов по дну горизонтально расположенного трубопровода характеристический размер ℓ определяем уменьшенным размером в то же число раз. Аналогичные вычисления по формулам (1) – (3) дают результаты для допустимой отрицательной температуры воздуха $t_{возд}$, приведенные в табл. 1.

Греющий пар предложено генерировать с помощью выпускаемого отечественной промышленностью паропреобразователя Д-563 производительностью 750 кг/ч пара при $t_п = 150^0$С и давлении 4,7 кгс/$см^2$, что соответствует общему теплопотоку $Q = 4{,}1 \cdot 10^5$ ккал/ч (наиболее распространенный режим работы паропреобразователя).

Без учета величины удельного термического сопротивления пограничного слоя конденсируемого пара $r_к$, удельный поток тепла на непрекрытый трубопровод составит:

при одном трубчатом нагревательном элементе

$$q = \frac{\bar{\Delta t} - t_{возд}}{r_{нар} + r_{бн}} = \frac{125 + 7}{0{,}002 + 0{,}028} = 4400 \text{ ккал/м}^2\cdot\text{ч}$$

где $\bar{\Delta t} = \frac{t_н + t_к}{2}$ – средняя температура пара, °С.

При двух нагревательных элементах

($t_{возд} = -14$ °С)

$$q = \frac{\bar{\Delta t} - t_{возд}}{r_{нар} + 0{,}5 r_{бн}} = \frac{125 + 14}{0{,}002 + 0{,}014} = 8700 \text{ ккал/м}^2\cdot\text{ч}$$

При четырех нагревательных элементах

($t_{возд} = -40$ °С)

$$q = \frac{\bar{\Delta t} - t_{возд}}{r_{нар} + 0{,}25 r_{бн}} = \frac{125 + 40}{0{,}002 + 0{,}007} = 18300 \text{ ккал/м}^2\cdot\text{ч}$$

Для прикрытого щитами или тентом трубопровода Ду 1220 мм возрастает значение термического сопротивления $r_{нар}$, появляется возможность испытания плетей трубопровода при более низких температурах воздуха.

Значение удельного теплового потока при одном нагревательном элементе ($t_{возд} = -20$°С)

$$q = \frac{\bar{\Delta t} - t_{возд}}{\frac{r_{нар}}{3} + r_{бн}} = \frac{125 + 20}{0{,}06 + 0{,}028} = 4300 \text{ ккал/м}^2\cdot\text{ч}$$

При двух нагревательных элементах ($t_{возд} = -40$°С)

$$q = \frac{\bar{\Delta t} - t_{возд}}{\frac{r_{нар}}{3} + \frac{r_{бн}}{2}} = \frac{125 + 40}{0{,}006 + 0{,}014} = 8300 \text{ ккал/м}^2\cdot\text{ч}$$

Максимально допустимая длина L плети испытываемого трубопровода в зависимости от числа n труб нагревательного элемента и количества N паропреобразователей определяется по формуле

$$L = \frac{QN}{nqF} = \frac{QN(r_{бн} + r_{нар})}{nF(\bar{\Delta t} - t_{возд})}, \qquad (4)$$

где F – внутренняя поверхность теплосъема одного метра длины нагревательного элемента; для ∅ 59 х 4, F = 0,16 м²/м.

gost.e-ecolog.ru