

УДК 628.144.2, 519.635

Тепловой расчет выпускного устройства воды для полипропиленовых труб холодного водоснабжения в зимних условиях Крайнего Севера

Канд. физ.-мат. наук А. С. КОНДАКОВ

kondak_aleksey@mail.ru

Институт проблем нефти и газа СО РАН

677007, г. Якутск, ул. Автодорожная, 20

Рассматривается конструкция выпускного устройства воды, представляющего собой полипропиленовый патрубок с запорным болтом, приваренный к нижней части водопровода из полипропиленовой трубы в распределительной сети холодного водоснабжения. Посредством численного решения тепловой задачи распределения температуры в выпускном устройстве выясняется замерзание воды в полости патрубка и переохлаждения запорного болта при экстремально низких температурах. Предлагается усовершенствование указанной конструкции выпускного устройства, добавлением к запорному болту теплопроводного стержня, омываемого текущей водой водопровода. Показывается, что предложенная конструкция выпускного устройства не подвергается переохлаждению в условиях экстремально низких температур, при правильных выборах длины патрубка, толщин теплопроводного стержня и слоя теплоизоляции для заданного типоразмера патрубка и выбранного металлического материала для запорного болта с теплопроводным стержнем. Разработана компьютерная программа на среде «Delphi 7» с вводной формой для ввода с клавиатуры всех необходимых данных, визуализацией динамики изменения температур в контрольных точках и выводом в файл стационарного распределения температуры в выпускном устройстве.

Ключевые слова: выпускное устройство, патрубок, запорный болт, теплопроводный стержень, теплоизоляция, температура.

Информация о статье

Поступила в редакцию 23.03.2016, принята к печати 08.07.2016

doi: 10.21047/1606-4313-2016-15-3-47-54

Ссылка для цитирования

Кондаков А. С. Тепловой расчет выпускного устройства воды для полипропиленовых труб холодного водоснабжения в зимних условиях Крайнего Севера // Вестник Международной академии холода. 2016. № 3. С. 47–54.

Thermal calculation of the water outlet device for the polypropylene pipes of cold water supply in winter conditions of the Far North

Ph. D. A. S. KONDAKOV

kondak_aleksey@mail.ru

Institute for Oil and Gas Problems SB RAS

677007, Russia, Yakutsk, Avtodorozhnaja st, 20

The paper deals with the design of water outlet device in the form of polypropylene branch pipe with a locking bolt welded to the bottom of a water supply system made of polypropylene pipe in a distributive network of cold water supply. Water freezing in the branch pipe and overcooling of a locking bolt at extremely low temperatures is determined by means of the numerical solution for the thermal problem of temperature distribution in the outlet device. Improvement of the outlet device design can be done by adding the heat-conducting rod, flown over by the water from water supply system, to the lock bolt. It is shown that the proposed design of the outlet device is not exposed to overcooling under extremely low temperatures, provided that the branch pipe length, thickness of the heat-conducting rod, and the thermal insulation layer for a given standard size of the branch pipe and the chosen metal for the lock bolt with the heat-conducting rod has been chosen properly. The Delphi-7 based software with a data input form was developed for keyboard of all necessary data, visualization of temperature change dynamics in reference points, and an output of stationary temperature distribution in the outlet device.

Keywords: outlet device, branch pipe, lock bolt, heat-conducting rod, thermal insulation, temperature.

Введение

Для районов распространения вечномёрзлых грунтов, согласно СН 510–78 [1] предусматриваются установ-

ки незамерзающих водопроводных оборудований (арматур), повышающие надежность работы трубопроводных систем водоснабжения. Конструкции этих оборудований должны обеспечивать множеству требований, в числе



Рис. 1. Выпускные устройства, установленные в полипропиленовых трубах водоснабжения

которых в частности фигурируют: отказ от внешнего обогрева; использование тепла воды, протекающей в трубопроводе. Одним из видов таких оборудований являются выпускные устройства (выпуски), через которые производится сброс воды с целью обеспечения притока к данному участку трубопровода более теплой воды, для предупреждения процесса замерзания; снижения давления в замкнутой полости трубопровода, чтобы не допустить его разрушения; проведения ремонтных работ при аварийных ситуациях. В соответствии с основными этапами замерзания трубопровода и принципами действия выпуски подразделяются на: ручные выпуски; автоматические выпуски. Автоматические выпуски реагируют на:

- изменение режима водоподачи;
- на изменение температуры воды окружающей среды;
- на образование льда в герметичной камере;
- на образование льда в камере, сообщаемой с трубопроводом;
- на образование льда непосредственно в трубопроводе [2–5].

Как отмечает автор работы [4], выполненный им обзор по отечественным и зарубежным патентным материалам показал, что существует множество решений по устройствам и способам, предназначенным для повышения надежности работы трубопроводных систем. Тем не менее, проведенные обследования десятков действующих водопроводов железнодорожных станций и поселков Дальневосточного региона показали почти полное отсутствие арматур и устройств на системах водоснабжения, изготовленных по изобретениям и патентам, предназначенных для северных условий. Одной из причин этого является отсутствие заводов-изготовителей, централизованно выпускающих арматуру и устройства северного исполнения, а своими силами изготовление предложенных видов устройств трудно осуществимо. Обычные ручные выпуски, представляющие собой присоединенные к трубопроводу патрубки с запорной арматурой малоприспособлены для суровых климатических условий, так как в слабопроточной полости патрубков лед образуется раньше, чем в самом трубопроводе, клапан

запорного устройства обмерзает и его открытие становится невозможным. Такие выпуски могут устанавливаться на участках водопроводных сетей, не подверженных воздействию отрицательных температур (в отапливаемых зданиях, тепляках). Не трудно согласиться с автором работ [4], что стоячая вода в полости патрубка практически всегда замерзнет при сильных морозах из-за нарушения теплоизоляции или из-за ее недостаточной толщины, необходимой для поддержания положительной температуры в полости патрубки.

В последнее время, вместе развитием производства пластиковых труб различного ассортимента и назначения, их широко стали применять в водоснабжении жилых и производственных помещений. В качестве примера на рис. 1. показана фотография действующего участка трубопроводной магистрали водоснабжения г. Якутска с использованием пропиленовых труб, к которым приварены выпускные патрубки из того же материала с железными запорными болтами. Как видно на рис. 1., эти выпуски даже не теплоизолированы и вода в их полостях замерзнет однозначно в зимнее время года. Чтоб сбросить воду из трубопровода в таких случаях сначала оттаивают замерзшую воду в патрубке различными безопасными способами (тепловентиляторами, горячим паром или водой). Вся эта процедура отнимает драгоценное время в аварийных ситуациях.

Цель работы

Целью работы является выявление возможных способов предотвращения замерзания выпускных устройств, выполненных из полипропиленовых трубных материалов и установленных на полипропиленовых трубопроводах, при низких температурах окружающего воздуха.

Для достижения этой цели исследуется изменение во времени температурного поля и его стационарного распределения в выпускном устройстве, установленной на полипропиленовом трубопроводе холодного водоснабжения (ХВС) на основе численного решения тепловой задачи.

Постановка тепловой задачи

Примем, что выпускное устройство выполнено следующим образом. На отрезке полипропиленовой трубы (патрубок) приварена муфта из того же материала с металлическим винтовым нарезом, на котором привинчен запорный металлический болт. В виду малости диаметра патрубка, по сравнению с диаметром магистрального трубопровода, к которому она приварена, его будем рассматривать как прямоугольный цилиндрический стакан переменной толщины с открытой полостью сверху и с металлическим запорным болтом снизу. Будем считать, что часть патрубка, выступающая из слоя теплоизоляции магистрального трубопровода покрыт теплоизоляционным слоем идеально цилиндрической формы. Точными геометрическими формами муфты с резьбовым соединением и запорного болта не будем придерживаться, приводя их приближенно к идеальной цилиндрической форме, т. к. малые искажения геометрии не будут оказывать существенно значимых искажений на результаты расче-

та. При таких допущениях, упрощающих геометрию расчетной области, распределение температуры в теплоизолированном патрубке будет описываться двумерным уравнением теплопроводности в цилиндрических координатах с осевой симметрией. На рис. 2 представлена расчетная схема патрубка с запорным болтом и со слоем теплоизоляции. Поскольку в трубопроводе ХВС в рабочем состоянии вода движется непрерывно, можно допустить, что температуры на верхней границе полости патрубка и внутренней стенке магистрального трубопровода постоянны по времени и равны установившейся температуре воды в трубопроводе. На наружной границе теплоизоляции выпуска задается температура окружающей среды. Внутри теплоизоляционного слоя магистрального трубопровода и в самом трубопроводе на расстоянии равном внешнему радиусу слоя теплоизоляции выступающей части выпуска зададим условие отсутствия теплового потока, считая, что температура по длине магистрального трубопровода установилась и не меняется.

В расчетной схеме приняты следующие обозначения: r, z — цилиндрические координаты; R_1, R_2 — внутренний и внешний радиусы патрубка; R_{23} — внешний радиус муфты; R_3 — внешний радиус слоя теплоизоляции, H_0 — толщина стенки магистрального трубопровода; (H_{iz} — H_0) — толщина теплоизоляционного слоя на магистральном трубопроводе; (H_{12} — H_{01}) — длина муфты; H_1 — длина полости патрубка с водой; (H_2 — H_1) — общая длина запорного болта; (H_2 — H_{12}) — толщина гаечной головки болта; (H_3 — H_2) — толщина слоя теплоизоляции; C_i, γ_i, λ_i — удельная теплоемкость, плотность, коэффициент теплопроводности соответствующих областей в расчетной области ($i = 1, 2, 3, 4$); T_{wr}, T_{rd} — температуры воды в магистральном трубопроводе и окружающей среды.

Наибольший интерес представляет распределение температуры в теплоизолированном выпускном патрубке во время сильных холодов зимней времени. При численном решении многомерных квазилинейных стационарных задач теплопроводности методом конечных разностей проще решать нестационарную задачу доведя ее до стационарного распределения. Поэтому рассматривается нестационарная задача теплопроводности, в которой для определенности в качестве начального условия берется однородное распределение температуры во всей расчетной области, равное температуре воды T_{wr} , протекающей по трубопроводу. Стационарное распределение температуры не зависит от начального распределения температуры. От начального условия зависит лишь время выхода решения на стационарный режим. Фазовый переход замерзания воды в полости патрубка берется в расчет путем введения сглаживания теплофизических свойств (C_i, γ_i, λ_i) воды и льда с учетом скрытой теплоты фазового перехода L , разработанной в работе [6].

При принятых допущениях нестационарное температурное поле в теплоизолированном выпуске описывается двумерным квазилинейным уравнением теплопроводности в цилиндрических координатах разрывными коэффициентами

$$C\gamma \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right), \quad (1)$$

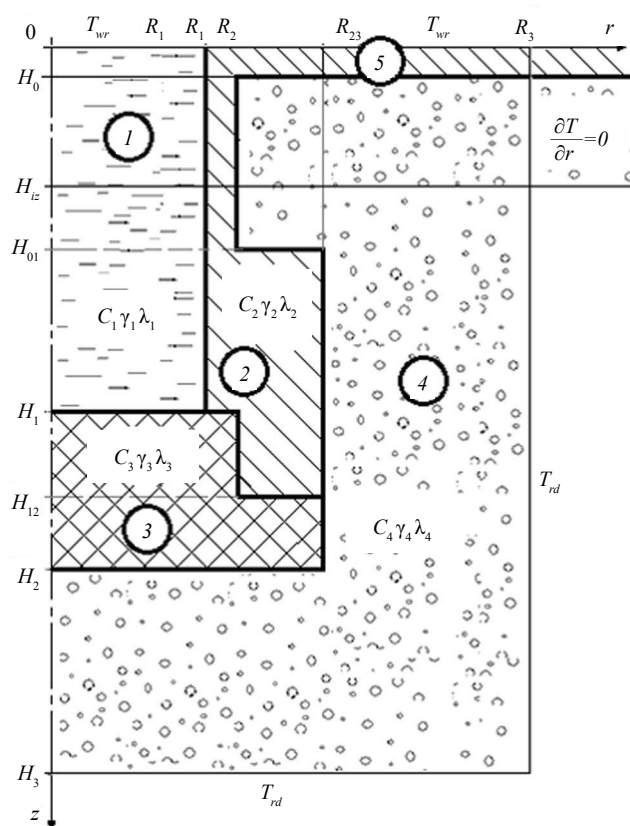


Рис. 2. Расчетная схема тепловой задачи:
1 — полость патрубка с водой, 2 — патрубок с муфтой,
3 — запорный болт, 4 — теплоизоляция,
5 — стенка трубопровода

где, согласно принятым обозначениям в расчетной области, положены:

$$(C, \gamma, \lambda) = \begin{cases} (C_1, \gamma_1, \lambda_1), & \text{if } 0 \leq r \leq R_1, 0 \leq z \leq H_1; \\ (C_2, \gamma_2, \lambda_2), & \text{if } (R_1 < r \leq R_2, 0 \leq z \leq H_1) \cup (R_2 \leq r \leq R_{23}, H_{01} < z \leq H_{12}); \\ (C_3, \gamma_3, \lambda_3), & \text{if } (0 < r \leq R_2, H_1 \leq z \leq H_2) \cup (R_2 \leq r \leq R_{23}, H_{12} < z \leq H_2); \\ (C_4, \gamma_4, \lambda_4), & \text{else.} \end{cases}$$

Сглаживание коэффициентов (C_i, γ_i, λ_i) по температуре при фазовом переходе воды в лед проведем с помощью линейной интерполяции, предложенной в работе [7]:

$$C_1\gamma_1 = \begin{cases} C_{is}\gamma_{is}, & \text{if } T < T_{ph} - \Delta, \\ \frac{C_{wt}\gamma_{wt} - C_{is}\gamma_{is}}{2} \frac{T - T_{ph}}{\Delta} + L \frac{\gamma_{wt} + \gamma_{is}}{2\Delta} \frac{\Delta - |T - T_{ph}|}{\Delta} + \\ + \frac{C_{wt}\gamma_{wt} + C_{is}\gamma_{is}}{2}, & \text{if } |T - T_{ph}| \leq \Delta, \\ C_{wt}\gamma_{wt}, & \text{if } T_{ph} + \Delta \leq T, \end{cases}$$

$$\lambda_1 = \begin{cases} \lambda_{is}, & \text{if } T < T_{ph} - \Delta, \\ \lambda_{is} + \frac{\lambda_{wt} - \lambda_{is}}{2} \frac{T - T_{ph} + \Delta}{\Delta}, & \text{if } |T - T_{ph}| \leq \Delta, \\ \lambda_{wt}, & \text{if } T_{ph} + \Delta \leq T. \end{cases}$$

В этих соотношениях введены следующие обозначения: $C_{is}, \gamma_{is}, \lambda_{is}$ — удельная теплоемкость, плотность,

коэффициент теплопроводности льда, C_{wr} , γ_{wr} , λ_{wr} — удельная теплоемкость, плотность, коэффициент теплопроводности воды, T_{ph} — температура фазового перехода, Δ — температурный параметр сглаживания, L — скрытая теплота при фазовом переходе.

К уравнению (1) присоединяются граничные условия:

$$T(r, 0, t) = T_{wr}, \quad 0 \leq r \leq R_3; \quad (2)$$

$$T(r, H_3, t) = T_{rd}, \quad 0 \leq r \leq R_3; \quad (3)$$

$$\lim_{r \rightarrow 0} \left(r \lambda \frac{\partial T}{\partial r} \right) = 0, \quad 0 \leq z \leq H_3; \quad (4)$$

$$\left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=R_3} = 0, \quad 0 \leq z \leq H_{iz}; \quad (5)$$

$$T(R_3, z, t) = T_{rd}, \quad H_{iz} < z \leq H_3; \quad (6)$$

и начальное условие:

$$T(r, z, 0) = T_{wr} \quad (7)$$

Поставленная задача (1) — (7) решается численно методом конечных разностей сквозного счета с использованием однородных схем переменных направлений с итерацией по нелинейности [8, 9].

Проведение вычислительных экспериментов

Будем считать, что магистральный трубопровод, выпускной патрубок и муфта выполнены из полипропилена, а запорный болт — из железа или меди. В качестве теплоизоляционного материала возьмем минеральную

вату «Базалит-75». Теплофизические свойства субстанций и материалов даны в таблице.

Название субстанции или материала	C , Дж/(кг·°C)	γ , кг/м ³	λ , Вт/(м·°C)
Вода	4200	1000	0,56
Лед	2200	917	2,2
Полипропилен	1930	900	0,15
«Базалит-75»	670	85	0,04
Железо	460	7845	60,0
Медь	375	8830	390

Температурные данные примем следующими: (T_{wr} , T_{rd} , T_{ph} , Δ) = (−5, −60, 0, 1,5) °C. Скрытая теплота фазового перехода воды в лед: $L = 340000$ Дж/кг. Данные по радиусу во всех расчетах останутся фиксированными: (R_1 , R_2 , R_{23} , R_3) = (13, 16, 30, 230) мм. Толщина стенки магистрального трубопровода и толщина теплоизоляционного слоя на нем тоже неизменны: (H_0 , H_{iz}) = (10, 110) мм.

Геометрические данные, выражающие длину выпуска и его элементов, варьируются. Будем рассматривать три варианта:

I. (H_{01} , H_1 , H_{12} , H_2 , H_3) = (130, 160, 178, 190, 290) мм;

II. (H_{01} , H_1 , H_{12} , H_2 , H_3) = (80, 110, 128, 140, 240) мм;

III. (H_{01} , H_1 , H_{12} , H_2 , H_3) = (50, 80, 98, 110, 210) мм.

Результаты расчетов всех трех вариантов с железным запорным болтом приведены на рис. 3 в виде диаграмм распределения температур в выпуске. Видно, что вода в нижней части выпуска замерзает всегда, даже тогда, когда выпуск находится полностью внутри

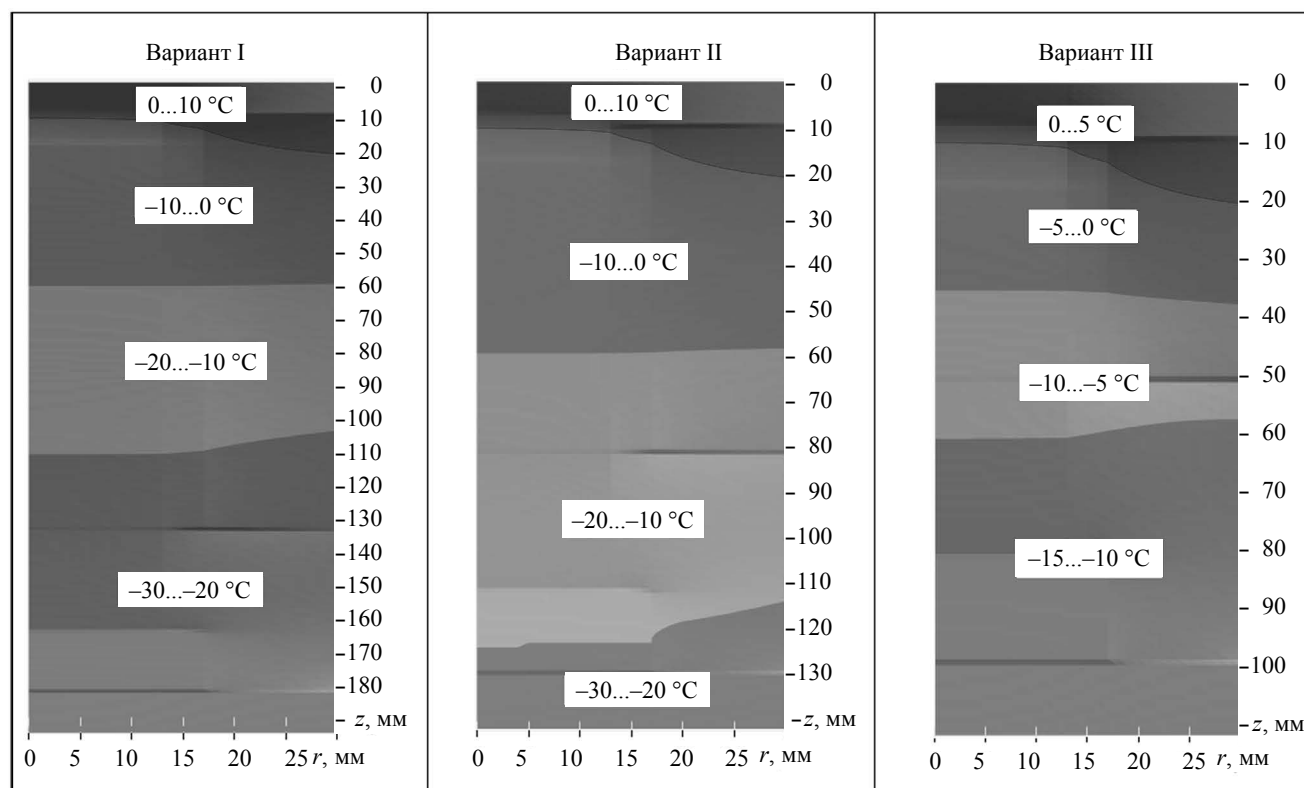


Рис. 3. Диаграммы распределения температур в выпуске

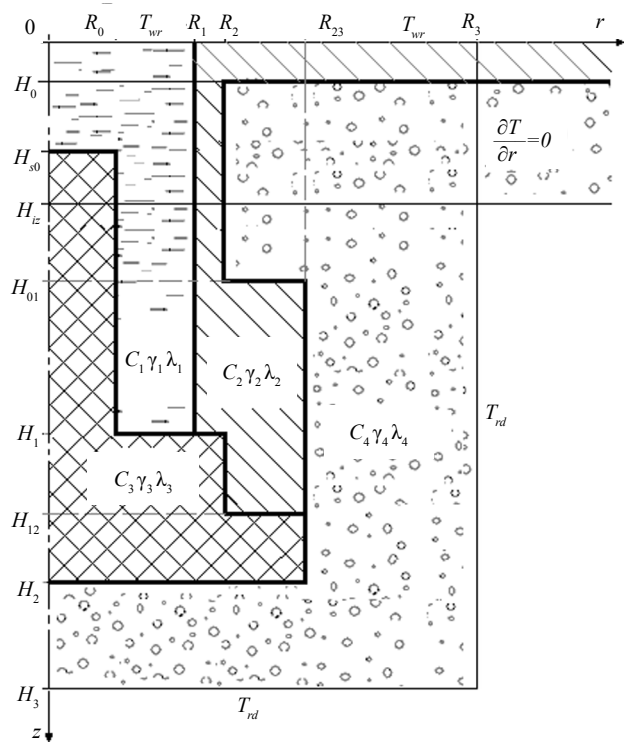


Рис. 4. Расчетная схема тепловой задачи с теплопроводным стержнем

теплоизоляционного слоя (вариант III) магистрального трубопровода. Величина столбика незамерзшей воды в полости патрубка составляет примерно 10 мм во всех трех вариантах. Утолщение слоя теплоизоляции в разумных пределах не приводит к положитель-

ному результату, т. е. к не замерзанию воды в полости патрубка.

Расчетное исследование температурного поля в выпуске с теплопроводным стержнем

Рассмотрим теперь выпуск, с запорным болтом на конце которого выточен стержень цилиндрической формы, располагающийся в полости патрубка. Этот стержень назовем — теплопроводным стержнем. Расчетная схема для такого теплоизолированного выпуска показана на рис. 4. Постановка тепловой задачи остается прежним, изменился только геометрия расчетной области и появились новые обозначения. R_0 — радиус теплопроводного стержня, H_{s0} — расстояние (просвет) между свободным концом стержня и внутренней поверхности магистрального трубопровода. Если стержень омывается водой трубопровода, то считаем, что $H_{s0} = 0$. При $R_0 = 0$ приходим к задаче без стержня с расчетной схемой, приведенной на рис. 2.

Поскольку теплопроводность металла достаточно высока по сравнению воды и полипропилена, теплота от текущей воды в трубопроводе будет передаваться более интенсивно через металлический стержень в нижнюю часть выпуска и появляется возможность предотвращения замерзания воды в его полости и в резьбовом соединении запорного болта. Расчеты показывают, что теплопроводное свойство металлического стержня имеет существенное влияние для предохранения от замерзания всего выпускного устройства. Чтоб показать этот эффект нами проведены сравнительные расчеты для железного и медного запорных болтов со стержнями, омываемыми

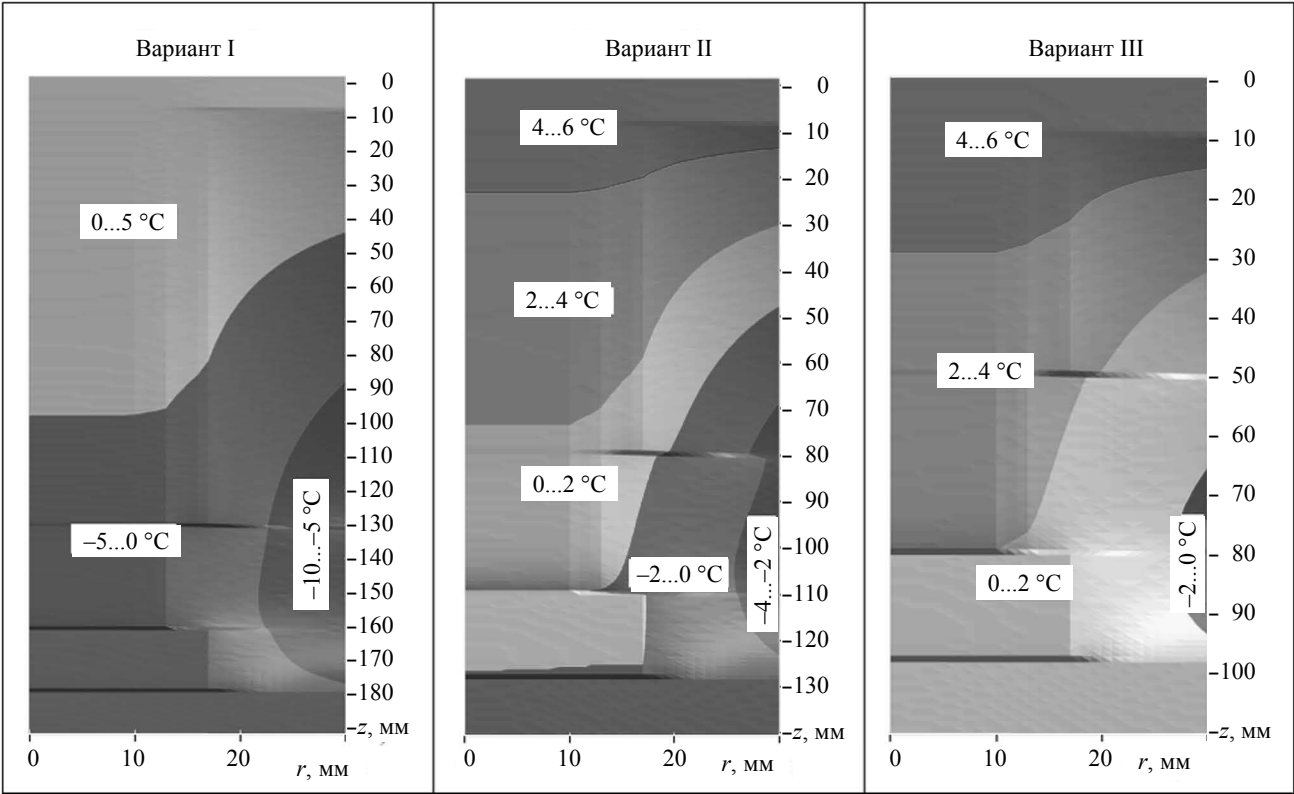


Рис. 5. Диаграммы распределения температур в патрубке выпуска с железным стержнем

текущей водой водопровода. Также значительную роль для предохранения от замерзания выпуска играют размеры (радиус) стержня и длина патрубка.

На рис. 5 приведены диаграммы температурных полей на стационаре для вариантов I–III с железным теплопроводным стержнем с радиусом $R_0 = 10$ мм, омываемым водой трубопровода ($H_{s0} = 0$). Как видно из рисунка, в варианте I половина патрубка с водой замерзает, в варианте II замерзает головка запорного болта и его резьбовое соединение, а в варианте III выпускное устройство полностью не замерзает. Этот пример расчета показывает на то, что замерзание или не замерзание патрубка существенно зависит от длины патрубка. Чем длиннее патрубок, тем более он подвержен к замерзанию. Времена выходов на стационар по вариантам I, II, III составляли примерно 20, 15, 10 ч соответственно.

На рис. 6 приводятся результаты расчета для выпуска с медным теплопроводным стержнем с радиусами $R_0 = 5, 7, 9$ мм по варианту I, при $H_{s0} = 0$. Во всех этих расчетах времена выходов на стационар примерно одинаковы и равны 7 ч. Из данных рис. 6 видно, что при малых значениях радиуса стержня выпуск частично замерзает, а при более большом радиусе стержня ($R_0 = 9$ мм) выпуск вообще не замерзает. Из этих примеров расчета мы убеждаемся в том, что для предотвращения замерзания выпускного устройства существенную роль играют теплопроводные свойства материала запорного болта со стержнем и радиус стержня. Как и ожидалось, медный запорный болт с достаточно толстым стержнем более надежно защищает выпускное устройство от замерзания, чем железный.

Следующие расчеты проведены с целью, чтоб показать важность того, что свободный конец теплопроводного стержня должен омываться водой, текущей по трубопроводу. Эти расчеты проведены для патрубка с размерами по варианту I с медным стержнем радиуса $R_0 = 10$ мм при различных просветах между свободным концом стержня и внутренней поверхности магистрального трубопровода ($H_{s0} = 1, 2, 3$ мм). Времена выходов на стационар в этих расчетах составляли примерно 7, 12, 14 ч соответственно по увеличению просвета H_{s0} . Как видно из результатов расчетов (см. рис. 7) при просветах равных и более 2 мм выпускное устройство будет замерзать частично или полностью. Хотя при просвете в 1 мм выпуск остается предохраненным от замерзания, стоит ли это учитывать при составлении рекомендаций при проектировании не замерзающего выпускного устройства.

О программе расчета

Расчетная программа написана на среде «Delphi 7» с вводной формой в диалоговом режиме. Все входные данные: теплофизические характеристики материалов и субстанций; геометрические величины размеров патрубка со стержнем; толщины стенки трубопровода и слоя теплоизоляции; температурные данные текущей воды и окружающей среды вводятся с клавиатуры компьютера. На специальном окне выводятся рассчитанные графики изменения температур по времени в контрольных точках, расположенных в различных местах в выпуске. Введенные параметры выпуска считаются приемлемыми, если графики изменений температур в контроль-

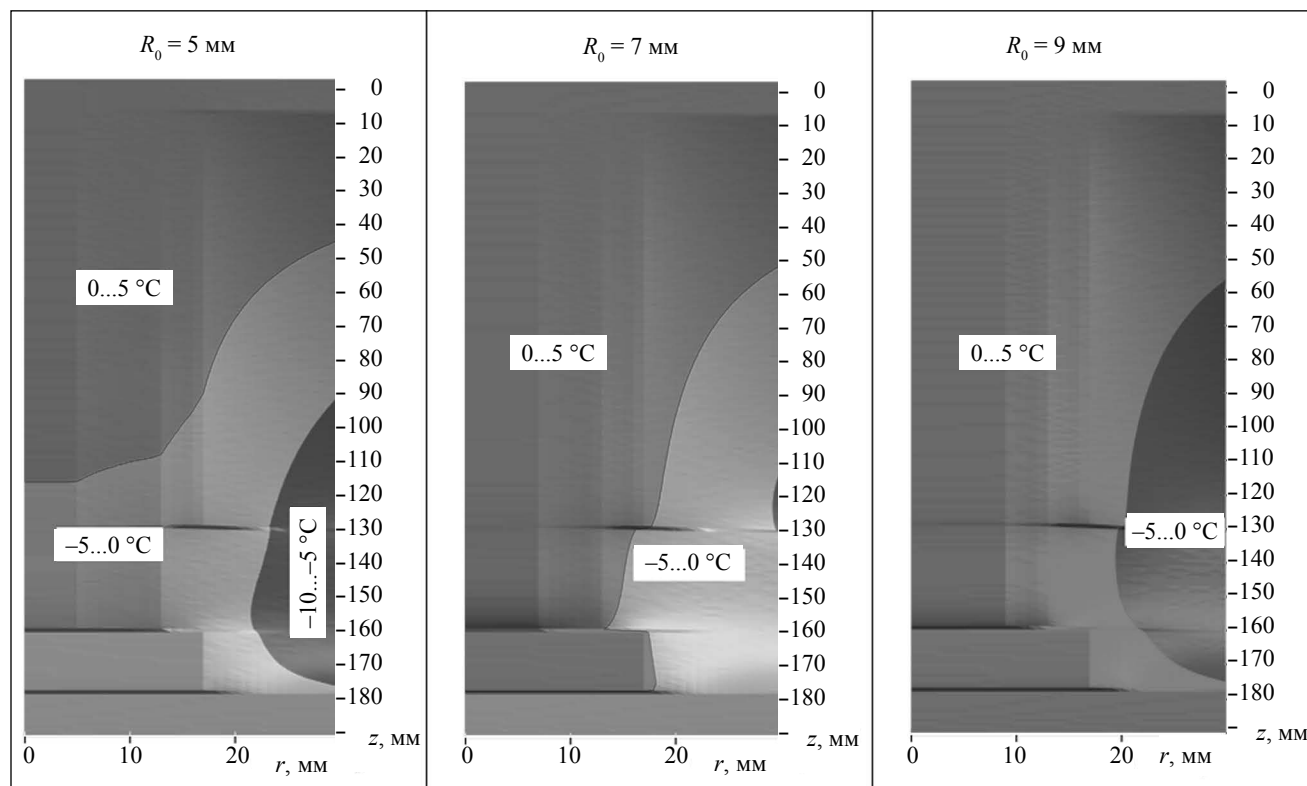


Рис. 6. Диаграммы распределения температур в патрубке выпуска с медным стержнем

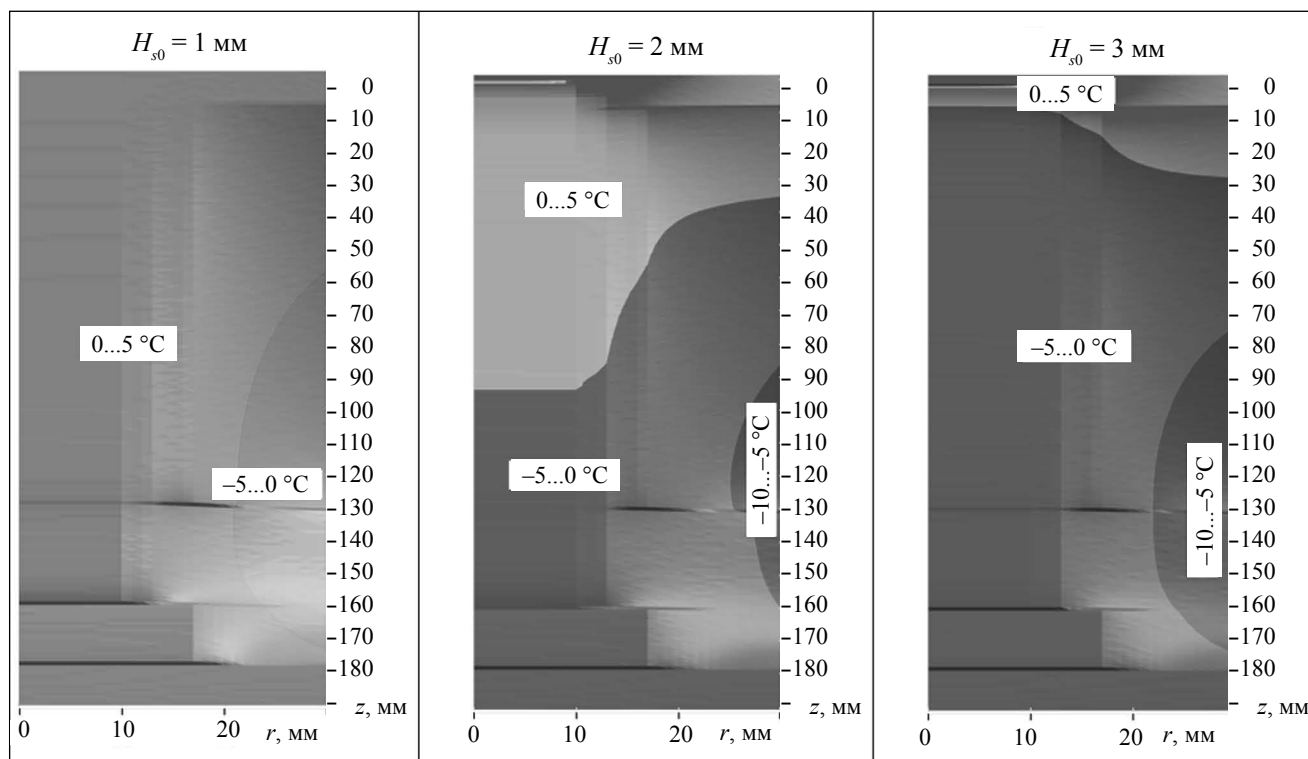


Рис. 7. Диаграммы распределения температур в выпуске с медным стержнем при различных расстояниях ее свободного конца от внутренней поверхности трубопровода

ных точках остаются выше, выбранной пользователем, минимально допустимой не отрицательной температуры, например +2 °C. Все входные данные выбранного варианта и соответствующая им таблица стационарного распределения температуры в выпуске, считающиеся пользователем нужными для сравнения с другими вариантами расчета, записываются в файл.

Выводы

1. Показано, что простейшее ручное выпускное устройство выполненного в виде патрубка с запорным болтом без теплопроводного стержня однозначно замерзает при зимних экстремально низких температурах Крайнего Севера.

2. Предложенная конструкция запорного болта с теплопроводным стержнем при надлежащем выборе его размеров и толщины слоя теплоизоляции для выбранного материала, из которого он изготавливается, может предотвратить от замерзания выпускного устройства.

3. Разработанная компьютерная программа расчета позволяет в диалоговом режиме определять оптимальные параметры конструкции ручного выпускного устройства для любых типоразмеров труб сетей водоснабжения.

Примечание. На основании проведенных автором предварительных расчетов при выполнении договорной работы № 12 — НИОКР/УИР от 03.10.2014 с ПАО АК «Якутскэнерго» получен патент на полезную модель [10], правообладателем которого является заказчик работы. Принятый в данной работе технический термин в сфере водоснабжения «выпуск» в указанном патенте отмечен

как «дренаж» в соответствии с терминологией в техническом задании заказчика.

Литература

1. Инструкция по проектированию сетей водоснабжения и канализации для районов распространения вечноммерзлых грунтов (СН 510–78). — М: Стройиздат, 1979. 74 с.
2. Лютов А. В. Строительство и эксплуатация водоводов надземной и канальной прокладки на Севере. — Л.: Стройиздат, 1976. 112 с.
3. Лютов А. В. Инженерные коммуникации на вечноммерзлых грунтах. — Л: Стройиздат, 1981. 144 с.
4. Терехов Л. Д. Технологические основы энергосбережения при подаче воды по водоводам на Севере: дисс. ... д. т. н. — Хабаровск, 1999. 275 с.
5. Терехов Л. Д., Акимов О. В., Акимова Ю. М. Водоснабжение и водоотведение в северных климатических условиях. — Хабаровск: ДВГУПС, 2008. 124 с.
6. Самарский А. А., Моисеенко Б. Д. Экономическая схема сквозного счета для многомерной задачи Стефана // Журнал вычислительной математики и математической физики, 1965. Т. 5, № 5. С. 816–827.
7. Павлов А. Р. Математическое моделирование процессов тепломассопереноса и температурных деформаций в строительных материалах при фазовых переходах. — Новосибирск: Наука, 2001. 176 с.
8. Самарский А. А. Теория разностных схем. — М: Наука, 1977. 656 с.
9. Самарский А. А., Вабищевич П. Н. Вычислительная теплопередача. — М: Едиториал УРСС, 2003. 784 с.

10. Герасимов А. И., Кондаков А. С., Старостин Н. П., Ботвин Г. В. Заглушка дренажного отвода. Патент на полезную модель № 154548, бюл. 24 от 27.08.2015 г. по заявке № 2015106070 от 20.02.2015 г.

References

1. Instruction for projection of networks of water supply and the sewerage for areas of distribution of permafrost soils (SN 510–78). Moscow: Stroyizdat, 1979. 74 p. (in Russian)
2. Lyutov A. B. Construction and operation of water ducts of elevated and channel laying in the north. Leningrad: Stroyizdat, 1976. 112 p. (in Russian)
3. Lyutov A. V. Engineering communications on permafrost soils. Leningrad: Stroyizdat, 1981. 144 p. (in Russian)
4. Terekhov L. D. Technological bases of power saving when the water supply conduits for the North. The thesis for degree of the Doctor of Engineering. Khabarovsk, 1999. 275 p. (in Russian)
5. Terekhov L. D., Akimov O. V., Akimova Yu. M. Water supply and water disposal in northern climatic conditions. Khabarovsk: DVGUPS, 2008. 124 p. (in Russian)
6. Samarskii A. A., Moiseenko B. D. Economic scheme of the through account for a many-dimensional task of the Stefan. *Journal of Computational Mathematics and Mathematical Physics*, 1965. Vol. 5, No. 5. P. 816–827. (in Russian)
7. Pavlov A. R. Mathematical modeling of heat and mass transfer processes and thermal strains in building materials during phase transitions. Novosibirsk: Science, 2001. 176 p. (in Russian)
8. Samarskii A. A. Theory of difference schemes. Moscow: Science, 1977. 656 p. (in Russian)
9. Samarskii A. A., Vabishchevich P. N. Computing heat transfer. Moscow: Editorial URSS, 2003. 784 p. (in Russian)
10. Gerasimov A. I., Kondakov A. S., Starostin N. P., Botvin G. V. Plug of drainage branch. The patent for the useful model No. 154548, the bulletin 24 of 27.08.2015 according to the application No. 2015106070 of 20.02.2015. (in Russian)



13-я международная специализированная выставка КРИОГЕН-ЭКСПО Промышленные Газы

1 - 3 ноября 2016, Москва, ЦВК "Экспоцентр", павильон 5



Организатор

Мир-Экспо
Выставочная компания

Проводится при содействии

- Международного института холода
- Международной академии холода



РАЗДЕЛЫ ВЫСТАВКИ:

- Криогенная техника и технологии
- Газоразделительное оборудование
- Криогенная арматура и комплектующие
- Вакуумное, компрессорное и теплообменное оборудование
- Промышленные и редкие газы, СУГ
- СПГ-технологии
- Оборудование для хранения, транспортировки, распределения и раздачи промышленных газов, СПГ и СУГ
- Криогенная изоляция
- Измерительное оборудование
- Сосуды Дьюара
- Технологии сверхпроводимости

Деловая программа:

1 - 3 ноября 2016

Москва,
ЦВК "Экспоцентр"
павильон 5, зал 2,
конференц-зал

13-я международная конференция

«Криогенные технологии и оборудование. Перспективы развития»

Международная конференция «Промышленные газы»

Международная конференция «Сжиженный природный газ»

Международный Форум «Valve Industry Forum & Expo'2016»

Оборудование для критических условий эксплуатации

При поддержке:



Информационная поддержка:



Русский: youtube.com/user/cryoexpo
English: youtube.com/user/cryoexporusia

Дирекция выставки:

Москва, Хлебозаводский пр., д. 7, стр. 10, оф. 507
Тел/факс: 8 495 988-1620
E-mail: info@cryogen-expo.ru
Сайт: www.cryogen-expo.ru

www.cryogen-expo.ru
www.cryogen-expo.com



@cryoexpo_ru
@cryoexpo