

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЁТ В ПОЛОСТИ ОТВОДА ВОДЫ ПОЖАРНОГО ГИДРАНТА В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Кондаков А.С.

Институт проблем нефти и газа Со РАН, Якутск, Россия

В работе приводятся результаты теплового расчёта в полости отвода воды пожарного гидранта Дорошевского в условиях экстремально низких температур Крайнего Севера. Вычислительными расчётами показано, что теплопроводный стержень, приваренный к прижимному диску клапана гидранта предохраняет от замерзания воды в полости отвода воды и клапана гидранта.

Ниже приведена фотография действующего участка водопроводной сети в г. Якутске с пожарным гидрантом Дорошевского, патрубков для отвода воды которой приварен к трубе водоснабжения. На фотографии видна только верхняя рабочая часть гидранта выше патрубка отвода с клапаном, которая находится внутри теплоизоляции трубопровода. Данный гидрант не теплоизолирован и поэтому очевидно, что вода в полости отвода замёрзла. Для забора воды из трубопровода в таких случаях необходимы затраты времени на оттаивание замёрзшей воды в отводе каким-либо безопасным способом, что нежелательно при чрезвычайных ситуациях.



Постановка тепловой задачи

Тепловой расчёт будем проводиться только в области отвода с клапаном для забора воды. Этот отвод представляет собой металлический стакан цилиндрической формы, нижнее основание которой приварено к трубе водоснабжения, а верхнее заглушено клапаном с резиновой прокладкой, прижимаемой металлическим диском с резьбовым штоком, соединённым с диском через узел вращения.

Считая, что теплоизоляционный слой водопровода достаточно толстый, будем полагать, что боковая сторона патрубка отвода гидранта полностью покрыта теплоизоляционным материалом. Для упрощения геометрии расчётной области отвода гидранта с теплоизолированной боковой поверхностью, будем считать, что он имеет форму прямого кругового цилиндра с параллельными основаниями. При таких допущениях распределение температуры в области отвода воды гидранта будет описываться двумерным уравнением теплопроводности в цилиндрических координатах с осевой симметрией. В работе рассматриваются две расчётные схемы без и с теплопроводным стержнем, приваренного к прижимному диску клапана и омываемого проточной водой водопровода. На следующем рис.1 представлены эти расчётные схемы.

Нестационарное температурное поле в рассматриваемых расчётных областях описывается двумерным квазилинейным уравнением теплопроводности в цилиндрических координатах с разрывными коэффициентами

$$C_i \gamma_i \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda_i r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_i \frac{\partial T}{\partial z} \right)$$

Сглаживание коэффициентов для воды (C_6 , γ_6 , λ_6) по температуре при фазовом переходе воды в лёд проводятся с помощью линейной интерполяции.

$$C_6 \gamma_6 = \begin{cases} C_{is} \gamma_{is}, & \text{if } T < T_{ph} - \Delta, \\ \frac{C_{wt} \gamma_{wt} - C_{is} \gamma_{is}}{2} \frac{T - T_{ph}}{\Delta} + L \frac{\gamma_{wt} + \gamma_{is}}{2\Delta} \frac{\Delta - |T - T_{ph}|}{\Delta} + \\ + \frac{C_{wt} \gamma_{wt} + C_{is} \gamma_{is}}{2}, & \text{if } |T - T_{ph}| \leq \Delta, \\ C_{wt} \gamma_{wt}, & \text{if } T_{ph} + \Delta \leq T, \end{cases}$$

$$\lambda_6 = \begin{cases} \lambda_{is}, & \text{if } T < T_{ph} - \Delta, \\ \lambda_{is} + \frac{\lambda_{wt} - \lambda_{is}}{2} \frac{T - T_{ph} + \Delta}{\Delta}, & \text{if } |T - T_{ph}| \leq \Delta, \\ \lambda_{wt}, & \text{if } T_{ph} + \Delta \leq T. \end{cases}$$

В этих соотношениях введены следующие обозначения: C_{is} , γ_{is} , λ_{is} – удельная теплоёмкость, плотность, коэффициент теплопроводности льда, C_{wt} , γ_{wt} , λ_{wt} – удельная теплоёмкость, плотность, коэффициент теплопроводности воды, T_{ph} –

температура фазового перехода, Δ – температурный параметр сглаживания, L – скрытая теплота при фазовом переходе.

На нижней границе задаётся постоянная температура воды T_{wr} в водопроводе, на наружной границе теплоизоляции задаётся температура окружающей среды T_{rd} . На расстоянии R_3 внутри теплоизоляции задаём условие отсутствия теплового потока, а по оси симметрии условие ограниченности температуры. За начальное распределение температуры по всей расчётной области задается температура воды в водопроводе, поскольку окончательное стационарное распределение температуры практически не зависит от начального условия.

Поставленная задача решается численно методом конечных разностей сквозного счёта с использованием однородных схем переменных направлений с итерациями по нелинейности.

Вычислительные эксперименты

Теплофизические свойства субстанций и материалов для расчётной области приняты следующими: $(C_6, \gamma_6, \lambda_6) = (4200, 1000, 0,56)$ – для воды; $(C_6, \gamma_6, \lambda_6) = (2200, 917, 2,2)$ – для льда; $(C_5, \gamma_5, \lambda_5) = (670, 85, 0,04)$ – для теплоизоляции; $(C_3, \gamma_3, \lambda_3) = (1380, 1200, 0,145)$ – для резины; $(C_i, \gamma_i, \lambda_i) = (460, 7845, 60), i = 1, 2, 4, 7$, – для стали, $(C_7, \gamma_7, \lambda_7) = (388, 8930, 380)$ – для меди. Размерности величин заданы в системе СИ.

Температурные данные примем следующими: $(T_{wr}, T_{rd}) = (+5, -60)$ °С. Скрытая теплота фазового перехода воды в лёд: $L =$

340000 Дж/кг. Геометрические размеры во всех расчётах останутся фиксированными: $(R_0, R_1, R_2, R_3) = (10, 50, 54, 154)$ мм. Толщина стенки трубопровода и толщина теплоизоляционного слоя также неизменны: $(H_0, H_{iz}) = (4, 100)$ мм. Координаты по оси z приняты следующими: $(H_1, H_{12}, H_2) = (70, 74, 80)$ мм. Координата H_3 варьируется с учётом задаваемой условной толщины теплоизоляционного слоя. Расчёты проводились до стационарного распределения температурного поля.

Результаты расчётов по схеме 1(a) без теплопроводного стержня при двух вариантах условной толщины теплоизоляции в 10 и 40 мм приведены на рис.2. Как видно из расчётных диаграмм вода в полости отвода под клапаном частично замерзает.

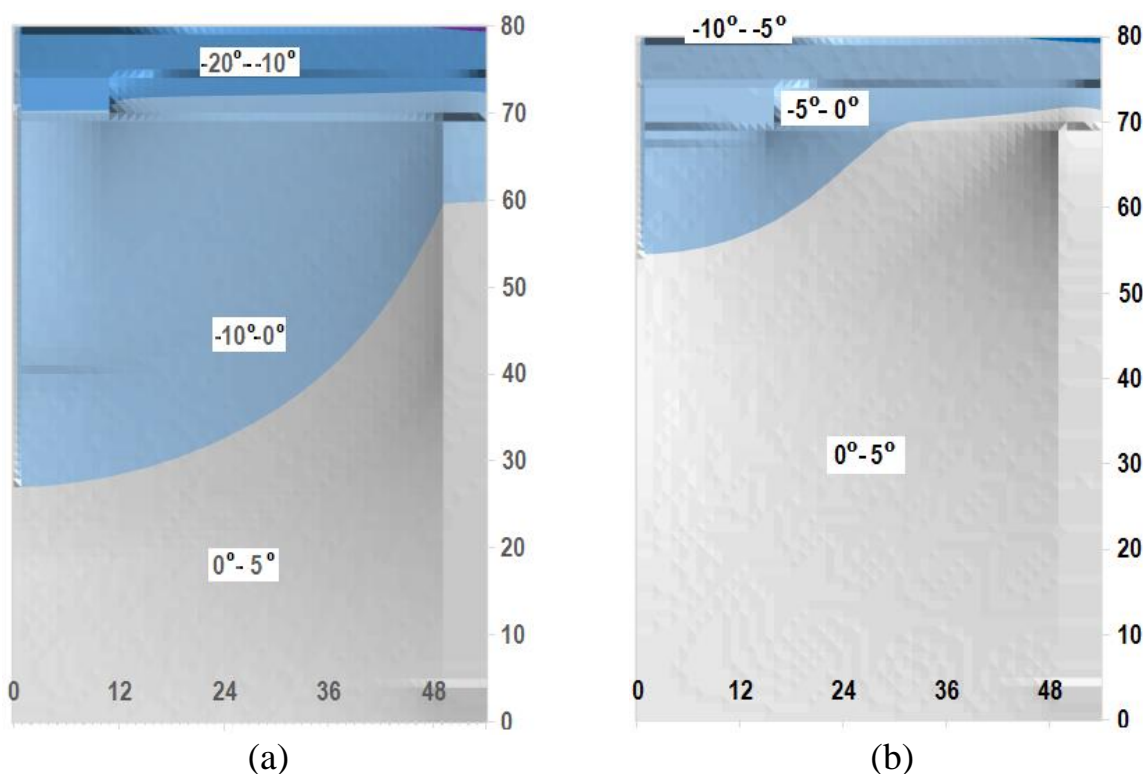


Рис.2. Диаграммы распределения температуры в полости отвода гидранта без теплопроводного стержня при $H_3 - H_2$ равном: (a) 10; (b) 40 мм

Результаты расчётов, проведённых по схеме рис.1(b) с теплопроводным стержнем, приведены на рис.3. Медный

стержень, обладающий хорошим теплопроводным свойством, более надёжно предотвращает замерзание не только воды в полости отвода, но и резинового клапана гидранта, что является не менее важным фактором надёжности и работоспособности гидранта при экстремально низких температурах северных регионов.

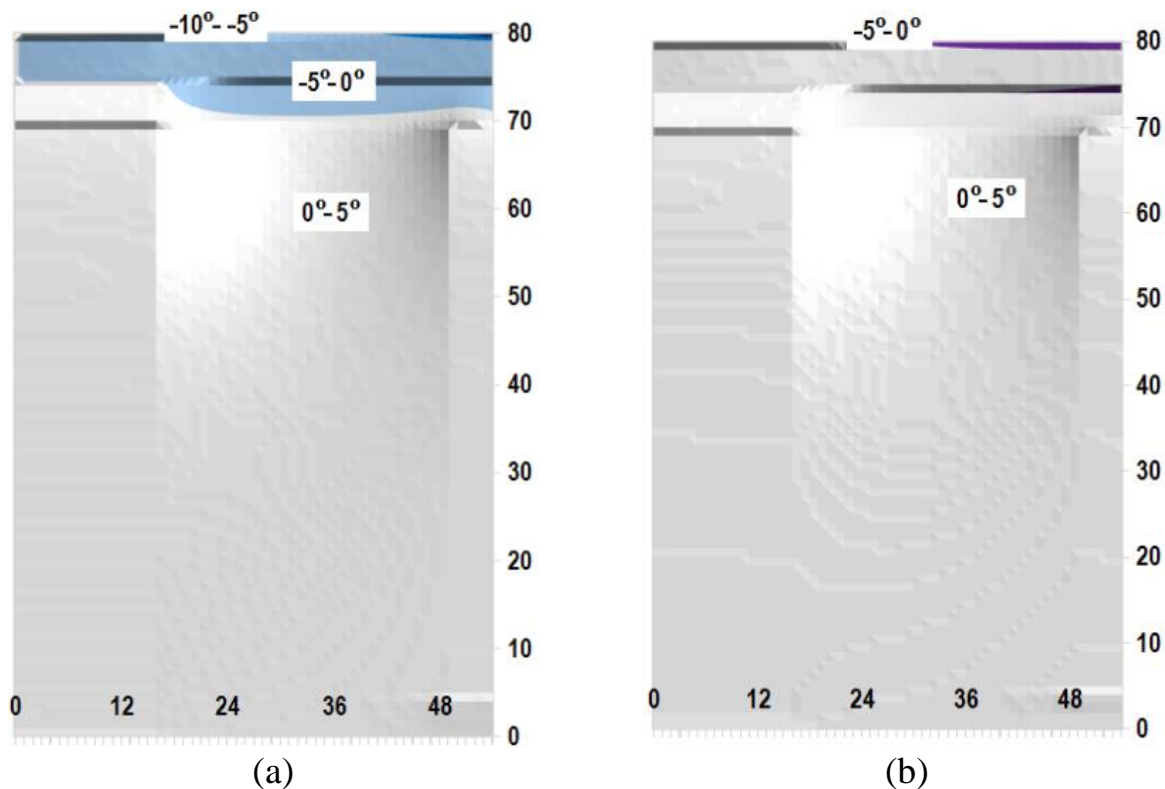


Рис.3. Диаграммы распределения температуры в полости отвода гидранта с теплопроводным стержнем при $H_3 - H_2=10$ мм: (а) с железным; (б) с медным стержнем

Снабжение прижимного диска клапана пожарного гидранта высокотеплопроводным стержнем, омываемым проточной водой водопровода, обеспечивает надёжную работоспособность гидрантов при их эксплуатации в зимних условиях северных регионов.