

Моделирование распределения температуры воздуха в горной выработке нефтяной шахты

Оглавление

Введение.....	1
Постановка задачи в расчетном коде	2
Результаты расчета.....	5
Выводы.....	7
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	7

Введение

В рамках подготовки научно-квалификационной работы (диссертации) на тему «Обоснование параметров термоизолирующих средств коллективной защиты работников, ведущих горные работы на нефтяных шахтах» осуществляется разработка научных основ для создания средства коллективной защиты.

Объектом исследования является нефтяная шахта, в которой осуществляется добыча тяжелой высоковязкой нефти подземным способом с использованием термошахтной технологии. Добыча сопряжена с появлением вредных и опасных производственных факторов, связанных с повышенными температурой и влажностью воздуха. Температура воздуха в уклонном блоке может достигать значений до 45°C, а относительная влажность воздуха – 90%. Согласно специальной оценке условий труда (СОУТ) условия труда работников, выполняющих подземные горные работы, классифицируются как вредные и относятся к классам 3.1 - 3.3 по параметрам микроклимата.

Исследования, проведенные в уклонном блоке нефтешахты, выделяют участок буровой галереи, где сконцентрированы основные источники тепловыделений, такие как технологическое оборудование, разогретые стенки выработки и транспортируемая открытым способом нефтесодержащая жидкость, причем последняя имеет наибольший вклад [1]. Для нормализации условий труда по параметрам микроклимата в настоящее время применяют различные способы проветривания [2]. Однако такие меры не позволяют добиться требуемых нормативных значений температуры воздуха. В ряде работ рассматривается идея охлаждения воздуха с помощью установок кондиционирования, но остаются сложные нерешенные вопросы о возможности их применения в условиях нефтешахт [3, 4]. В этой связи разработка новых технических решений, основанная на прогнозировании

температуры воздуха в выработке при их реализации, является актуальной задачей.

Одним из способов улучшения условий труда по параметрам микроклимата является борьба с источниками тепловыделений. Для этих целей рассмотрим создание термоизолирующего кожуха для системы транспортировки разогретой нефтесодержащей жидкости. Выбор наиболее подходящих материалов и конструкции такого кожуха основан на прогнозировании температур воздуха в выработке до и после его установки, при помощи средств математического моделирования.

Постановка задачи в расчетном коде

Прогнозирование параметров микроклимата в выработке заключается в создании виртуальной модели выработки, для которой решается задача распределения температуры воздуха с использованием численного метода расчета – метода контрольных объемов во временной области. Геометрия расчетной области представляет собой участок горной выработки с площадью поперечного сечения 8.2 м^2 , в подошве которой проложена система открытой транспортировки нефтесодержащей жидкости – канавка с полукруглым сечением диаметром $0,5 \text{ м}$ (рисунок 1).

В созданной математической модели решаются следующие уравнения:

1. Уравнения Навье-Стокса – движение воздуха;
2. Уравнение энергии (для термодинамической энтальпии h) – конвекция и теплопроводность в воздухе;
3. Уравнения KES модели турбулентности.

Рабочее вещество – воздух, плотность определяется по закону идеального газа, свойства взяты из БД FlowVision.

Для модели задаются начальные и граничные условия и расчетная сетка (рисунок 2).

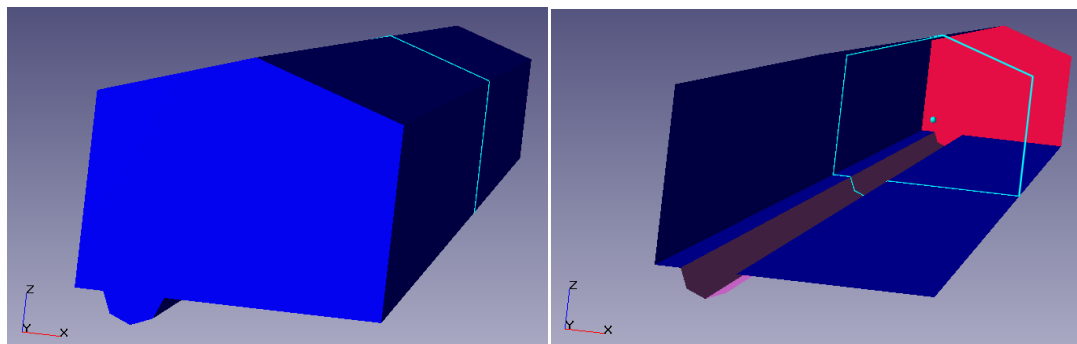


Рис. 1. Геометрия расчетной области

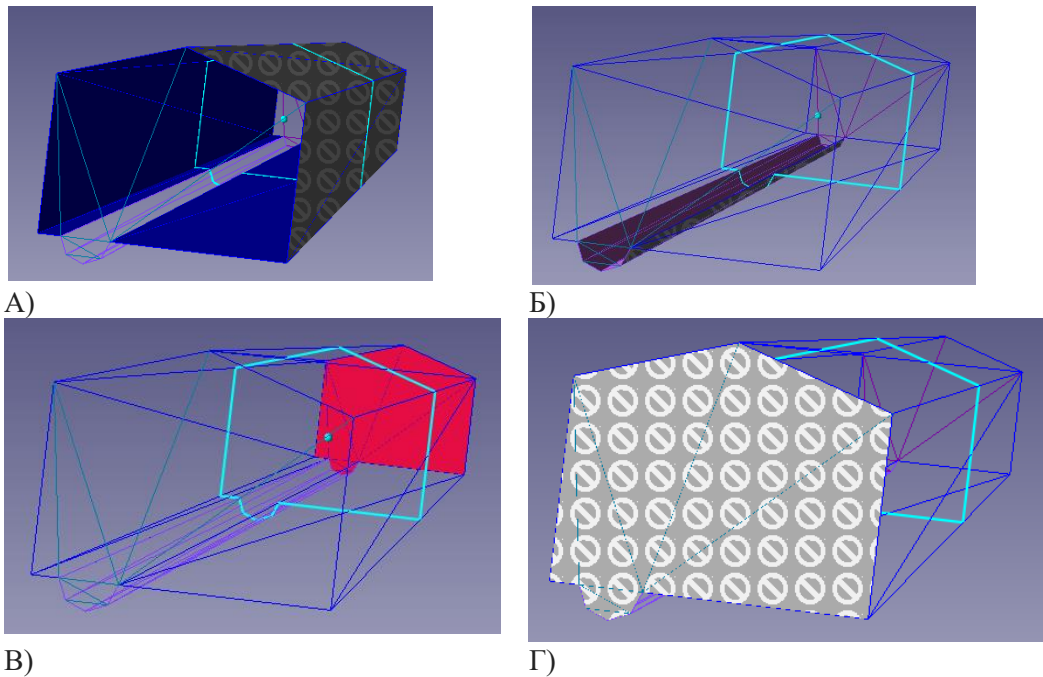


Рис. 2. Граничные условия:
 А) ГУ Стенка; Б) ГУ Стенка (канавка); В) ГУ Выход; С) ГУ Вход.

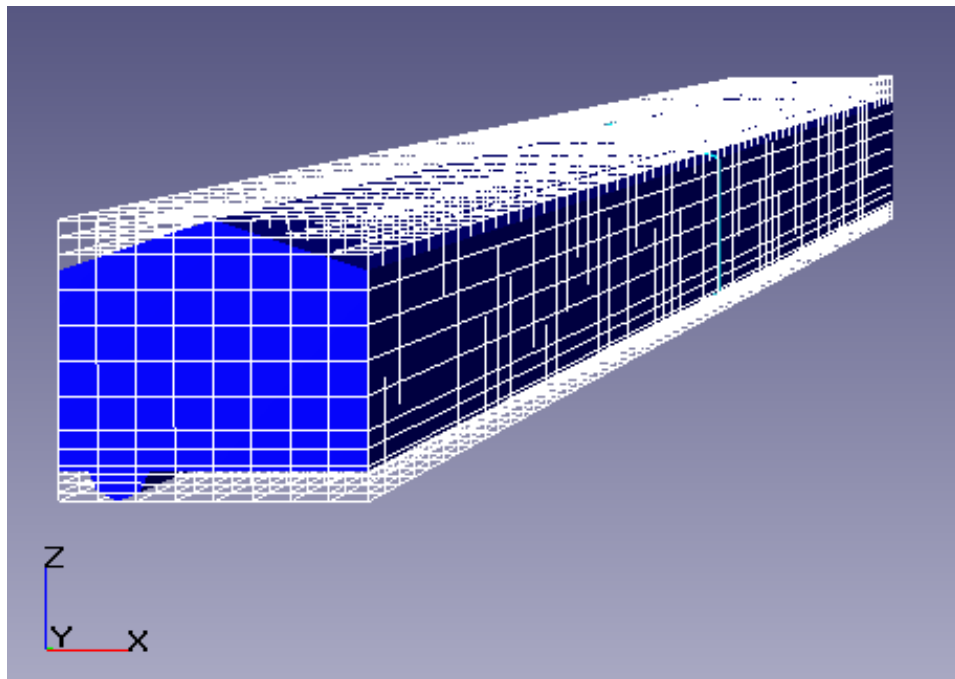


Рис.3 Расчетная сетка

Каждый тип границы включает в себя наборы граничных условий для каждой независимой переменной данной математической модели.

Граничное условие стенки: Скорость $V_n = 0$, $V_t = 0$. Значение на стенке $f_w = f_w$ (f_w – значение скаляра на Границе). Это граничное условие имеют кровля, подошва и стенки выработки, $f_w = 40$ °С, а для канавки зададим $f_w = 70$ °С.

Граничное условие Вход: Нормальная скорость $V_n|_w = V_w$, $V_t = 0$, где V_w – нормальная компонента скорости.

$$V_w = 1.1 \text{ кг/(м}^2\text{с)}$$

Значение на стенке $f|_w = f_w$, где f_w – значение скаляра на Границе, $f_w = 20$ °C)

Граничное условие Выход: Нормальная скорость $V_n|_w = V_w$, $V_t = 0$, где V_w – нормальная компонента скорости. Нулевой поток $df/dn|_w = 0$.

Созданная трехмерная модель выработки отражает существующие в ней значения показателей микроклимата при задании соответствующих граничных условий на поверхностях. Движение воздуха в выработке рассмотрим как турбулентный поток, описанный k-ε моделью турбулентности с выражением коэффициента турбулентной вязкости μ_t по формуле Колмогорова-Прандтля (формула 1) через кинетическую энергию турбулентности [5]:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (1)$$

Для замыкания системы уравнений с применением k-ε модели турбулентности используются два дополнительных уравнения для кинетической энергии турбулентности k и скорости ее диссипации ε. Уравнение переноса турбулентной кинетической энергии получено из уравнений Навье-Стокса и имеет вид:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \nabla(\rho V k) = \nabla \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla k \right) + \mu_t G - \rho \varepsilon \quad (2)$$

Уравнение переноса скорости диссипации турбулентной кинетической энергии используется в форме:

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \nabla(\rho V \varepsilon) = \nabla \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla \varepsilon \right) + C_1 \frac{\varepsilon}{k} \mu_t G - C_2 f_1 \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (3)$$

$$G = D_i \frac{\partial V_i}{\partial x_j} \quad (4)$$

$$D_{ij} = S_i - \frac{2}{3} \left(\nabla \cdot V + \frac{\rho k}{\mu_t} \right) \delta_{ij} \quad (5)$$

$$S_{ij} = \frac{\partial V_i}{\partial k_j} + \frac{\partial V_j}{\partial x_i} \quad (6)$$

В формулах (2 – 3) C_1 , C_2 и C_μ – константы, σ_k и σ_ε – турбулентные числа для k и ε, соответственно. В расчетных пакетах модели используются следующие значения для данных эмпирических коэффициентов: $\sigma_k = 1,0$; $\sigma_\varepsilon = 1,3$; $C_\mu = 0,09$; $C_1 = 1,44$; $C_2 = 1,92$.

Уравнение переноса энтальпии имеет следующий вид:

$$\frac{\partial(\rho h)}{\partial t} + \nabla(\rho V h) = \nabla \left(\left(\frac{\lambda}{C_p} + \frac{\mu_t}{Pr_t} \right) \nabla h \right) + Q, \quad (7)$$

В уравнениях (1 – 7) использованы обозначения: ∇ – градиент функции; V – вектор относительной скорости, м/с; Pr – число Прандтля; μ – молекулярная динамическая вязкость, кг/(м·с); μ_t – турбулентная динамическая вязкость, кг/(м·с); λ – молекулярная теплопроводность, Вт/(м·К); C_p – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К); ρ – плотность, кг/м³; h – энтальпия, Дж.

Результаты расчета

Верификация результатов численного расчета показала хорошую сходимость с натурными измерениями (относительная погрешность составила 1.6 %), что позволяет использовать данный метод для выбора параметров теплоизолирующего кожуха и прогнозирования температур воздуха в выработке. Сравнение проводилось по распределению температуры вдоль линии, проходящей через центр шахты. На графиках рис.4 представлены результаты численного моделирования, натурального эксперимента, а также нормативные показатели.

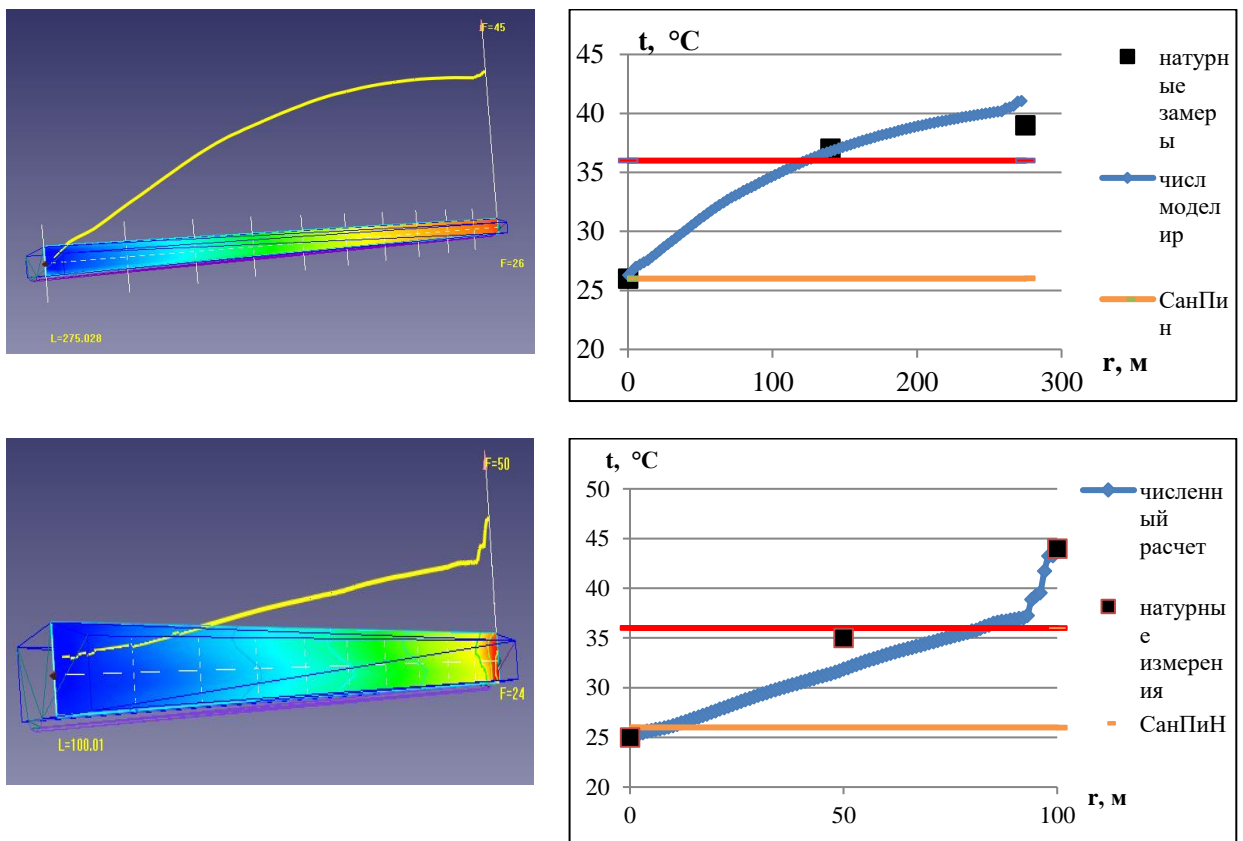


Рис. 4. Верификация результатов численного расчета для двух галерей

Распределение температуры воздуха в модели выработки можно просматривать как в продольном (рисунок 4), так и в поперечном сечении (рисунок 5), что повышает наглядность отображения результатов.

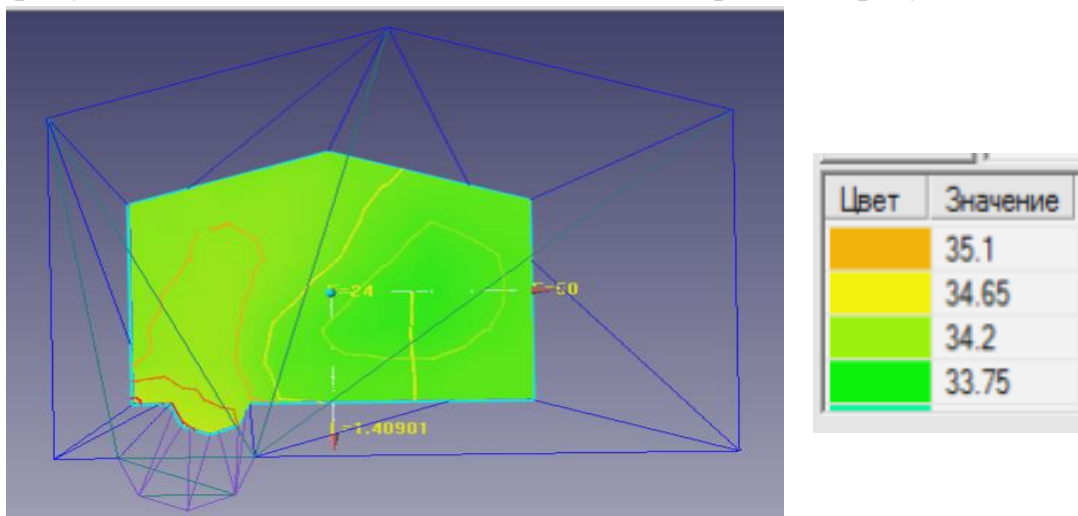


Рис. 5. Распределение температуры в поперечном сечении модели выработки

Вычислительные эксперименты позволяют прогнозировать значения параметров микроклимата в буровой галерее в зависимости от заданных начальных и граничных условий. В данном случае применение закрытой системы транспортировки нефтесодержащей жидкости в буровой галерее по сравнению с открытой транспортировкой существенно изменит одно из граничных условий в модели, и покажет результаты в виде снижения температуры воздуха в моделируемой выработке (рисунок 6). Так с помощью средств математического моделирования возможен анализ различных теплоизолирующих материалов кожуха для использования в заданных условиях и выбор подходящего соотношения требуемых характеристик материала.

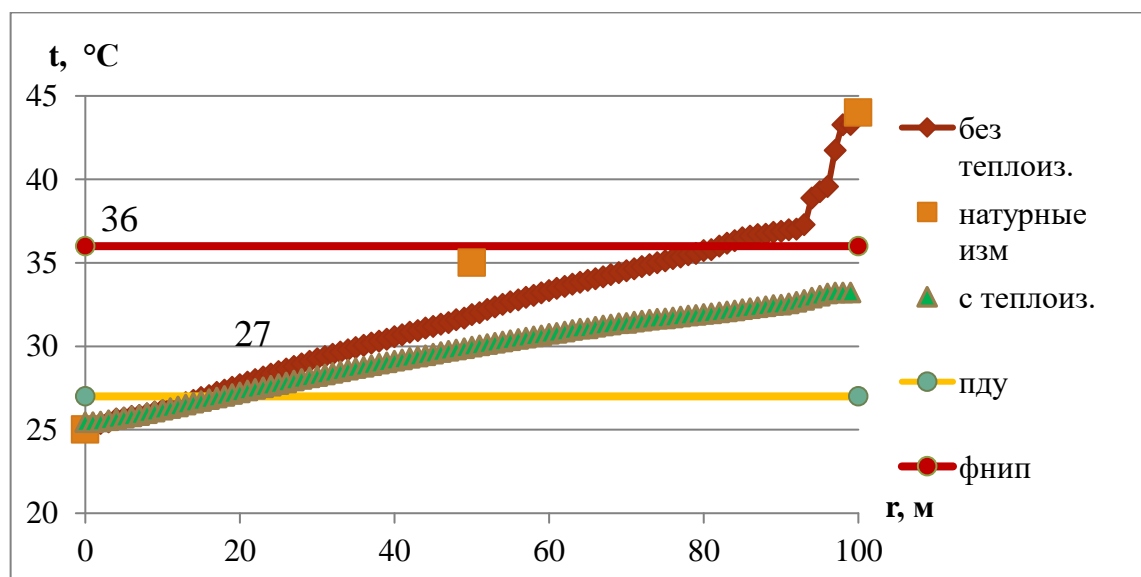


Рис. 6. Изменение температуры воздуха рабочей зоны

Выводы

Полученные результаты доказывают, что применение средства коллективной защиты работников в виде термоизолирующего кожуха систем открытой транспортировки нефтесодержащей жидкости снижает температуру воздуха рабочей зоны до установленных ФНИП значений. Программный комплекс FlowVision позволяет прогнозировать распределение температуры воздуха в выработке и может быть использован на предприятии для дальнейших исследований, связанных с подбором мероприятия по улучшению условий труда работников нефтяных шахт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клюкин Ю.А. Математическое моделирование процессов тепломассопереноса в уклонных блоках нефтяных шахт // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сборник научных трудов. Вып. 15 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2017. – С. 305-310.

2. Николаев А.В., Макарычев Н.С. Способ проветривания уклонных блоков нефтяной шахты в автоматизированном режиме // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых.–2017. № 1.– С. 386-389.

3. Alabyev V.R Influence of environmental technologies on the economic component in the normalization of thermal conditions in oil-stores / V.R. Alabyev, M.N. Kruk, M.A. Korobitcyna, I.S. Stepanov // Journal of Environmental Management and Tourism, Volume IX, Issue 1(25) Spring (2018), pp. 75-82.

4. Клюкин Ю.А. Разработка систем кондиционирования воздуха протяженных рабочих зон в условиях неблагоприятного теплового режима нефтешахт // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сборник научных трудов – Вып. 12 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2014. – С. 290–292.

5. Дядькин Ю.Д., Шувалов Ю.В., Тимофеевский Ю.С. Горная теплофизика. Регулирование теплового режима шахт и рудников. Л.: Изд. ЛГИ, 1976.-159 с.