

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ХРАНИЛИЩ СЖИЖЕННЫХ ГАЗОВ С УЧЕТОМ СЕЗОННОГО РАЗМОРАЖИВАНИЯ ГРУНТА

Тетерина Н.С., Глазырин Е.С.

Научный руководитель: Половников В.Ю., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30.
E-mail: natali_2528@mail.ru

В настоящее время, наблюдается неравномерный характер потребления газонефтепродуктов в Российской Федерации. Это связано с возможностью экспорта в другие страны, географической разобщенностью районов добычи, переработки и использования газонефтепродуктов, а также совпадением по времени максимального спроса на топливо и на электро- и теплоэнергию. Подземные хранилища с успехом широко используются во всем мире. Подземные хранилища позволяет создать чрезвычайно крупные запасы, а значит, представляет собой экономически выгодное решение, надежное и экологически чистое. Рассматривается изотермический резервуар для хранения сжиженного природного газа, стенки которого выполнены из предварительно напряженного железобетона, изолированный насыпным перлитом, размещенный в зоне влияния инженерных сооружений [1].

Моделирование проведено с применением средств и функций пакета программ мультифизического моделирования COMSOL Multiphysics [2] с использованием модуля General Heat Transfer.

Исследования проводились для резервуара диаметром $d=72\text{м}$, высотой $L=50\text{м}$, изолированного теплоизоляционным материалом толщиной $\delta_n=1\text{м}$. Температура на внутренней поверхности резервуара соответствует температуре хранения жидкого метана $T_{снз}=113,150\text{ К}$. Температура окружающей среды принималась равной средней температуре воздуха за месяц сентябрь [3]: $T_n=282,45\text{ К}$ (г. Томск). Заглубление фундамента составляло $h=2\text{м}$. Согласно [4] коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций инженерного сооружения соответственно для стен и пола по грунту $\alpha_{вс}=8,7\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ и $\alpha_{он}=4,5\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})$. Коэффициент теплоотдачи от стены к окружающей среде принимался равным $\alpha=23\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$, от грунта к окружающей среде $\alpha=15\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$.

В таблице 1 приведены значения [1,5] теплофизических характеристик тепловой изоляции, грунта, фундамента из железобетона использованные при проведении исследований тепловых режимов рассматриваемой системы, представленной на рисунке 1.

Таблица 1. Теплофизические свойства материалов

Материал	Тепловая изоляция	Мерзлый грунт	Талый грунт	Железобетон
λ , Вт/(м·К)	0,0518+0,000163(T-273,15)	2,2-0,0015(T-273,15)	1,5-0,0017(T-273,15)	1,54
c , Дж/(кг·К)	869+2,88(T-273,15)	965+3,2(T-273,15)	1363+3,2(T-273,15)	887
ρ , кг/м	139	2000	2000	2200

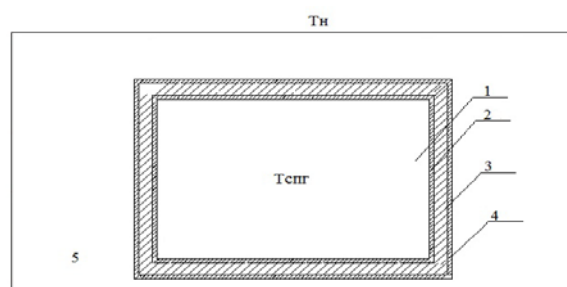


Рис. 1. Схема поперечного сечения зоны расположения подземного резервуара для хранения сжиженного газа: 1 – внутренняя область резервуара; 2 – внутренняя стенка резервуара; 3 – теплоизоляционный слой; 4 – наружная стена, выполненная из предварительно напряженного железобетона; 5 – грунт; T_n – температура наружного воздуха; $T_{снз}$ – температура сжиженного природного газа;

Результаты 3D моделирования.

Основные результаты 3D моделирования тепловых режимов хранилища сжиженного газа с учетом сезонного промерзания грунта приведены в таблицах 2-5. На рисунках 2-4 представлены температурные поля в зоне хранилища сжиженного газа.

Таблица 2. Результаты моделирования тепловых режимов хранилища сжиженного газа с учетом сезонного промерзания грунта.

Расчетный месяц	T_n , К	q_1 , Вт/м
Сентябрь	282,45	1122,763
Январь	254,05	935,807
Среднегодовая	272,65	1061,44

Таблица 3. Результаты моделирования тепловых режимов хранилища сжиженного газа с учетом сезонного промерзания грунта, сентябрь $T_n=282,45^0\text{K}$.

Грунт	q_2 , Вт/м	q_2-q_1 , Вт/м	$\delta = \frac{q_2 - q_1}{q_1}$, %
Талый	1031,56	91,203	8,10
Мерзлый	1133,36	10,597	0,94

Таблица 4. Результаты моделирования тепловых режимов хранилища сжиженного газа с учетом сезонного промерзания грунта, Январь $T_n=254,05^0\text{K}$.

Грунт	q_2 , Вт/м	q_2-q_1 , Вт/м	$\delta = \frac{q_2 - q_1}{q_1}$, %
Талый	845,94	89,869	9,60
Мерзлый	938,13	2,323	0,25

Таблица 5. Результаты моделирования тепловых режимов хранилища сжиженного газа с учетом сезонного промерзания грунта, при среднегодовой температуре $T_n=272,65^0\text{K}$.

Грунт	q_2 , Вт/м	q_2-q_1 , Вт/м	$\delta = \frac{q_2 - q_1}{q_1}$, %
Талый	965,96	95,48	9,00
Мерзлый	1064,67	3,23	0,30

Обозначения: T_n - расчетная температура наружного воздуха, К; q_1 - притоки тепла к хранилищу сжиженного газа с учетом сезонного промерзания грунта, Вт; q_2 - притоки тепла к хранилищу сжиженного газа без учета сезонного промерзания грунта, Вт; δ - расхождение величин теплопритоков к резервуару при отсутствии и наличии учета сезонного промерзания грунта, %.

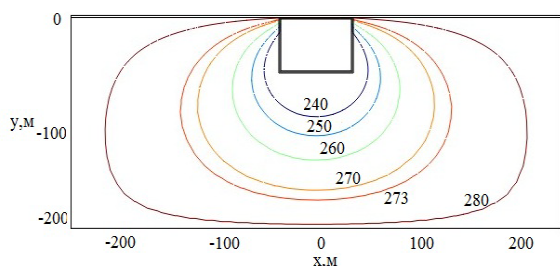


Рис. 2. Температурные поля в зоне хранилища сжиженного газа, сентябрь $T_n=282,45\text{ K}$.

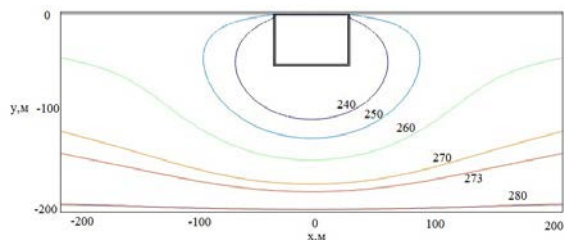


Рис. 3. Температурные поля в зоне хранилища сжиженного газа, Январь $T_n=254,05\text{ K}$.

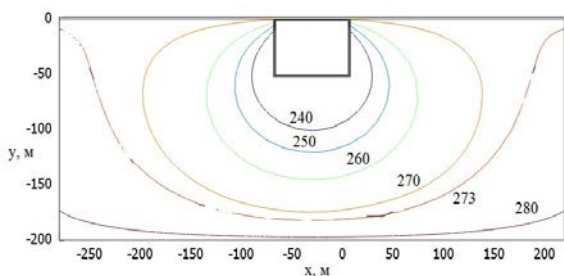


Рис. 4. Температурные поля в зоне хранилища сжиженного газа, при среднегодовой температуре $T_n=272,65\text{ K}$.

На примере температур за сентябрь, январь и среднегодовой наглядно видно изменения линии границы мерзлого и талого грунта ($T=273\text{ K}$). Результаты исследований позволяют говорить о необходимости учета изменения теплофизических свойств грунта (теплоемкости, плотности, теплопроводности) в зоне хранилища сжиженного природного газа. При уменьшении температуры окружающей среды граница мерзлого грунта увеличивается.

Литература:

1. Яковлев Е. И., Видовский Л.А., Глоба В.М. Тепловые режимы хранилищ сжиженных газов. – Л.: Недра, 1992. –184с.
2. Бирюлин Г.В. Теплофизические расчеты в конечно-элементном пакете COMSOL/FEMLAB. СПб.: СПбГУИТМО, 2006. – 89 с.
3. СНиП 23-01-99. Строительная климатология. - М, 2000 г.
4. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004. – 46 с.
5. Гува А.Я. Краткий теплофизический справочник. – Новосибирск: Сибвузиздат, 2002. – 300 с.