

III российская молодежная научная школа-конференция  
«Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи»  
Секция 2. Эффективная энергетика

---

### **Заключение**

Предложенная модель сети электроснабжения кампуса ДВФУ и о. Русский должна стать основой для дальнейших работ по созданию экспериментальной площадки на базе образовательно-энергетического кластера в ДВФУ. Разработка структуры и состава интеллектуальной микроэнергосистемы и/или виртуальной станции в составе сети электроснабжения о. Русский – предмет исследований ближайшего времени, которые могут определить вектор развития всего кластера. Кроме того, модель может обеспечить возможность правильной настройки существующего генерирующего оборудования и его систем регулирования.

Принимая во внимание, что отечественной промышленностью освоены технологии производства маховиковых накопителей энергии, технические характеристики которого позволяют применять его для управления переходными процессами микро- и мини- интеллектуальных энергосистем, этот тип накопителя следует рассматривать наиболее перспективного для сети электроснабжения о. Русский и кампуса ДВФУ.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. [http://www.cigre.ru/news/2015\\_09\\_EnergyNet/2015\\_08-06\\_EnergyNet.pdf](http://www.cigre.ru/news/2015_09_EnergyNet/2015_08-06_EnergyNet.pdf).
2. Горте О.И., Кирьянова Н.Г., Остапенко А.И. и др. Остров Русский-экспериментальная база для исследования противоаварийной автоматики микроэнергосистем / XXII научно-практическая конференция «Релейная защита и автоматика энергосистем 2014» / Москва, 2014. – С. 627-633.
3. Арестова А.Ю., Горте О.И., Хмелик М.С. и др. Накопитель энергии как средство противоаварийного управления на примере сети электроснабжения о. Русский / V международная научно-техническая конференция «Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем», Сочи, 2015.
4. <http://www.mathworks.com/help/physmod/sps/examples/wind-turbine-asynchronous-generator-in-isolated-network.html>.
5. <http://www.mathworks.com/examples/simpower/143-average-model-of-a-100-kw-grid-connected-pv-array>.
6. Горте О.И., Хмелик М.С. Упрощенная модель накопителя энергии для исследования устойчивости микроэнергосистем средней мощности / V Международная молодежная научно-техническая конференция «Электроэнергетика глазами молодежи-2014» / Томск, 2014. – Т. 2. – С. 507-512.

### **ТЕПЛОВЫЕ РЕЖИМЫ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ТОПЛИВ ТЭС И КОТЕЛЬНЫХ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ЗОНЕ ИХ РАЗМЕЩЕНИЯ**

Махсутбек Ф. Т., Ожикенова Ж. Ф.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Прогноз структуры топливно-энергетического баланса России показывает, что нефть и газ останутся доминирующими энергоносителями, при сжигании которых в 2030 г. будет производиться 70% энергии [1]. Следует помнить о том, что большое число электростанций и крупных котельных используют мазут в качестве основного топлива, на всех электростанциях и котельных, работающих на газовом топливе, имеются резервные мазутные хозяйства, а электростанции и котельные, работающие на угле, часто используют мазут для растопки и подсвечивания факела [2].

Действующие по сегодняшний день отраслевые методики расчета и проектирования мазутных хозяйств далеко не в полной мере отражают все особенности тепловых процессов, происходящих на всех стадиях подготовки мазута к сжиганию [3].

Одним из перспективных подходов к исследованию тепловых потерь резервуаров ТЭС и котельных в условиях реальной эксплуатации является использование разнообразных коммерческих или открытых пакетов прикладных программ, позволяющих учитывать различные эффекты и процессы, приводящие к интенсификации процессов переноса в рассматриваемых системах.

Целью работы является математическое моделирование тепловых потерь резервуаров ТЭС и котельных, расположенных в зонах влияния инженерных сооружений и численный анализ тепловых режимов рассматриваемых объектов в подобных условиях.

Рассматривается типичный вертикальный цилиндрический стальной подземный резервуар марки РВС–100. На рисунке 1 показано схематическое изображение области решения рассматриваемой задачи.

Для рассматриваемой области (рисунок 1) решается двумерная стационарная задача теплопроводности в системе «подземный резервуар – окружающая среда» с учетом наличия инженерных сооружений в зоне размещения резервуаров ТЭС и котельных.

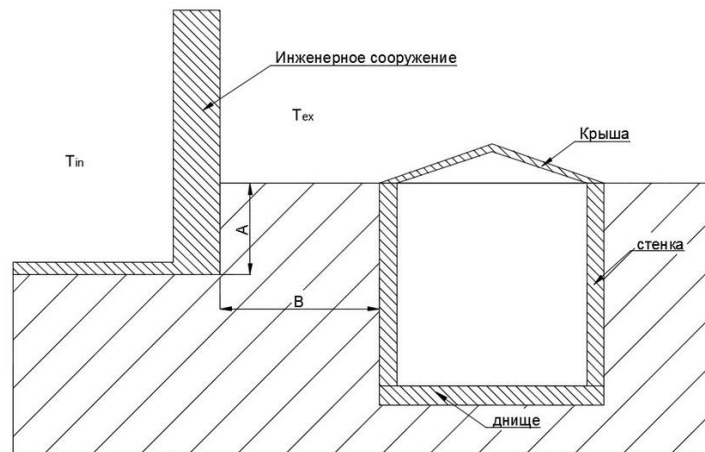


Рис. 1. Схема поперечного сечения области решения

Процессы переноса тепла для рассматриваемого объекта (рисунок 1) будут описываться следующими соотношениями:

$$\nabla^2 T_{из} = 0, \quad (1)$$

$$\nabla^2 T_{г} = 0, \quad (2)$$

$$\nabla^2 T_{ф} = 0. \quad (3)$$

$$T_{из,1} = T_M = \text{const}. \quad (4)$$

$$\lambda_{из} \text{grad}(T_{из,2}) = \lambda_{г} \text{grad}(T_{г,2}); \quad T_{из,2} = T_{г,2}; \quad (5)$$

$$\lambda_{г} \text{grad}(T_{г,3}) = \lambda_{ф} \text{grad}(T_{ф,3}); \quad T_{г,3} = T_{ф,3}. \quad (6)$$

$$-\lambda_{г} \text{grad}(T_{г,4}) = \alpha(T_{г,4} - T_{ex}), \quad (7)$$

$$-\lambda_{ф} \text{grad}(T_{ф,5}) = \alpha(T_{ф,5} - T_{ex}). \quad (8)$$

$$-\lambda_{ф} \text{grad}(T_{ф,6}) = \alpha(T_{ф,6} - T_{in}). \quad (9)$$

$$-\lambda_{ф} \text{grad}(T_{ф,7}) = \alpha(T_{ф,7} - T_{in}), \quad (10)$$

$$\text{grad}(T_{г}) = 0, \quad x \rightarrow \pm\infty, \quad y \rightarrow -\infty. \quad (11)$$

$$\text{grad}(T_{ф}) = 0, \quad x \rightarrow \pm\infty, \quad y \rightarrow +\infty. \quad (12)$$

**Обозначения:**  $T$  – температура, К;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/м<sup>2</sup>·К.

**Индексы:** из – слой тепловой изоляции; г – грунт; м – мазут; ф – фундамент инженерного сооружения; in – внутренний; ex – наружный; 1 – внутренняя поверхность изоляции резервуара; 2 – граница раздела «корпус резервуара- грунт»; 3 – граница раздела «грунт – фундамент инженерного сооружения»; 4 – граница раздела «грунт – окружающая среда»; 5 – граница раздела «грунт – инженерного сооружения»; 6 – граница раздела «фундамент – воздух внутри инженерного сооружения». 7 – граница раздела «пол подвала – воздух внутри инженерного сооружения».

Рассматриваемая задача (1) – (12) решена с применением средств и функций пакета программ мультифизического моделирования COMSOL Multiphysics с использованием модуля General Heat Transfer [4].

Исследование проводилось для резервуара марки РВС-100 с тепловой изоляцией из минеральной ваты (толщина 50 мм).

При проведении численного моделирования предполагалось, что температура внутренней поверхности резервуара имеет постоянное значение, равное температуре хранящегося топлива  $t_m = 80$  °С. Расстояние от внешней изоляции резервуара до фундамента составляло  $B = 20$  м, а заглубление фундамента  $A = 2$  м [5]. Температура окружающей среды  $T_{ex}$  принималась равной средней температуре воздуха за период отопления в городе Томск [7], а температура воздуха внутри инженерного сооружения составляло  $T_{in} = 293,15$  К. В таблице 1 приведены теплофизические характеристики материалов и веществ, использовавшиеся при проведении исследований [6].

**Таблица 1.** Теплофизические характеристики материалов

Материал	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Удельная теплоемкость, Дж/(кг·°С)
Минеральная вата	150	0,046	840
Железобетон	2200	1,54	887
Грунт	1835	1,42	1155

Основные результаты численного моделирования тепловых режимов резервуаров для хранения топлив ТЭС и котельных с учетом влияния инженерных сооружений в зоне их размещения приведены в таблице 2 и на рисунках 2, 3.

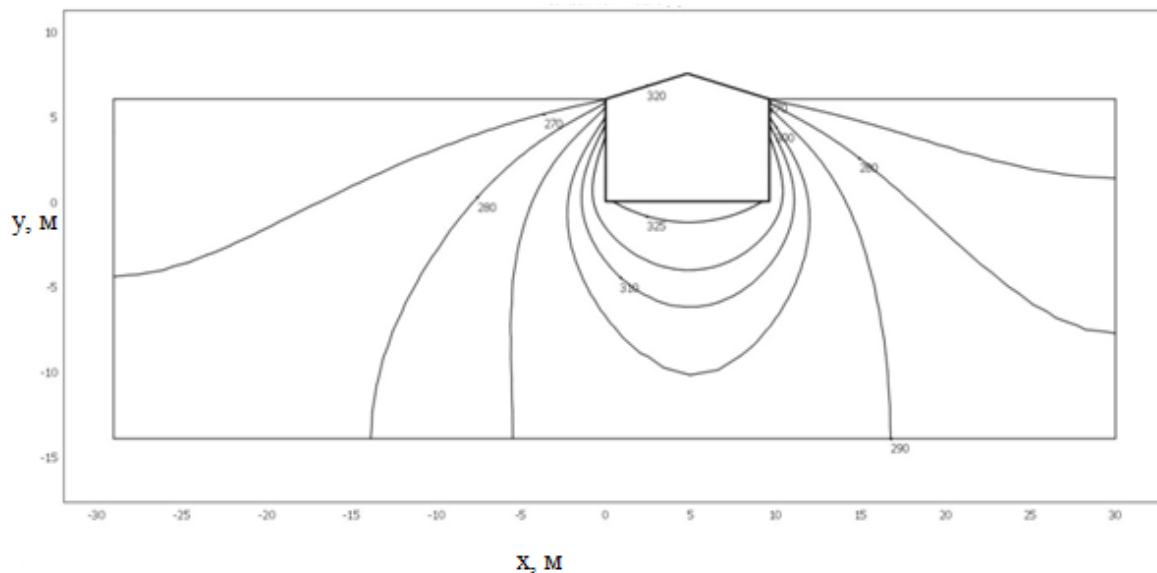
В таблице 2 приведены значения тепловых потерь  $Q_1$  рассчитываемого объекта без учета наличия инженерных сооружений и  $Q_2$  – с учетом наличия инженерных сооружений в зоне размещения резервуаров для хранения топлив ТЭС и котельных.

**Таблица 2.** Результаты расчета тепловых потерь

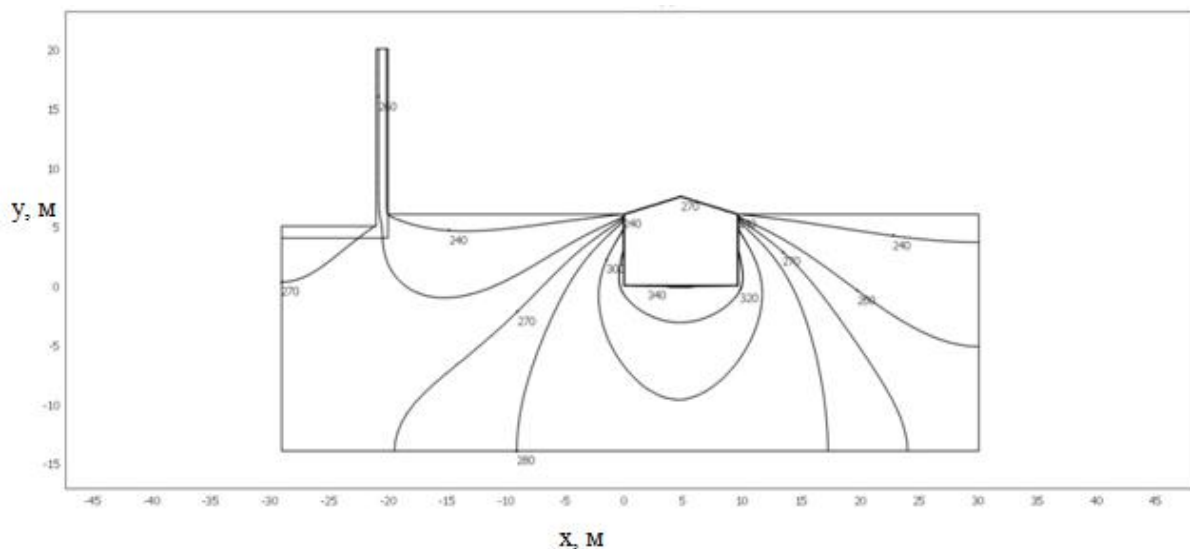
Вариант расчета	Температура окружающей среды, °С	$Q_1$ , кВт	$Q_2$ , кВт	$\delta = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2}$ , %
сентябрь	+9,2	97,451	97,638	0,192
октябрь	+0,9	109,140	109,103	0,034
ноябрь	-10,4	124,727	124,719	0,006
декабрь	-17,5	134,281	134,730	0,333
январь	-19,2	136,641	136,866	1,334
февраль	-16,7	133,157	133,419	0,196
март	-10,1	124,090	124,314	0,180
апрель	-0,1	110,264	110,490	0,205
май	+8,6	98,275	98,462	0,190
июнь	+15,3	89,021	89,208	0,210

Результаты численного анализа тепловых потерь резервуаров для хранения топлив ТЭС и котельных, приведенные в таблице 4, свидетельствуют о том, что наличие инженерного сооружения в зоне их размещения мало влияют на изменение тепловых потерь, поэтому можно пренебречь этим показателем.

На рисунках 2, 3 приведены типичные температурные поля в зоне резервуаров для хранения топлив ТЭС и котельных при отсутствии близрасположенных инженерных сооружений (рис.2) и при их наличии (рис.3).



**Рис. 2.** Типичные температурные поля в зоне размещения резервуаров для хранения топлив ТЭС и котельных при температуре окружающей среды  $-40^{\circ}\text{C}$



**Рис. 3.** Типичные температурные поля в зоне размещения резервуаров для хранения топлив ТЭС и котельных при температуре окружающей среды  $-40^{\circ}\text{C}$  с учетом влияния инженерного сооружения

## ЛИТЕРАТУРА

1. Развитие теплоснабжения в России в соответствии с Энергетической стратегией до 2030г. // Новости теплоснабжения. – 2010. – № 2. – С. 6–9.
2. Олимпиев В.В., Михеев Н.И., Молочников В.М. Энергосберегающая технология хранения и подогрева мазута в мазутных хозяйствах ТЭС и котельных // Известия академии наук. Энергетика. – 2005. – №1 – С. 14 – 1
3. Назмеев Ю.Г. Мазутные хозяйства ТЭС. – М.: МЭИ, 2002. – 612 с.
4. Бирюлин Г.В. Теплофизические расчеты в конечно-элементном пакете COMSOL/FEMLAB. СПб.: СПбГУИТМО, 2006. – 89 с.
5. СНиП 2.11.03-93. Строительные нормы и правила. Склады нефти и нефтепродуктов. Противопожарные нормы. М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2011. – 46 с.
6. Гува А.Я. Краткий теплофизический справочник. Новосибирск: Сибвузиздат, 2002. – 300 с.
7. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. Учебник для вузов. М.: Издательство МЭИ. 2001. – 472 с.

## ПРЯМОЙ ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ОКСИДОВ МЕДИ

Фирсов К. Е., Сайгаш А. С., Сивков А. А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г.Томск

Оксиды меди в нанодисперсном состоянии являются перспективными материалами для создания высокотемпературных сверхпроводников, полупроводниковых сенсоров, эффективных катализаторов]. Они находят применение в качестве добавок к электродным материалам для изготовления высокопроводящих кислородных электродов с высокой электрохимической активностью, в качестве селективного поглотителя солнечной энергии в составе покрытия тепловых преобразователей солнечной энергии[1], а также используются для придания медицинским материалам биоцидных свойств[2]. Нанодисперсные порошки оксидов меди получают разными способами: методом электролиза металлической меди с использованием переменного тока промышленной частоты[3], синтез  $\text{CuO}$  электрическим взрывом проводников[4], методом катодного восстановления из водно-органических растворов электролитов[5].

Одним из перспективных методов синтеза нанодисперсных кристаллических материалов различного состава является их прямое получение в высокоскоростной импульсной струе плотной электроэрозионной плазмы, генерируемой импульсным сильноточным ( $\sim 10^5$  А) коаксиальным магнитоплазменным ускорителем[6]. Целью данной работы являлось исследование особенностей дисперсного, фазового и химического состава продуктов синтеза.

Композиционные электродные материалы могут быть отнесены к дисперсно-упрочненным спеченным сплавам. Контактные материалы, используемые в узлах коммутации электрического тока высоко- и низковольтного назначения, должны обладать комплексом самых разнообразных свойств: малое удельное и контактное сопротивление, незначительная эрозия (т. е. способность противостоять массопереносу в условиях дугового разряда и свариваемости при замыкании и размыкании), механическая прочность и термическая инертность, высокая теплопроводность и т. д.

Плазмодинамический метод является достаточно универсальным и базируется на использовании сильноточного (порядка  $10^5$  А) импульсного (до  $10^{-3}$  с) коаксиального магнитоплазменного ускорителя (КМПУ) эрозионного типа[6].