

планирует не только продолжать строительство новых мощностей на своей территории, но и увеличивать объемы инвестирования в перспективные зарубежные проекты. Следующие строки рейтинга принадлежат Германии (65,6) и США (64,9) – правительства которых активно расширяют сложившуюся инфраструктуру для будущего развития чистой электроэнергетики. Мировой объем инвестирования чистой энергетики в 2012 году составил 268,7 млрд. \$, в то время как в 2011 году во все виды ВИЭ поступило 257,7 млрд. \$ инвестиций. Устойчивое развитие отрасли повышает ее привлекательность для различных инвесторов. Дальнейшая разработка и реализация стратегий использования ВИЭ все большим числом компаний обусловлена необходимостью эффективного управления рисками в силу волатильности цен на традиционные энергоносители и будет способствовать снижению себестоимости производства новой энергии. Модель «коричневой» экономики в высокой степени зависима от извлекаемой из ископаемого топлива энергии. Ограниченность и невозобновляемость таких запасов ставит вопрос о необходимости перехода к возобновляемой энергетике. В ходе проведенной работы было выявлено, что высокий уровень субсидирования является инструментом снижения реальной стоимости «грязной» энергетики и барьером для развития ВИЭ. В рамках био-зависимой модели экономики, ископаемое топливо должно быть заменено «зеленой» энергией и технологиями по снижению нагрузки на окружающую среду.

Список литературы:

1. Delivering on Renewable Energy around the world. «How do key countries stack up?». Natural Resources defense council (NRDC). URL: <http://www.nrdc.org/energy/12060701.asp>
2. Developing Countries Subsidize Fossil Fuels, Artificially Lowering Prices. Institute for energy research. URL: <http://www.instituteforenergyresearch.org/2013/01/03/developing-countries-subsidize-fossil-fuel-consumption-creating-artificially-lower-prices/>
3. Fossil Fuels and Renewable Energy Resources. Energy's Future Today. Ecology Global Network. URL: <http://www.ecology.com/2011/09/06/fossil-fuels-vs-renewable-energy-resources/>
4. Lester R. Brown. Data Highlights. Governments Spend \$1.4 Billion Per Day to Destabilize Climate. URL: http://www.earth-policy.org/data_highlights/2012/highlights24
5. Renewable energy country attractiveness indices. February 2013. URL: [http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/Renewable_energy_country_attractiveness_indices_February_2013/\\$FILE/Renewable_energy_country_attractiveness_indices.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/Renewable_energy_country_attractiveness_indices_February_2013/$FILE/Renewable_energy_country_attractiveness_indices.pdf)
6. Идрисов Т. Экологическая организация «маленькая земля». Рубрика: Природа и человек. Электронный доступ: <http://www.clicr.ru/post/show/id/1420>
7. Регламент (ЕС) №1005/2009 Европейского Парламента и Совета ЕС о субстанциях, разрушающих озоновый слой (в новой редакции, Страсбург, 16 сентября 2009 г.). Электронный доступ: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=INT;n=55173>

УДК 621.643

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИСПАРЕНИЯ ВЛАГИ НА ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ ТЕПЛОПРОВОДОВ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В УСЛОВИЯХ УВЛАЖНЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ

Губина Е.В., Половников В.Ю.
E-mail: KatyaTomsk@sibmail.com

Научный руководитель: к.т.н., доцент, Половников В.Ю., ТПУ ЭНИН каф. ТПТ

Уровень тепловых потерь в тепловых сетях РФ оценивается в 30 % полезного теплотребления абонентов [1]. Отдельный интерес представляет анализ тепловых потерь теплопроводов в условиях увлажнения изоляции [2]. При этом в [2] не учитывается влияние фазовых переходов в структуре слоя теплоизоляции на интенсификацию тепловых потерь.

Целью данной работы является численный анализ тепловых потерь теплопроводов в условиях увлажнения тепловой изоляции с учетом испарения влаги на границе раздела «стенка трубы – слой изоляции».

Рассматривается задача теплопроводности в системе «стенка трубы – слой увлажненной теплоизоляции». На границе раздела «стенка трубы – слой увлажненной изоляции» учтен процесс испарения. На рис. 1 показана область решения рассматриваемой задачи.

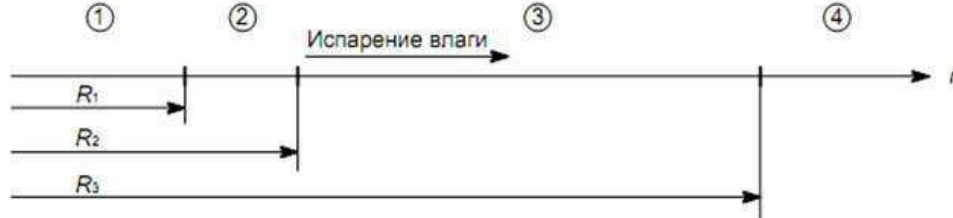


Рисунок. 1. Схематическое изображение области решения: 1 – теплоноситель; 2 – стенка трубы; 3 – слой увлажненной изоляции; 4 – окружающая среда.

Математическая модель

Математическая постановка задачи имеет вид:

$$\frac{\partial T_{тр}}{\partial \tau} = a_{тр} \left(\frac{\partial^2 T_{тр}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_{тр}}{\partial r} \right), \quad R_1 \leq r < R_2; \quad (1)$$

$$\frac{\partial T_{и}}{\partial \tau} = a_{эф} \left(\frac{\partial^2 T_{и}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_{и}}{\partial r} \right), \quad R_2 < r \leq R_3. \quad (2)$$

$$\tau = 0, R_1 \leq r \leq R_3, T_{тр} = T_{из} = T_0 = \text{const}. \quad (3)$$

$$\tau > 0, r = R_1, T_{тр} = T_1 = \text{const}; \quad (4)$$

$$\tau > 0, r = R_2, -\lambda_{тр} \frac{\partial T_{тр}}{\partial r} = -\lambda_{эф} \frac{\partial T_{и}}{\partial r} - QW; \quad (5)$$

$$\tau > 0, r = R_3, -\lambda_{эф} \frac{\partial T_{и}}{\partial r} = \alpha(T_{и} - T_{ос}). \quad (6)$$

Обозначения: T – температура, К; τ – время, с; a – коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{с}$; r – координата, м; R – граница области расчета, м; λ – теплопроводность, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; Q – теплота фазового перехода, $\text{Дж}/\text{кг}$; W – массовая скорость испарения, $\text{кг}/\text{с}$; α – коэффициент теплоотдачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$.

Индексы: тр – труба; 1, 2, 3 – номера границ; тр – труба; и – изоляция; 0 – начальный момент; эф – эффективный; ос – окружающая среда.

Массовая скорость испарения определялась из соотношения [3]:

$$W = \frac{A(P_{нас} - P_{парц})}{\sqrt{\frac{2\pi R_g}{M} T(\tau, R_2)}},$$

где: A – коэффициент аккомодации; $P_{нас}$ – давление насыщения, Па; $P_{парц}$ – парциальное давление испаряющейся компоненты, Па; R_g – газовая постоянная, $\text{Дж}/(\text{кмоль}\cdot\text{К})$; M – молекулярная масса паров, $\text{кг}/\text{моль}$.

Коэффициент аккомодации вычислялся по формуле [4]:

$$A = \frac{0,059}{P_{нас}^{0,5}}.$$

Парциальное давление испаряющейся компоненты определялось по аналогии с процессом поверхностного испарения [5]:

$$\psi = \frac{P_{парц}}{P_{нас}} = \frac{m_v}{m_v + m_{п}},$$

где: m – массовая доля; v – вода; p – пар.

Исходя из физических соображений, ясно, что m_v значительно больше m_p . Следовательно, для рассматриваемой задачи можно принять ψ как параметр: $\psi \approx 0,999\dots 0,995$.

Теплофизические свойства слоя увлажненной изоляции определялись с учетом объемных долей каждой компоненты [6]. Например, эффективная теплопроводность вычислялась из соотношения:

$$\lambda_{эф} = \lambda_i \varphi_i + \lambda_v \varphi_v; \quad \varphi_v + \varphi_i = 1,$$

где: φ – объемная доля.

Задача (1)–(6) решена методом конечных разностей с использованием неявной четырехточечной разностной схемы. Разностные аналоги исходной системы уравнений решены методом «прогонки».

Численный анализ проводился для трубы с диаметром условного прохода 600 мм, изготовленной из стали 10 (толщина 9 мм) и тепловой изоляцией из стеклянной ваты (толщина 70 мм). Значение температуры в рассматриваемой области решения в начальный момент времени принималось равным $T_0=298$ К. Температура внутренней поверхности трубы принималась равной $T_1=363$ К, а температура окружающей трубопровод среды составляла $T_{oc}=298$ К. Коэффициент теплоотдачи от поверхности изоляции к наружному воздуху принимался равным $\alpha = 11$ Вт/(м²·К). Максимальное значение объемной доли воды $\varphi_v = 0,73$.

В таблице 1 приведены значения теплопроводности (λ), теплоёмкости (C), и плотности (ρ) трубопровода, изоляции и воды, использованные при расчетах.

Таблица 1. Теплофизические свойства материалов

Материал	λ , Вт/(м·К)	C , кДж/(кг·К)	ρ , кг/м ³
Сталь 10	57,7	0,466	7860
Стекловата	0,059	0,67	206
Вода	0,571	4,2	1000

Результаты численного моделирования, приведенные в таблице 2, свидетельствуют об ожидаемом росте тепловых потерь теплопровода q_1 с увеличением объемной доли влаги φ_v в пористой структуре слоя тепловой изоляции.

Таблица 2. Результаты численного анализа тепловых потерь по величине объемной доли влаги в слое тепловой изоляции

φ_v	q_1 , Вт/м	$\delta_1 = \frac{q_1^{\varphi \neq 0} - q_1^{\varphi = 0}}{q_1^{\varphi \neq 0}}, 100\%$
0	110,19	-
0,2	271,53	59,4
0,4	404,09	72,7
0,6	515,26	78,6
0,73	578,61	81,0

Величиной δ_2 обозначен рост тепловых потерь теплопровода q_2 по сравнению с потерями без учета испарения при $\varphi_v = 0$ (таблица 2), а значения δ_3 характеризуют отклонения в расчетах тепловых потерь с учетом и без учета испарения при $\varphi_v \neq 0$.

Таблица 3. Результаты численного моделирования по параметру ψ

φ_v	ψ	q_2 , Вт/м	$\delta_2 = \frac{q_2 - q_1^{\varphi = 0}}{q_2}, 100\%$	$\delta_3 = \frac{q_2 - q_1^{\varphi \neq 0}}{q_2}, 100\%$
0,2	0,999	329,63	66,6	17,6
	0,997	445,84	75,3	39,1
	0,995	562,05	80,4	51,7
0,4	0,999	462,17	76,2	12,6
	0,997	578,33	80,9	30,1

	0,995	694,50	84,1	41,8
0,6	0,999	573,33	80,8	10,1
	0,997	689,46	84,0	25,3
	0,995	805,60	86,3	36,0
	0,999	636,61	82,7	9,1
0,73	0,997	752,72	85,4	23,1
	0,995	868,84	87,3	33,4

Отклонение в результатах расчета тепловых потерь с учетом и без учета испарения влаги составляет $\delta_3=9,1-51,7\%$, что свидетельствует о необходимости учета наличия испарения при проведении анализа тепловых режимов теплопроводов, работающих с увлажненной изоляцией.

Вклад эффекта испарения в суммарные тепловые потери составляет от 1,7 до 21 % (табл. 2, 3) в зависимости от значений φ_v и ψ . Анализ нестационарности процессов теплопереноса для рассматриваемой задачи свидетельствует о том, что время выхода процессов на стационарный режим не превышает 20 000 секунд, что хорошо согласуется с результатами проведенных ранее исследований [2].

Исследование выполнено при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 12-08-00201-а и гранта Президента РФ № МК-1652.2013.8.

Литература

1. Ватин Н.И., Дубов В.В., Петраков Г.П. Внедрение РМД 41-11-2012 Санкт-Петербург «Устройство тепловых сетей в Санкт-Петербурге». – 2013. – № 1(6). – С. 48–54.
2. Кузнецов Г.В., Половников В.Ю. Численное моделирование теплового состояния трубопровода в условиях затопления с учетом нестационарности процесса насыщения теплоизоляции влагой // Теплоэнергетика. – 2008. – № 5. – С. 60–64.
3. Полежаев Ю. В., Юревич Ф. Б. Тепловая защита. – М.: Энергия, 1976. – 392 с.
4. Санду С.Ф. Математическое моделирование процессов переноса тепла и массы в испарительно-конденсационных системах теплопередачи энергетических установок // Известия Томского политехнического университета. – 2003. – Т. 306. – № 4. – С. 60–63.
5. Берман Л.Д. Испарительное охлаждение циркуляционной воды. – М-Л.: Госэнергоиздат, 1949. – 440 с.
6. Чудновский А.Ф. Теплофизические характеристики дисперсных материалов. – М.-Л.: Физматгиз, 1962. – 456 с.

ПОРОГОВЫЕ РЕАКЦИИ В ОБЛУЧЕННОМ КЕРАМИЧЕСКОМ ЯДЕРНОМ ТОПЛИВЕ

Кнышев В.В., Плевако М.Н., Храпов Д.А.
E-mail: utas_1993@inbox.ru

*Научный руководитель: кандидат физико-математических наук, доцент, Беденко С.В., ТПУ
ФТИ Кафедра физико-энергетических установок.*

Повышение эффективности ядерной энергетики связано с решением следующих основных задач. Первая задача связана с регенерацией ОЯТ АЭС и возвращением его в ЯТЦ. Вторая задача обусловлена резко возросшей глубиной выгорания ОЯТ, вплоть до 120 МВт-сут/т [1 – 3].

Увеличение глубины выгорания более 70 МВт-сут/т будет сопряжен с непреодолимыми радиационными проблемами на стадии транспортировки контейнеров (ТУК), которые имеют иные защитные характеристики, так же на стадии радиохимического передела ОЯТ и возвращение его в ЯТЦ.

Поле ионизирующего излучения ОЯТ формируется γ -квантами, нейтронами, возникающими в результате спонтанного деления ядер актиноидов, и нейтронами, образующимися в результате протекания (α, n)- и (γ, n)-реакций. Но удельная нейтронная активность, обусловлена протеканием (α, n)-реакции на легких ядрах.

В связи с этим цель работы, определение нейтронной составляющей радиационных