

21-Теплофизика

Бежан Алексей Владимирович, м.н.с.

Апатиты, Центр физико-технических проблем энергетики Севера Кольского научного центра РАН (ЦФТПЭС)

Математическое моделирование теплового аккумулятора цилиндрической формы

e-mail: abezh@rambler.ru

стр. 472

Гичёва Наталья Ивановна, магистрант 1 года обучения

Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физико-технический

Моделирование влияния вращения на процессы в реакторе газофазной технологии

Шваб Александр Вениаминович, д.ф.-м.н.

e-mail: tashka-zenit@mail.ru

стр. 473

Глухов Андрей Юрьевич, ст.преподаватель

Волгоград, Волгоградский государственный университет, Физико-технический институт

Решение начально-краевых задач для уравнения теплопроводности методом интегральных уравнений

Сиплиный Борис Николаевич, д.т.н.

e-mail: aglukhov@live.ru

стр. 474

Дьяков Егор Андреевич, магистрант 1 года обучения

Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, физико-технический

Моделирование гидродинамики и теплообмена течения гранулированной среды в кольцевом бункере с n количеством препятствий

Шваб Александр Вениаминович, д.ф.-м.н.

e-mail: diakowegor@mail.ru

стр. 476

Капитунов Олег Александрович, 4 курс

Екатеринбург, Уральский федеральный университет, физико-технологический институт

Вскипание перегретой воды при истечении через короткий квадратный канал

Решетников Александр Васильевич, д.ф.-м.н.

e-mail: kapitunov.olezhka@mail.ru

стр. 477

Каримов Шерзод Хошимович, соискатель

Фергана, Ферганский государственный университет, физико-математический

Сушилка фруктов и овощей на основе солнечной панели и коллектора

Каримов Баходир Хошимович, к.ф.-м.н.

e-mail: b_karimov48@mail.ru

стр. 478

Поволоцкий Илья Ильич, магистрант 2 года обучения

Екатеринбург, Уральский федеральный университет, институт естественных наук и математики, физический

Тепловое сопротивление растворов с отрицательным объемом смешения: изопропанол- этиленгликоль, изопропанол-триэтиленгликоль

Волосников Дмитрий Владимирович, к.ф.-м.н.

e-mail: iliyapov@rambler.ru

стр. 479

Султангужин Руслан Фуатович, аспирант 2 года обучения

Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт

Исследования процесса нагрева электромагнитным полем нефтенасыщенной модели пласта

Ковалева Лиана Ароновна, д.т.н.

e-mail: kemperfromrb@gmail.com

стр. 480

Шербанюк Никита Вячеславович, магистрант 2 года обучения

Екатеринбург, Уральский федеральный университет, институт естественных наук и математики, физический

Омнифобные свойства некоторых гидрофобных покрытий

Каверин Алексей Михайлович, к.ф.-м.н.

e-mail: Kirinrk@yandex.ru

стр. 481

Математическое моделирование теплового аккумулятора цилиндрической формы

Бежан Алексей Владимирович

Центр физико-технических проблем энергетики Севера Кольского научного центра РАН
abezh@rambler.ru

Основное назначение теплового аккумулятора (ТА) – накапливать избытки тепловой энергии и далее по мере необходимости расходовать запасённое тепло, дополняя работу источников тепловой энергии. В данной статье рассматривается способ математического описания водяного ТА цилиндрической формы, представляющего собой ёмкость с водой, которая ограничена одной цилиндрической стенкой и двумя плоскими стенками [1]. Тепловые потери такого аккумулятора будут складываться из потерь тепла через все три стенки:

$$Q_{nom} = 2Q_F + Q_L, \quad (1)$$

где Q_F и Q_L - тепловые потери соответственно через плоскую и цилиндрическую стенки ТА.

Для ТА цилиндрической формы, длина которого L , тепловой баланс математически можно представить в следующем виде:

$$\frac{d(V_{TA} C_p T_{TA})}{dt} = Q_{TA}^{(0)} - Q_{TA} - Q_{nom}, \quad (2)$$

или

$$\frac{d(V_{TA} C_p T_{TA})}{dt} = v_{TA} C_p T_{TA}^{(0)} - v_{TA} C_p T_{TA} - \left[2K_{2F} F_{окр} (T_{TA} - T_B) + K_{2L} D_{нар} \pi L (T_{TA} - T_B) \right], \quad (3)$$

где $Q_{TA}^{(0)}$ и Q_{TA} - тепло, соответственно поступающее в ТА и выходящее из него, Вт; V_{TA} - объём теплового аккумулятора, м³; C_p - теплоёмкость воды, кВт·ч/м³·град; T_{TA} и $T_{TA}^{(0)}$ - температура воды соответственно аккумулятора и поступающей в него, °С; v_{TA} - расход воды, поступающей и выходящей из ТА, м³/ч; K_{2F} и K_{2L} - коэффициенты теплоотдачи со стороны воздуха соответственно для плоской и цилиндрической стенок ТА, Вт/(м²·град); $F_{окр}$ и $D_{нар}$ - соответственно площадь и наружный диаметр плоской (торцевой) стенки ТА, выполненной в форме окружности, м² и м; T_B - температура внутреннего воздуха помещения, °С.

После преобразований уравнение (3) принимает вид:

$$\frac{d(V_{TA} C_p T_{TA})}{dt} = v_{TA} C_p T_{TA}^{(0)} - v_{TA} C_p T_{TA} - \left[(2K_{2F} F_{окр} + K_{2L} D_{нар} \pi L) \cdot (T_{TA} - T_B) \right]. \quad (4)$$

Проинтегрировав уравнение (4), можно получить экспоненциальную зависимость температуры водяного цилиндрического теплового аккумулятора от времени при начальных условиях ($t=0$) T_{TA_0} , v_{TA_0} , $T_{TA_0}^{(0)}$, T_{B_0} :

$$T_{TA} = \frac{v_{TA} T_{TA}^{(0)} + \frac{(2K_{2F} F_{окр} + K_{2L} D_{нар} \pi L) T_B}{C_p}}{v_{TA} + \frac{(2K_{2F} F_{окр} + K_{2L} D_{нар} \pi L)}{C_p}} + \left(\exp \left[- \left(\frac{v_{TA}}{V_{TA}} + \frac{(2K_{2F} F_{окр} + K_{2L} D_{нар} \pi L)}{V_{TA} C_p} \right) \cdot t \right] \right) \cdot \left(T_{TA_0} - \frac{v_{TA_0} T_{TA_0}^{(0)} + \frac{(2K_{2F} F_{окр} + K_{2L} D_{нар} \pi L) T_{B_0}}{C_p}}{v_{TA_0} + \frac{(2K_{2F} F_{окр} + K_{2L} D_{нар} \pi L)}{C_p}} \right). \quad (5)$$

Математическое моделирование работы водяного ТА цилиндрической формы в режиме ожидания тепловой нагрузки. Рассмотрим случай, когда ТА объёмом 100 м³ заряжен до состояния, соответствующего температуре воды $T_{TA_0} = 95^\circ\text{C}$. Длина и наружный диаметр аккумулятора соответственно составляют $L = 8$ м и $D_{нар} = 4$ м. Предполагаем, что аккумулятор установлен в помещении, температура внутреннего воздуха которого составляет $T_B = 10^\circ\text{C}$. В режиме ожидания тепловой нагрузки изменение температуры воды аккумулятора происходит только вследствие потерь тепла.

Если в течение всего периода охлаждения воды будет отсутствовать поступление тепловой энергии в ТА, то он способен разрядиться до $T_b = 10^\circ\text{C}$. При $K_{2F} = 30 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$ время разрядки варьируется от 6.5 до 3.5 суток в зависимости от значения K_{2L} , меняющегося соответственно от 30 до 70 $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$ (рис. 1).

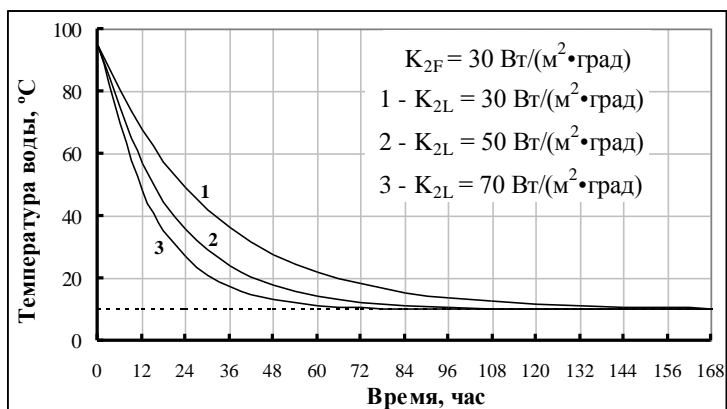


рис. 1 Зависимость температуры воды теплового аккумулятора цилиндрической формы от времени

Выводы: получена математическая модель водяного аккумулятора тепла цилиндрической формы, позволяющая прогнозировать изменение температуры воды аккумулятора во времени в зависимости от его геометрических и теплотехнических характеристик.

Список публикаций:

[1] Бежан А. В. // Труды КНЦ РАН. Серия Энергетика. Выпуск 13. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН. 2016. № 5. С.55-62.

Моделирование влияния вращения на процессы в реакторе газовой технологии

Гичёва Наталья Ивановна

Дьяков Егор Андреевич

Томский государственный университет

Шваб Александр Вениаминович, д.ф.-м.н.

tashka-zenit@mail.ru

Развитие промышленности требует высокого качества используемых материалов. Большой интерес в различных областях индустрии представляют устойчивые к деформации, коррозии, высоким температурам тугоплавкие металлы. Одним из наиболее востребованных тугоплавких металлов является вольфрам. Оптимальным и перспективным методом его получения является химическое осаждение из парогазовой фазы путём восстановления гексафторида вольфрама водородом.

В работе представлено численное моделирование гидродинамики и теплопереноса жидкости в вихревой камере химического реактора смешения непрерывного действия для получения тугоплавких металлов с целью отслеживания влияния вращения потока, используемого для получения равномерного слоя вещества на подложке. Реактор имеет цилиндрическую форму, выпуск газов осуществляется через трубу на оси вихревой камеры, а выпуск – через кольцевой канал на периферии камеры. Верхняя и нижняя стенка вихревой камеры могут вращаться. Нижняя стенка нагревается, остальные – теплоизолированы. Описанные процессы могут быть математически формализованы с помощью уравнений Навье-Стокса, неразрывности, переноса тепла и массы:

$$\frac{\partial u_r}{\partial t} + \frac{\partial (u_r)^2}{\partial r} + \frac{\partial (u_z u_r)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial r} + \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial^2 u_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{\partial^2 u_r}{\partial z^2} - \frac{u_r}{r^2} \right) + \frac{u_\varphi^2}{r} - \frac{u_z^2}{r}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_z}{\partial t} + \frac{\partial (u_r u_z)}{\partial r} + \frac{\partial (u_z)^2}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial^2 u_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} \right) - \frac{u_r u_z}{r} + \frac{Gr}{Re^2} \theta; \quad (2)$$

$$\frac{\partial u_\varphi}{\partial t} + \frac{\partial (u_r u_\varphi)}{\partial r} + \frac{\partial (u_z u_\varphi)}{\partial z} = -\frac{2u_r u_\varphi}{r} + \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial^2 u_\varphi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_\varphi}{\partial r} + \frac{\partial^2 u_\varphi}{\partial z^2} - \frac{u_\varphi}{r^2} \right); \quad (3)$$

$$\frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{\partial u_z}{\partial z} + \frac{u_r}{r} = 0; \quad (4)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{\partial (u_r \theta)}{\partial r} + \frac{\partial (u_z \theta)}{\partial z} = \frac{1}{Re \cdot Pr} \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \theta}{\partial r} \right) - \frac{u_r \theta}{r}. \quad (5)$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial(u_r c)}{\partial r} + \frac{\partial(u_z c)}{\partial z} = \frac{1}{Re \cdot Pr_D} \left(\frac{\partial^2 c}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial c}{\partial r} \right) - \frac{u_r c}{r} \quad (6)$$

Численное решение проводилось с использованием неявной обобщённой схемы переменных направлений в Δ -форме. Достоверность расчётов подтверждена сопоставлением различных способов решения, а также сравнением с известными аналитическими решениями. Получены распределения полей скорости, температуры, концентрации в вихревой камере, рассчитанные при различных значениях параметра закрутки – критерия Россби Rw . Результаты свидетельствуют о существенном влиянии закрутки на гидродинамику потока; показано выравнивание полей распределения температуры и концентрации при закручивании потока, что имеет большую практическую значимость для получения равномерных покрытий на подложке (рис. 1).

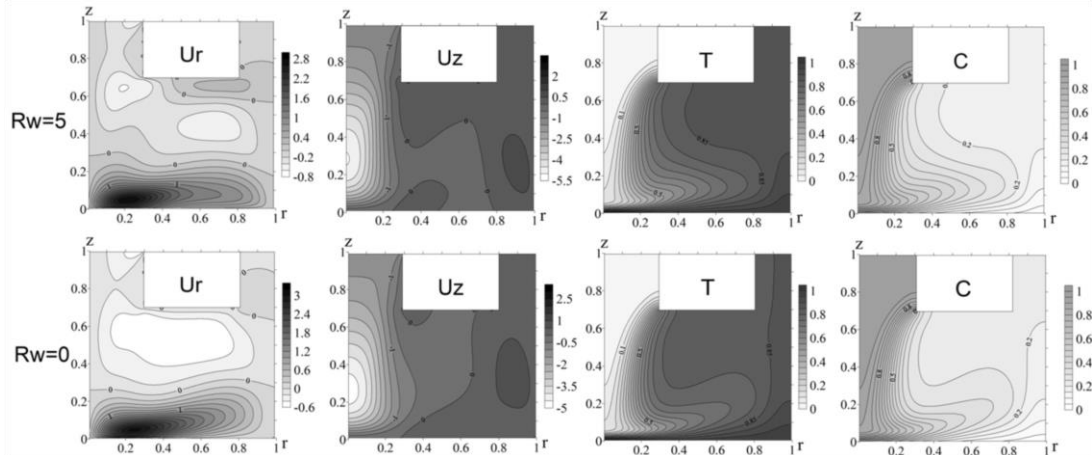


рис. 1. Влияние закрутки течения на его характеристики: радиальная составляющая скорости, аксиальная составляющая скорости, температура, концентрация

Решение начально-краевых задач для уравнения теплопроводности методом интегральных уравнений

Глухов Андрей Юрьевич

Афанасьев Анатолий Михайлович

Волгоградский государственный университет

Сипливый Борис Николаевич, д.т.н.

aglukhov@live.ru

При численном исследовании процессов удаления влаги из влагосодержащих материалов электромагнитным излучением возникает необходимость решения начально-краевых задач для уравнения теплопроводности при различных краевых условиях первого, второго и третьего рода в области произвольной формы. Для некоторых тел канонической геометрии удастся получить аналитическое решение [1]. Для областей произвольной формы предлагается численный алгоритм, основанный на использовании функции Грина оператора Лапласа.

Рассмотрим начально-краевую задачу:

$$\begin{cases} \Delta T - \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} = f, \\ T(M, 0) = \psi(M), M \in V, \\ \left. \alpha T(M, t) + \beta \frac{\partial T}{\partial n}(M, t) \right|_{M \in S} = \varphi(M, t). \end{cases} \quad (1)$$

Здесь V – область решения, S – поверхность, ограничивающая V , удовлетворяющая условиям Ляпунова, n – внешняя к S нормаль.

Если известна функция Грина $G(M, N)$ оператора Лапласа для одного из перечисленных краевых условий, то искомое решение представимо в виде [2] (для граничных условий первого рода $\alpha=1, \beta=0$):

$$T(M,t) - \frac{1}{4\pi\alpha} \int_V \frac{\partial T}{\partial n}(N,t) G(M,N) dV_N = \frac{1}{4\pi} \int_V f(N,t) G(M,N) dV_N - \frac{1}{4\pi} \int_S T(N,t) \frac{\partial G}{\partial n_N}(M,N) dS_N. \quad (2)$$

Это соотношение есть интегро-дифференциальное уравнение относительно $T(M,t)$. Интегральный оператор, порождающий это уравнение является самосопряженным в классе квадратично-интегрируемых функций, поэтому для решения (2) применима теорема Гильберта-Шмидта [3].

Разлагая функции $T(M,t)$, $f(M,t)$ в ряды по собственным функциям интегрального оператора и подставляя их в уравнение (2), получаем задачу Коши для коэффициента $c_k(t)$ разложения $T(M,t)$:

$$\frac{dc_k(t)}{dt} + 4\lambda_k \pi \alpha c_k(t) = a_k(t), \\ c_k(0) = \int_V \psi(N) f_k(N) dV_N.$$

Здесь f_k , λ_k - собственные функции и числа интегрального оператора, удовлетворяющие уравнению:

$$f(M) = \lambda \int_V f(N) G(M,N) dV_N, \quad a_k(t) = a_k^{(1)}(t) + a_k^{(2)}(t), \\ a_k^{(1)}(t) = \frac{1}{4\lambda_k \pi} \int_S \varphi(N,t) \frac{\partial f_k(N)}{\partial n_N} dS_N, \quad a_k^{(2)}(t) = \frac{1}{4\lambda_k \pi} \int_V f(N,t) f_k(N) dV_N.$$

Решение $c_k(t)$ представимо в виде:

$$c_k(t) = 4\lambda_k \pi \alpha \int_0^t a_k(\tau) e^{-4\lambda_k \alpha \pi (t-\tau)} d\tau + c_k(0) e^{-4\lambda_k \alpha \pi t}$$

Подставляя найденные $c_k(t)$ в разложение для $T(M,t)$, получим окончательный вид решения:

$$T(M,t) = 4\pi \alpha \sum_{k=1}^{\infty} f_k(M) \left[\lambda_k \int_0^t a_k(\tau) e^{-4\lambda_k \alpha \pi (t-\tau)} d\tau + c_k(0) e^{-4\lambda_k \alpha \pi t} \right] \quad (3)$$

Из (3) следует, что решение (1) выражается через собственные функции и число ядра $G(M,N)$ которые могут быть вычислены методом Келлога [3].

Ядро $G(M,N)$, необходимое для реализации этого метода может быть построено приближенно в виде:

$$G(M,N) = \frac{1}{r_{MN}} + \left(\frac{c_1}{r_{M_1N}} + \frac{c_2}{r_{M_2N}} + \dots + \frac{c_n}{r_{M_nN}} \right),$$

где c_i – мощности источников, расположенных в точках M_i вне области V .

Помещая последовательно точки N в граничные точки Q_i , $i = 1, 2 \dots n$ и приравнивая результаты нулю, получим систему линейных алгебраических уравнений для c_i :

$$\sum_{k=1}^n \frac{c_k}{r_{M_k Q_i}} = -\frac{1}{r_{M Q_i}}, \quad i = 1, 2 \dots n.$$

Данный способ построения $G(M,N)$ можно трактовать, как обобщение метода электростатических изображений [4] на области произвольной формы.

Проведя выкладки, аналогичные приведенным выше, можно вывести формулы вида (3) для граничных условий второго и третьего рода. Таким образом, предложенный метод позволяет естественным образом учесть краевые условия различных типов.

Список публикаций:

- [1] Афанасьев, А.М. // Теоретические основы химических технологий. – 2014. – т. 48. – С. 222.
 [2] Тихонов, А.Н. Уравнения математической физики [Текст] / А.Н. Тихонов, А.А. Самарский. – 7-е изд. – М.: Наука, 2004. – 798 с.
 [3] Васильева, А.Б. Интегральные уравнения [Текст] / А.Б. Васильева, Н.А. Тихонов. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 157 с.
 [4] Боголюбов, А.Н. Функция Грина оператора Лапласа [Текст] / А.Н. Боголюбов, Н.Т. Левашова, И.Е. Могилевский, Ю.В. Мухтарова, Н.Е. Шапкина. – М.: Физический факультет МГУ, 2012. – 130 с.

Моделирование гидродинамики и теплообмена течения гранулированной среды в кольцевом бункере с n количеством препятствий

Дьяков Егор Андреевич

Гичёва Наталья Ивановна

Томский государственный университет

Шваб Александр Вениаминович, д.ф.-м.н.

diakowegor@mail.ru

В настоящее время в различных отраслях промышленности – химической, фармацевтической, пищевой, сельском хозяйстве, металлургии – широко используются и создаются новые порошковые и гранулированные материалы: минеральные удобрения, пластмассы, модифицирующие добавки, композиты и др. Производство таких сыпучих материалов связано с процессами сушки, смешения, измельчения, дозирования и перевозки. Все эти процессы осуществляются в различных аппаратах порошковой технологии, начиная от простых сепараторов и дозаторов и заканчивая сложными комбинированными установками.

В данной работе представлено численное моделирование гидродинамики и теплообмена течения гранулированной среды в кольцевом бункере с n количеством препятствий, которые также можно называть полками. При постановке задачи используется ряд упрощающих допущений. Будем считать, что хорошо сыпучая гранулированная среда состоит из твердых одинаковых шарообразных частиц, находящихся во взаимном контакте друг с другом, причём объём отдельной частицы мал по сравнению с объёмом сыпучего тела и пористость плотного слоя по объёму практически постоянная. Поэтому такую среду можно считать однородной и несжимаемой.

Течение и теплоперенос среды в бункере могут быть описаны системой уравнений в цилиндрической системе координат для осесимметричного случая, включающей уравнения Навье – Стокса, уравнение неразрывности, уравнение переноса тепла. Численное решение реализовывалось двумя методами в переменных «функция тока – вихрь» и физических переменных «скорость – давление». Для численного решения уравнений использовалась неявная обобщённая схема переменных направлений в «дельта» – форме. Решение проводится на разнесённой сетке с использованием контрольного объёма. Конвективные и диффузионные слагаемые описываются с использованием экспоненциальной схемы.

Существенной особенностью предложенной модели движения гранулированной среды является постановка граничных условий на твердых поверхностях. Обычно на стенках ставятся условия прилипания, но опытные исследования показывают, что при движении гранулированной среды в вертикальном канале скорость на стенках не равна нулю, а существует некоторое проскальзывание среды по стенке. Это явление, по-видимому, можно объяснить преобладанием внутренних напряжений в среде по сравнению с силами трения частиц о твердую поверхность. В данной модели для учета эффекта скольжения среды на стенке принимается, что касательные напряжения на стенке пропорциональны скорости движения среды на ней с точностью до некоторой постоянной β , которую назовем коэффициентом скольжения.

Работоспособность и адекватность предложенной модели решения с граничными условиями скольжения проверялась путём сравнения результатов расчёта с экспериментальными данными для установившегося течения гранулированной среды в вертикальной цилиндрической трубе. Достоверность полученных результатов подтверждается сопоставлением методов между собой и исследованием на сеточную сходимость. На (рис. 1) представлен результат сравнения численных и опытных данных для вертикальной составляющей вектора скорости.

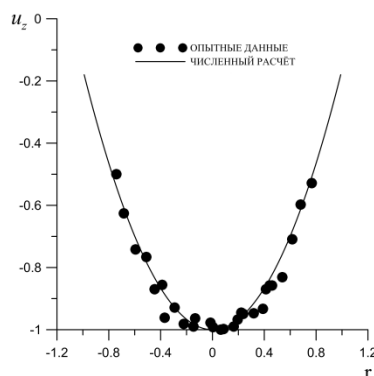


рис. 1. Распределение вертикальной составляющей вектора скорости при $Re = 10$, $\beta = 5$

В данной работе было получено обобщённое решение течения гранулированной среды в кольцевом бункере с n количеством полок. На (рис. 2) представлен подобный профиль течения на произвольном участке.

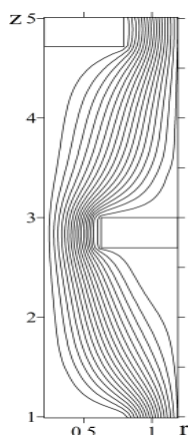


рис. 2. Подобный профиль течения

Проводилось исследование влияния критериев Рейнольдса, Прандтля и безразмерного коэффициента скольжения на распределение полей скорости и температуры. Результаты проведённого исследования могут быть полезны в области сушки и смешения гранулированных сред.

Вскипание перегретой воды при истечении через короткий квадратный канал

Капитунов Олег Александрович

Мажейко Николай Александрович, Бусов Константин Анатольевич

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина

Решетников Александр Васильевич, д.ф.-м.н.

kapitunov.olezhka@mail.ru

Проведенные исследования показали, что истечение вскипающей жидкости через различные виды каналов, которые отличаются по своей длине и геометрической форме, может привести к самым разным, в некоторых случаях трудно предсказуемым явлениям. Например, при смене механизмов парообразования в струе горячей жидкости происходит существенное изменение характеристик и структур потока. В опытах с коротким цилиндрическим обнаружен кризис (резкое уменьшение) расхода жидкости при реализации в потоке парообразования на центрах гомогенной природы.

В данной работе исследование вскипающей воды происходило при истечении струй из камеры высокого давления через короткий квадратный канал (площадь равна $S = 0.25 \text{ мм}^2$) в атмосферу. Канал крепился к рабочей камере с помощью диффузорного прижимного фланца. Изучение проводилось в широком интервале температур от $T = 130^\circ\text{C}$ до $T = 250^\circ\text{C}$ при изменении давления в камере до $p = 4 \text{ МПа}$ вдоль линии насыщения.

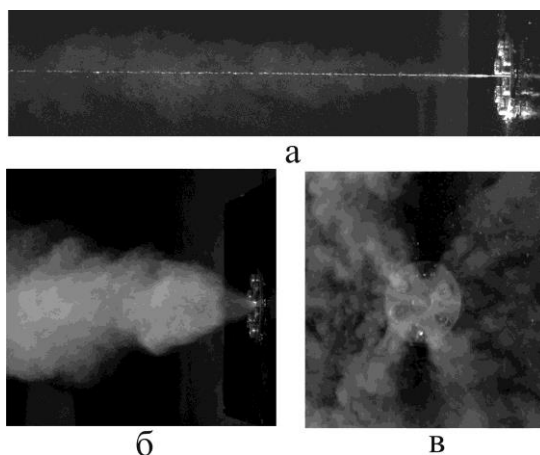


рис.1. Формы струй вскипающей воды при истечении через квадратный канал при различных степенях перегрева: а – малые; б – умеренные; в – высокие перегревы

Опыты показали, что при малых перегревах поток похож на струю не вскипающей жидкости (Рис.1а). С увеличением температуры наблюдается увеличение угла раскрытия струи (рис.1б). При температурах

$T \geq 210^{\circ}\text{C}$ наблюдается полное раскрытие струи ($\alpha = 180^{\circ}$), обусловленное интенсивным объёмным парообразованием на гетерогенных центрах и проявлением эффекта Коанда (рис. 16). На фотографии видно, что поток распространяется преимущественно из углов квадратного отверстия.

Таким образом, в опытах по истечению перегретой воды через короткий квадратный канал, было установлено что различным формам струи соответствуют разные механизмы парообразования (малые, умеренные, высокие перегревы). При высоких перегревах был обнаружен полный развал струи.

Работа выполнена при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант №15-08-02210а, и Программы фундаментальных исследований УрО РАН № 15 – 1 – 2 – 7.

Сушилка фруктов и овощей на основе солнечной панели и коллектора

Каримов Шерзод Баходирович

Ферганский государственный университет

Каримов Баходир Хошимович, к.ф.-м.н.

b_karimov48@mail.ru

В полях фермерских хозяйств и огородах население занимается выращиванием фруктов, овощей и зелени. Одной из задач является сохранение, переработка и консервация фруктов, овощей и зелени.

Как известно большинство населения, используя солнечную энергию, сушит фрукты, овощи и зелень в открытых полях, по краям автомобильных дорог и на крышах домов. При этом на продукцию садятся мухи, птицы, и оседают пыль и разные газы. Это влияет на качество продукции. Для сушки фруктов, овощей и зелени также используют газ и электричество. Безусловно, это удобно и практично, причем для тех, кто живет в многоэтажных домах это единственный вариант для сушки фруктов, овощей. Для жителей частных домов существует еще масса доступных вариантов (жидкое и твердое топливо).

Рассмотрим один из распространенных вариантов сушки овощей и фруктов – вакуумную сушку. Стоит отметить, что ее применение недостаточно эффективно: создание вакуума само по себе не высушит фрукты (процесс будет слишком медленным), подогревать все равно придется, но в условиях вакуума обычные ТЭНы бесполезны (нет конвекции) - греть придется по принципу микроволновки - итого стоимость возрастает. Это невыгодно ни при каких условиях. Вакуумная сушка требует много электрической энергии и поэтому дорога [1,2,3]. Но мало кто знает, что можно сушить фрукты, овощи и зелень и при помощи энергии солнца, экономя на энергоносителях и при этом не загрязняя окружающую среду.

Исходя из выше изложенного, актуальным является создание эффективной, ресурсосберегающей конструкции и технологии для экологически чистой сушки экологически фруктов и овощей.

В данной работе изложено создание эффективной ресурсосберегающей конструкции на основе солнечной панели и коллектора, а также внедрение в практику и технологии сушки экологически чистых фруктов, овощей и зелени.

Устройства сушки фруктов и овощей включает шкаф с дверью, солнечную панель и коллектор. Внизу шкафа сделаны отверстия для входа нагретого воздуха с солнечного коллектора, сверху шкафа сделаны отверстия с задвижкой, которой регулируют температуру и скорость воздуха внутри шкафа. Холодный воздух, проходя через фильтр и солнечный воздушный коллектор, сделанный из гофрированной алюминиевой воздуховодной трубы, нагревается, используя энергию солнца. Нагретый воздух, поступая с нижних отверстий в устройство, нагревается и через верхние отверстия выходит наружу. В данном солнечном воздушном коллекторе использовался алюминиевый гофрированный воздуховод диаметром 0,08 м и длиной 10 м. Его преимущество заключается в том, что гофрированная труба имеет большую площадь наружной поверхности на единицу длины в отличие от гладкой трубы; за счет неровности поверхности внутри трубы создаётся турбулентное движение воздуха, который, в свою очередь, лучше прогревается. Конструкция помещается в коробе размером 1 м² и накрывается стеклом. Площадь солнечного коллектора 1 м². Для более полного поглощения солнечных лучей гофрированный воздуховод покрашен термостойкой черной краской. В качестве утеплителя для задних и боковых стенок был выбран фольгированный пенополистирол толщиной (0,02-0,025) м. Боковые стенки воздушного коллектора из алюминиевой фольги служат отражателями. Чтобы высокая температура негативным образом не воздействовала на вентилятор, он установлен на вход воздушного коллектора. Испытания данного солнечного воздушного коллектора производились при окружающей температуре (17-40)^oC, и уже через (900-1200) секунд температура достигла своего максимума (40-60)^oC. Это достаточно для качественной сушки фруктов и овощей. Вентилятор – куллер от компьютера на 12 В подключён солнечной панели мощностью (30-50) Вт продувает через фильтр снизу в отверстия для входа нагретого воздуха в сушильный шкаф с солнечного коллектора, выходит через верхнее вентиляционное отверстие с

задвижкой, которой регулирует температуру и скорость воздуха внутри шкафа. Таким образом, получаем хорошую вентиляцию, которая выводит влагу наружу, при этом заготовки не плесневеют. Преимущество данного устройства заключается в простой конструкции, автономной работе. Так как шкаф с дверью закрыт со всех сторон кроме нижних и верхних отверстий, при сушке фруктов и овощей на основе солнечных панелей и коллекторов, удаление влаги возможно при невысокой температуре (40-60)° С.

Данный метод дает возможность практически полностью сохранить витамины и качество продукта, биологически активные вещества, естественный цвет, вкус и аромат. Устройства для сушки овощей и фруктов на основе солнечной панели и коллектора является наиболее перспективным в настоящее время.

Разработана технология сушки абрикосов, сливы, дыни, яблок и т.д. Разработано два варианта сушки фруктов, овощей и зелени вместимостью 10 и 30 кг. Методика подготовки продуктов к сушке следующая: промыть в чистой воде, нарезать удалить косточки и нарезать мелкими дольками. Нарезанные кусочки желателно опустить в аскорбиновую кислоту и подержать там 20 минут. Это обогатит их вкус. Нежелательно сушить за один раз плоды с различным содержанием влаги, а также испорченные овощи и фрукты. После предварительной подготовки выложите фруктовые ломтики на поддоны, равномерно распределяя. Поддоны установите в саму сушилку. Сушилки имеют специальные режимы высушивания, предназначенные для разных видов продукции. Сушка продуктов по данной технологии позволяет сохранить содержание витаминов и других биологически активных веществ в сухом продукте на уровне 80-90% от исходного сырья. Сушка овощей, фруктов и зелени таким способом дает возможность производства разнообразных пищевых концентратов быстрого приготовления: крупы, компоты, овощные и фруктовые порошки, которые используются в хлебопекарной, кондитерской промышленности, как компонент сухих смесей детского питания. По сравнению с традиционной сушкой овощи, обработанные, на основе солнечной панели и коллектора после восстановления обладают вкусовыми качествами, максимально приближенными к свежим продуктам. Кроме того, порошки, для которых применялась сушка на основе солнечной панели и коллектора, обладают противовоспалительными, детоксирующими и антиоксидантными свойствами. Сушка на основе солнечной панели и коллектора безвредна для окружающей среды и человека.

Хранить высушенные плоды очень просто. После сушки их просто складывают в жестяные, стеклянные баночки или непрозрачные мешочки и помещают в любое темное место. Если со временем в емкостях образовалась влага, значит - плоды были высушены плохо и нуждаются в дополнительной обработке. Можно также хранить сухие фрукты на полке холодильника и даже морозилке. В этом случае срок их хранения практически не ограничивается. Сушка продуктов дает их уменьшение в объеме в 3-4 раза, а в массе в 4-8 раз по сравнению с исходным сырьем (в зависимости от его вида).

Иногда сушку необходимо «реанимировать», то есть восстановить в ней уровень влаги. При непродолжительном замачивании (10-20 мин) прошедший сушку продукт восстанавливает все свои натуральные органолептические, физические и химические свойства и может употребляться в свежем виде или подвергаться любым видам кулинарной обработки. Уровень воды при этом должен быть слегка выше, чем уровень сушки.

Ведутся работы по увеличению мощности установки для сушки фруктов, овощей и зелени на основе солнечных панелей и коллекторов.

Список публикаций:

[1] Патент 881448 (США). Солнечный воздухонагреватель. Опубл. в ИЗР, № 2 (1980)

[2] Г.Г.Умаров, З.Таиров. Комбинированная установка для сушки плодов и винограда. Гелиотехника, № 1, 61-63 (1982).

[3]. "Садоводство, виноградарство и виноделие Молдовы". №9,54 (1990).

Тепловое сопротивление растворов с отрицательным объемом смешения: изопропанол-этиленгликоль, изопропанол-триэтиленгликоль

Поволоцкий Илья Ильич

Волосников Дмитрий Владимирович, Скрипов Павел Владимирович

Уральский федеральный университет

Волосников Дмитрий Владимирович, к.ф.-м.н.

iliyapov@rambler.ru

Данная работа направлена на проверку гипотезы Л.П. Филиппова о взаимосвязи величины дополнительного теплового сопротивления растворов с величиной их объема смешения [1]. В отличие от хорошо изученного теплового сопротивления растворов с положительным объемом смешения, исследования теплового сопротивления растворов с отрицательным объемом смешения авторам доклада не известны.

Методика состоит в регистрации параметров отклика на импульсное тепловыделение при заданных параметрах функции нагрева $T(t > t_1) = T_{st} \approx const$ и последующее их сопоставление. Источником тепла и чувствительным элементом служит проволочный зонд – термометр сопротивления. По измеряемым в опыте параметрами вычисляются значения среднемассовой температуры зонда $T(t)$, мощности его нагрева $P(t)$, плотности теплового потока через его поверхность $q(t)$ и теплового сопротивления вещества $R_\lambda(t) = \Delta T(t)/q$ при заданном режиме нагрева для любого момента времени t [2].

В работы исследовались образцы растворов с отрицательным объемом смешения изопропанол-этиленгликоль (13 концентраций) и изопропанол-триэтиленгликоль (13 концентраций) (рис.1). С помощью метода управляемого импульсного нагрева зонда в режиме температурного плато значения величин тепловых сопротивлений растворов измерены и сопоставлены в диапазоне температур $T_{st} = (120 \div 180)^\circ\text{C}$. Обнаружено, что характеристики теплопереноса растворов с отрицательным объемом смешения, в частности, приведенные разности значений их тепловых сопротивлений, имеют отрицательные отклонения от аддитивных значений. Данное обстоятельство свидетельствует об ухудшении теплопереноса в растворах. Аддитивные значения определялись в объемных долях от соответствующих значений компонентов.

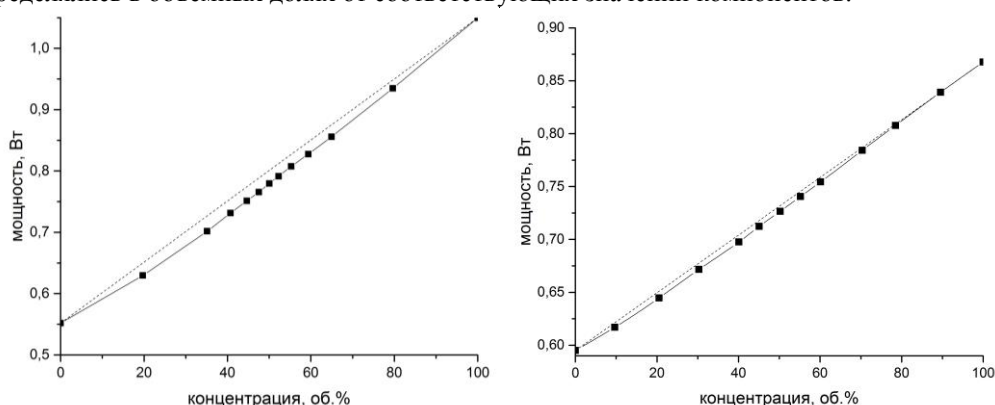


рис.1. Концентрационная зависимость электрической мощности импульсно нагреваемого зонда в момент времени $t = 5$ мс, в режиме термостабилизации $T_{st} = 150^\circ\text{C}$ раствора изопропанола с этиленгликолем (слева) и с триэтиленгликолем (справа).

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 16-08-00381.

Список публикаций:

- [1] Кравчун С. Н., Липаев А. А. // Метод периодического нагрева в экспериментальной теплофизике. Казань: Изд-во Казанск ун-та. 2006.208 с.
 [2] Rutin S. B., Volosnikov D. V., Skripov P. V. // Int. J. Heat Mass Transfer. 2015. V. 91. P. 1-6.

Исследования процесса нагрева электромагнитным полем нефтенасыщенной модели пласта

Султангужин Руслан Фуатович
 Шрубковский Иван Игоревич
 Башкирский государственный университет
 Ковалева Лиана Ароновна, д.т.н.
kemperfromrb@gmail.com

Истощение традиционных нефтяных месторождений является острым вопросом, вынуждающим к разработке месторождений трудноизвлекаемой нефти, которые характеризуются сложным геологическим строением, низкой проницаемостью, высокой вязкостью и сложной реологией нефти. Необходимы новые технологии, которые повысят эффективность разработки месторождений трудноизвлекаемой нефти и сделают ее экономически целесообразной. Одна из таких технологий основана на нагреве диэлектриков в переменном электрическом поле.

Метод нагрева призабойной зоны пласта с использованием энергии электромагнитного поля представляется наиболее эффективным и перспективным [1]. Основная цель использования электромагнитного поля – нагрев пласта для снижения вязкости нефти. Оптимальные характеристики электромагнитного поля

выбираются для каждого месторождения на основе результатов исследования физико-химических свойств пласта и насыщающей его углеводородной жидкости. Кроме этого преимущество метода состоит не только в тепловом воздействии, но в проявлении дополнительных эффектов, связанных с особенностями физико-химических явлений в многокомпонентных углеводородных системах при воздействии высокочастотного электромагнитного поля.

Исследования проведены на специально разработанной лабораторной установке, состоящей из модели пласта и высокочастотного генератора. Модель продуктивного пласта представляет собой слой кварцевого песчаника, который насыщен в одной половине нефтью, а в другой смесью воды и нефти. Распределение температуры в пласте при высокочастотном электромагнитном воздействии регистрируется системой контроля температуры. В результате экспериментов были получены зависимости температуры от времени нагрева (рис.1).

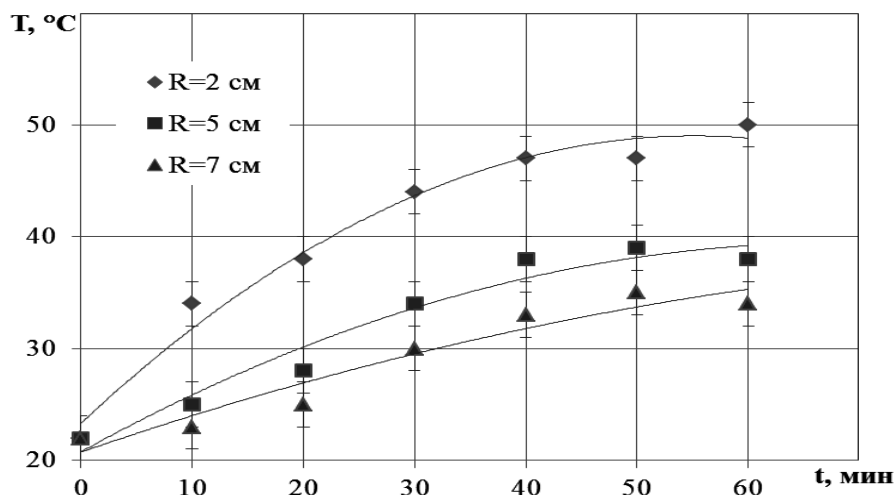


рис.1. Динамика изменения температуры в модели на различном расстоянии от излучателя

При воздействии на модель гармоническим электромагнитным полем с помощью генератора с выходной мощностью 1 кВт наблюдается объемный нагрев образцов с большей интенсивностью для обводненной части, чем для безводной части модели в исследуемом диапазоне температур. При более высоких температурах интенсивность снижается, что можно объяснить снижением тангенса угла диэлектрических потерь в указанном диапазоне температур.

Список публикаций:

[1] Способ разработки залежи высоковязкой нефти. Ковалева Л.А., Давлетбаев А.Я., Зиннатуллин Р.Р. // Патент на изобретение RU №2454532. – Опубл. 27.06.12.

Омнифобные свойства некоторых гидрофобных покрытий

Щербанюк Никита Вячеславович

Акименко Екатерина Николаевна¹, Панков Артём Сергеевич²

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

Институт теплофизики Уральского отделения РАН

Каверин Алексей Михайлович, к.ф.-м.н.

kirinrk@yandex.ru

Для исследования процессов образования зародышей пара на твердой поверхности при гетерогенном вскипании перегретых жидкостей важно подготовить поверхность, обладающую большими краевыми углами с исследуемой жидкостью. Известны гидрофобные покрытия, которые обеспечивают такие углы при контакте поверхности с водой. Однако общие омнифобные свойства гидрофобных покрытий до сих пор не изучены. Ожидается, что при соприкосновении поверхности с масляными, органическими и другими жидкостями отталкивающие свойства покрытий сильно ослабеют. Предполагается также, что такой же эффект может быть получен вследствие механического или теплового воздействия на покрытие. Данная работа посвящена исследованию общих омнифобных свойств современных гидрофобных покрытий.

В работе проведено измерение краевых углов и линейных размеров капель дистиллированной воды (H_2O), гексана (C_6H_{14}) и этилового спирта (C_2H_5OH) на покрытиях, нанесенных на квадратные стеклянные

подложки толщиной 2 мм. Опыты проводились методом сидячей капли [1] с использованием SLR-камеры. Капля жидкости помещалась на гидрофобизированную поверхность, расположенную горизонтально и фотографировалась.

Использовано четыре вида покрытий: водоотталкивающее средство фирмы Protec (Германия), состоящее из двух жидкостей, смешивающихся в равных пропорциях перед нанесением на стекло (далее Protec); два отечественных препарата – «Grass нанозащита» и «Grass антидождь» производства ООО ТД ГраСС, г. Волжский, и покрытие Turtle Wax Clear Vue бельгийской фирмы Sofel BWBA (далее Turtle Wax). Гидрофобные покрытия наносились на стекло смачиванием поверхности препаратом из пипетки или кусочком ткани, либо (Grass Нанозащита) распылением аэрозоли. Способ нанесения средства практически не влияет на свойства покрытия.

Результаты опытов показали примерно одинаковые гидрофобные свойства всех использованных покрытий. Для воды характерны достаточно большие краевые углы: покрытие Protec – 110-127 град, Grass нанозащита – 118-127 град., Grass антидождь – 105-114 град. и Turtle Wax – 76-85 град. Капли воды легко стекали с подготовленных поверхностей, не оставляя следов жидкой фазы. Краевые углы для этилового спирта существенно меньше: Protec – 36-56 град, Turtle Wax – 27-30 град., Grass нанозащита и Grass антидождь – 13-20 град. Капли спирта стекали с поверхности, оставляя на ней небольшой след. Исследование поведения гексана на гидрофобных покрытиях показало, что капли не образуются, жидкость растекается и гексан полностью смачивает поверхность стекла. По-видимому, для отталкивания органических жидкостей типа гексана необходимы другие типы покрытий. В ходе опытов гидрофобные свойства покрытий не изменялись.

Механическая прочность покрытий проверялась путём трения гидрофобного покрытия тканью, кожей и т.п. материалами. Испытание гидрофобных свойств поверхностей при длительном воздействии органических веществ осуществлялось путём помещения образцов в чашки Петри с гексадеканом ($\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_{14}\text{-CH}_3$), гексаном (C_6H_{14}), ацетоном ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$) и этиловым спиртом ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) на сутки и более. Эксперимент с нагреванием покрытий потоком горячего воздуха производился промышленным феном при температуре до 400°C. Все исследуемые в опытах образцы покрытий сохраняли гидрофобные свойства после вышеописанных механических, термических и химических воздействий.

Проведено сравнительное исследование характера кипения жидкости (дистиллированная вода, этиловый спирт) на гидрофобизированных и чистых стеклянных поверхностях. Жидкость кипятилась в стеклянной посуде, в которую помещались исследуемые образцы. Процесс фиксировался на видеокамеру. Обнаружено, что гидрофобная поверхность заметно усиливает интенсивность кипения жидкости. Причем, если в кипящей воде количество центров парообразования на гидрофобной поверхности в 10 и более раз больше, чем на чистом стекле, то при кипении в спирте расхождение не столь велико (1.5-2.0 раза). Расхождения в интенсивности кипения между поверхностями, обработанными разными исследованными покрытиями (Protec, Grass нанозащита, Grass антидождь и Tutle Wax) не зафиксировано. Интенсивность парообразования коррелирует со степенью гидрофобности (величиной краевого угла). В течение 20-30 минутного кипячения воды обработанные стекла сохраняли свои гидрофобные свойства. Кипение спирта приводило к ослаблению действия и частичному разрушению нанесенных покрытий.

Работа поддержана РФФИ (грант №15-08-03399) и Комплексной программой фундаментальных исследований УрО РАН (грант №15-1-2-6).

Список публикаций:

[1] Байдаков В.Г. *Межфазная граница простых классических и квантовых жидкостей.* – Екатеринбург: УИФ “Наука”, 1994, 374 с.