

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА И ГИДРОДИНАМИКИ В РЕЗЕРВУАРЕ ХРАНЕНИЯ ВУС ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ВЫСОТЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОДАЮЩЕЙ НАСАДКИ

Р.М. Гильманов, Э.В. Шамсутдинов

*Исследовательский центр проблем энергетики Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Казанского научного центра Российской академии наук,
д. 2/31, ул. Лобачевского, а/я 190, 420111, г. Казань, Россия
russel777@yandex.ru, eshamsutd.kazan@mail.ru*

Аннотация

С учетом прогнозируемого увеличения использования угля в энергетике и современных экологических требований, становится актуальным использование в качестве топлива водоугольных суспензий. Создание технологий их эффективного использования невозможно без создания научно-обоснованных рекомендаций, базирующихся на результатах теоретических и экспериментальных исследований. В докладе представлены результаты исследования теплообмена и гидродинамики в резервуаре хранения водоугольных суспензий при различной высоте расположения подающей насадки.

Введение

В первой половине XXI века, прогнозируется повышение роли угля в энергетике, что обусловлено его крупными запасами и истощением месторождений нефти и газа. В тоже время экологические проблемы, возникающие при использовании угольного топлива, требуют разработки и внедрения новых эффективных с экономической и экологической точек зрения угольных технологий, которые обеспечат существенный экономический эффект с максимально высокой полнотой использования добытого топлива [1]. Особенно остры эти проблемы для угольных регионов России, таких как Кузбасс, испытывающих недостаток в экологически чистых природных энергоносителях. В связи с этим становится актуальным использование угля для создания водоугольных суспензий (ВУС), разработка эффективных процессов получения и применения которых должна базироваться на научно обоснованных процессах физического и физико-химического воздействия на исходный уголь с учетом свойств его органической и минеральной составляющих. Основными проблемами на пути к расширенному применению водоугольных топлив являются: низкие показатели стабильности основных технологических характеристик, высокая зольность исходного угля, низкая эффективность известных реагентов – пластификаторов и стабилизаторов, а также отсутствие научно обоснованных методических рекомендаций и процессов физико-химического воздействия на исходный уголь с учетом его свойств.

Основная часть

Данная работа посвящена результатам исследования теплообмена и гидродинамики в модельном резервуаре хранения водоугольных суспензий при различной высоте расположения подающей насадки. При моделировании использована система дифференциальных уравнений сохранения энергии, движения и неразрывности, записанные в цилиндрической системе координат (r, z, φ) при следующих допущениях [2]:

теплофизические свойства ВУС, такие как плотность ρ , теплоемкость c_p и теплопроводность λ меняются от времени t незначительно; кинематическая вязкость ВУС ν , $\text{м}^2/\text{с}$, зависит от ее температуры T ; объемной силой, влияющей на процесс теплопереноса при струйном течении ВУС, является сила тяжести.

На стенках и днище резервуара принимается условие полной теплоизоляции $\frac{\partial T}{\partial t} = 0$. Температурное начальное условие имеет вид $T(r, z, t = 0) = T_0(r, z)$, на входе в резервуар $T = T_{\text{вх}}(r, z, t)$, на выходе $\frac{\partial T}{\partial t} = 0$.

В качестве гидродинамических краевых условий принято, что на входе в резервуар считается заданным профиль вектора скорости: $\vec{v} = f(r, z, t)$; на стенках резервуара выполняется условие прилипания: $\vec{V}|_{\Gamma} = 0$; на оси резервуара выполняется условие симметрии течения $(\vec{v} \cdot \vec{n}) = 0$.

При численных исследованиях процессов теплопереноса в резервуарах хранения водоугольных суспензий использованы следующие характеристик модельного резервуара: внутренний диаметр – 0,594 м, высота – 0,845 м. Диаметр форсунки – 0,015 м, диаметр выходного патрубка – 0,015 м. Исследуемая среда – водоугольная суспензия (ВУС). Расход $Q = 0,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($1,39 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$); $\text{Re} = 71,23$. Начальная температура ВУС в резервуаре $T = 30^\circ\text{C}$, температура греющей струи – 60°C . На стенках и днище резервуара принимается условие полной теплоизоляции. Максимальная скорость составляет $u_{\text{max}} = 0,131 \text{ м/с}$.

Исследования проведены для высоты расположения подающей насадки $h = 0$ и $h = 100$. В результате исследований получены распределения полей температуры, линий тока, полей вектора скорости \vec{u} и его компонент u_r и u_z , векторного поля скорости, компоненты вектора вихря. Как показал анализ результатов полученных при $h = 0$, с течением времени происходит «торможение» боковых слоев струи нагретой ВУС из-за того, что вязкость холодных слоев намного больше. С самого начала образуются две рециркуляционные зоны, одна из которых с течением времени практически полностью прогревается (рис. 1).

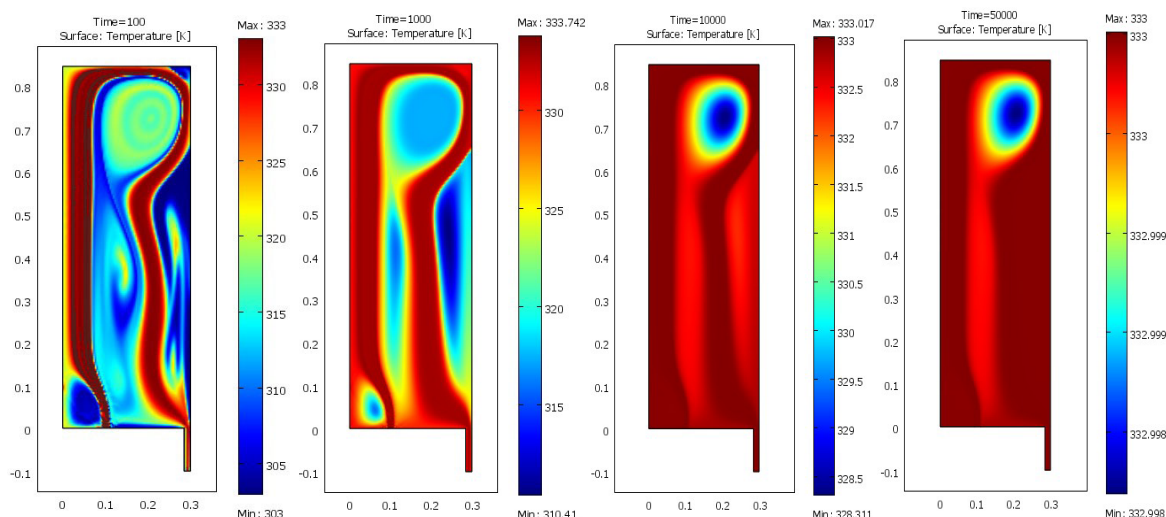


Рис. 1. Поле температур при $h=0$

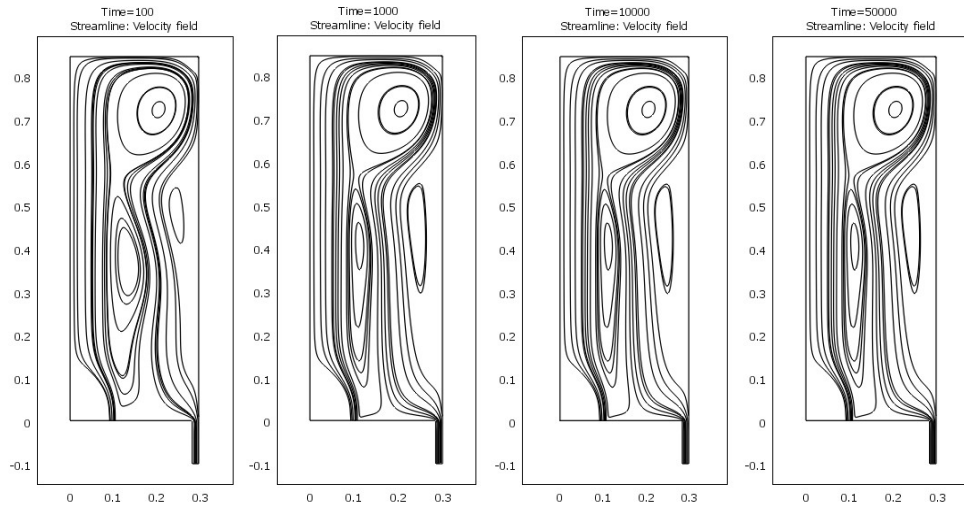


Рис. 2. Линии тока при $h=0$

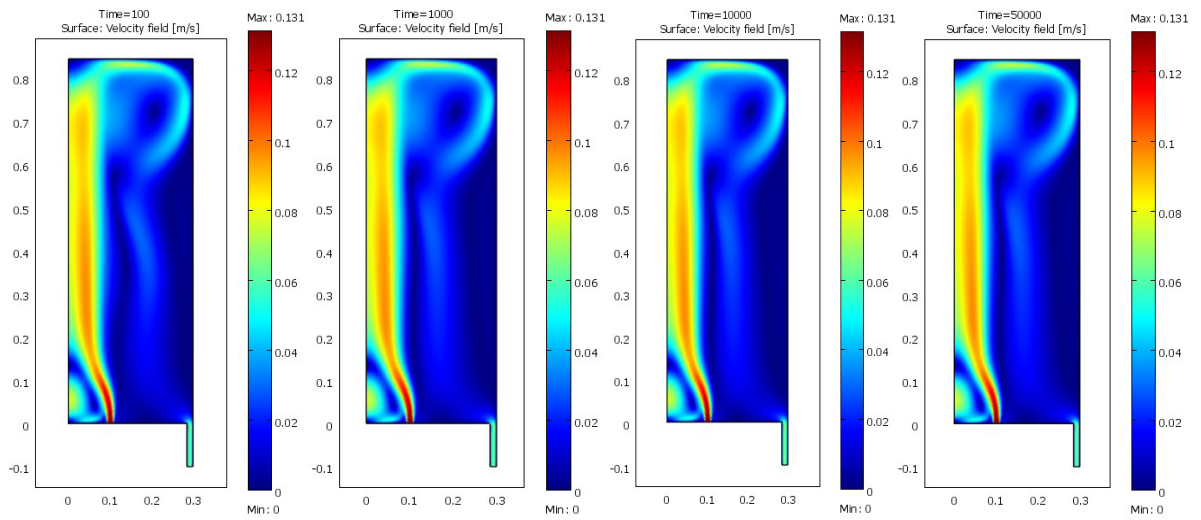


Рис. 3. Поле вектора скорости \vec{u} при $h=0$

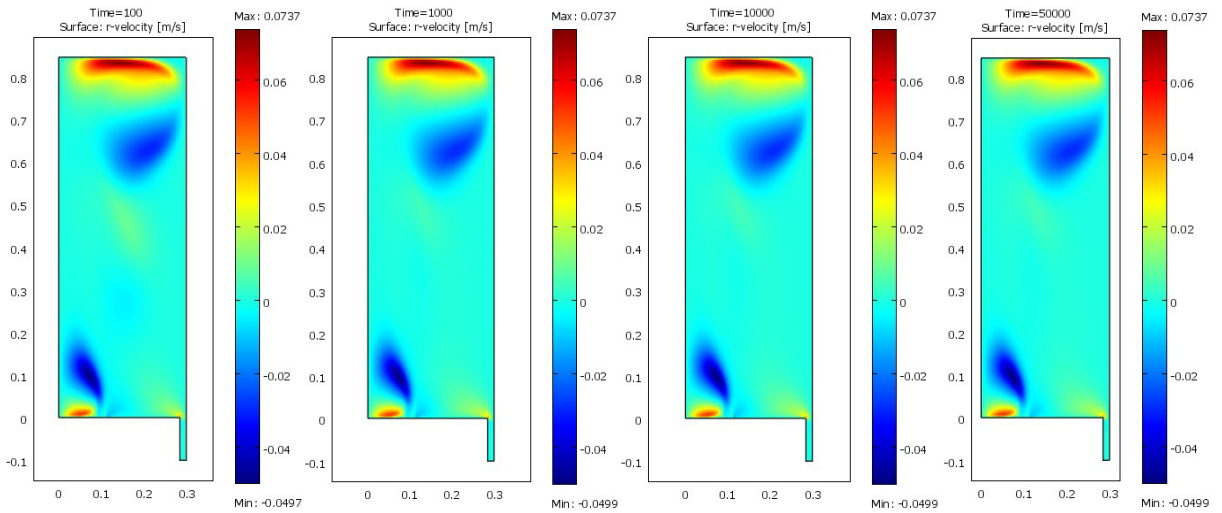


Рис. 4. Поле компоненты u_r вектора скорости при $h=0$

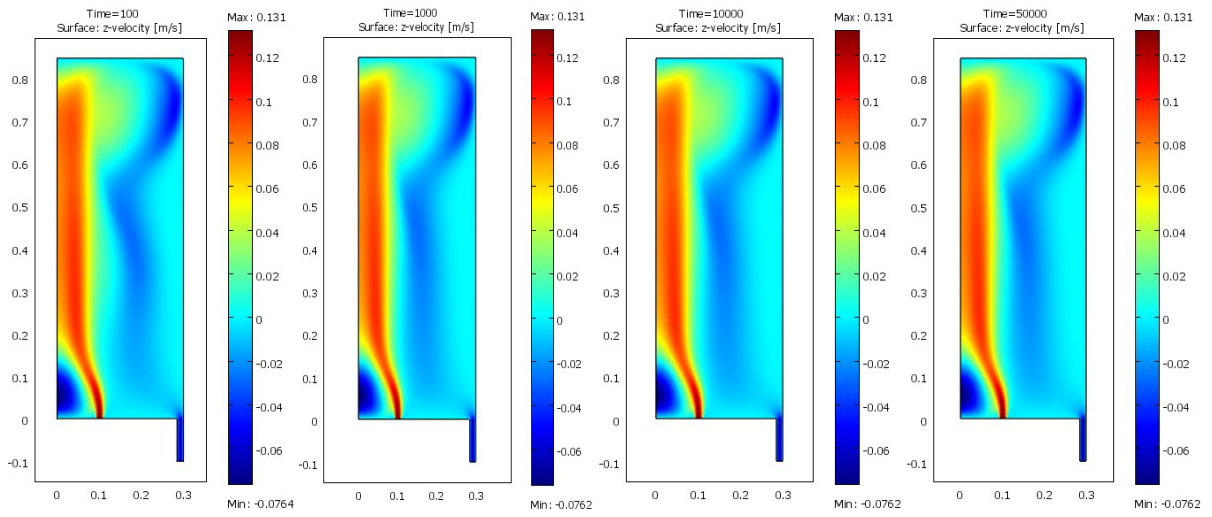


Рис. 5. Поле компоненты u_z вектора скорости \vec{u} при $h=0$

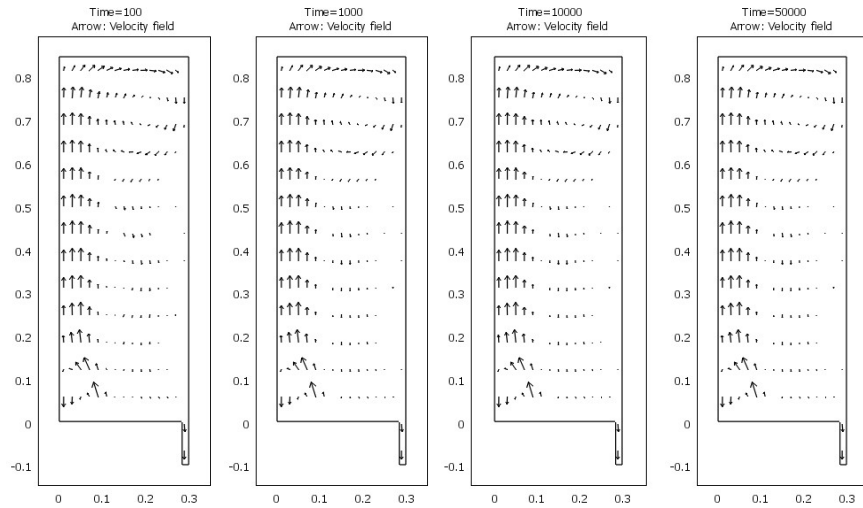


Рис. 6. Векторное поле скорости \vec{u} при $h=0$

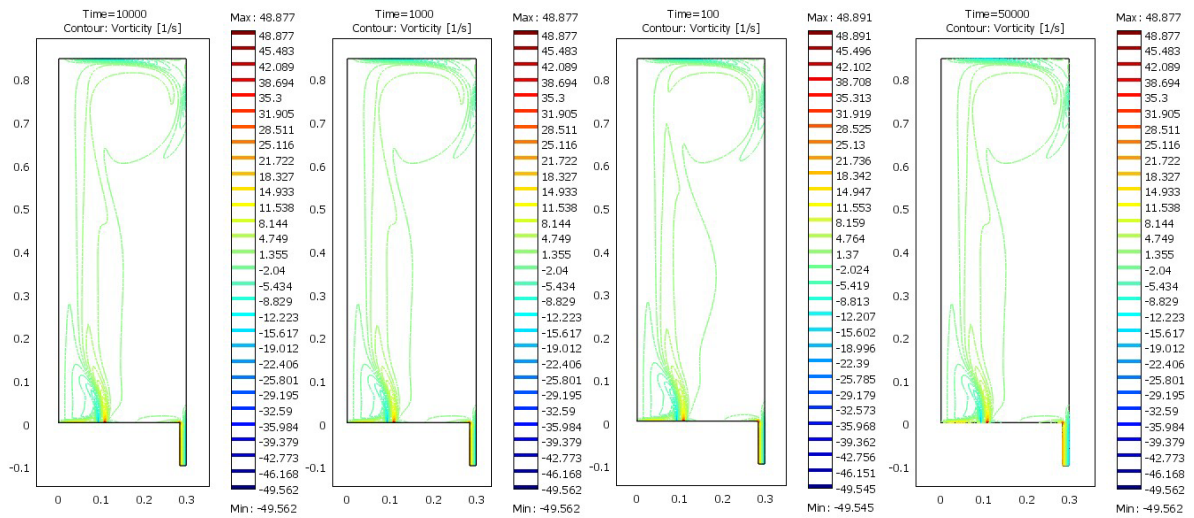


Рис. 7. Изолинии компонента вектора вихря при $h=0$

Из рис. 2 видно, что в начальные моменты времени только небольшая часть потока движется вверх, а основная часть уходит в выходное сечение. Это происходит потому, что верхние слои ВУС остаются холодными с большой вязкостью и «пробивной» силы (т.е. кинетической энергии) струи подогретой суспензии является недостаточной. В дальнейшем с прогревом все большей области «холодной» ВУС, линии тока направляются вверх, и большая часть потока охватывает всю ширину исследуемой области резервуара. Из графиков, представленных на рисунках 3 - 7, отчетливо видно зарождение зоны возвратных течений с начального момента времени. Рециркуляционная зона около оси симметрии резервуара остается практически постоянной независимо от времени подогрева, а рециркуляционная зона справа от сопла растет с течением времени и достигает своего максимума при времени равном 1000 с.

При времени равном 10000 с разогретая область достигает верхнего уровня резервуара, при этом прогретой примерно 85 % его объема. При времени равном 50000 с суспензия в резервуаре оказывается прогретой до 100 %, а в выходном сечении ВУС имеет температуру 60°C. Наибольшими прогретыми частями резервуара с ВУС являются центральная часть на оси симметрии, которая практически прогрелась при времени 50000 с, и верхняя часть резервуара с равномерно прогретыми слоями суспензии.

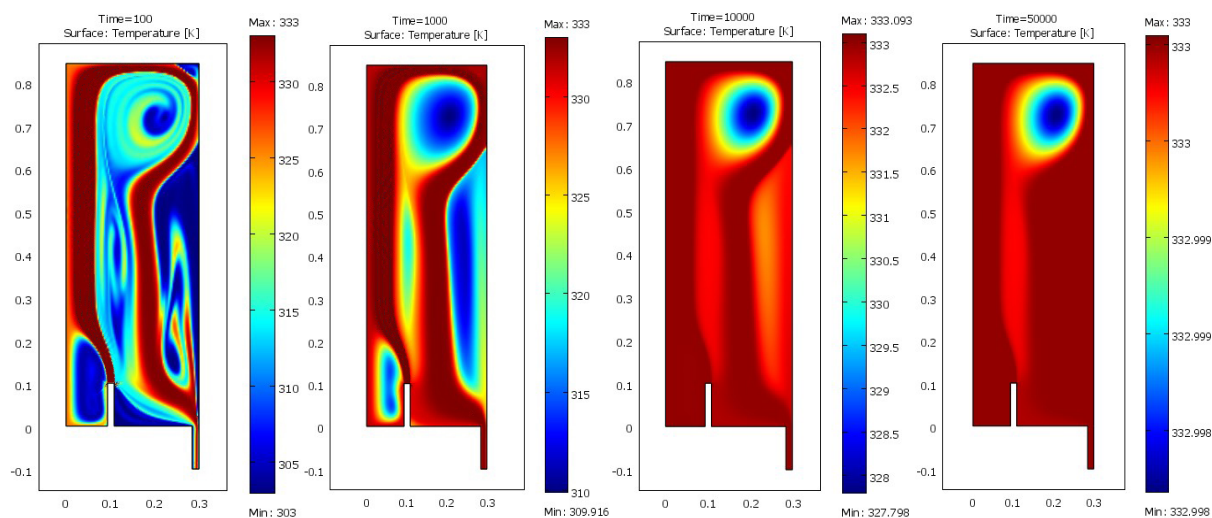


Рис. 8. Поле температур при $h=100$

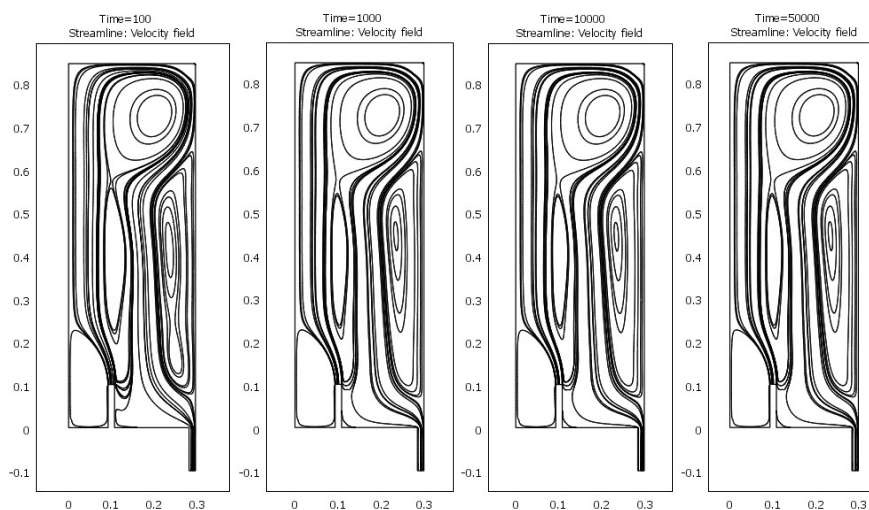


Рис. 9. Линии тока при $h=100$

При высоте расположения насадки $h=100$ время полного прогрева всего резервуара остается тем же. В качестве преимущества можно отметить, что «непрогретая» область существенно меньше по сравнению с предыдущим вариантом (рис. 8). В связи с тем, что в гидродинамике течения существенных различий не наблюдается, для иллюстрации приведены графики лишь для линий тока (рис. 9). Можно лишь отметить, что если для предыдущего случая со временем одна из «рециркуляционных» областей исчезает, то для $h=100$ она имеет ярко выраженный устойчивый характер.

Заключение

В результаты численных исследований выявлен характер изменения тепловых и гидродинамических характеристик в резервуаре хранения водоугольных суспензий в зависимости от различной высоте расположения подающей насадки. Выявлено, что для более высокого расположения насадки наблюдается более интенсивный прогрев в верхней части резервуара.

Обозначения

ρ – плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$; c_p – теплоемкость, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; λ – теплопроводность, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; ν – кинематическая вязкость, $\text{м}^2/\text{с}$; g_z – вертикальная компонента вектора ускорения свободного падения \vec{g} ; v_r, v_z – компоненты вектора скорости \vec{v} ; P – давление, Па; $\mu(T)$ – динамическая вязкость, $\text{кг}/(\text{м}\cdot\text{с})$; t – время, с; $f(r, z, t)$ – функция, зависящая от профиля насадок и от характера изменения расхода жидкости; Γ – граница резервуара; \vec{n} – нормаль к оси резервуара; $T_{\text{вх}}(r, z, t)$ – заданная функция координат r и z и времени t .

Литература

1. Крапчин, И.П. Экономическая эффективность приготовления и использования водоугольных суспензий – экологически чистого топлива для электростанций / И.П. Крапчин, И.О. Потапенко // Уголь. – 2003. - № 11. - С. 50-52.

2. Гильманов Р.М. Моделирование теплообмена и гидродинамики в резервуарах хранения водоугольных суспензий // Всероссийская конференция с элементами научной школы для молодежи «Научно-исследовательские проблемы в области энергетики и энергосбережения» (ноябрь 2010г.): Сб. тр. / Уфа: УГАТУ, 2010. С. 199-201.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (госконтракты №02.740.11.0753, №02.740.11.0685, №П1014 в рамках реализации ФЦП “Научные и научно-педагогические кадры инновационной России” на 2009-2013 годы) м РФФИ (гранты №12-08-97041-р_поволжье_a, №12-08-97055-р_поволжье_a)