

2. Кондратьев К.Я. Актинометрия/ К.Я.Кондратьев.- Л. 1965 - 691 с.
3. Кондратьев К.Я. Радиационные характеристики атмосферы и земной поверхности/ К.Я. Кондратьев, В.Н.Конашенок,С.Д. Андреев и др.//сб. тр. Радиационные характеристики атмосферы и земной поверхности.-Л.-Гидрометеиздательство-1969-564 С.
4. Матвеев Л.Т Курс общей метеорологии/ Л.Т Матвеев–Л. Гидрометеиздат.-1984.-751с.
5. Нигматулин Р.И. Механика сплошной среды: кинематика, динамика, термодинамика, статистическая динамика/ Р.И. Нигматулин. -М. Геотар, 2014. -639 с.

УДК 532.517

АДАПТАЦИЯ И ПРОВЕРКА РЕШАТЕЛЕЙ OPENFOAM ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕЧЕНИЙ, СВЯЗАННЫХ С ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ

Жайнаков Аманбек Жайнакович, академик, д.ф.м.н., профессор, КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Мира 66, e-mail: jainakov-41@mail.ru

Курбаналиев Абдикерим Брысбаевич, д.ф.м.н., профессор, ОшГУ, Кыргызстан, 723500, г.Ош, ул. Ленина 331, e-mail: kurbanaliev@rambler.ru

Калеева Анара Колбаевна, стар. преп., БатГУ, Кыргызстан, 715100, г. Баткен, ул. Жусупова 21, e-mail: kaleeva77@mail.ru

Турганбаева Акпари Балтабаевна преп. ОГПИ им. А. Мырсабекова, Кыргызстан, 723503, г. Ош, ул. Исанова, 73, e-mail: turganbaeva@mail.ru

Целью работы является численное моделирование распределения смешения скалярной величины в однофазном несжимаемом потоке в Т-образной смесительной трубе. Открытый пакет OpenFOAM был использован для моделирования. Проведено сравнение численных результатов с лабораторными экспериментами. Сравнения между численными и экспериментальными данными показывают хорошие согласие по характеристикам потока и переноса загрязняющих примесей.

Ключевые слова: турбулентность, однофазное течение, скалярный перенос, Т-образный смесительная труба, экологическая безопасность, открытый пакет OpenFOAM

ADAPTATION AND VALIDATION OF OPENFOAM FOR ECOLOGICAL SAFETY RELATED FLOW SIMULATIONS

Jainakov Amanbek Jainakovich, Academician, d.p.m.s., professor, KSTU named after I.Razzakov, Kyrgyzstan, 720044, c. Bishkek, pros. Mira-66, e-mail: jainakov-41@mail.ru

Kurbanaliev Abdikerim Irisbaievch, d.p.m.s., professor, OshSU, Kyrgyzstan, 723500, c. Osh, Lenina street 331, e-mail: kurbanaliev@rambler.ru

Kaleeva Anara Kolbaevna, star. prep., BatSU, Kyrgyzstan, 715100, c. Batken, Jusupova street-21, e-mail: kaleeva77@mail.ru

Turganbaeva Akpari Baltabaevna, prep., OGPI named after A. Myrsabekova, Kyrgyzstan, 723503, c. Osh, Isanova street-73, e-mail: turganbaeva@mail.ru

The aim of this paper is the numerical simulation of scalar mixing distribution in the incompressible single phase scalar transport flow in a T-junction mixing pipe. Open source package OpenFOAM was used for simulation. The numerical results have been validated against laboratory experiments. The comparisons between the simulations and observations show a good agreement on the flow patterns and pollutant transports

Keywords: turbulence, single phase flow, scalar transport, T-junction mixing pipe, ecological safety, open source package OpenFOAM

Согласно данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) за 2012 год в мире примерно 7 миллионов человек умерло из-за загрязнения атмосферного воздуха[1]. По данным Международного агентства по изучению рака ВОЗ, загрязнение воздуха является главной причиной возникновения онкозаболеваний [5].

Часто наблюдаемые аномальные природные явления и технологическая деятельность человека являются основными причинами загрязнения экосистемы Земли. Например, даже химически инертные вещества, ухудшая качество и прозрачность воды, образуют тяжелые донные отложения, тем самым нарушают функционирование водной системы. Кроме того, загрязняющие вещества попадают в почву, поднимаются вверх, разрушая озоновый слой атмосферы, вызывая глобальное потепление климата.

Численное моделирование с применением современных открытых прикладных пакетов вычислительной гидродинамики является эффективным инструментом прогнозирования последствий различных такого рода техногенных и природных явлений[2,3].

В данной работе проведено численное моделирование смешения двух водных потоков равной температуры в горизонтальном Т-образном круглом смесителе с внутренним диаметром 50мм. Схема смесителя приведена на рис. 1, соответствует экспериментальным данным работы[8].

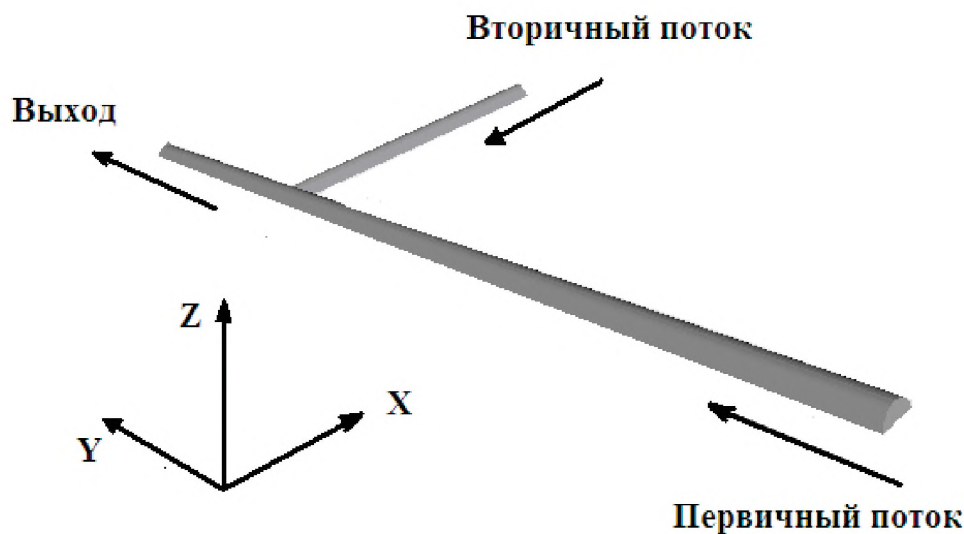


Рис. 1. Схема Т-образного смесителя.

Первичный поток обычной водопроводной воды входит через длинную часть трубы длиной 1м (вся длина трубы $L_1=1,5$ м), а вторичный поток деионизированной воды входит через дополнительную трубы длиной $L_2=0,5$ м. Эти два потока воды смешиваются с самом смесителе и выходят через короткую часть основной трубы. Длина основной и дополнительной трубы выбраны таким образом, чтобы получить развитое течение до начала смесителя. Кроме того на двух входных границах в целях уменьшения влияния входных условия установлены специальные стабилизаторы. Измерительные датчики были расположены на расстоянии $L=51$ мм, 71, 91мм, 111мм, 151мм, 191мм, 231мм, 271 и 311мм от смесителя вниз по потоку. Средние скорости как первичного, так и вторичного потоков были равны 0,5 м/с. Некоторые нужные физические свойства воды приведены в табл. 1 и соответствующее число Рейнольдса $Re=24900$. Более подробную информацию об экспериментальным условиям можно найти в [8].

Физические свойства воды.

№	Свойство	Значение
1.	Температура воды	20 °С
2.	Коэффициент кинематической вязкости воды	$1,004 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$
3.	Коэффициент диффузии	$2,3 \times 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$
4.	Турбулентное число Шмидта	$2,51 \times 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$

Так как оба потока воды имеют одинаковую температуру, смеситель расположен горизонтально, эффект плавучести отсутствует, что позволяет моделировать рассматриваемое течение в рамках осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса: [6, стр.293]:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\overline{\rho u_i}) = 0; \quad \frac{\partial}{\partial x_j}(\overline{\rho u_i u_j} + \overline{\rho u'_i u'_j}) = -\frac{\partial \overline{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial \overline{\tau_{ij}}}{\partial x_j} + \rho g_i \quad (1)$$

где $\overline{\tau_{ij}} = \mu \left(\frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u_j}}{\partial x_i} \right)$ - тензор вязких напряжений связанный с молекулярной вязкостью,

$\overline{\rho u'_i u'_j}$ - напряжения Рейнольдса, требующие моделирования. Моделирование проведено путем численного решения уравнений Навье-Стокса с помощью утилиты simpleFOAM пакета OpenFOAM 4.0 [7].

Учет турбулентных пульсаций на осредненное течение базировался на $k-\omega$ SST модели.

Для определение процесса смешения водопроводной воды (первичный поток) и деионизированной воды (вторичный поток) нами использовалась величина c , представляющая долю заполнения каждой ячейки водой – если $c = 1$, то ячейка заполнена, если $c = 0$, то ячейка пуста. Если $0 < c < 1$, то ячейка заполнена частично. Поэтому для нее можно использовать следующее стационарное уравнение переноса [6, стр. 384]:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(c u_i) = 0 \quad (2)$$

Дискретизация расчетной области получается методом контрольных объемов [4, стр.24]. Использование разностной схемы против потока для конвективных и Gauss linear схемы для диффузионных членов дает необходимую точность численных вычислений.

Расчетная сетка создана при помощи встроенной утилиты blockMesh с последующим измельчением посредством snappyHexMesh. Сгущение сетки проводилось вблизи смесителя как для первичной так и вторичной трубы. Полученная таким образом расчетная сетка имеет 5 границ – 2 входных, одна выходная, плоскость симметрии и соответственно твердая, непроницаемая стенка самого смесителя.

Окончательная расчетная сетка строилась таким образом, что безразмерное расстояние от стенки y^+ было больше 20, что позволило избежать чрезмерного измельчения сетки около твердых границ и использовать аппарат пристеночных функций при постановке граничных условий.

На твердых стенках расчетной области задано условие прилипания, что дает условие равенства нулю всех компонентов вектора скорости. Для давления задано условие Неймана, энергии турбулентности k и других характеристик турбулентного течения граничные условия задавались при помощи аппарата пристеночных функций [6, стр. 298-299]. На выходной границе заданы условия Неймана для скорости, а давление полагалось равным 0. На двух входных границах задавалось условие Неймана для давления. Осевая скорость на этих границах была равна 0,5 м/с. Значение скалярной величины на входе основного потока

было равно 1, а на входе вторичного потока оно было равно 0. На плоскости симметрии задавалось условие симметрии.

Численное решение связанных через давление стационарных уравнений основывалось на методе SIMPLE[6, стр.176]. Для повышения устойчивости сходимости итерационного процесса применялся метод нижней релаксации. Коэффициент релаксации для уравнения для давления был равен 0,3, а для остальных переменных (скорость, характеристики турбулентности, скалярная переменная) 0,7.

В целом задача решается в два этапа. На первом этапе при помощи стационарного решателя simpleFoam решается система уравнений (1) для определения общей гидродинамики течения. Далее, на втором этапе при известных значениях гидродинамического поля, используя их как начальные условия, решается нестационарная задача определения поля концентрации первичного потока. Для этой цели используется решатель scalarTransportFoam, предназначенный для решения уравнения переноса пассивного скаляра (2).

Сравнение результаты численных расчетов с экспериментальными данными в разных сечениях вниз по потоку от смесителя приведены на рис. 2-3, маркеры соответствуют эксперименту[8], а сплошная линия представляет результат расчета данной работы.

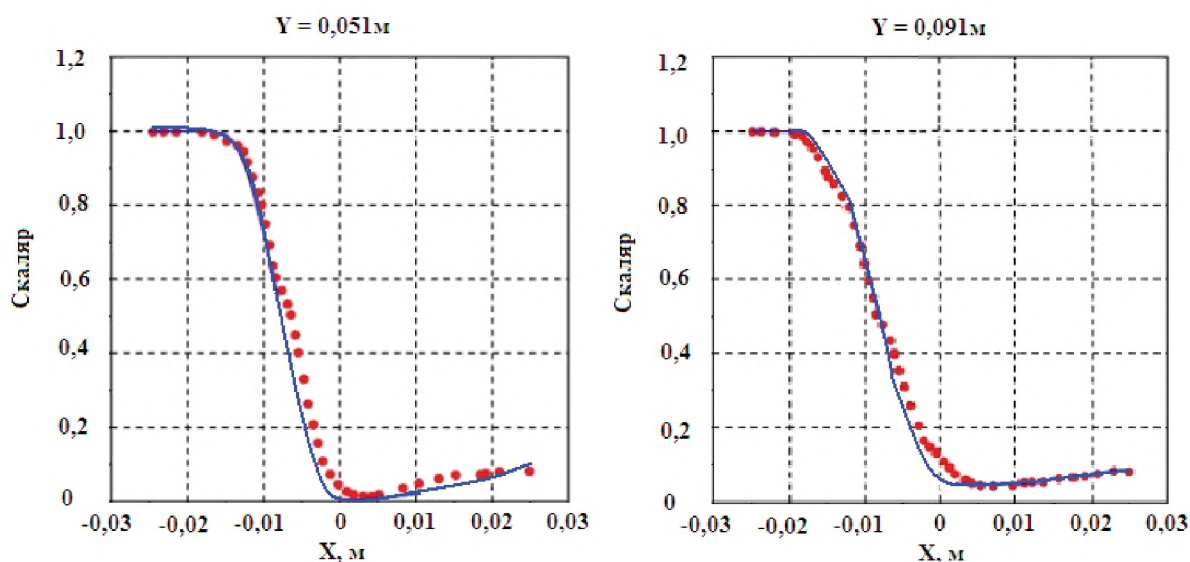


Рис. 2. Распределение скалярной величины в сечениях $Y = 0,051\text{м}$ и $Y = 0,091\text{м}$.

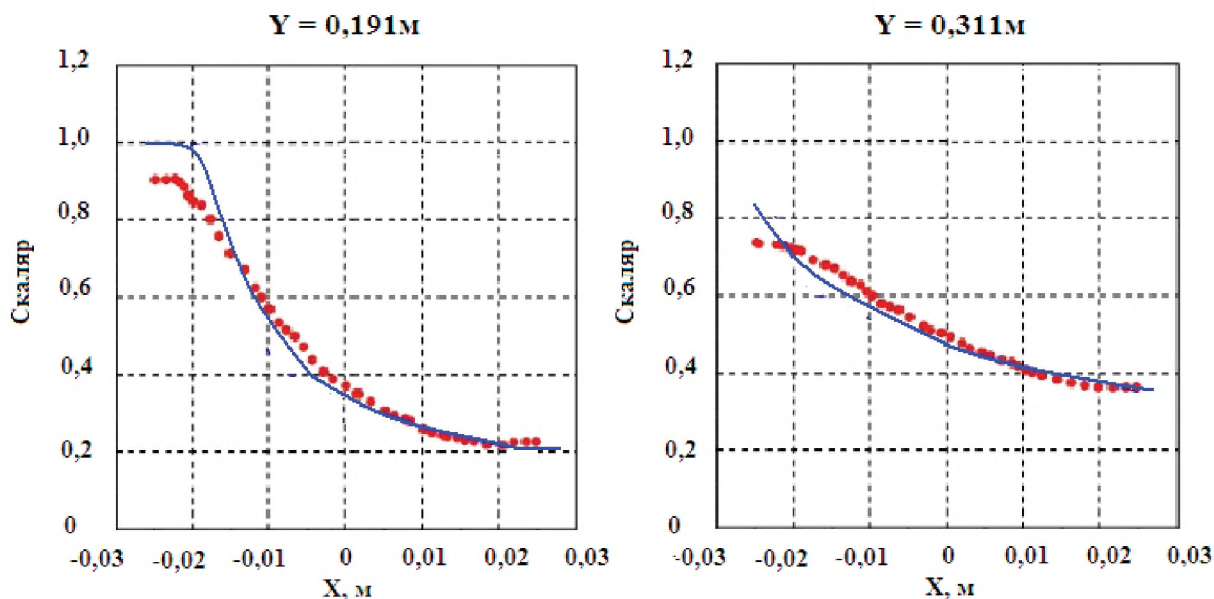


Рис. 3. Распределение скалярной величины в сечениях $Y = 0,191\text{м}$ и $Y = 0,311\text{м}$.

В целом можно сказать, что структура течения была хорошо воспроизведена при моделировании. Вплоть до сечения $Y = 0,091\text{м}$ имеются незначительные отличия численных данных от эксперимента – численные данные несколько занижены (см. рис. 2). В сечениях $Y = 0,191\text{м}$ и $Y = 0,311\text{м}$ при отрицательных значениях координаты X (вблизи задней стенки трубы) численное моделирование дает завышенные значения пассивного скаляра. В целом можно сказать, что структура течения была хорошо воспроизведена при моделировании.

Выводы: В данной работе проведено численное моделирование смешения двух водных потоков равной температуры в горизонтальном Т-образном круглом смесителе с внутренним диаметром 50мм. В целом можно сказать, что структура течения была хорошо воспроизведена при моделировании. В дальнейшем следует обратить внимание на точность определения концентрации пассивного скаляра вниз по потоку от смесителя.

Список литературы

1. Всемирная организация здравоохранения. 7 миллионов смертей ежегодно связаны с загрязнением воздуха – Режим доступа: <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/ru/> (дата обращения 25.08.16), свободный. – Загл. с экрана. – Яз. Рус.
2. Жайнаков А. Ж. Верификация открытого пакета OpenFOAM на задачах прорыва дамб / А. Ж Жайнаков, А. Ы. Курбаналиев // Теплофизика и аэромеханика. Институт теплофизики СО РАН, - Новосибирск, 2013.- т.20.- №4.- с. 461-472.
3. Жайнаков А. Ж. Математическое моделирование задачи прорыва дамбы / А. Ж Жайнаков, А. Ы. Курбаналиев //Вычислительные технологии. - Новосибирск, 2013.- том 18.- №3.- с. 12-21.
4. Патанкар С.В. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости: Пер. с. англ/ С.В Патанкар. –М.: Энергоатомиздат, 1984. – 152с.
5. Ученые назвали главную причину онкологических заболеваний — Новости на Здоровье@Mail.Ru https://health.mail.ru/news/uchenye_nazvali_glavnyu_prichinu/
6. Ferziger J. H., Peric M. Computational Methods for Fluid Dynamics. Springer Verlag, 2002. – 423p.
7. The OpenFOAM Foundation. – Available at: <http://www.openfoam.org/>. (accessed 23 August 2016).
8. Zboray , A. Manera, B. Niceno , H.-M. Prasser. Investigations on Mixing Phenomena in Single-phase Flows in a T-Junction Geometry, The 12th Int. Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics (NURETH-12), Sheraton Station Square, Pittsburgh, Pennsylvania, U.S.A. September 30-October 4, 2007, Paper No. 71, pp. 1-20.

УДК 52:529.0

ҮРКӨР-АЙ КАЛЕНДАРЫНЫН АСТРОНОМИЯЛЫК НЕГИЗДЕРИН STELLARIUM ВИРТУАЛДЫК-ПЛАНЕТАРИЙ МЕНЕН ИЗИЛДӨӨ

Калыбеков А. К., Ж. Баласагын атындагы КУУнун ага окутуучусу, Кыргыз Республикасы, Бишкек шаары, E-mail: abakir.klb@gmail.com

Бекташов Б.Б., Исхак Раззаков атындагы КМТУ доценти , Кыргыз Республикасы, Бишкек шаары.

В данной работе рассмотрены астрономические основы плеядо-лунного календаря кочевников Востока, отражены методы исследования с помощью виртуальным планетария Stellarium. Определены начало эпоху этого календаря, расшифровкой петроглифа Тянь-Шаня и вычислением смещение точки весеннего равноденствие по эклиптике к западу со скоростью $50''$ в год.