

Энергетическое, металлургическое и химическое машиностроение

УДК 621.454.2-181.4.022.2

DOI: 10.18698/0536-1044-2018-10-63-71

Результаты численного моделирования двухфазного течения жидкости/газа при постоянных и реальных теплофизических свойствах жидкости

А.Д. Хлопов¹, М.С. Французов^{1,2}, Р.И. Челмодеев²¹ ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова», 111116, Москва, Российская Федерация, Авиамоторная ул., д. 2² МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

The Results of Numerical Simulation of Two-Phase Liquid/Gas Flow with Constant and Real Thermophysical Properties of the Liquid

A.D. Khlopov¹, M.S. Frantsuzov^{1,2}, R.I. Chelmodeev²¹ Federal State Unitary Enterprise — Baranov Central Institute of Aviation Motors CIAM, 111116, Moscow, Russian Federation, Aviamotornaya St., Bldg. 2² BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1

e-mail: shodaime96@gmail.com, mfrancuzov@yandex.ru, cherosz@yandex.ru



Исследовано истечение жидкости из струйной форсунки с использованием коммерческого программного комплекса с варьированием начальных и граничных условий. Получены газодинамические характеристики и поля давления, скорости, температуры и объемной доли двухфазного потока. Выполнено сравнение результатов численного моделирования задачи истечения жидкости из струйной форсунки при теплофизических свойствах жидкой фазы — постоянных и зависящих от температуры. Определено качественное влияние давления в форсунке на процесс дробления струи. В результате серии расчетов выявлены минимально необходимый шаг по времени и размеры расчетной сетки для корректного решения данной задачи. Установлено, что при реальных теплофизических свойствах жидкой фазы дробление струи увеличивается вследствие уменьшения капиллярных сил жидкости с повышением ее температуры. Выяснено, что при реальных теплофизических свойствах скоростное и температурное отставание между фазами уменьшается, а при постоянных — остается неизменным.

Ключевые слова: струйная форсунка, двухфазное течение, численное моделирование, реальные теплофизические свойства



In this paper, the authors study the outflow of liquid from a jet nozzle using a commercial software package with varying initial and boundary conditions. Gas-dynamic characteristics and fields of pressure, velocity, temperature and volume fraction of two-phase flow are ob-

tained. A comparison of the results of numerical simulation of liquid outflow from a jet nozzle with constant and temperature dependent thermophysical properties of the liquid phase is performed. The qualitative influence of pressure in the nozzle on the process of jet disintegration is determined. As a result of a series of calculations, the minimum required characteristics of temporal and spatial resolution for this task are identified. It is established that the use of real thermophysical properties of the liquid phase increases jet disintegration due to a decrease in the capillary forces of the liquid with an increase of its temperature. It is determined that with real thermophysical properties, the velocity and temperature lag between the phases decreases, while with constant thermophysical properties it remains the same.

Keywords: jet nozzle, two-phase flow, numerical simulation, real thermodynamic properties

Струйная форсунка (СФ) — один из основных элементов, используемых в энергетическом машиностроении для смесеобразования. Вытекающая из нее жидкость распадается на капли, образуя грубый полидисперсный факел с малым корневым углом, который является гетерофазной системой жидкость — газ.

Корректное моделирование процесса распада и дробления струи будет способствовать более точному определению интегральных характеристик смесеобразования. Многофазные течения отличаются от однофазных более сложной физикой. Даже в круглой трубе возможны существенно различающиеся режимы двухфазного течения: пузырьковый, снарядный, пенный, капельно-кольцевой и капельный.

На сегодняшний день многофазные течения исследованы не так хорошо, как однофазные, поэтому необходимо уметь описывать их математически. Скоростное и температурное отставание (т. е. различие полей скорости и температуры) — одна из важнейших особенностей гетерофазных течений, для которой необходимо иметь математические и достаточно достоверные физические модели.

Интерес к исследованию гидрогазодинамических процессов в СФ прослеживается в разных отраслях промышленности. В работе [1] выполнено численное моделирование течения в полости СФ, рассмотрены гидро-газодинамические характеристики двухфазного течения при различных значениях расхода, определены оптимальные геометрические параметры СФ. Также численное моделирование двухфазных сред описано в статье [2], где особое внимание уделено сеточной сходимости и показано, что избыточное уплотнение расчетной сетки слабо влияет на результаты вычислений. Известно [3], что свойства жидкости в

значительной степени зависят от температуры и давления. В связи с этим большое количество расчетно-экспериментальных работ, посвященных исследованию двухфазных течений в различных технических устройствах и многообразных условиях, представлено в материалах конференций и научных журналах [4–11].

В данной работе проведено расчетное исследование двухфазного течения жидкой (ЖФ) и газообразной фаз (ГФ). Вещество ЖФ — вода, ГФ — воздух. Выполнена серия расчетов с помощью программного модуля CFD (Computational Fluid Dynamics), в ходе которых определены газодинамические параметры гетерофазного спутного течения при постоянных термодинамических свойствах газа и жидкости, а кроме того, при реальных свойствах ЖФ [3], таких как динамическая вязкость и коэффициенты теплопроводности и поверхностного натяжения, для разных начальных условий истечения из СФ.

На рис. 1 приведены полученные полиномиальные зависимости теплофизических свойств — динамической вязкости, коэффициентов поверхностного натяжения и теплопроводности — воды от ее температуры при давлении $p = 0,10$ МПа. Для построения полинома использованы известные эмпирические значения теплофизических параметров, приведенные в справочнике [3].

Как видно из рис. 1, с ростом температуры от 0 до 100 °С динамическая вязкость и коэффициент поверхностного натяжения воды уменьшаются на 83 и 22 % соответственно, а коэффициент теплопроводности воды повышается на 17 %.

По представленным графическим зависимостям можно судить о том, что реальные теплофизические свойства воды с увеличением ее температуры существенно влияют на структуру

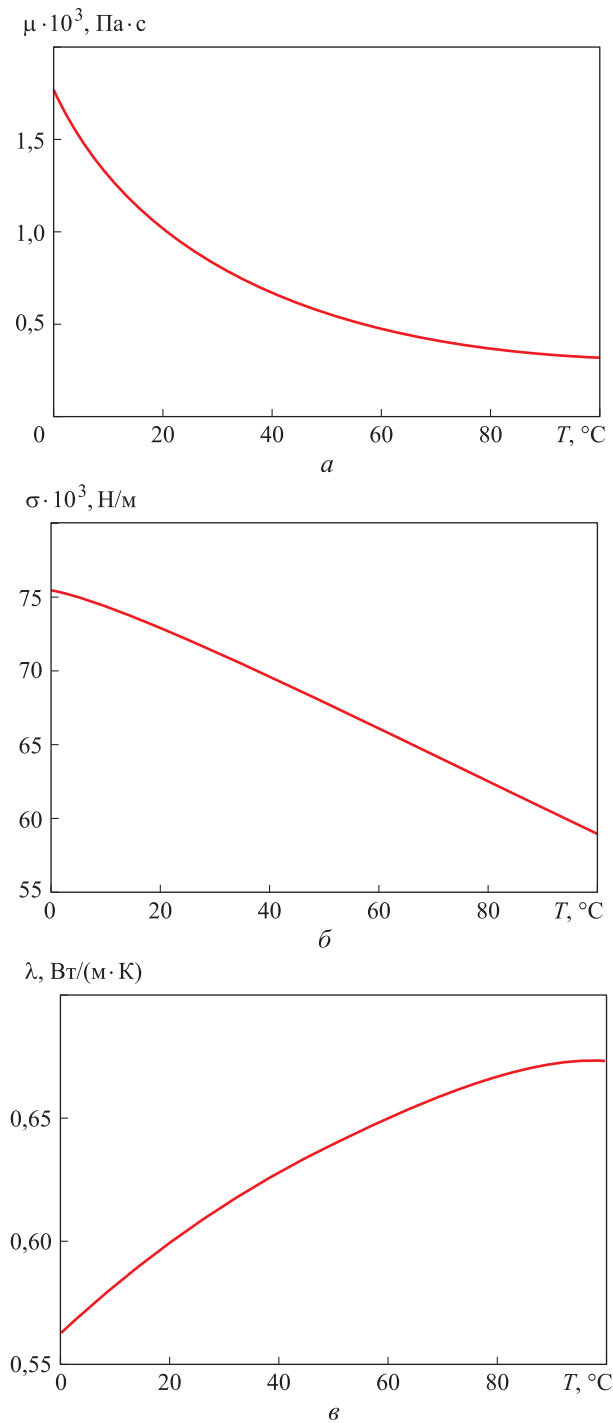


Рис. 1. Зависимости динамической вязкости μ (а), коэффициентов поверхностного натяжения σ (б) и теплопроводности λ (в) воды от ее температуры T

двухфазного потока, а также на состояние жидкой струи. В частности, с падением динамической вязкости воды возрастает влияние сил турбулизации потока, а с уменьшением коэффициента поверхностного натяжения снижаются капиллярные силы, что приводит к дроблению струи.

Цель работы — получение газодинамических характеристик и полей газодинамических параметров гетерофазного течения в СФ, а также исследование влияния реальных термодинамических свойств ЖФ на процесс разбиения струи в двухфазном течении жидкость/газ.

Метод моделирования двухфазного потока выбирали из двух подходов описания течения — эйлера и лагранжева, — на основе которых построено множество моделей. Лагранжева модель DPM (Discrete Phase Model) рассчитывает траектории частиц дисперсной фазы в сплошной фазе на основе решения обыкновенных дифференциальных уравнений движения [12]. Для стратифицированного течения (с протяженной границей раздела фаз) больше подходит VoF-метод, описывающий взаимодействие двух фаз [13]. В связи с этим для прогнозирования динамики распада струи жидкости была выбрана модель VoF.

Описание геометрической модели СФ. Геометрическая модель СФ (рис. 2) состоит из камеры 1 подачи жидкости, диффузора подачи воздуха 2 размером 3×6 мм и камеры смешения 3, в которой происходит столкновение обеих фаз. Камера 1 выполнена из трубы длиной 16 мм и диаметром 3 мм с конфузуром, а камера 3 — из трубы длиной 30 мм и диаметром 6 мм. Таким образом, геометрическая модель имеет габаритные размеры 46×6 мм. Задачу решали в осесимметричной двумерной постановке.

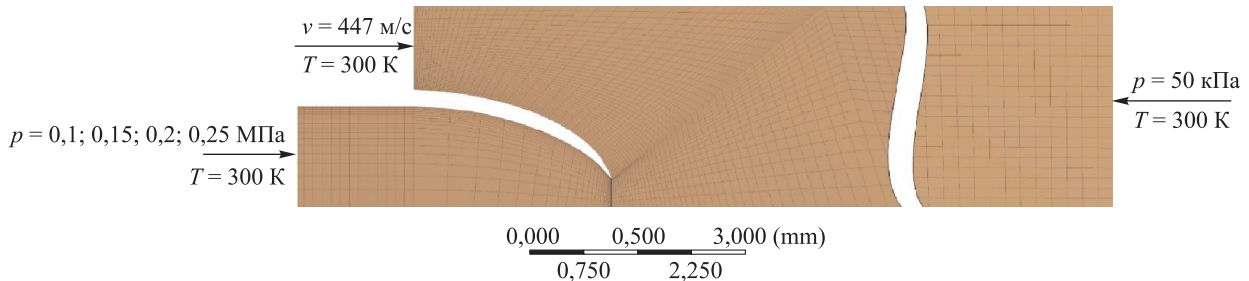
На рис. 3 показана структурированная расчетная сетка с уплотнением в зоне смешения фаз для более точного определения характера взаимодействия жидкости и газа. Минимальный размер элемента составлял $5 \cdot 10^{-3}$ мм, максимальный — 0,5 мм, общее число элементов — 6800.

Для определения размеров и количества элементов расчетной сетки выполнено исследование сеточной сходимости, показавшее, что значительных изменений в картине течения с последующим измельчением расчетной сетки не происходит. Вследствие этого вычисления проводили на сетке с минимальным количеством элементов для увеличения скорости сходимости расчетов. В ходе изучения сеточной сходимости обнаружено, что минимальный размер элемента должен быть не более $5 \cdot 10^{-3}$ мм.

Для определения оптимального шага по времени при решении поставленной задачи



Рис. 2. Геометрическая модель СФ

Рис. 3. Структурированная расчетная сетка с уплотнением в зоне смешения фаз с обозначением граничных условий (v — скорость двухфазного потока)

проведена серия расчетов. При шагах равных 10^{-6} и 10^{-7} с, решение было нестабильным, струя имела нефизичную форму. При шаге составляющем 10^{-8} с дробления струи не происходило. При шаге 10^{-9} с расчет стал стабильным, появилось дробление струи жидкости, достигалась сходимость расчета по расходу. Поэтому на данной расчетной сетке было принято решение использовать шаг по времени 10^{-9} с и для других начальных условий.

Начальные и граничные условия. Начальные условия представлены на рис. 3. На входе в ка-

меру подачи ЖФ смоделирован поток воды при температуре 300 К и давлении $p = 0,10; 0,15; 0,20$ и $0,25$ МПа, а на входе в диффузор подачи воздуха — поток воздуха при скорости $0,6$ М (М — число Маха) и температуре 1200 К. На выходе из расчетной области давление потока составляло $0,05$ МПа, температура — 300 К.

В расчетной области моделировали вязкое турбулентное течение водовоздушной смеси с постоянными и реальными (зависящими от температуры) теплофизическими свойствами воды. Для определения полей газодинамических параметров течения в расчетной области

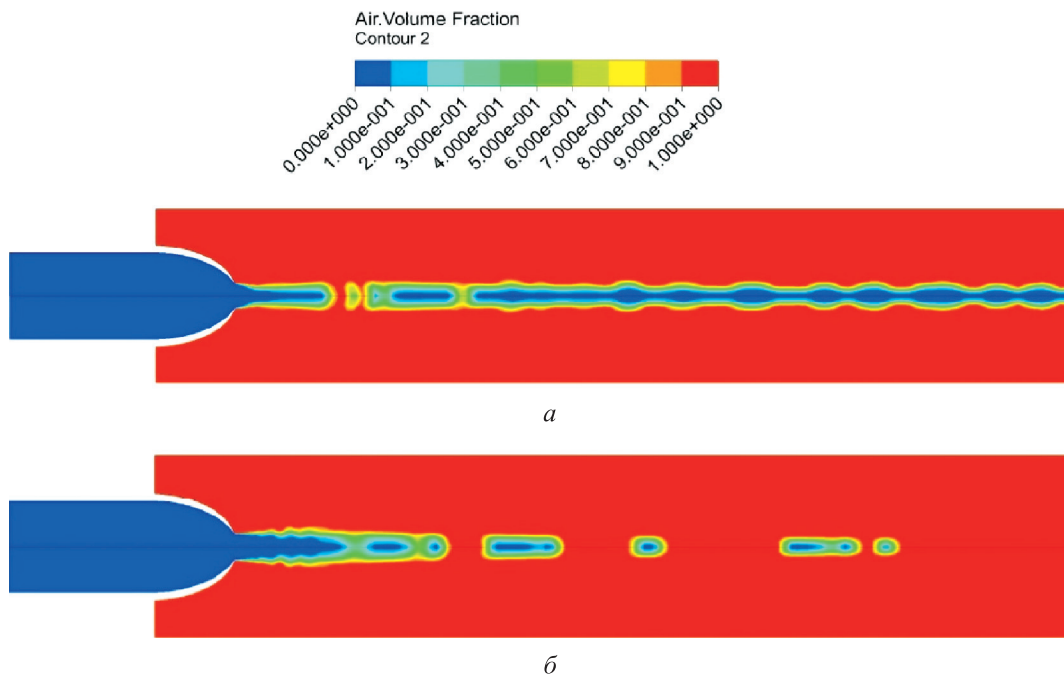


Рис. 4. Поля объемной доли ЖФ в расчетной области при постоянных (а) и реальных (б) теплофизических свойствах ЖФ

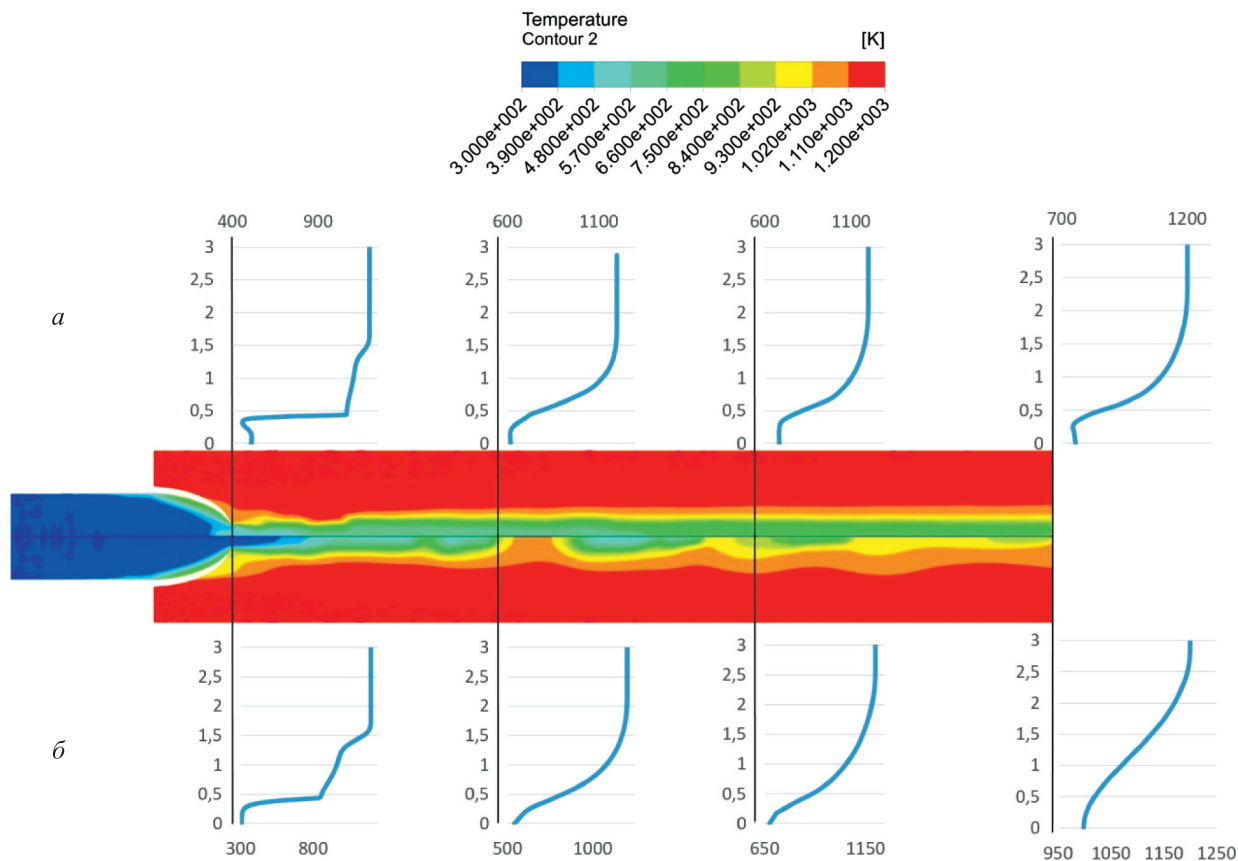


Рис. 5. Поля температуры, К, двухфазного потока в расчетной области при постоянных (а) и реальных (б) теплофизических свойствах ЖФ

решали систему нестационарных уравнений Навье — Стокса, осредненных по Фавру [14, 15], замыкаемую моделью турбулентности $k-\omega$ SST (Shear Stress Transport) и уравнением состояния идеального газа.

Результаты численного моделирования. В ходе моделирования получены стационарные распределения газодинамических параметров. Поля объемной доли ЖФ в расчетной области при постоянных теплофизических свойствах приведены на рис. 4, а. Видно, что разбиение струи происходит только вблизи выхода из сопла вследствие взаимодействия жидкости с воздушным потоком, однако на удалении от сопла вязкие силы и силы поверхностного натяжения преобладают над силами турбулентного трения.

Так как заданные реальные теплофизические свойства зависят от температуры и с ее повышением уменьшают свои значения, при теплообмене ЖФ с ГФ жидкость нагревается, капиллярные силы воды уменьшаются и начинают преобладать силы турбулентной вязкости.

Это приводит к разбиению струи, что и показано на рис. 4, б.

Поле температуры двухфазного потока в расчетной области для ЖФ с постоянными теплофизическими свойствами приведено на рис. 5, а, где видно, что градиент температур имеет слоистый характер в струе и зернистый на периферии. Поле температуры двухфазного потока в расчетной области для ЖФ с реальными теплофизическими свойствами показано на рис. 5, б. Здесь вблизи стенок отсутствуют ярко выраженные перепады температур. В сечениях по длине расчетной области представлены зависимости температуры (К) от ординаты (мм) этой области.

На рис. 6, а и б изображены поля скорости двухфазного потока в расчетной области при постоянных и реальных теплофизических свойствах ЖФ соответственно. В сечениях по длине расчетной области показаны зависимости скорости потока (м/с) от ординаты (мм) этой области. Как видно из рис. 6, скоростное отставание между фазами меньше при использовании реальных свойств жидкости.

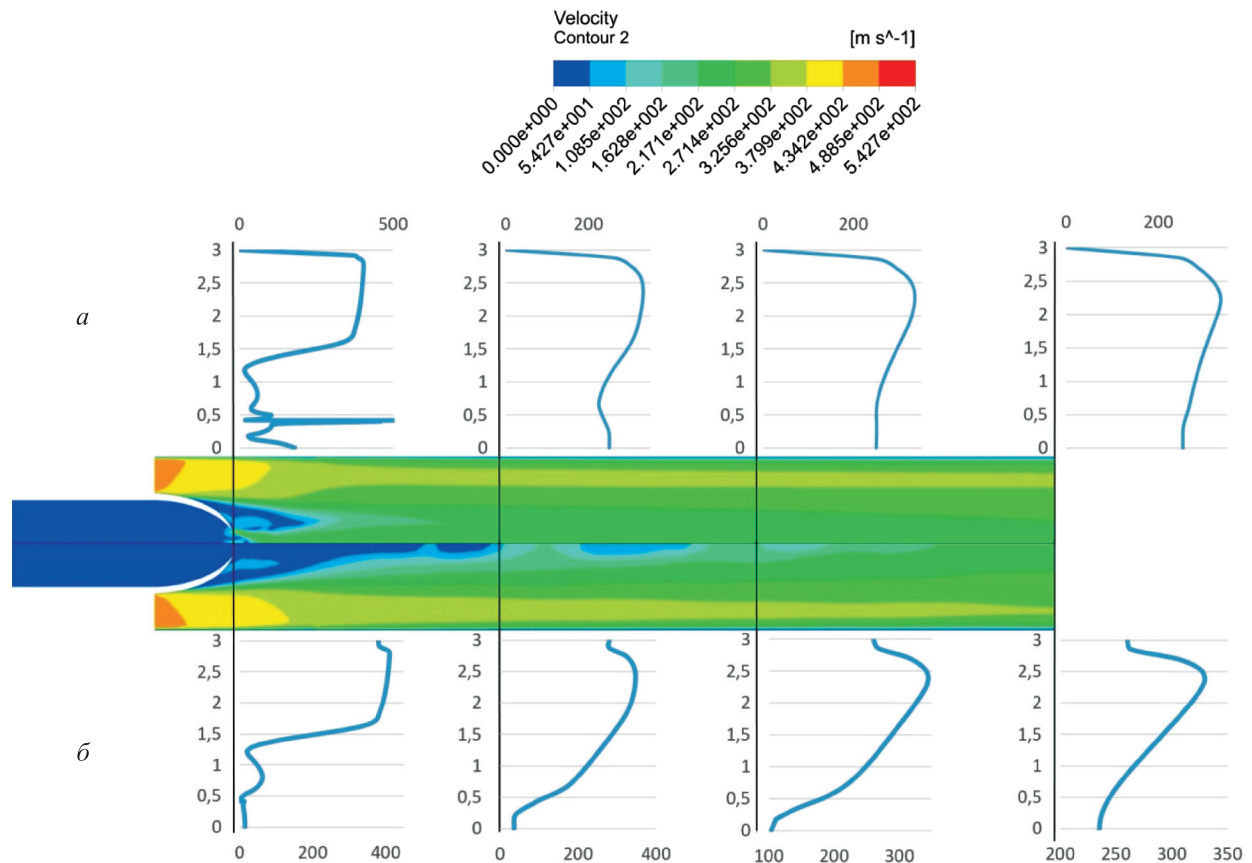


Рис. 6. Поля скорости, м/с, двухфазного потока в расчетной области при постоянных (а) и реальных (б) теплофизических свойствах ЖФ

Расчетные интегральные характеристики потока

p , МПа	$g_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{const}}$	$g_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{var}}$	T^{const} , К	T^{var} , К
0,10	0,062792431	0,060859747	1068,3689	1088,3542
0,15	0,059580504	0,05631484	1125,2206	1121,6246
0,20	0,063666733	0,068877135	1168,6557	1085,6271
0,25	0,063483104	0,063573609	1059,0749	1038,5364

Определение интегральных характеристик двухфазного течения. Результаты численного моделирования, полученные для диапазона изменения входного давления воды, позволяют выявить не только характерные газодинамические особенности течения, но и определить интегральные характеристики объемного содержания ЖФ и температуры в сечениях по длине СФ.

В таблице приведены расчетные интегральные характеристики двухфазного потока в расчетной области, где $g_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{const}}$ и $g_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{var}}$ — объемное содержание ЖФ с постоянными и реальными теплофизическими свойствами; T^{const} и T^{var} — усредненная по объему СФ температура двух-

фазного потока с постоянными и реальными теплофизическими свойствами ЖФ.

Выводы

1. Проведено численное моделирование течения вблизи СФ для заданного диапазона давлений $p = 0,10 \dots 0,25$ МПа, в результате которого для двухфазного течения получены поля скорости, температуры и объемной доли.

2. Выполнено сравнение полей газодинамических параметров потоков с постоянными теплофизическими свойствами и реальными. При начальном давлении жидкости $p = 0,2$ МПа с теплофизическими свойствами,

зависящими от температуры, стационарное решение отсутствовало. При давлении p , равных 0,1; 0,15 и 0,25 МПа, использование реальных теплофизических свойств ЖФ увеличивало дробление струи вследствие уменьшения капиллярных сил жидкости с повышением ее температуры. Также обнаружено, что при реальных теплофизических свойствах скорост-

ное и температурное отставание между фазами уменьшалось.

3. Сделано сравнение интегральных характеристик потока с постоянными и реальными теплофизическими свойствами, в ходе которого определено, что характер роста температуры потока различен, что обусловлено нелинейной зависимостью термодинамических параметров.

Литература

- [1] Матюнин О.О., Бачев Н.Л., Бульбович Р.В. Численное моделирование течения в полости струйно-струйной жидкостной форсунки. *Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника*, 2015, № 43, с. 19–33.
- [2] Лисицин А.Н., Бадерников А.В., Печеник Е.В. Результаты численного моделирования двухфазного течения жидкость/газ на основе упрощенной модели масляного картера. *Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета*, 2014, № 5(47), ч. 2, с. 135–142.
- [3] Варгафтик Н.Б. *Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей*. Москва, Наука, 1972, с. 48–49, 51, 53.
- [4] Tsipenko A.V., Karpyshev A.V. Numerical investigation for criteria of compactness for two-phase jets. *Fluid-particle interaction-VI conference*, 25–30 August, 2002, Barga, Italy, UEF, poster session.
- [5] Tsipenko A.V., Karpyshev A.V. An experimental investigation of heterogeneous jet with a large mass loading ratio in the propeller flow. *Fluid-particle interaction-VI conference*, 25–30 August, 2002, Barga, Italy, UEF, poster session.
- [6] Naphon P. Thermal performance and pressure drop of the helical-coil heat exchangers with and without helically crimped fins. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 2007, vol. 34(3), pp. 321–330.
- [7] Naphon P., Wongwises S. A review of flow and heat transfer characteristics in curved tubes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2006, vol. 10, no. 5, pp. 463–490.
- [8] Jayakumar J.S., Mahajani S.M., Mandal J.C., Vijayan P.K., Bhoi R. Experimental and CFD estimation of heat transfer in helically coiled heat exchangers. *Chemical Engineering Research and Design*, 2008, vol. 86(3), pp. 221–232.
- [9] Ghorbani N., Taherian H., Gorji M., Mirgolbabaie H. Experimental study of mixed convection heat transfer in vertical helically coiled tube heat exchangers. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 2010, vol. 34(7), pp. 900–905.
- [10] Shokouhmand H., Salimpour M.R., Akhavan-Bevabadi M.A. Experimental investigation of shell and coiled tube heat exchangers using Wilson plots. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 2007, vol. 35(1), pp. 84–92.
- [11] Miller S.A.E., Veltin J., Morris P.J., McLaughlin D.K. Assessment of computational fluid dynamics for supersonic shock containing jets. *AIAA Journal*, 2009, vol. 47(11), pp. 2738–2746.
- [12] Лисицин А.Н. *Повышение эффективности проектирования масляных полостей опор ГТД на основе метода численного моделирования двухфазного течения*. Дис. ... канд. техн. наук. Рыбинск, РГАТУ, 2015, с. 24–27.
- [13] Hirt C.W., Nichols B.D. Volume of Fluid (VOF) Method for the Dynamics of Free Boundaries. *Journal of Computational Physics*, 1981, vol. 39(1), pp. 201–225.
- [14] Favre A. Equations des gaz turbulents compressibles. Part 1: Formes generals. *Journal de Mecanique*, 1965, vol. 4, no. 3, pp. 361–390.
- [15] Favre A. Equations des gaz turbulents compressibles. Part 2: Method des vitesses moyennes; method des vitesses moyennes ponderees par la masse volumique. *Journal de Mecanique*, 1965, vol. 4, no. 3, pp. 391–421.

References

- [1] Matyunin O.O., Bachev N.L., Bul'bovich R.V. Chislennoe modelirovanie techeniya v polosti struyno-struynoy zhidkostnoy forsunki [Numerical simulation of the flow in two-component fuel injector]. *Vestnik PNIPU. Aerokosmicheskaya tekhnika* [PNRPU Aerospace Engineering Bulletin]. 2015, no. 43, pp. 19–33.
- [2] Lisitsin A.N., Badernikov A.V., Pechenik E.V. Rezul'taty chislennogo modelirovaniya dvuhfaznogo techeniya zhidkost'/gaz na osnove uproshchennoy modeli maslyanogo kartera [Results of numerical modeling of two-phase liquid/gas flow on the basis of a simplified model of oil chamber]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta* [VESTNIK of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering]. 2014, no. 5(47), pt. 2, pp. 135–142.
- [3] Vargaftik N.B. *Spravochnik po teplofizicheskim svoystvam gazov i zhidkostey* [Guide to thermophysical properties of gases and liquids]. Moscow, Nauka publ., 1972, pp. 48–49, 51, 53.
- [4] Tsipenko A.V., Karpyshev A.V. Numerical investigation for criteria of compactness for two-phase jets. *Fluid-particle interaction-6 conference*, 25–30 August, 2002, Barga, Italy, UEF, poster session.
- [5] Tsipenko A.V., Karpyshev A.V. An experimental investigation of heterogeneous jet with a large mass loading ratio in the propeller flow. *Fluid-particle interaction-6 conference*, 25–30 August, 2002, Barga, Italy, UEF, poster session.
- [6] Naphon P. Thermal performance and pressure drop of the helical-coil heat exchangers with and without helically crimped fins. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 2007, vol. 34(3), pp. 321–330.
- [7] Naphon P., Wongwises S. A review of flow and heat transfer characteristics in curved tubes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2006, vol. 10, no. 5, pp. 463–490.
- [8] Jayakumar J.S., Mahajani S.M., Mandal J.C., Vijayan P.K., Bhoi R. Experimental and CFD estimation of heat transfer in helically coiled heat exchangers. *Chemical Engineering Research and Design*, 2008, vol. 86(3), pp. 221–232.
- [9] Ghorbani N., Taherian H., Gorji M., Mirgolbabaei H. Experimental study of mixed convection heat transfer in vertical helically coiled tube heat exchangers. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 2010, vol. 34(7), pp. 900–905.
- [10] Shokouhmand H., Salimpour M.R., Akhavan-Bevabadi M.A. Experimental investigation of shell and coiled tube heat exchangers using Wilson plots. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 2007, vol. 35(1), pp. 84–92.
- [11] Miller S.A.E., Veltin J., Morris P.J., McLaughlin D.K. Assessment of computational fluid dynamics for supersonic shock containing jets. *AIAA Journal*, 2009, vol. 47(11), pp. 2738–2746.
- [12] Lisitsin A.N. *Povyshenie effektivnosti proektirovaniya maslyanyh polostey opor GTD na osnove metoda chislennogo modelirovaniya dvuhfaznogo techeniya*. Diss. kand. tekhn. nauk [Improving the efficiency of designing oil cavities of gas turbine engine supports based on the method of numerical simulation of two-phase flow. Cand. tech. sci. diss.]. Rybinsk, RSATU publ., 2015, pp. 24–27.
- [13] Hirt C.W., Nichols B.D. Volume of Fluid (VOF) Method for the Dynamics of Free Boundaries. *Journal of Computational Physics*, 1981, vol. 39(1), pp. 201–225.
- [14] Favre A. Equations des gaz turbulents compressibles. Part 1: Forms generals. *Journal de Mecanique*, 1965, vol. 4, no. 3, pp. 361–390.
- [15] Favre A. Equations des gaz turbulents compressibles. Part 2: Method des vitesses moyennes; method des vitesses moyennes ponderees par la masse volumique. *Journal de Mecanique*, 1965, vol. 4, no. 3, pp. 391–421.

Информация об авторах

ХЛОПОВ Андрей Дмитриевич (Москва) — инженер отдела «Газовая динамика силовых установок». ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова» (111116, Москва, Российская Федерация, Авиамоторная ул., д. 2, e-mail: shodaime96@gmail.com).

ФРАНЦУЗОВ Максим Сергеевич (Москва) — младший научный сотрудник отдела «Аэрокосмические двигатели». ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова»; преподаватель кафедры «Теплофизика». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: mfrancuzov@yandex.ru).

ЧЕЛМОДЕЕВ Ростислав Игоревич (Москва) — преподаватель кафедры «Теплофизика». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: cherosz@yandex.ru).

Information about the authors

KHLOPOV Andrei Dmitrievich (Moscow) — Engineer, Gas Dynamics of Power Plants Department. Federal State Unitary Enterprise — Baranov Central Institute of Aviation Motors CIAM (111116, Moscow, Russian Federation, Avaimotornaya St., Bldg. 2, e-mail: shodaime96@gmail.com).

FRANTSUZOV Maksim Sergeevich (Moscow) — Junior Research Scientist, Aerospace Engine Department. Federal State Unitary Enterprise — Baranov Central Institute of Aviation Motors CIAM; Lecturer, Department of Thermophysics. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: mfrancuzov@yandex.ru).

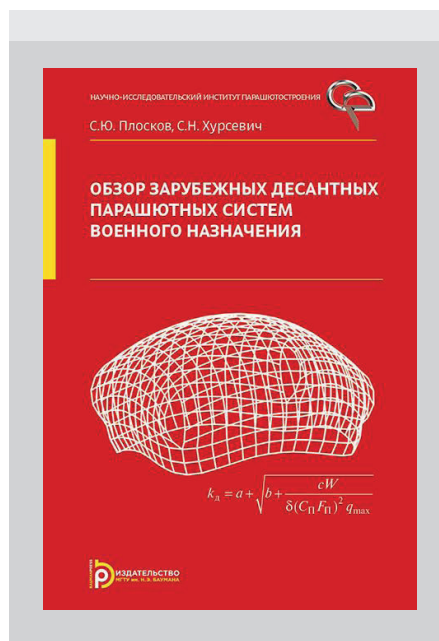
CHELMODEEV Rostislav Igorevich (Moscow) — Lecturer, Department of Thermophysics. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: cherosz@yandex.ru).

Просьба сослаться на эту статью следующим образом:

Хлопов А.Д., Французов М.С., Челмодеев Р.И. Результаты численного моделирования двухфазного течения жидкости/газа при постоянных и реальных теплофизических свойствах жидкости. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2018, № 10, с. 63–71, doi: 10.18698/0536-1044-2018-10-63-71.

Please cite this article in English as:

Khlopov A.D., Frantsuzov M.S., Chelmodeev R.I. The Results of Numerical Simulation of Two-Phase Liquid/Gas Flow with Constant and Real Thermophysical Properties of the Liquid. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2018, no. 10, pp. 63–71, doi: 10.18698/0536-1044-2018-10-63-71.



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана

вышла в свет монография

С.Ю. Плоскова, С.Н. Хурсевича

«Обзор зарубежных десантных парашютных систем военного назначения»

Изложены теоретические основы и практические методы програПриведены результаты исследования современных десантных парашютных систем военного назначения зарубежного производства, обобщен опыт разработок, проанализированы конструкции и дана классификация таких парашютных систем.

Для специалистов в области парашютно-десантной и авиационной техники.

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.

Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;

press@bmstu.ru; www.baumanpress.ru