

Т. П. МИХАЙЛЕНКО, Д. А. НЕМЧЕНКО, ДУАИССИА ОМАР ХАДЖ АИССА, И. И. ПЕТУХОВ

ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕМЕНТАХ МАСЛОСИСТЕМЫ ГТД

АННОТАЦИЯ Надежная работа газотурбинного двигателя во многом определяется совершенством масляной системы. В связи с этим остро стоят вопросы по модернизации маслосистем и разработке новых подходов к их проектированию. Практически в любом элементе маслосистемы движется двухфазная смесь масла с воздухом, что влияет на протекание термогидравлических процессов в этих элементах. Статья посвящена анализу особенностей этих процессов и подходов к их моделированию.

Ключевые слова: газотурбинный двигатель, маслосистема, двухфазный поток, масловоздушная смесь, термогидравлические процессы.

T. MYKHAILENKO, D. NEMCHENKO, DOUAISSIA OMAR HADJ AISSA, I. PETUKHOV

APPROACHES TO THE SIMULATION OF THERMAL HYDRAULIC PROCESSES IN THE OIL SYSTEM ELEMENTS OF GAS TURBINE ENGINE

ABSTRACT Design of the oil-system for gas-turbine engines requires the calculation of the exact fuel consumption and pressure losses in the pipelines, the heat exchange between the oil and the lubrication system elements, critical modes of the flow in the pipelines and local resistances. A development of the model of oil system that will enable the measurement of the flow rate and other parameters at any place inside the oil system, the numerical investigation of the influence of structural improvements taking into account these parameters is a rather promising outlook. A specific feature of the oil system of gas turbine engine is that the oil and air mixture is passing instead of single-phase liquid (oil) actually in each element of it, which affects the behavior of thermohydraulic processes in these elements. This scientific paper gives consideration to the peculiarities of the two-phase flow of oil-gas mixture, heat-mass exchange processes that occur in the oil cavity of the rotor rack of gas turbine engine and prevalent approaches to their analysis. Consideration was also given to specific features of software products available for the numerical simulation of thermal hydraulic processes and the possibility of their use for the development of the model of oil system for the gas turbine engine has been analyzed. This scientific paper showed that the investigations carried out in this field require theoretical approaches to the problem solution, the use of state-of-the-art program packages for numerical experiments and the availability of experimental base.

Key words: gas-turbine engine, oil system, two-phase flow, oil-air mixture and thermohydraulic processes.

Введение

Совершенствование авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) и энергетических установок на их базе идет по пути дальнейшего улучшения удельных показателей, при одновременном ужесточении требований по надежности и ресурсу. В связи с созданием авиационных двигателей новых поколений, а также с повышением требований к эффективности процессов их проектирования и доводки, все больше внимания уделяется методам и средствам математического моделирования ГТД и его систем [1]. Одной из таких систем является система смазки, непосредственным образом влияющая на надежность работы двигателя.

При проектировании маслосистемы ГТД возникает необходимость расчета точного расхода масла и потерь давления в трубопроводах, теплообмена между маслом и элементами системы смазки, критических режимов течения в трубопроводах и местных сопротивлений. В связи с этим, перспективным направлением может являться создание модели маслосистемы, позволяющей определить указанные выше параметры в характерных местах маслосистемы и численно исследовать влияние конструктивных доработок на эти параметры.

Маслосистема газотурбинного двигателя состоит из разнородных с точки зрения теплогидравлических процессов частей, что вызывает определенную сложность при ее моделировании. Постановка граничных условий в ряде случаев связана с описанием рабочего процесса примыкающих (сопряженных) элементов двигателя. Кроме этого необходимо учитывать, что в масляных полостях опор ротора, в суфлирующей и откачивающей магистралях движется не однофазная среда, а масляно-воздушная смесь. Для двухфазного потока изменение температуры и давления меняют не только теплофизические свойства фаз, но также объемное газосодержание, плотность и скорость смеси. Это прямо влияет на гидравлические потери и условия теплообмена.

Цель работы

Целью данной публикации является рассмотрение особенностей протекания теплогидравлических процессов в элементах масляной системы ГТД и формирование подходов к их моделированию.

1 Элементы системы смазки и суфлирования ГТД

Схема маслосистемы определяется назначением и типом ГТД [2–4]. На рис. 1 представлена упрощенная схема циркуляционной нормально замкнутой маслосистемы [5]. В такой системе масло, откачиваемое из маслосборников двигателя, после очистки от механических примесей, отделения воздуха и охлаждения подается снова в двигатель. Она включает в себя всасывающую, нагнетающую и откачивающую магистрали, а также систему суфлирования масляных полостей двигателя.

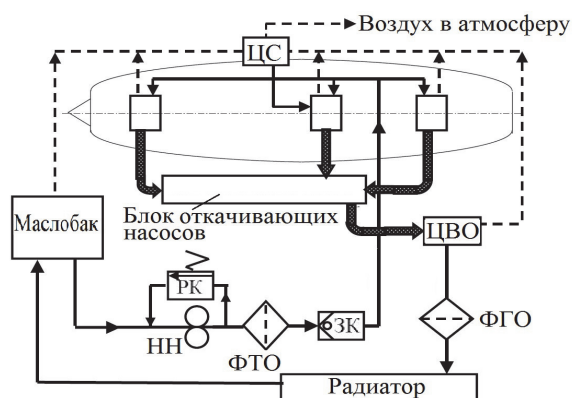


Рис. 1 – Схема циркуляционной нормально замкнутой маслосистемы: НН – нагнетающий маслонасос; РК – редукционный клапан; ФТО и ФГО – фильтры тонкой и грубой очистки масла; ЗК – запорный (обратный) клапан; ЦВО – центробежный воздухоотделитель; ЦС – центробежный суфлер

Всасывающая магистраль подводит масло из маслобака к нагнетающему насосу самотеком или при помощи подкачивающего маслонасоса. Нагнетающая магистраль подводит масло к местам смазки под давлением 0,35...0,5 МПа. В магистраль входят нагнетающий насос с редукционным клапаном, фильтр тонкой очистки, запорный клапан, препятствующий перетеканию масла из бака в неработающий двигатель, масляные форсунки, датчики-указатели температуры и давления масла на входе в двигатель. Откачивающая магистраль отводит смесь масла и воздуха, попавшего в масляную полость за счет наддува уплотнений, из маслосборников двигателя. Она включает в себя фильтрующие и пеногасящие сетки, устанавливаемые в маслосборниках, датчики-указатели температуры и давления масла на выходе из двигателя, сигнализаторы наличия стружки в масле, откачивающие маслонасосы, воздухоотделитель, фильтр грубой очистки, топливомасляный или воздухомасляный радиатор. Суфлирующая магистраль обеспечивает сообщение всех масляных полостей с атмосферой и поддержание в полостях

двигателя давления воздуха, обеспечивающего нормальную работу контактных и расходных уплотнений. Система включает в себя трубопроводы и центробежный суфлер, предназначенный для выпуска воздуха и газов из масляных полостей двигателя в атмосферу, отделения от потока воздуха и газа частичек масла и поддержания заданного избыточного давления в суфлируемых полостях.

2 Особенности двухфазного течения масляно-воздушной смеси

Практически в любом элементе маслосистемы движется не однофазная жидкость – масло, а смесь его с воздухом, причем часть воздуха растворена в масле. При этом состав раствора зависит от вида масла, его температуры и давления и может отличаться от равновесного при быстром изменении этих параметров.

Структура двухфазного потока меняется по всему контуру маслосистемы. В откачивающей магистрали с объемным газосодержанием потока от 0,7 до 0,1 возможны пенный, расслоенный, снарядный или пузырьковый режимы течения. В нагнетающем контуре – пузырьковый режим течения. В суфлирующей магистрали поток имеет, как правило, дисперсную или дисперсно-кольцевую структуру с газосодержанием, близким к единице. Эту особенность нужно учитывать при тепловом и гидравлическом расчете, поскольку на перепад давления и теплоотдачу влияют не только газосодержание и теплофизические свойства фаз, но и режим течения (структура) двухфазного потока, который может меняться при определенных сочетаниях параметров.

Известные карты режимов течения [6] носят лишь качественный характер и получены, в основном, при анализе течения водовоздушных и пароводяных потоков в трубах. Поэтому вопросы идентификации структуры двухфазной масляно-воздушной смеси даже для прямолинейных участков и установившегося течения не определены. Конфигурация трубопроводов маслосистемы с поворотными участками различной ориентации относительно силы тяжести, влияние гравитации из-за относительно малой скорости потока в отдельных каналах еще больше осложняют эту задачу.

Еще одна особенность двухфазных потоков связана с низкими значениями равновесной скорости звука. Для отдельных структур это может качественно изменить характер течения уже при скоростях потока 10–20 м/с. Отдельного исследования требуют также вопросы образования двухфазного потока при смешении воздуха и масла, разделения смеси в криволинейных каналах и вращающихся элементах центробежных сепараторов фаз.

3 Процессы тепломассообмена в масляной полости опоры ротора ГТД

Математическая модель маслосистемы должна базироваться на описании теплогидравлических процессов в отдельных элементах маслосистемы, учитывая взаимосвязи между ними. Ключевым элементом системы смазки авиационного двигателя является опора ротора, так как величина потребной прокачки масла зависит от конструкции опоры, частоты вращения ротора и тепловых потоков в масляную полость опоры.

Для определения потребной прокачки масла необходимо расчёт теплового потока от двигателя в масляную полость опоры. Для исключения перетечек масла из масляной полости через уплотнения, в предмасляной полости создается большее давление за счет наддува воздухом, чаще всего отбираемым от компрессора ГТД. В результате этого в масляную полость попадает теплый воздух и смешивается с маслом, образуя масляно-воздушную смесь. При этом количество тепла, поступившего с воздухом, определяется его температурой и расходом. Расход воздуха через уплотнения зависит от перепада давления снаружи и внутри масляной полости. В общем представлении, тепловой поток в масляную полость опоры состоит из нескольких составляющих, изображенных на рис. 2.

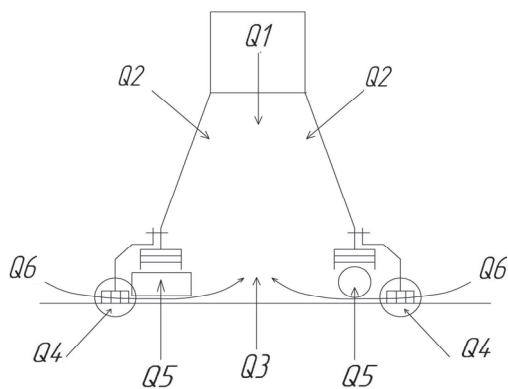


Рис. 2 – Составляющие теплового потока в масляную полость опоры

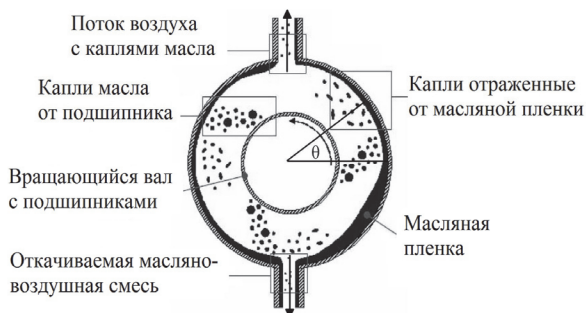


Рис. 3 – Структура потока в масляной полости опоры

К ним относятся тепловые потоки: из тракта (Q_1); через стенки опоры (Q_2); через вал (Q_3); от трения в уплотнениях (Q_4); от трения в подшипниках, зубчатых передачах, шлицевых соединениях и т.п. (Q_5); от воздуха, поступающего через уплотнения (Q_6).

Из тракта теплота передается в масляную полость за счет теплопроводности через элементы опоры, контактирующие с проточной частью двигателя, а затем конвекции. Аналогичный процесс наблюдается и при передаче теплоты от вала.

Процесс передачи тепла через стенки происходит за счет конвекции, теплопроводности и излучения. При передаче теплоты от окружающей среды к стенке опоры и от стенки опоры к окружающей среде в основном преобладает конвективный теплообмен, за исключением опор турбин. Так как в основном масляная полость турбин снаружи обтекается потоком горячего воздуха, то необходимо учитывать и лучистую составляющую теплового потока. В общем случае тепловой поток через стенку опоры определяется уравнением теплопередачи [7]

$$Q_2 = k(t_b - t_m)F,$$

где k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К); F – площадь поверхности теплообмена, м²; t_b – температура воздуха с наружной стороны стенки, К; t_m – температура масла (температура среды в масляной полости), К.

Для расчёта количества тепла, поступающего в опору из тракта, через стенки и от вала необходимо предварительно определить температуры деталей опоры и коэффициенты теплоотдачи.

Для определения коэффициента теплоотдачи в полости наддува опоры необходимо знать значения температуры, давления в местах отбора и выпуска воздуха из системы наддува. Далее по известной геометрии каналов и значениям газодинамических параметров определяются параметры потока по всей сети. При этом учитывается влияние подогрева воздуха, вследствие температурной неравномерности элементов системы.

Коэффициент теплоотдачи в масляной полости опоры зависит от структуры потока и других факторов. К ним можно отнести частоту вращения вала, расходы масла на смазку трущихся деталей и воздуха, прошедшего через уплотнения, геометрические размеры полости. На рис. 3 показана возможная структура потока в масляной полости опоры [8].

На данный момент не существует единой методики расчета коэффициента теплоотдачи в масляной полости, что является предметом для научных исследований.

Тепловой поток от трения в уплотнениях может рассчитываться по методике, изложенной в [9], а от трения в подшипниках – по методике, предложенной Демидовичем [10].

4 Численное моделирование теплогидравлических процессов

На данный момент известны методики тепловых и гидродинамических расчетов однофазного течения в сложных системах. Существуют программные комплексы, позволяющие моделировать сложные системы и выполнять их термогидравлический анализ такие, как:

- *Generalized Fluid System Simulation Program (GFSSP)* [11].
- *Flow Network Modeling Code (FLOMODL)* [12].
- *Aspen HYSYS* [13] – система точного моделирования технологических процессов в нефтегазоперерабатывающей отрасли.

Перечисленные программы позволяют формировать сложную систему из набора стандартных элементов, устанавливать связи между ними, задавать воздействия на систему и проводить анализ процессов. Кроме этого программы имеют в своем составе средства для расчета теплофизических свойств теплоносителей в зависимости от температуры и давления. Графический интерфейс программы делает систему интуитивно понятной для пользователя, что сокращает время, требуемое для создания модели системы. Данные программы разработаны под конкретные области техники и имеют в своем составе набор стандартных элементов, характерный для этих областей. Отсутствие требуемого набора элементов маслосистемы, а также корректного описания свойств масляно-воздушной смеси делают эти программы непригодными для создания модели маслосистемы ГТД.

Для моделирования маслосистемы ГТД разработан программный комплекс *General Analysis Software of Aero-Engine Lubrication System (GASLS)* [14]. Он имеет интуитивно понятный интерфейс, позволяет визуализировать систему, однако в нем не учитываются характеристики многофазных потоков, которые присущи маслосистеме авиационного двигателя, особенно, это касается масляных полостей опор роторов, откачивающих и суфлирующих магистралей. Таким образом, принятый в *GASLS* подход к расчету теплогидравлических процессов вносит существенную погрешность при моделировании реальных процессов, происходящих в маслосистеме ГТД.

В последнее время было предпринято ряд попыток для моделирования двухфазных потоков в откачивающем трубопроводе, например [15], а также в масляных полостях опор ротора ГТД [16] с использованием *CFD*-моделирования. Для этого использовались различные подходы и модели многофазных потоков встроенные в программный комплекс ANSYS, показанные на рис. 4.

Для подхода «*Euler – Euler*» свойственно моделирование двухфазного течения как единого потока с границей раздела фаз. Для подхода «*Euler*

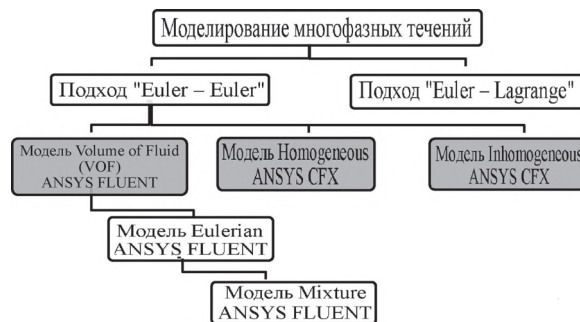


Рис. 4 – Моделирование многофазных течений

– *Lagrange*» характерно разделение на сплошной поток и дискретные частицы. Согласно анализу для моделирования процесса, при взаимодействии жидкости и газа на границе раздела фаз рационально использовать подход «*Euler – Euler*». Наиболее пригодными для моделирования процессов, протекающих в масляных полостях опор, являются модель *VOF*, реализованная в программном пакете *ANSYS FLUENT*, а также модели *Homogeneous* и *Inhomogeneous*, реализованные в программном пакете *ANSYS CFX*. Для моделей *Mixture* и *Eulerian* необходимо иметь подробное представление о структуре многофазной среды. В работе [12] изучались процессы в маслокартере с привлечением экспериментальных данных и результатов *CFD*-моделирования. При этом рассматривались различные модели многофазного течения. Как показал сравнительный анализ, использование модели *VOF* дало лучший результат, разница между результатами расчета и эксперимента составила 9 %.

Выводы

Исследование теплогидравлических процессов в элементах маслосистемы ГТД является одной из актуальных технических задач. Математическое моделирование сложных процессов основывается на рассмотрении системы уравнений, содержащей фундаментальные уравнения математической физики, начальные и граничные условия. В рассматриваемых случаях всё сводится к моделированию внутренних течений двухфазных потоков в каналах различной геометрии, жидкая и газообразная фаза которых обмениваются массой, теплотой и количеством движения. Разработка математической модели, программная реализация численных методов решения задач гидродинамики и теплообмена двухфазных потоков представляет самостоятельную научную задачу. На основании результатов численного исследования можно будет делать выводы относительно эффективности того или иного элемента системы и затем принимать дальнейшие решения по улучшению работы маслосистемы. Результаты математической модели могут быть использованы при проектировании и оптимизации системы смазки ГТД.

На данный момент известны методики тепловых и гидродинамических расчетов однофазного течения в маслосистеме, разработаны специальные программные комплексы, позволяющие анализировать распределение расхода, давления и температуры масла на различных участках системы смазки. Однако такой подход приводит к большим погрешностям в виду того, что параметры потока в значительной степени определяются свойствами и характером поведения компонентов в смеси.

Исследования по представленным направлениям требуют теоретических подходов к решению задач, применение современных программных пакетов для проведения численных экспериментов и наличие стендовой базы.

Список литературы

- 1 **Кривошеев, И. А.** Имитационное моделирование работы авиационных ГТД с элементами систем управления / **И. А. Кривошеев, Д. А. Ахмедзянов, А. Е. Кишалов** // Вестник Уфимского гос. авиацион. техн. университета. – 2008. – Т. 11, № 2. – С. 37–38.
- 2 **Иноземцев, А. А.** Автоматика и регулирование авиационных двигателей и энергетических установок. Системы: в 5 томах. Т. 5. Газотурбинные двигатели / **А. А. Иноземцев, М. А. Нихамкин, В. Л. Сандрацкий**. – Москва : Машиностроение, 2008. – 200 с.
- 3 **Домотенко, Н. Т.** Масляные системы газотурбинных двигателей / **Н. Т. Домотенко, А. С. Кравец**. – Москва : Транспорт, 1972. – 96 с.
- 4 **Бич, М. М.** Смазка авиационных газотурбинных двигателей / **М. М. Бич, Е. В. Вейнберг, Д. Н. Сурнов** ; под ред. Г. С. Скубачевского. – Москва : Машиностроение, 1979. – 176 с.
- 5 **Чигрин, В. С.** Системы и агрегаты ГТД : учеб. пособие / **В. С. Чигрин, С. Е. Белова**. – Рыбинск : РГАТА, 2005. – 20 с.
- 6 **Баттерворс, Д.** Теплопередача в двухфазном потоке: пер. с англ. А. В. Ягова [и др.] / **Д. Баттерворс** ; под ред. Д. А. Лабунцова. – Москва : Энергия, 1980. – 328 с.
- 7 **Исаченко, В. П.** Теплопередача : учеб. для вузов / **Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел**. – 3-е изд., доп. и перераб. – М.: Энергия, 1981. – 488 с.
- 8 **Wang, C.** Thin Film Modelling For Aero-Engine Bearing Chambers / **C. Wang, H. P. Morvan, S. Hibberd, K. A. Cliffe** // Vancouver, British Columbia, Canada, ASME 2011 Turbo Expo: Turbine Technical Conference and Exposition. – 2011. – Vol. 1. – pp. 1–10. – ISBN 978-0-7918-5461-7.
- 9 **Виноградов, А. С.** Исследование теплового состояния опоры авиационного газотурбинного двигателя / **А. С. Виноградов, Р. Р. Бадьков, Д. Г. Федорченко** // Вестник Самарского гос. аэрокосм. университета. – Самара, 2014. – № 5(47), Ч. 1. – С. 37–44. – ISSN: 2541-7533.
- 10 **Демидович, В. М.** Исследование теплового режима подшипников ГТД / **В. М. Демидович**. – Москва : Машиностроение, 1978. – 171 с.
- 11 **Majumdar, A. K.** A Generalized Fluid System Simulation Program to Model Flow Distribution in Fluid Networks / **A. K. Majumdar, J. W. Bailey, P. A. Schallhorn, T. Steadman** // AIAA. – 1998. – No. 98-3682.
- 12 **McAmis, R. W.** Modeling Fluid Flow Networks / **R. W. McAmis, J. T. Miller, R. R. Burdette, D. E. Milleville** // AIAA. – 1996. – No. 96-3120.
- 13 **Кузнецов, О. А.** Основы работы в программе Aspen HYSYS : учеб. пособие / **О. А. Кузнецов**. – Берлин : М. Директ-Медиа. – 2015. – 153 с. – ISBN 978-5-4475-4649-6.
- 14 **Yaguo, Lu.** Numerical Simulation of Aero-Engine Lubrication System / **Lu Yaguo, Liu Zhenxia, Huang Shengqin** // Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. – 2009. – Vol. 131. – doi: 10.1115/1.3026573.
- 15 **Kanarachos, S.** Simulation of the Air-Oil Mixture Flow in the Scavenge Pipe of an Aero Engine / **S. Kanarachos, M. Flouros** // Advances in Remote Sensing, finite differences and information security. – 2012. – pp. 78–83. – ISBN 978-1-61804-127-2.
- 16 **Лисицин, А. Н.** Повышение эффективности проектирования масляных полостей опор ГТД на основе метода численного моделирования двухфазного течения : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.07.05 / **Лисицин Александр Николаевич**. – Рыбинск, 2015. – 16 с.

Bibliography (transliterated)

- 1 **Krivosheev, I. A.** (2008), "Imitacionnoe modelirovanie raboty aviacionnyh GTD s ehlementami sistem upravleniya [The imitation modeling of air turbine engines with control system elements]", *Vestnik UGATU [Scientific journal of Ufa State Aviation Technical University]*, Vol. 11, No. 2, pp. 37–38.
- 2 **Inozemcev, A. A., Nihamkin, M. A. and Sandrackij, V. L.** (2008), *Avtomatika i regulirovanie aviacionnyh dvigatelej i ehnergeticheskikh ustanovok [Automation and regulation of aviation engines and power installations]*, Vol. 5, Mashinostroenie, Moscow, Russia.
- 3 **Domotenko, N. T and Kravec, A. S.** (1972), *Maslyanye sistemy gazoturbinnih dvigatelej [Oil system of gas turbine engines]*, Transport, Moscow, Russian.
- 4 **Bich, M. M., Vejnberg, E. V. and Surnov, D. N.** (1979), *Smazka aviacionnyh gazoturbinnih dvigatelej [Lubrication of aircraft gas turbine engines]*, Mashinostroenie, Moscow, Russia.
- 5 **CHigrin, V. S. and Belova, S. E.** (2005), *Sistemy i agregaty GTD [Gas turbine engine units and systems]*, RGATA, Rybinsk.
- 6 **Battervors, D.** (1980), *Teplperedacha v dvuhfaznom potoke [Two-phase flow and heat transfer]*, Translated by Ygova A. V., Energiya, Moscow.
- 7 **Isachenko, V. P., Osipova, V. A. and Sukomel A. S.** (1981), *Teplperedacha [Heat transfer]*, Energiya, Moscow, Russia.
- 8 **Wang, C, Morvan, H. P., Hibberd, S. and Cliffe, K. A.** (2011), "Thin Film Modelling For Aero-Engine Bearing Chambers", *Vancouver, British Columbia, Canada, ASME 2011 Turbo Expo: Turbine Technical Conference and Exposition*, Vol. 1, pp. 1–10, ISBN 978-0-7918-5461-7.
- 9 **Vinogradov, A. S., Badykov, R. R. and Fedorchenko, D. G.** (2014), "Issledovanie teplovogo sostoyaniya opory aviacionnogo gazoturbinnogo dvigatelya [Analysis of the thermal state of aircraft engine supports]",

- Vestnik SGAU (Samara State Aerospace University)*, Vol. 1, No. 5(47), pp. 37–44, ISSN: 2541-7533.
- 10 **Demidovich, V. M.** (1978), *Issledovanie teplovogo rezhima podshipnikov GTD [Investigation of the thermal regime of the bearings GTE]*, Mashinostroenie, Moscow.
 - 11 **Majumdar, A. K., Bailey, J. W., Schallhorn, P. A. and Steadman, T.** (1998), "A Generalized Fluid System Simulation Program to Model Flow Distribution in Fluid Networks", *AIAA*, No. 98-3682.
 - 12 **McAmis, R. W., Miller, J. T., Burdette, R. R. and Milleville, D. E.** (1996), "Modeling Fluid Flow Networks", *AIAA*, No. 96-3120.
 - 13 **Kuznetsov, O. A.** (2015), *Osnovy raboty v programme Aspen HYSYS [The basics of working in the program Aspen HYSYS]*, M. Direkt-Media, Berlin, ISBN 978-5-4475-4649-6.
 - 14 **Yaguo, Lu, Zhenxia, Liu and Shengqin, Huang** (2009), "Numerical Simulation of Aero-Engine Lubrication System", *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, Vol. 131, doi: 10.1115/1.3026573.
 - 15 **Kanarachos, S. and Flouros, M.** (2012), "Simulation of the Air-Oil Mixture Flow in the Scavenge Pipe of an Aero Engine", *Advances in Remote Sensing, finite differences and information security*, pp. 78–83, ISBN 978-1-61804-127-2.
 - 16 **Lisicin, A. N.** (2015), "Povyshenie effektivnosti proektirovaniya maslyanyh polostej opor gtd na osnove metoda chislennogo modelirovaniya dvuhfaznogo tepcheniya [Increase the productivity of the oil cavities supports GTD method-based numerical simulation of two-phase flow]", *Abstract of a Thesis Candidate of Technical Sciences (Ph. D.)*, Rybinsk.

Сведения об авторах (About authors)

Михайленко Тарас Петрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры аэрокосмической теплотехники Национальный аэрокосмический университет «ХАИ»; г. Харьков, Украина; e-mail: m_tar@mail.ru.

Mykhailenko Taras Petrovich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate Professor, Associate Professor of Aerospace Thermal Engineering Department, Zhukovsky National Aerospace University "KhAI", Kharkov, Ukraine.

Немченко Денис Александрович – аспирант кафедры конструкции авиационных двигателей, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»; г. Харьков, Украина; e-mail: k205@mail.ru.

Nemchenko Denis Aleksandrovich – Graduate Student of Department of Aircraft Engine Design, Zhukovsky National Aerospace University "KhAI", Kharkov, Ukraine.

Дуаиссия Омар Хадж Аисса – аспирант кафедры аэрокосмической теплотехники, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: douaissia.omar@hotmail.fr.

Douaissia Omar Hadj Aissa – Graduate Student of Aerospace Thermal Engineering Department, Zhukovsky National Aerospace University "KhAI", Kharkov, Ukraine.

Петухов Илья Иванович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры аэрокосмической теплотехники, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»; г. Харьков, Украина; e-mail: ilya2950@gmail.com, ORCID 0000-0002-0645-7912.

Petukhov Ilya Ivanovich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate Professor, Associate Professor of Aerospace Thermal Engineering Department, National Aerospace University named after N. Y. Zhukovsky "Kharkov Aviation Institute"; Kharkov, Ukraine.

Пожалуйста ссылаетесь на эту статью следующим образом:

Михайленко, Т. П. Подходы к моделированию теплогидравлических процессов в элементах маслосистемы ГТД / **Т. П. Михайленко, Д. А. Немченко, Дуаиссия Омар Хадж Аисса, И. И. Петухов** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 10(1232). – С. 79–84. – Бібліогр.: 16 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2017.10.11.

Please cite this article as:

Mykhailenko, T., Nemchenko, D., Douaissia Omar Hadj Aissa and Petukhov, I. (2017), "Approaches to the Simulation of Thermal Hydraulic Processes in the Oil System Elements of Gas Turbine Engine", *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment*, no. 10(1232), pp. 79–84, ISSN 2078-774X, doi: 10.20998/2078-774X.2017.10.11.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Михайленко, Т. П. Підходи до моделювання теплогідравлічних процесів Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 10(1232). – С. 79–84. – Бібліогр.: 16 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2017.10.11.

АНОТАЦІЯ Надійна робота газотурбінного двигуна багато в чому визначається досконалістю масляної системи. У зв'язку з цим гостро стоять питання щодо модернізації маслосистем і розробки нових підходів до їх проектування. Практично в будь-якому елементі маслосистеми рухається двофазна суміш масла з повітрям, що впливає на перебіг термогідравлічних процесів в цих елементах. Стаття присвячена аналізу особливостей цих процесів і підходів до їх моделювання.

Ключові слова: газотурбінний двигун, маслосистема, двофазний потік, масловоздушная суміш, термогідравлічні процеси

Поступила (received) 08.02.2017