

***Салахов Ришат Ризович, к.т.н.***

*Казанский национальный исследовательский технический университет*

*им. А. Н. Туполева-КАИ*

***Ермаков Андрей Михайлович, к.т.н.***

*Казанский национальный исследовательский технический университет*

*им. А. Н. Туполева-КАИ*

***Золотов Андрей Сергеевич, магистрант***

*Казанский национальный исследовательский технический университет*

*им. А. Н. Туполева-КАИ*

***Березин Вадим Вячеславович, аспирант***

*Казанский национальный исследовательский технический университет*

*им. А. Н. Туполева-КАИ*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА И ГИДРОДИНАМИКИ В ЭЛЕМЕНТЕ ТРУБЧАТО-ПЛАСТИНЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА МЕТОДОМ ПОРИСТОГО ТЕЛА**

**Аннотация:** В данной работе для проведения расчета элемента теплообмена и гидродинамики трубчато-пластинчатого аппарата применен метод пористого тела, который позволяет уменьшить количество конечных элементов расчетной сетки и упростить геометрию расчетной модели. Сравниваются результаты для моделирования процессов теплообмена и гидродинамики для элемента с полноразмерными пластинами и с заменой их пористым телом. Моделирование было выполнено с помощью программ Siemens NX, Workbench ANSYS academic version 17.2.

**Ключевые слова:** моделирование, теплообмен, программный комплекс ANSYS.

**Abstract:** in this paper, to calculate the element of heat transfer and hydrodynamics of the tubular-plate apparatus, the porous body method is applied, which allows to reduce the number of finite elements of the computational grid and simplify the geometry of the computational model. The results for modeling heat transfer and hydrodynamics for the element with full-size plates and their replacement by a porous body are compared. The simulation was performed using Siemens NX, Workbench ANSYS academic version 17.2.

**Keywords:** modeling, heat transfer, ANSYS software package.

Основной проблемой при моделировании трубчато-пластинчатых теплообменных аппаратов является большой объем конечно-элементной сетки, который получается при моделировании пластин. Примером такого теплообменного аппарата является теплообменный аппарат грузового автомобиля КамАЗ. В разобранном виде он представлен на рисунке 1. Теплообмен осуществляется за счет протекания масла между охлаждающими пластинами, установленными на трубках, внутри которых протекает охлаждающая жидкость.

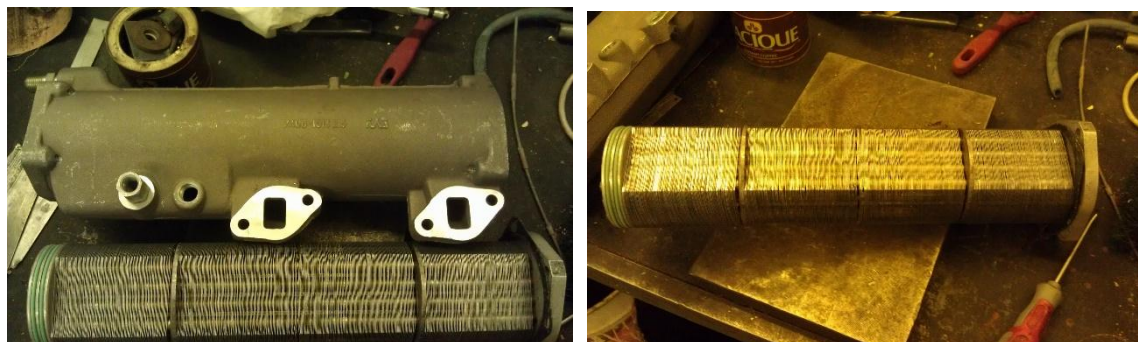


Рис. 1. Теплообменный аппарат, предоставленный для экспериментов (в разобранном виде).

Для моделирования подобных теплообменных аппаратов возможно использовать модель пористого тела, которая упростит геометрию и сделает возможным расчет теплообменного аппарата целиком.

Программный комплекс ANSYS позволяет использовать модель пористого тела для расчета подобных теплообменных аппаратов [1]. Математическая модель представлена ниже.

Потери в изотропной пористой области может быть сформулирована с использованием закона Дарси: коэффициентов проницаемости и потерь следующим образом:

$$\frac{-\Delta p}{dx_i} = \frac{\mu}{K_{\text{perm}}} * U_i - K_{\text{loss}} \cdot \frac{\rho}{2} |U|U_i \quad (1),$$

где  $K_{\text{perm}}$ —проницаемость, а  $K_{\text{loss}}$ — коэффициент квадратичных потерь. Здесь линейная составляющая представляет собой вязкостные потери, а квадратичный – инерционные потери. Или с помощью линейного и квадратичного коэффициентов сопротивления:

$$\frac{-\Delta p}{dx_i} = C_{R1} * U_i - C_{R2}|U|U_i \quad (2),$$

где  $C_{R1} = \frac{\mu}{K_{\text{perm}}}$  – линейный коэффициент сопротивления,

$C_{R2} = K_{\text{loss}} \cdot \frac{\rho}{2}$  – квадратичный коэффициент сопротивления.

Для отработки модели пористого тела и получения линейного и квадратичного коэффициентов используется периодичный элемент теплообменного аппарата, состоящий из 5 пластин, приведенный на рис. 2 а) и домен с пористым телом представлен на рис.2 б), где домен масла и домен пластин были объединены в единый домен пористого тела. За счет этого можно сократить количество элементов сетки, что благоприятно повлияет на продолжительность расчета и требования системным характеристикам расчетного оборудования.

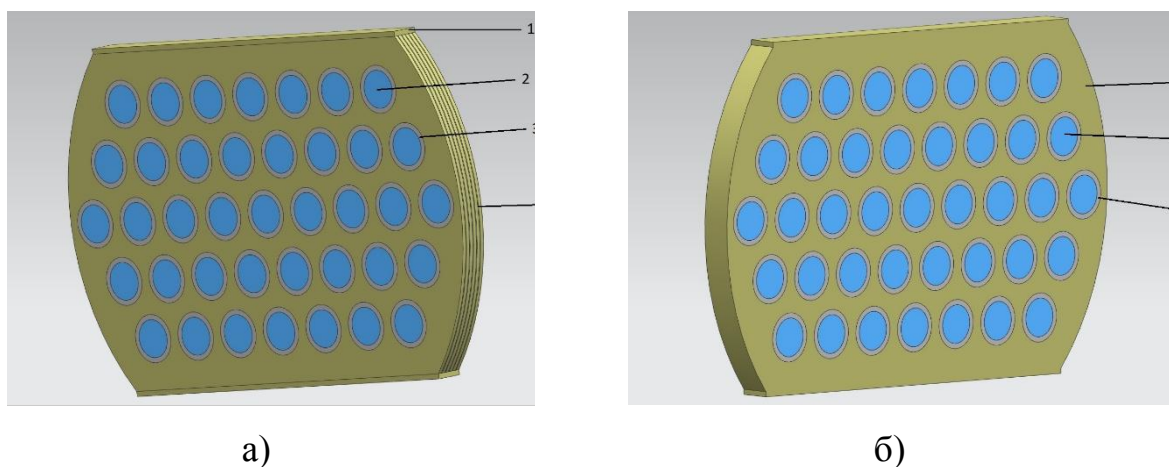


Рис. 2. Элемент теплообменного аппарата: 1 – домен масла; 2 – домен воды; 3 – домен трубок; 4 – домен пластин охлаждающих; а) с пятью пластинами б) с пористым телом

Для правильного функционирования модели в CFX, необходимо задать ее параметры: пористость, проницаемость, коэффициенты гидравлических сопротивлений. Их значения можно вычислить, зная величину плотности и вязкости масла, а также изменений давления и скорости. Изменения скорости и давления получим, проведя серию расчетов модели с пятью пластинами.

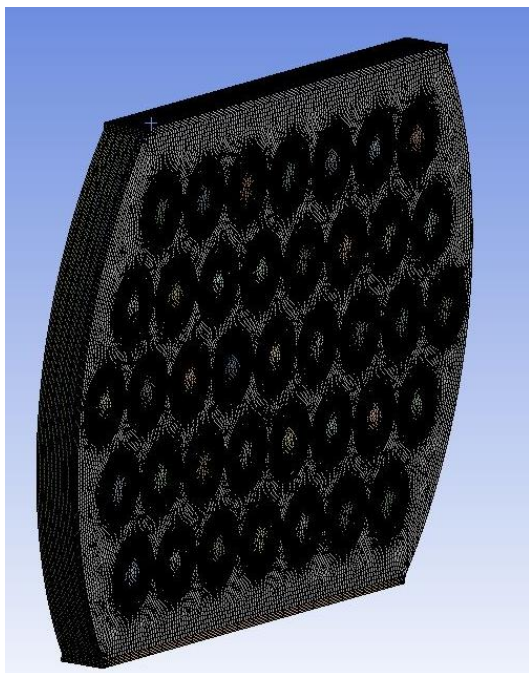
Объемную пористость можно вычислить по формуле 1:

$$\epsilon = \frac{V_o}{V_s} \quad (1)$$

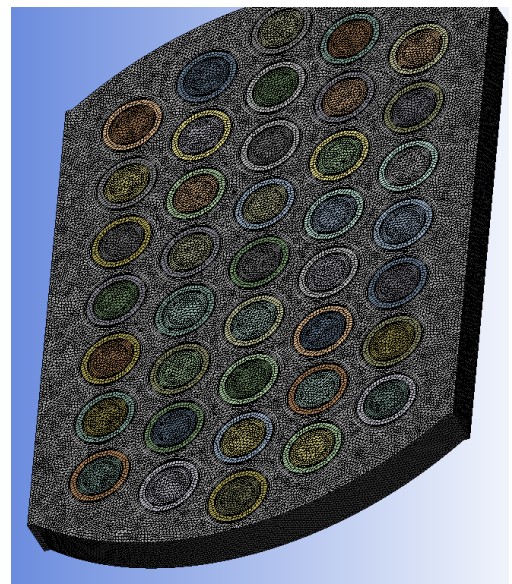
где  $V_o$  – общий объем пористого тела;  $V_s$  – объем домена пластин

Для вычисления коэффициента проницаемости и коэффициента потерь на сопротивление составляется аппроксимационное уравнение. Для этого необходимо иметь значения скорости потока на впуске и гидравлическую характеристику, которые также можно получить расчетным методом в среде ANSYS CFX.

Сетка, имеющая в своем составе все исходные элементы (домены масла, воды, пластин и трубок) (см. рис.3) состоит из 2608721 узлов и 3074499 элементов. Расчет гидравлики в таком домене занял 10 минут 11.956 секунд.



а)



б)

Рис. 3. Сетка исходного домена: а) с 5-ю пластинами; б) с пористым телом

Методика расчета была использована по аналогии с работами [2; 3], кроме того, авторы уже имеют опыт выполнения подобных работ в области численного моделирования процессов в ДВС [4] и гидродинамики и теплообмена [5].

Сетка домена с пористым телом (см. рис. 3 б) имеет 616737 узлов 1548414 элементов. Расчет гидравлики в таком домене занял 4 минуты 30.663 секунд.

Результаты расчета по потерям давления представлен в таблице 1.

Таблица 1. Результаты расчетов гидравлических потерь

Метод	G, кг/с	$P_{inlet}$ , Па	$P_{outlet}$ , Па	$\Delta P$ , Па	Q, Вт	t, мин
Домен с 5-ю пластинами	0,010136	897,6	-0,00309	897,603	352,1	10,2
Домен с пористым телом	0,010136	962	0,67860	961,321	374,4	4,5

Заменяв домены масла и пластин доменом пористого тела, в 2,25 раз сокращается время расчета, в 1,93 раз сокращается количество элементов расчетной сетки, а, следовательно, и требования к техническим характеристикам расчетного оборудования. Сравнивая результаты перепадов давления теплообмена и потерь давления  $\Delta P$  обоих случаев, видно, что результаты расчетов по гидравлическому сопротивлению получены с точностью до 7%, а по тепловому потоку 6,3%.

#### **Библиографический список:**

1. ANSYS, Inc. ANSYS Workbench Products Release Notes. Southpointe 275 Technology Drive Canonsburg, PA 15317 2005. – 1192 с.
2. Magalhães, H.L.F., De Lima, A.G.B., Neto, S.R.D.F., Alves, H.G., De Souza, J.S. Produced water treatment by ceramic membrane: A numerical investigation by computational fluid dynamics. Advances in Mechanical Engineering, 2017, 9(3).

3. Om Ariara Guhan, C.P., Arthanareeswaren, G., Varadarajan, K.N. CFD Study on Pressure Drop and Uniformity Index of Three Cylinder LCV Exhaust System. *Procedia Engineering*, 2015, 127, pp. 1211-1218.

4. Salakhov R.R., Yamalov D.R., Gureev V.M., Salakhov I.R., Gattarov I.F. / NUMERICAL MODELING OF DIESEL INTERNAL COMBUSTION ENGINE HEATING - INTERNATIONAL JOURNAL OF APPLIED ENGINEERING RESEARCH Том: 10 Номер: 24 Год: 2015 Страницы: 44974-44981.

5. Misbakhov, R.S., Gureev, V.M., Moskalenko, N.I., Ermakov, A.M., Bagautdinov, I.Z. Simulation of heat transfer and fluid dynamics processes in shell-and-pipe heat exchange devices with segmental and helix baffles in a casing. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 2015, 12, pp. 563-569.