

УДК 004.942, 62-713.1

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕРМОГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМА В СИСТЕМЕ ОХЛАЖДЕНИЯ МИКРОЗАХВАТА

Насибуллаев И.Ш.

Институт механики им. Р.Р. Мавлютова УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия, sp.ishn@gmail.com

Ключевые слова: гидродинамика, теплоперенос, система охлаждения, капиллярный микрозахват, ортогональный центральный композиционный план.

При проектировании новых технических устройств необходимо учитывать влияние множества внешних и внутренних факторов, особенно при разработке микрофлюидных устройств [1]. В работе рассматривается параметрическое компьютерное моделирование системы охлаждения капиллярного микрозахвата [2, 3] с нестационарным входным потоком охладителя с помощью ортогонального центрального композиционного плана (ОЦКП) [4].

На рис. 1 представлена геометрия изучаемой модели с обозначением границ: внутренняя стенка камеры Γ_1 ; граница между радиатором и жидкостью Γ_2 ; входное Γ_3 и выходное Γ_4 отверстия; граница между радиатором и элементом Пельтье Γ_5 . Рассматриваются три варианта геометрии: с каналами, расположенными горизонтально у основания камеры, и радиатором, контактирующим с горячей стороной элемента Пельтье (G_1); с горизонтальными каналами, расположенными посередине камеры, и радиатором, состоящим из одного (G_2) или трех (G_3) ребер. Механизм теплопереноса в камере охлаждения следующий: горячая сторона элемента Пельтье передает на радиатор тепловую мощность W через границу Γ_5 , холодная жидкость втекает во входное отверстие Γ_3 , нагревается через контакт с радиатором Γ_2 (охлаждая его) и выводится через выходное отверстие Γ_4 . Стенка Γ_1 теплоизолирована.

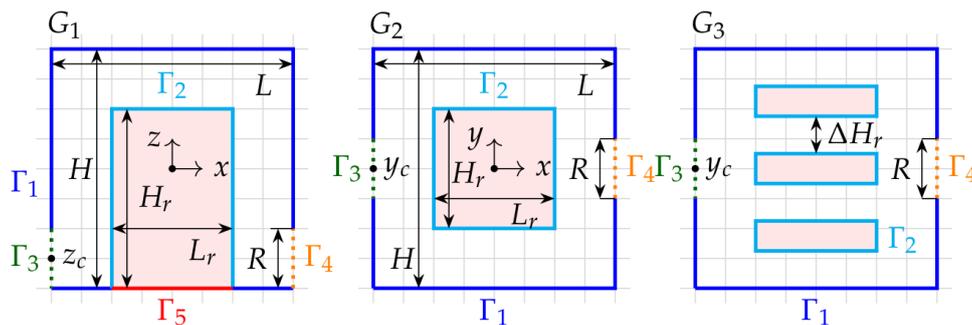


Рис. 1. Геометрия камеры охлаждения микрозахвата

Рассматривается нестационарное течение жидкости в виде $u_m = u_c + \Delta u \cos(2\pi ft)$, где u_c – средняя скорость жидкости; Δu – амплитуда отклонения скорости жидкости от средней; f – частота изменения скорости. Для каждой геометрии проводилась серия вычислительных экспериментов методом ОЦКП по следующим факторам: средняя скорость втекания жидкости $u_c = [3, 5]$ см/с (X_1); коэффициент теплопередачи $\alpha = [1.5, 2.5]$ кВт/($m^2 \cdot K$) (X_2); частота пульсаций скорости жидкости $f = [0.15, 0.4]$ Гц (X_3) и ее амплитуда $\Delta u = [0.25, 0.75]u_c$ (X_4). Определялись следующие целевые функции Y_m , $m = (1, 3)$: максимальная температура радиатора $T_m = \max(\Delta T)$

(Y_1); амплитуда колебаний температуры $\Delta T_m = \max(\Delta T) - \min(\Delta T)$ (Y_2); время выхода на рабочий режим τ_t (Y_3) в виде (x_i – нормированные на $[-1, 1]$ значения X_i):

$$Y_m = b_{0,m} + b_{1,m}x_1 + b_{2,m}x_2 + b_{3,m}x_3 + b_{4,m}x_4 + b_{5,m}x_1x_2 + b_{6,m}x_1x_3 + b_{7,m}x_1x_4 + b_{8,m}x_2x_3 + b_{9,m}x_2x_4 + b_{10,m}x_3x_4 + b_{11,m}(x_1^2 - \beta) + b_{12,m}(x_2^2 - \beta) + b_{13,m}(x_3^2 - \beta) + b_{14,m}(x_4^2 - \beta), \beta = 4/5.$$

Получены следующие результаты: T_m значительно зависит от выбранной геометрии – для геометрии G_1 $b_{0,1} = 7.42$ C; для G_2 – 5.0 C; для G_3 – 2.85 C; ведущим линейным параметром является коэффициент теплопередачи α ; средняя скорость течения u_c , частота колебаний f и амплитуда колебаний Δu скорости жидкости являются значимыми факторами; значимыми парными взаимодействиями являются u_c и Δu в геометрии G_1 , f и Δu в геометриях G_1 и G_2 ; параметры u_c и α вносят положительный квадратичный вклад; для амплитуды колебаний температуры ΔT_m значимыми линейными факторами являются частота f и амплитуда колебания скорости Δu , а также их парное взаимодействие; для времени τ_t значимыми линейными факторами являются α , f и Δu .

Рекомендуется использовать геометрию G_1 для системы охлаждения микрозахвата, а геометрии G_2 и G_3 – в менее чувствительных к колебаниям температуры устройствах.

Список литературы

1. Convery, N. 30 years of microfluidics / N. Convery, N. Gadegaard // Micro and Nano Engineering. – 2019. – Vol. 2. – P. 76-91.
2. Darintsev, O.V. Microgrippers: Principle of Operation, Construction, and Control Method / O.V. Darintsev // Smart Innovation, Systems and Technologies. – 2021. – Vol. 187. – P. 25-37.
3. Nasibullayev, I.Sh. Computer 2D modelling of a micro-grip fluid cooling system / I.Sh. Nasibullayev, O.V. Darintsev // Computational technologies. – 2021. – Vol. 26. – No. 2. – P. 4-20.
4. Nasibullayev, I.Sh. The development of a computer model for the main element of the fuel metering unit. / I.Sh. Nasibullayev // Computational Technologies. – 2016. – Vol. 21. – No. 2. – P. 26-41.

Сведения об авторах

Насибуллаев Ильдар Шамилович, к.ф.-м.н., старший научный сотрудник. Область научных интересов: термогидродинамика, компьютерное моделирование технических систем.

PARAMETRIC SIMULATION OF UNSTEADY THERMOHYDRODYNAMIC REGIME IN MICRO GRIPPER COOLING SYSTEM

Nasibullayev I.Sh.

Mavlyutov Institute of Mechanics, UFRC RAS, Ufa, Russia, sp.ishn@gmail.com

Keywords: hydrodynamics, heat transfer, cooling system, capillary microgripper, orthogonal central composite design.

The computer simulation of the fluid cooling system of the capillary microgripper with an unsteady inlet flow of the coolant is presented. Using the method of orthogonal central composite design analytical dependences of the maximum temperature on the radiator, the amplitude of the temperature change on the radiator, and the time of establishment the operating mode versus the average coolant velocity, heat transfer coefficient, fluid oscillation frequency, and fluid velocity amplitude are obtained. A parametric analysis of the influence of the physical parameters of the fluid and device on the operation of the cooling system was carried out. It was found that the geometry that provides a high degree of cooling and faster achievement of the operating mode leads to an increase in the amplitude of temperature fluctuations on the radiator. Recommendations for selecting the cooling chamber geometry considering the features of the cooled devices are given.