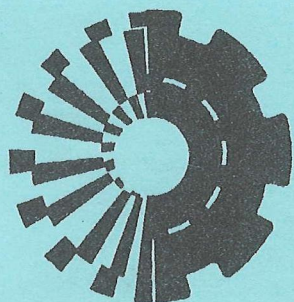


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
УКРАИНЫ

ISSN 0453-7998  
ISSN 0234-5110

# ВЕСТНИК



Харьковского  
Государственного  
Политехнического  
Университета

---

Выпуск 28

ХГПУ 1999

*Л.М. Ульев, канд. техн. наук*

## ОСОБЕННОСТИ НАПОРНО-РАСХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ НЕИЗТЕРМИЧЕСКОМ ТЕЧЕНИИ ВЫСОКОВЯЗКИХ ЖИДКОСТЕЙ В КРУГЛЫХ КОНФУЗОРАХ. IV. ТЕЧЕНИЕ С ТЕПЛООБМЕНОМ НА ГРАНИЦЕ. БОЛЬШИЕ УГЛЫ РАСКРЫТИЯ

Представлені результати дослідження напорно-розхідної характеристики при течії у круглому конфузори з теплообміном на межі. Інтенсивність теплообміну змінюється за допомогою завдання температури оточуючого середовища та умов третього роду на межі.

В работе [1] автором кратко изложены результаты анализа значимости исследования напорно-расходных характеристик формирующих каналов при проектировании полимерного оборудования. Там же автором приведена математическая модель неизотермического течения высоковязких жидкостей в конических каналах и метод ее исследования.

В работе [2] автором изучена напорно-расходная характеристика при неизотермическом течении в конфузоре с адиабатической стенкой, а в работе [3] - при течении с теплообменом на границе и малыми углами раскрытия конфузора.

При увеличении угла раствора конфузора влияние геометрии канала на теплообмен и течение проявляется значительно существеннее. При течении в конфузоре с углом раскрытия  $2\theta_0 = 30^\circ$  средние скорости на входе в конфузоре и выходе из него отличаются в 137 раз, а при  $2\theta_0 = 60^\circ$  в 600 раз для геометрических параметров канала, которые были определены ранее в работах [2,3]. Числа Нема-Грифитта [1], соответственно, будут отличаться в  $1,9 \cdot 10^4$  и  $3,6 \cdot 10^4$  раз. Это означает, что для течения с  $\Theta_a = 0$  [1,3] при появлении маловязкого сдвигового слоя в пределах конфузора течение на большей его части, прилегающей ко входу, будет практически изотермическим. Перестройка профиля скорости происходит только на выходе из канала (рис. 1), где становится существенной диссипация энергии (рис. 2). При увеличении расхода жидкости маловязкий сдвиговый слой будет распространяться на все большую часть конфузора, и на его

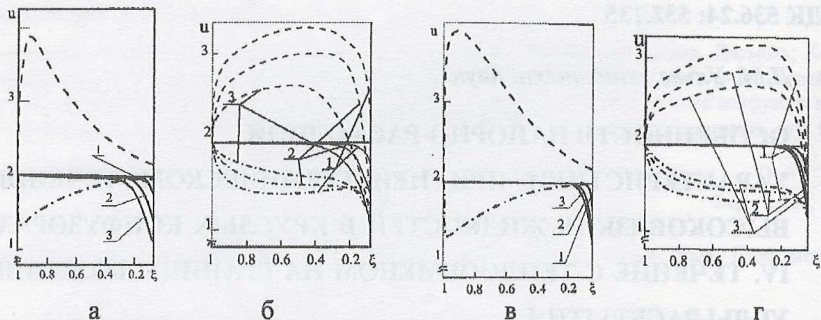


Рис. 1. Изменение наполненности профиля скорости ( $u$  на оси течения) вдоль  $\xi$ . а) и б) - для конфузора с  $2\theta_0 = 30^\circ$ . а - сплошные линии для течения с  $\Theta_a = 0$ , штрих-пунктирные для течения при  $Q = 0.2 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}$  и  $\Theta_a = 3$ , штриховые для  $Q = 0.2 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}$  и  $\Theta_a = -3$ . 1 - для расхода  $Q = 0.6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ , 2 -  $0.2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ , 3 -  $0.6 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ ; б - Сплошные линии для адиабатического течения, штрих-пунктирные для течения при  $\Theta_a = 3$ , штриховые для  $\Theta_a = -3$ . 1 - для расхода  $Q = 0.6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ , 2 -  $0.2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ , 3 -  $0.6 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ . в) и г) - для конфузора с  $2\theta_0 = 60^\circ$ . в - сплошные линии для течения с  $\Theta_a = 0$ , штрих-пунктирные для течения при  $Q = 0.2 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}$  и  $\Theta_a = 3$ , штриховые для  $Q = 0.2 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}$  и  $\Theta_a = -3$ . 1 - для расхода  $Q = 0.2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ , 2 -  $0.6 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ , 3 -  $0.1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ ; б - Сплошные линии для адиабатического течения, штрих-пунктирные для течения при  $\Theta_a = 3$ , штриховые для  $\Theta_a = -3$ . 1 - для расхода  $Q = 0.2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ , 2 -  $0.6 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ , 3 -  $0.1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ .

образование будет тратиться энергия. Кроме того, некоторая часть выделившейся энер-

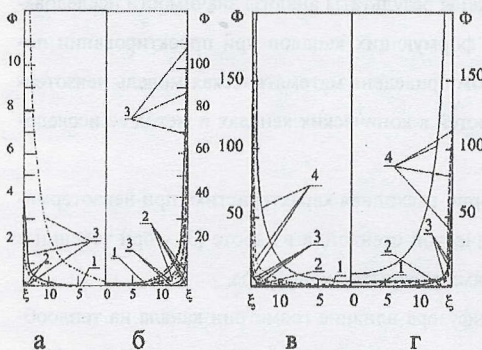


Рис. 2. Распределение безразмерной мощности диссипации энергии поперек канала. а - для расхода  $Q = 0.2 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}$ , б -  $0.6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ , в -  $0.2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ , г -  $0.6 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ . Сплошные линии для течения жидкости с постоянными свойствами, штрих-пунктирные для течения при  $\Theta_a = -3$ , штриховые для  $\Theta_a = 3$ , пунктирные для  $\Theta_a = 3$ , линия штрих-два пунктира для  $Bi = 0$ . 1 - распределение на входе в канал, 2 -  $\xi = 0.8$ , 3 -  $\xi = 0.2$ , 4 -  $0.088$ .

ггии рассеется в окружающую среду, причем тепловой поток будет увеличиваться вдоль течения вместе с ростом диссипации энергии (рис. 3). Перепад давления в этом случае будет несколько выше, чем при  $Bi = 0$ .

Если температура окружающей

среды отличается от 0, то при малых

расходах основные изменения в течении и теплообмене происходят вблизи входа в конфузур. При рассмотрении малых расходов, для которых среднее по длине канала число Пекле  $\overline{Pe} = Q \ln \frac{R_0}{R_1} / 2\pi a (R_0 - R_1) (1 - \tau_0) \sim 10^2$ , изменение температуры вблизи границы на начальном участке приводит к значительной деформации профиля скорости (рис. 1), но из-за малой скорости течения жидкость успевает равномерно прогреться при  $\Theta_a > 0$

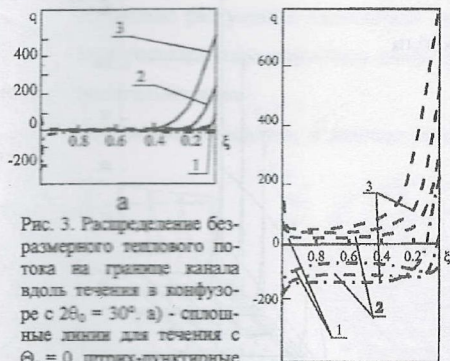


Рис. 3. Распределение безразмерного теплового потока на границе канала вдоль течения в конфузоре с  $2\theta_0 = 30^\circ$ . а) - сплошные линии для течения с  $\Theta_a = 0$ , штрих-пунктирные для течения при  $Q = 0.2 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}$  и  $\Theta_a = 3$ , штриховые для  $Q = 0.2 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}$  и  $\Theta_a = -3$ . б) -  $\Theta_a = 0$ . Штриховые для  $\Theta_a = -3$ , штрих-пунктирные для течения при  $\Theta_a = 3$ . 1 - для расхода  $Q = 0.6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ , 2 -  $0.2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ , 3 -  $0.6 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ .

(рис. 6). При больших углах раскрытия наибольшие изменения давления происходит на выходе из конфузора даже при  $\Theta_a < 0$ , что значительно отличается от случая течения в конфузорах с малыми углами раскрытия [3].

Увеличение расхода приводит к увеличению мощности диссипации энергии (рис. 2). И если в начале течения жидкость охлаждается, то на некотором расстоянии от входа ее безразмерная температура может стать положительной. Сначала это происходит на некотором расстоянии от стенки (рис. 4, 5), т.к. непосредственно вблизи границы канала жидкость охлаждается, а центральная часть течения уже не успевает охладиться за время пребывания в канале вследствие малой теплопроводности. Но с дальнейшим увеличением расхода увеличивается градиент скорости на периферии

или охладиться при  $\Theta_a < 0$ , что ведет к восстановлению почти первоначального профиля скорости (рис. 1,4,5).

Значение модуля градиента давления в случае  $\Theta_a < 0$  на протяжении всего

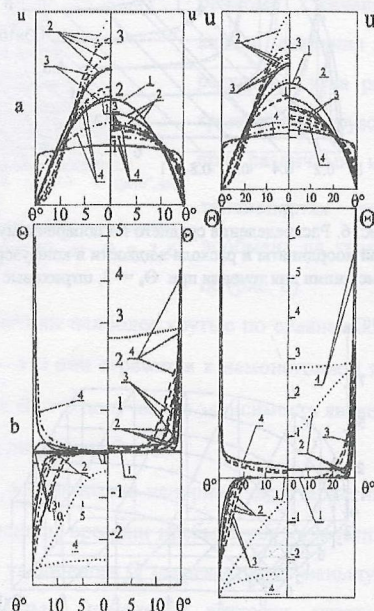


Рис. 4. Профиль скорости (а) и распределение безразмерной температуры поперек канала (б) для течения в конфузоре с  $2\theta_0 \approx 30^\circ$ . Левая часть для течения при  $\Theta_a = -3$ , правая при  $\Theta_a = 3$ . Пунктирные линии для  $Q = 0.2 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}$ , штриховые -  $Q = 0.6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ , штрих-пунктирные для  $Q = 0.2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$  сплошные для  $Q = 0.6 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ . 1 - распределение для  $\xi = 1$ ; 2-0,8; 3-0,2; 4-0,088.

Рис. 5. Профиль скорости (а) и распределение безразмерной температуры поперек канала (б) для течения в конфузоре с  $2\theta_0 \approx 60^\circ$ . Левая часть для течения при  $\Theta_a = -3$ , правая при  $\Theta_a = 3$ . Пунктирные линии для  $Q = 0.2 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}$ , штриховые -  $Q = 0.2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ , штрих-пунктирные для  $Q = 0.6 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$  сплошные для  $Q = 0.1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ . 1 - распределение для  $\xi = 1$ ; 2-0,8; 3-0,2; 4-0,048

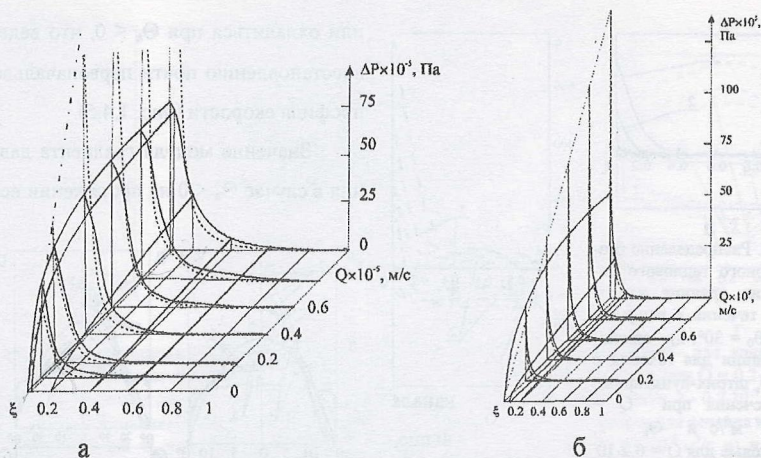


Рис. 6. Распределение среднего по поперечному сечению конфузора давления в зависимости от радиальной координаты и расхода жидкости в конфузоре с углом раскрытия а)  $2\theta_0 = 30^\circ$ ; б)  $2\theta_0 = 30^\circ$ . Сплошные линии для течения при  $\Theta_a = -3$ , штриховые для изотермического течения.

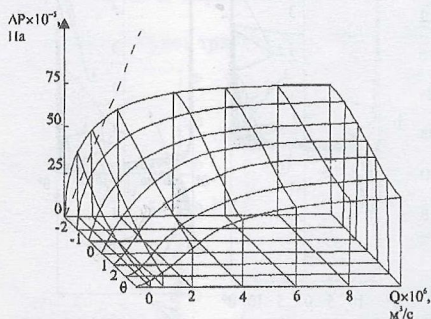


Рис. 7. Распределение среднего по поперечному сечению конфузора давления в зависимости от безразмерной температуры окружающей среды  $\Theta_a$  и расхода  $Q$  для течения в конфузоре с углом раскрытия  $2\theta_0 = 30^\circ$  - сплошные линии. Штриховая - для течения жидкости с постоянными свойствами.

снижения вязкости абсолютная величина мощности диссипации гораздо меньше, чем она была бы при течениях жидкости с постоянными свойствами (рис. 2). Это справедливо для течения с любыми  $\Theta_a$ . В то время, как при малых расходах и  $\Theta_a < 0$ , с увеличением расхода мощность диссипации становится выше, чем при изотермическом течении, из-за увеличения вязкости вследствие охлаждения.

Уменьшение модуля градиента давления вблизи выхода из канала приводит к значительному снижению перепада давления по сравнению с изотермическим течением (рис. 6), но распространение маловязкого слоя на все большую часть конфузора приво-

течения, что ведет к увеличению мощности диссипации энергии на периферии (рис. 2), там повышается температура и уменьшается вязкость. Как следствие, профиль скорости становится более наполненным (рис. 1,4,5), что в свою очередь ведет к еще большему увеличению градиента скорости на периферии, а вдоль течения описанные эффекты вследствие сужения канала еще возрастают, что приводит к локализации энерговыделения непосредственно у границы канала (рис. 2). За счет значительного

днт к монотонно растущей и нелинейной напорно-расходной характеристике (рис. 7). Для малых расходов характеристика располагается выше изотермической, а для больших - значительно ниже.

Полученные результаты и данные работы [3] позволяют построить зависимость

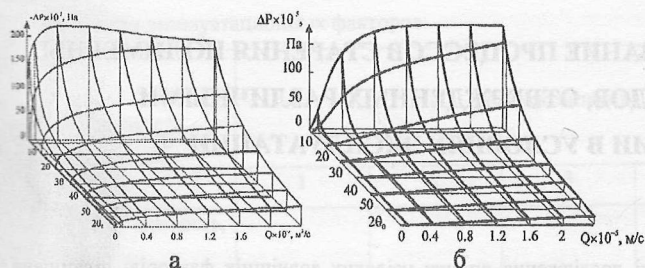


Рис. 8. Распределение среднего по поперечному сечению конфузора перепада давления в зависимости от расхода  $Q$  и угла раскрытия  $2\theta_0$ . а) -  $\Theta_a = -3$ , б) -  $\Theta_a = 3$ .

среднего по поперечному сечению канала давления от расхода и угла раскрытия конфузора при различных интенсивностях теплообмена на границе (рис. 8).

Для  $\Theta_a < 0$  напорно-расходные характеристики наиболее круглые по сравнению с другими рассмотренными случаями, и при  $2\theta_0 \rightarrow 0$  они стремятся к немонотонной зависимости для цилиндрического канала [4]. Для  $\Theta_a > 0$  полученная зависимость является монотонно растущей во всем исследованном диапазоне  $Q$  и  $\theta_0$ .

Заметим, что при малых расходах и  $\Theta_a > 0$  расходно-напорная характеристика имеет перегиб (рис. 7,8), что связано с уменьшением времени пребывания жидкости в канале при увеличении расхода. Жидкость при увеличении  $Q$  нагревается на меньшую величину температуры и, соответственно, меньше изменения вязкости, поэтому  $d^2P/dQ^2 > 0$  до тех пор, пока диссипативные эффекты не станут преобладающими.

Обозначения (см. [1-3]).

Список литературы: 1. Ульев Л.М. Особенности напорно-расходной характеристики при неизотермическом течении высоковязких жидкостей в круглых конфузорах. I. Метод исследования // Вестник ХГПУ. - 1998. - Вып. 15. - С. 3-13. 2. Ульев Л.М. Особенности напорно-расходной характеристики при неизотермическом течении высоковязких жидкостей в круглых конфузорах. II. Течение в каналах с адиабатической стенкой // Там же. - 1998. - Вып. 15. - С. 14-18. 3. Ульев Л.М. Особенности напорно-расходной характеристики при неизотермическом течении высоковязких жидкостей в круглых конфузорах. III. Течение с теплообменом на границе. Малые углы раскрытия // См. данный сборник. 4. Ульев Л.М. Напорно-расходная характеристика круглых формирующих каналов при неизотермическом течении расплавов термопластичных полимеров // Инж. - физ. журн. -1996. -Т. 69, №. 4. -С. 606- 614.

Поступила в редколлегию 15.12.98