

СОПОСТАВЛЕНИЕ ОДНОМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ТЕЧЕНИЙ В РАЗВЕТВЛЕННЫХ КАНАЛАХ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ

С. В. Павлов, И. К. Якушев

(Новосибирск)

Одномерное моделирование в настоящее время является наиболее распространенным подходом при описании газодинамических течений в сложных системах, содержащих большое количество сопрягающихся между собой труб или каналов. При исследовании общих свойств обобщенных решений одномерных уравнений газовой динамики в разветвленных системах каналов важную роль приобретает так называемая задача о распаде произвольного разрыва в узле. Теоретическое исследование этой задачи достаточно полно было проведено в ряде работ для случаев сопряжений двух и трех каналов (скачок сечения [1, 2], местное сопротивление [3], перфорированная перегородка [4], разветвленные каналы с параллельными осями [5, 6], произвольный тройник [7, 8]), и были построены различные автомодельные решения. Однако для получения завершенной картины необходимо теоретические результаты сопоставить с экспериментальными данными, что пока осуществлено только лишь для некоторых частных случаев местных сопротивлений при двух сопрягающихся каналах. В данной работе такое сопоставление производится для плоского тройника, образованного основным каналом и боковым отводом той же ширины.

Рассмотрим один частный случай распада разрыва, когда ударная волна набегает по покоящемуся газу на участок разветвления. Такого типа эксперименты достаточно широко описаны в литературе. В результате распада начального ударного фронта в основной канал 1 отражается волна разрежения, в прямое (канал 2) и боковое (канал 3) ответвления проходят ударные волны, за которыми следуют контактные разрывы. Получаемая в одномерной модели автомодельная картина течения для этой типичной конфигурации изображена в виде x, t -диаграммы волн на фиг. 1, где $x < 0$ соответствует основному каналу на входе в тройник, а $x > 0$ — обоим ответвлениям на выходе из тройника, R_1 — отраженная центрированная волна разрежения, S_2 и S_3 — прошедшие в ответвления ударные волны, T_2 и T_3 — следующие за ними контактные разрывы, а ось t соответствует узлу. При достаточно сильных начальных ударных волнах возможны также конфигурации со сносимой ударной волной, распространяющейся в одном из ответвлений навстречу потоку и расположенной между контактным разрывом и узлом.

Расчет описанного распада разрыва производился для нескольких значений угла α , под которым боковой отвод отходит от основного канала. Использовалась стандартная подпрограмма для численного решения задачи о распаде произвольного разрыва в тройнике, созданная на основе разработанной в [7, 8] методики, в соответствии с которой условия сопряжения в узле записываются в виде

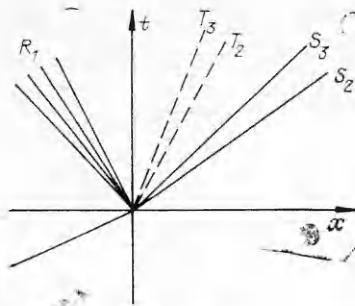
$$u_k = u_1 a(M_1, M_k), \quad p_k = p_1 a(M_1, M_k) \frac{M_1^2}{\beta_{1k} M_k^2},$$

$$\frac{M_1}{\beta_{1k} M_k} \left(\frac{1 + \frac{\gamma-1}{2} M_k^2}{1 + \frac{\gamma-1}{2} M_1^2} \right)^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}} = \left\{ \frac{1 + \frac{\gamma-1}{2} M_1^2}{1 + \frac{\gamma-1}{2} M_1^2 [1 + \xi_{1k}(\beta_{1k})]} \right\}^{\frac{\gamma}{\gamma-1}},$$

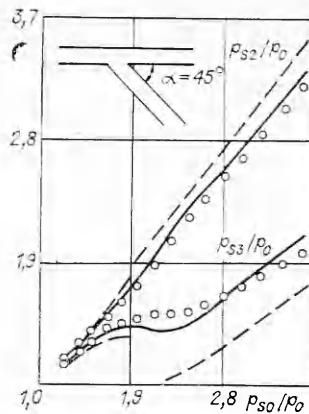
где $k = 2, 3$; $\beta_{1k} = A_k/A_{1k}$; $A_{12} + A_{13} = A_1$; $a(M_1, M_k) = \frac{M_k}{M_1} \times$

$\times \left(\frac{1 + \frac{\gamma-1}{2} M_1^2}{1 + \frac{\gamma-1}{2} M_k^2} \right)^{1/2}$; p_i, u_i, M_i — давление, скорость и число Маха в канале $i = 1, 2, 3$ в примыкающих к узлу зонах постоянных течений

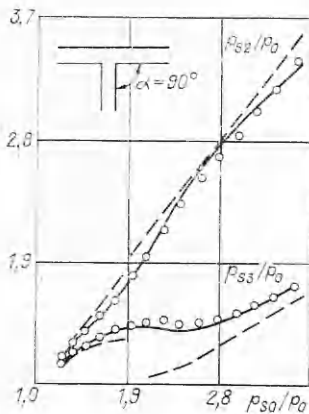
(см. фиг. 1); γ — показатель адиабаты; $A_1 = A_2 = A_3$ — площади попе-



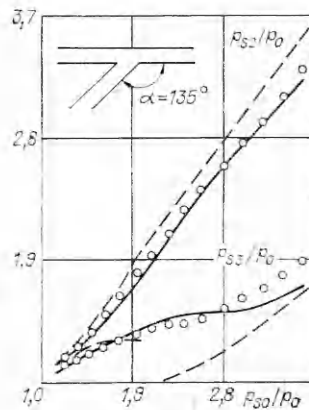
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

речных сечений; $\xi_{1k}(\beta_{1k})$ — коэффициент местного сопротивления, вычисляемый по формуле вида

$$\xi_{1k}(\beta_{1k}) = \xi_{1k}(\alpha_{1k}) (1 + 1/\beta_{1k}^2 - 2 \cos \alpha_{1k}/\beta_{1k}),$$

в которой α_{1k} — угол поворота потока, а множитель ξ_{1k} выбирался для каждого ответвления в соответствии с рекомендациями по определению коэффициентов местных сопротивлений плоских тройников из [9].

На фиг. 2—4 приводятся результаты сопоставления численных результатов с экспериментальными данными для $\gamma = 1,4$ при $\alpha = 45; 90; 135^\circ$ соответственно. Графики изображают зависимости относительного давления за прошедшими в ответвления ударными волнами (p_{s2}/p_0 и p_{s3}/p_0) от относительного давления за начальной ударной волной (p_{s0}/p_0): сплошные кривые — эксперимент [10], штриховые — расчет и методика [10], кружки — расчет распада разрыва по методике [7, 8].

В заключение отметим, что данная работа подводит некоторый итог исследованиям по одномерной теории распада разрыва в разветвленных каналах, а полученное соответствие с экспериментом подтверждает не только правомерность одномерного подхода, но и допустимость использования при практических расчетах нестационарных течений сжимаемого газа в сложных системах каналов коэффициентов местных сопротивлений, известных для несжимаемой жидкости.

Поступила 12 I 1983

ЛИТЕРАТУРА

1. Дулов В. Г. Распад произвольного разрыва параметров газа на скачке площади сечения. — Вестн. ЛГУ. Математика, механика и астрономия, 1958, № 19, вып. 4.
2. Яушев И. К. Распад произвольного разрыва в канале со скачком площади сечения. — Изв. СО АН СССР. Техн. науки, 1967, № 8, вып. 2.

3. Павлов С. В. К задаче о распаде произвольного разрыва в каналах с местными сопротивлениями. — ЧММСС, Новосибирск, 1978, т. 9, № 3.
4. Гринь В. Т., Крайко А. П., Миллер Л. Г. К распаду произвольного разрыва на перфорированной перегородке. — ПМТФ, 1981, № 3.
5. Яушев И. К., Черешнев А. П. К задаче о распаде разрыва в разветвленных каналах. — ЧММСС, Новосибирск, 1971, № 2.
6. Яушев И. К. Распад произвольного разрыва в разветвленных каналах. — ЧММСС, Новосибирск, 1972, № 3.
7. Павлов С. В., Яушев И. К. Задача о распаде произвольного разрыва параметров газа в разветвленных каналах. — В кн.: Численный анализ. Новосибирск: ИТПМ СО АН СССР, 1978.
8. Павлов С. В. Алгоритм решения задачи о распаде произвольного разрыва для разветвленных каналов и модульная структура программы. — В кн.: Модульный анализ. Новосибирск: ИТПМ СО АН СССР, 1978.
9. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.—Л.: Госэнергоиздат, 1960.
10. Deckker V. E. L., Male D. H. Unsteady flow in a branched duct. — Proc. Inst. Mech. Eng., 1967—1968, vol. 182, pt 3H.

УДК 533.6.011.8

СОПРОТИВЛЕНИЕ ПУЧКОВ ЦИЛИНДРОВ В ПОТОКЕ РАЗРЕЖЕННОГО ГАЗА

*Е. Н. Иноземцева, Ю. А. Кошмаров, С. Б. Свирицевский,
Д. С. Стриженов*

(Москва)

Исследование сопротивления цилиндров, поперечно обтекаемых воздухом, в переходной области проводилось в экспериментальной установке [1]. Рабочий участок представлял собой канал сечением $l_1 \times l_2 = 22 \times 60 \text{ мм}^2$ (l_1 и l_2 — ширина и высота канала) со съемными пакетами цилиндров, набранными из проволочек различного диаметра ($d = 0,5; 0,6; 1; 1,45; 1,8; 2 \text{ мм}$), которые закреплялись на двух медных пластинках. Прямоугольный канал был вырезан в перегородке, выполненной из оргстекла толщиной 25 мм, которая разделяла рабочую часть установки на две вакуумные камеры. Перегородка со вставленным в нее пакетом устанавливалась в вакуумной трубе таким образом, чтобы вектор скорости набегающего потока был перпендикулярен цилиндрам пучка. Предварительные опыты, проведенные при больших и малых разрежениях газового потока, показали, что влиянием стенок на величину сопротивления пучков можно пренебречь, если поперечный ряд пакета содержит более шести проволочек.

Исследование проводилось с шестью пакетами цилиндров. Каждый пакет состоял из десяти рядов ($z = 10$), а в каждом ряду устанавливалось десять цилиндров ($\kappa = 10$). В пяти пакетах проволочки были расположены в шахматном порядке по равностороннему треугольнику. При этом относительные шаги в пакетах менялись в пределах: $\sigma_1 = S_1/d = 1,15—3,83$, $\sigma_2 = S_2/d = 1—3,33$, где $S_1 = 2,3 \text{ мм}$ и $S_2 = 2 \text{ мм}$ — поперечный и продольный шаги по потоку. В шестом пакете проволочки ($d = 0,5 \text{ мм}$) располагались по равнобедренному прямоугольному треугольнику ($\sigma_1 = 1,6$, $\sigma_2 = 0,8$).

Сопротивление пучков цилиндров определялось по разности статических давлений Δp , измеренных в вакуумных камерах, перед пучком и за ним. Измерение давления в потоке p и перепада давления Δp осуществлялось по методике [1]. Средняя квадратичная погрешность измерения давления и перепада давления составила $\pm 2\%$. Расход газа G измерялся объемным методом при постоянном давлении. Средняя квадратичная погрешность определения расхода газа в диапазоне $(0,01—5) \times 10^{-4} \text{ Н/с}$ не превышала $\pm 7\%$.