

ГИДРОМЕХАНИКА

А. М. ЛЕВИН

ПОЛОЖЕНИЕ ТОЧКИ ОТРЫВА В ПЛОСКИХ ДИФFUЗОРАХ

(Представлено академиком А. И. Некрасовым 14 VII 1952)

Имеющиеся в литературе исследования диффузоров не дают ясного ответа на вопрос о местоположении точки отрыва при различных углах расширения. В большинстве экспериментальных работ указывается, что отрыв возникает при некотором значении угла расширения диффузора, который называется «углом отрыва», и не указывается, на каком расстоянии от входного сечения возникает отрыв при этом угле. Никурадзе (1), например, определил значение угла отрыва $\alpha_{\text{отр}} = 10^\circ$ для плоских диффузоров при $Re = 60\,000$ и равномерном распределении скоростей во входном сечении. Из описания его опытов видно, однако, что при $\alpha = 10^\circ$ отрыв наблюдался не во всем диффузоре, а начинался лишь на некотором расстоянии от входа, там, где отношение площади поперечного сечения к площади входного сечения составляло $F/F_0 = 5,38$.

Опытам Никурадзе и других авторов противоречат, как будто, опыты Польцина (2), дающего чисто экспериментальную зависимость местоположения точки отрыва от угла расширения плоского диффузора, согласно которой при увеличении угла расширения точка отрыва приближается ко входу в диффузор, а при $\alpha = 22-24^\circ$ отрыв начинается сразу же у входного сечения.

Для решения вопроса об условиях, при которых возникает отрыв в плоском диффузоре, можно воспользоваться параметром формы (3), имеющим для закона сопротивления с показателем $1/4$ следующий вид:

$$\Gamma = \frac{dp}{dx} \frac{l}{\rho v_8^2} \left(\frac{v_8 l}{v} \right)^{1/4}, \quad (1)$$

где l — длина, характерная для поперечных размеров пограничного слоя; v_8 — скорость на границе пограничного слоя.

Начало отрыва потока характеризуется некоторым постоянным критическим значением параметра формы $\Gamma = \Gamma_{\text{отр}}$.

Подстановка в качестве характерной длины l половины ширины диффузора $b/2$ приводит Никурадзе (1) при некоторых других допущениях (постоянство отношения v_8/v_{cp} и пренебрежение потерями энергии по оси диффузора) к формуле

$$\Gamma = \alpha \sqrt[4]{Re}. \quad (2)$$

Согласно (2) параметр формы при данном α не меняется вдоль диффузора.

Замена l через $b/2$ равносильна предположению о том, что пограничные слои боковых стенок смыкаются на оси диффузора уже во входном сечении. Это предположение и следствие из него в виде (2) не учитывают истории формирования характерного диффузорного профиля распределения скоростей и профиля скоростей при отрыве, не учитывают, следовательно, наличия некоторого начального участка и не соответствуют поэтому действительности.

Если же предположить, что при распределении скоростей на входе в диффузор пограничные слои обеих боковых стенок начинают развиваться только от входного сечения и принять в первом приближении внешнюю границу пограничного слоя в виде прямой линии, то можно положить $l \sim \frac{b-b_0}{2}$, где b_0 — ширина входного сечения. Тогда при тех же прочих допущениях, что и при выводе (2), получим:

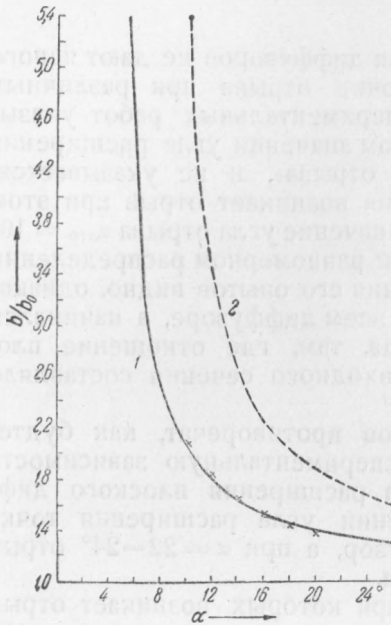


Рис. 1. Зависимость угла, при котором начинается отрыв в плоском диффузоре, от степени расширения.

$$1 - \alpha_{\text{отр}} \left(1 - \frac{b_0}{b_{\text{отр}}}\right)^{3/4} = 4,32;$$

$$2 - \alpha_{\text{отр}} \left(1 - \frac{b_0}{b_{\text{отр}}}\right)^{3/4} = 7,7$$

По уравнению (4) или (5) и известному экспериментальному значению $\Gamma_{\text{отр}}$ или константы отрыва можно определять место отрыва при данном угле расширения.

Сравнение уравнений (4) и (5) с экспериментальными данными Польцина произведено на рис. 1, где кривая 1 проведена по уравнению (5) при значении константы отрыва для опытов Польцина 4,32°. Крестиками отмечены точки, указывающие начало отрыва в опытах Польцина. Максимальное отклонение углов отрыва, вычисленных по формуле (5), от опытных значений составляет 0,32° (7,4%).

Определение места отрыва по формуле (5) и экспериментальному значению константы отрыва дает возможность экстраполировать опытные данные по отрыву на большую область углов и степеней расширения.

$$\Gamma = \alpha \left(1 - \frac{b_0}{b}\right)^{3/4} \sqrt[4]{\text{Re}}, \quad (3)$$

откуда следует, что параметр формы увеличивается вдоль диффузора с удалением от входного сечения (с возрастанием ширины b). На некотором расстоянии Γ достигает критического значения, соответствующего началу устойчивого отрыва.

При этом

$$\Gamma_{\text{отр}} = \alpha_{\text{отр}} \left(1 - \frac{b_0}{b_{\text{отр}}}\right)^{3/4} \sqrt[4]{\text{Re}}, \quad (4)$$

где индекс отр указывает на значение величин α , b и Γ при отрыве.

При постоянном значении Re

$$\alpha_{\text{отр}} \left(1 - \frac{b_0}{b_{\text{отр}}}\right)^{3/4} = \text{const}. \quad (5)$$

Назовем правую часть уравнения (5) константой отрыва при данном числе Рейнольдса. Физически она является величиной такого угла расширения, при котором не возникает отрыва потока от стенок даже при бесконечно большой длине диффузора.

По уравнению (4) или (5) и известному экспериментальному значению $\Gamma_{\text{отр}}$ или константы отрыва можно определять место отрыва при данном угле расширения.

Сравнение уравнений (4) и (5) с экспериментальными данными Польцина произведено на рис. 1, где кривая 1 проведена по уравнению (5) при значении константы отрыва для опытов Польцина 4,32°. Крестиками отмечены точки, указывающие начало отрыва в опытах Польцина. Максимальное отклонение углов отрыва, вычисленных по формуле (5), от опытных значений составляет 0,32° (7,4%).

Определение места отрыва по формуле (5) и экспериментальному значению константы отрыва дает возможность экстраполировать опытные данные по отрыву на большую область углов и степеней расширения.

На рис. 1 нанесена точка, соответствующая началу отрыва по Никурадзе, и кривая 2, вычисленная по формуле (5) при значении константы отрыва $7,7^\circ$. Видно, что отрыв в опытах Никурадзе начался позже, чем у Польцина.

Кривые отрыва имеют в области больших степеней расширения вертикальную асимптоту, что свидетельствует о том, что предположение о постоянстве параметра формы вдоль диффузора и наличии некоторого постоянного значения «угла отрыва», не зависящего от длины диффузора, оправдано лишь для очень длинных диффузоров. Вообще же оно неверно, а для коротких диффузоров совсем неприемлемо.

Наличие вертикальной асимптоты у кривых отрыва позволяет сделать вывод о том, что существуют такие углы расширения плоского диффузора (предельное значение их равно константе отрыва), при которых отрыв не возникает даже при бесконечно большой длине диффузора.

Опыты, проведенные в плоском диффузоре с раздвижными стенками, подтвердили приведенные выше положения. Значение $\Gamma_{отр}$ по формуле (4) было получено постоянным для различных углов и степеней расширения и равным 2,33 (по опытам Никурадзе это значение равно $\Gamma_{отр} = 2,11$).

Для общего случая закона сопротивления с показателем степени $1/n$ формулу (4) можно представить как

$$\Gamma_{отр} = \alpha_{отр} \left(1 - \frac{b_0}{b_{отр}} \right)^{\frac{n+1}{n}} \sqrt[n]{\text{Re}}. \quad (6)$$

Институт использования газа
Академии наук УССР

Поступило
24 V 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ J. Nikuradse, Forschungsarb. VDI, 289 (1929). ² J. Polzin, Ingenieur-Archiv, 11, N. 5 (1940). ³ К. К. Федяевский, Тр. ЦАГИ, 282 (1936).