Доклады Академии Наук СССР
1950. Том LXXV, № 6

ТЕПЛОТЕХНИКА

Эм. М. ФАЙНЗИЛЬБЕРГ

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ ИСТЕЧЕНИЯ В АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

(Представлено академиком Е. А. Чудаковым 9 X 1950)

Повышение экономичности автомобильного двигателя требует совершенствования конструкции всей всасывающей системы двигателя. Из основополагающих работ Е. А. Чудакова ([1]) следует, что теоретическое исследование процессов и характеристик всасывающих и выхлопных клапанов двигателей заслуживает особенного внимания в связи с задачами повышения мощности и экономичности двигателя.

В исследованиях А. С. Орлина по теории весьма сложных процессов продувки и выхлопа в двигателях ([3]) указывается на значительное разнообразие основных коэффициентов истечения в органах распределения и отмечается существенная зависимость этих коэффициентов от отношения давлений. Настоящее сообщение посвящено установлению этой зависимости в аналитическом виде; полученные в связи с ней результаты оказывают также влияние на произведенное далее изучение теории выхлопа в двигателях при переменном коэффициенте расхода.

Исследование процессов истечения приводит к построению для докритических скоростей формулы для коэффициента расхода

$$\mu(\psi) = \frac{1}{C_{0e}(\varkappa) + C_{1e}(\varkappa)\,\psi^{\frac{1-\varkappa}{\varkappa}} + C_{2e}(\varkappa)\,\psi^{2\frac{1-\varkappa}{\varkappa}}}, \qquad (1)$$

где коэффициенты C_{0e}, C_{1e} и C_{2e} определяются формулами

$$C_{0e}(\varkappa) = 1 + \frac{1-\mu_0}{\mu_0}\,\frac{2\varkappa(\varkappa-1)+e}{(\varkappa-1)^2},$$

$$C_{1e}(\varkappa) = -\frac{1-\mu_0}{\mu_0}\,\frac{\varkappa-1+e}{(\varkappa-1)^2}, \quad C_{2e}(\varkappa) = \frac{1-\mu_0}{\mu_0}\,\frac{e}{(\varkappa-1)^2}. \qquad (1')$$

Здесь ψ — отношение давлений; μ_0 — коэффициент расхода для жидкости, учитывающий геометрические особенности отверстия (угол скоса, относительный подъем клапана и т. д.); e — постоянная (для автомобильных клапанов $e = 0{,}2$); $\varkappa$ — показатель адиабаты.

Закон (1) подтверждается многочисленными экспериментальными исследованиями. Результаты опытных исследований ([5]), произведенных над клапанами автомобильных двигателей, сведены в табл. 1, где дано сравнение с расчетными коэффициентами расхода по формулам (1), показывающее хорошее совпадение с опытом. О том же свидетельствуют наши экспериментальные исследования по истечению в клапанах различных двигателей, также обнаруживающие совпадение с законом (1). Отметим, что данные расчета с помощью (1) обнаружи-

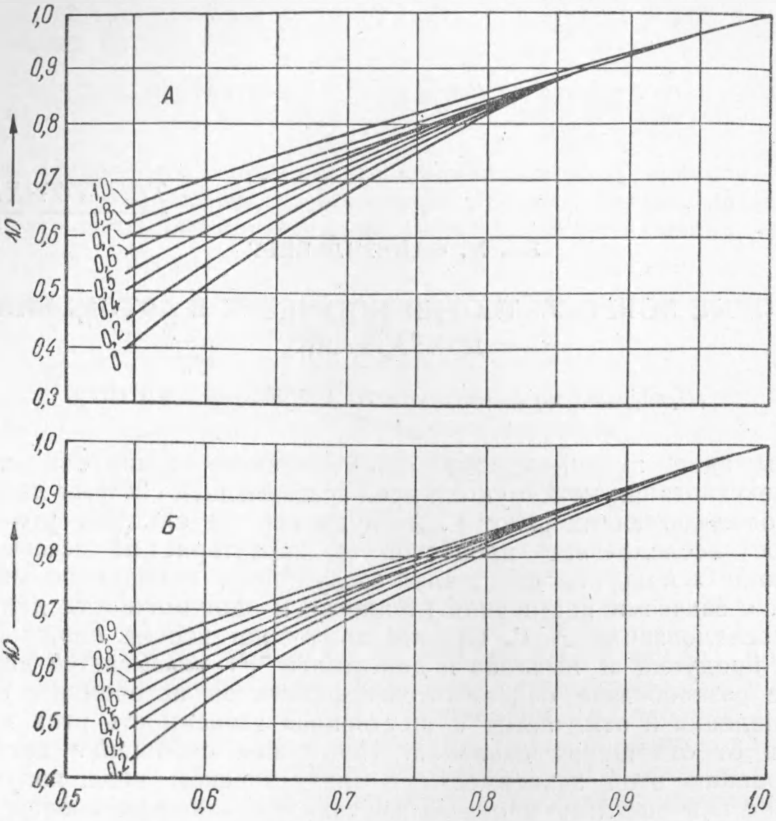

Рис. 1. Параметр $\mathfrak{v} = \dfrac{\dfrac{1}{\mu(\varphi)} - 1}{\dfrac{1}{\mu(1)} - 1}$. $A - \varkappa = 1{,}4$, $Б - \varkappa = 1{,}3$ (на кривых указаны значения постоянных e)

вают хорошее совпадение с принятыми стандартом опытными коэффициентами расхода через диафрагмы для измерения расходов ([4]).

Таблица 1

Коэффициенты расхода через автомобильные клапаны

$\frac{h}{D}$		$\gamma = 1{,}1$	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
		$\psi = 0{,}910$	0,83	0,77	0,715	0,666	0,625	0,590	0,555
0,114	μ	0,898	0,902	0,917	0,922	0,925	0,931	0,935	0,940
	μ_{on}	0,875	0,885	0,895	0,911	0,922	0,932	0,941	0,956
0,152	μ	0,719	0,740	0,750	0,763	0,779	0,788	0,798	0,812
	μ_{on}	0,715	0,728	0,740	0,755	0,772	0,789	0,800	0,816
0,190	μ	0,670	0,690	0,703	0,722	0,730	0,746	0,758	—
	μ_{on}	0,675	0,686	0,700	0,712	0,725	0,740	0,752	—
0,228	μ	0,640	0,643	0,675	0,690	0,705	0,720	—	—
	μ_{on}	0,636	0,650	0,662	0,679	0,692	0,704	—	—
0,287	μ	0,660	0,680	0,690	0,708	0,718	—	—	—
	μ_{on}	0,652	0,668	0,683	0,690	0,711	—	—	—

На основании фундаментальных исследований по теории продувки и выхлопа, выполненных А. С. Орлиным, мы теперь можем непосредственно применить закон (1),(1′) к теории выхлопа. С учетом влияния на μ отношения давлений с помощью функции истечения время —

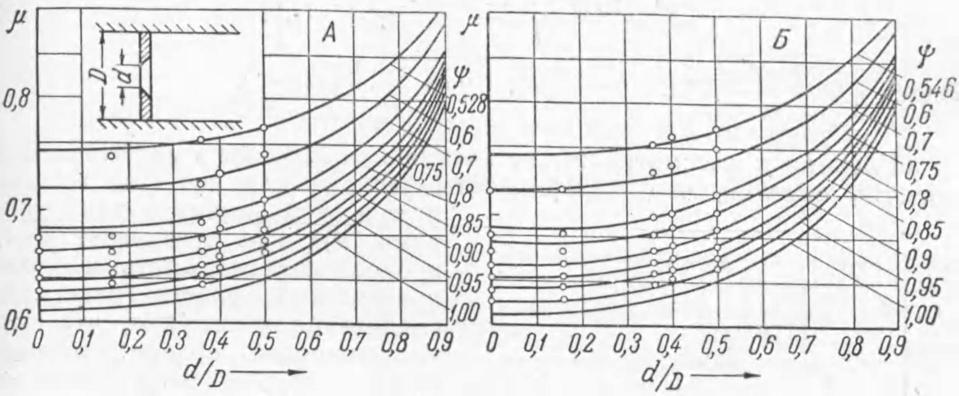

Рис. 2. Коэффициент μ в диафрагме. A — $\varkappa = 1{,}4$, $Б$ — $\varkappa = 1{,}3$

сечение определится для докритической области выхлопа из соотношения

$$\sqrt{\frac{2g\varkappa}{\varkappa-1}p_a v_a}\int_0^t \frac{F\,dt}{V} = \frac{1}{m}\Bigg[C_{0e}(\varkappa)\int_{\psi(0)}^{\psi(t)} \frac{d\psi}{\psi^{\frac{m+1}{2m}}\left(\psi^{\frac{2}{\varkappa}}-\psi^{\frac{\varkappa+1}{\varkappa}}\right)^{0,5}} +$$

$$+ C_{1e}(\varkappa)\int_{\psi(0)}^{\psi(t)} \frac{d\varphi}{\psi^{\frac{\varkappa-1}{\varkappa}+\frac{m+1}{2m}}\left(\psi^{\frac{2}{\varkappa}}-\psi^{\frac{\varkappa+1}{\varkappa}}\right)^{0,5}} +$$

$$+ C_{2e}(\varkappa)\int_{\psi(0)}^{\psi(t)} \frac{d\psi}{\psi^{2\frac{\varkappa-1}{\varkappa}+\frac{m+1}{2m}}\left(\psi^{\frac{2}{\varkappa}}-\psi^{\frac{\varkappa+1}{\varkappa}}\right)^{0,5}}\Bigg] + \int_{v(0)}^{v(t)} \frac{\psi^{\frac{m-1}{2m}}}{\mu f}\,\frac{dv}{v}, \qquad (2)$$

где $\psi(0)$ и $\psi(t)$ относятся к докритической области. В последнем интеграле, следуя Орлину, принимаем $f(\psi) = f(\psi_k)$, а следовательно, и $\mu = \mu_k$ постоянными, равными их критическим значениям. Поэтому вычисление его выполняется в соответствии с ([3]). Вычисление рядами для заданных m и $\varkappa$ первых трех интегралов может быть значительно упрощено, если разложение подъинтегральных выражений вида $\Phi(\psi) = \psi^q / f(\psi)$ производить в окрестности критического отношения давлений $\psi_k = p_{ak} / p_v$, так как по самому определению критического давления $f'(\psi)_k = 0$, и, подсчитывая производные, имеем:

$$\left(\frac{d\Phi}{d\psi}\right)_k = \Phi(\psi_k)\left(\frac{q}{\psi} - \frac{f'}{f}\right)_k,$$

$$\left(\frac{d^2\Phi}{d\psi^2}\right)_k = \Phi(\psi_k)\left[\left(\frac{q}{\psi} - \frac{f'}{f}\right) + \frac{f'^2 - f''^2}{f} - \frac{q}{\psi^2}\right]_k \quad \text{и т. д.}$$

Следовательно, получаем

$$\int \Phi(\psi)\, d\psi = \frac{\psi_k^{q+1}}{f_k}\left[\eta + \frac{q}{2}\eta^2 - \frac{q^2 - q - \alpha}{6}\eta^3 + \right.$$

$$\left. + \frac{q^3 - 3q(q+\alpha) - 2q - \gamma}{24}\eta^4 + \cdots\right]. \qquad (3)$$

Здесь $\eta = \dfrac{\psi - \psi_k}{\psi_k}$, $\quad \alpha = -\dfrac{\varkappa + 1}{\varkappa^2}$, $\quad \gamma = \dfrac{\varkappa + 1}{\varkappa}(2\varkappa - 3)$.

Переходя к рассмотрению истечения при выхлопе в закритической области, отметим, что коэффициенты расхода для нее (так же как и при экспериментах с диафрагмами ([4])), как показывает опыт, продолжают возрастать и в закритической области (наши исследования показывают, что для закритической области зависимость μ от отношения давлений ψ выражается квадратичным законом). Определение время — сечение в закритической области сводится к квадратурам

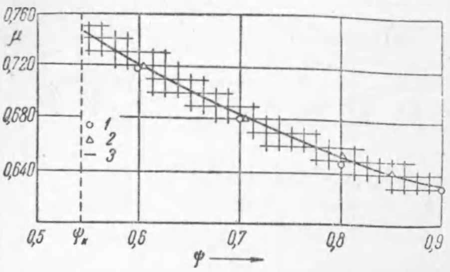

Рис. 3. Коэффициенты μ для $m \to 0$. *1* — по экспериментам Шиллера, *2* — по опытным данным ISA, *3* — по формуле (1 — 1′)

$$I = \frac{1}{\psi_k \mu_k}\int \psi^{-\frac{m+1}{2m}}\left(\sum a_i \psi^i\right) d\psi,$$

где a_i — экспериментальные константы в формуле $\mu / \mu_k = \sum a_i \psi_i^2$.

Отметим, что полученные для истечения в двигателях внутреннего сгорания результаты относятся к стационарным процессам; влияние нестационарности представляет самостоятельную задачу и может быть учтено дополнительным коэффициентом, как это указано в работе ([3]). В заключение отметим, что методы настоящей работы могут быть приложены и при исследовании других тепловых машин (компрессоры, паровые двигатели).

Поступило
5 IX 1950

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Е. А. Чудаков, Пути повышения экономичности карбюраторного автомобильного двигателя, изд. АН СССР, 1948. [2] А. С. Орлин, К вопросу о расчете двигателей, МВТУ, 1945. [3] А. С. Орлин, Двухтактные быстроходные двигатели, 1947. [4] Измерение расходов (Правила № 169 Комитета метрологии). [5] E. Dennison, Trans. ASME, 1931, OGP-53-6.