

03

## **Снижение сопротивления трения при турбулентном обтекании поверхности с молекулярным покрытием из фолеокса**

© Л.А. Чекалова, В.Ю. Григорьев, Э.П. Денисов

ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, С.-Петербург

Поступило в Редакцию 21 сентября 2001 г.

В окончательной редакции 18 декабря 2001 г.

Выполнены экспериментальные исследования, имеющие целью изучение возможности снижения сопротивления трения путем нанесения на обтекаемые металлические поверхности фторсодержащего полимера — флеокса. Показана возможность существенного снижения сопротивления трения при турбулентном обтекании.

Известно, что снижение сопротивления трения при обтекании поверхности жидкостями или газами может быть достигнуто путем выполнения поверхности с регулярной микрошероховатостью типа „riblets“, эффективной лишь при определенной постоянной скорости потока [1]. Эффект снижения сопротивления достигается также при введении в жидкость веществ с „длинными“ молекулами типа синтетического полимера — полиокса ПЭО-301, но при этом время действия эффекта определяется расходуемым запасом полимера [2,3]. Отмеченные ограничения могут быть отчасти преодолены при нанесении на обтекаемые металлические поверхности фторсодержащего полимера — фолеокса, различные модификации которого разработаны во ВНИИСКе им. акад. С.В. Лебедева.

У молекул фолеокса, относящихся к классу полярно-неполярных соединений, полярная часть обеспечивает прочную связь с материалом основы, а другая часть — „хвост“, содержащий атомы фтора, образует мономолекулярный слой, обладающий шероховатостью гибкой формы. Присутствие фтора уменьшает поверхностную энергию, что также снижает смачивание и уменьшает трение [4].

Для суждения о действительном влиянии покрытий фолеоксом на сопротивление трения проведены исследования по изучению развито-

го турбулентного течения воды и воздуха в прямолинейном канале цилиндрической формы с внутренним диаметром 13 mm. Опытная установка обеспечивала течение воды с числами Рейнольдса в диапазоне  $Re = 5 \cdot 10^3 \div 5 \cdot 10^5$ . Воздушный поток в таком же канале регулировался в диапазоне чисел Рейнольдса  $Re = 7 \cdot 10^3 \div 7 \cdot 10^6$ .

Технология нанесения фолеокса на внутреннюю поверхность титановых труб включала ее тщательное обезжиривание и высушивание (иногда производилось прокалывание трубы), затем труба заполнялась раствором фолеокса в органическом растворителе. Через определенное время раствор сливался, растворитель испарялся и труба высушивалась.

Результаты опытов обработаны в виде зависимостей коэффициента трения  $\lambda = f(Re)$ . Погрешность измерений составляла до 2% относительно зависимости Блазиуса  $\lambda = 0.3164/Re^{0.25}$ .

При течении воды наибольшее снижение сопротивления трения (на 65%) было отмечено в трубе с однослойным покрытием из однопроцентного раствора фолеокса марки 14-1 (см. рисунок, *a*).

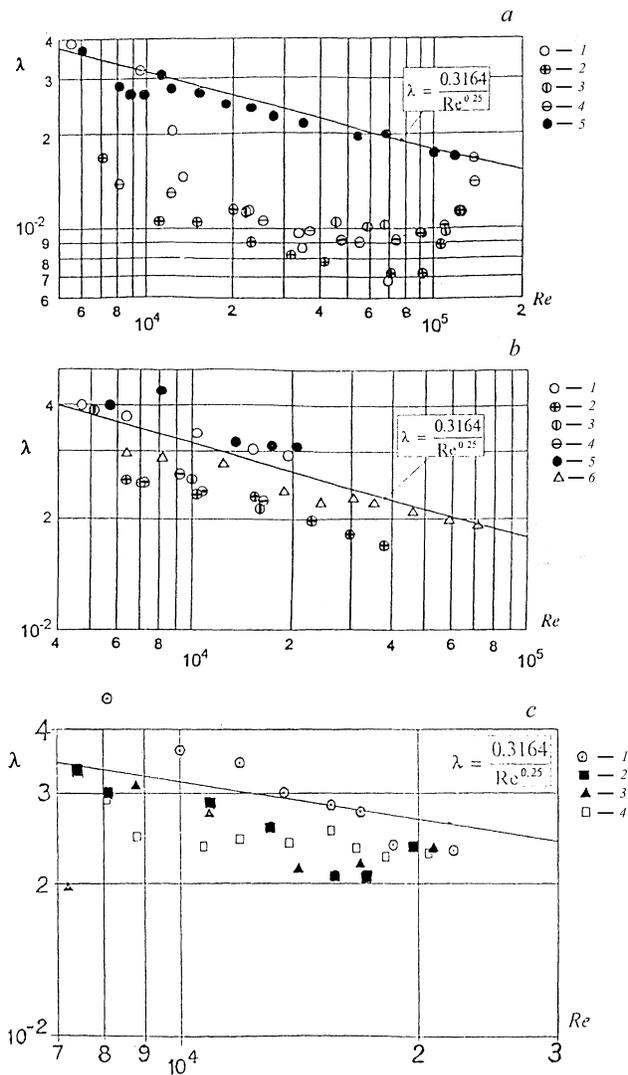
Полученные экспериментальные данные для этого вида покрытия, как оказалось, являются характерными и для ряда других модификаций покрытий:

— первоначально при малых сдвиговых напряжениях (1-й опыт до  $Re = (5 \div 8) \cdot 10^3$ ) покрытие не оказывает никакого воздействия на поток, но с ростом напряжения трения влияние покрытия становится все более действенным;

— разворачивание молекул (активирование поверхности) начинает происходить при достижении определенного порогового значения напряжения (для данного конкретного покрытия пороговое напряжение составило  $\tau \cong 2.5 \text{ N/m}^2$ ), а далее при  $\tau \cong 4.0 \text{ N/m}^2$ ,  $Re = 10^4$  начинает полностью работать механизм поверхностного слоя;

— при превышении некоторого сдвигового напряжения (в данном случае  $\tau \cong 100 \text{ N/m}^2$  при  $Re = 9 \cdot 10^4$ ) покрытие разрушается; если же сдвиговые напряжения не превысят разрушающей величины, то покрытие работает стабильно.

Активность покрытия оставалась достаточно высокой ( $\cong 25\%$ ) и спустя 2.5 месяца (см. рисунок, *b*). Однако длительный перерыв сделал его эффективность меньшей по величине; кроме того, снизилась критическая скорость потока — при  $Re = 3.5 \cdot 10^4$  эффект полностью исчез и уже не возобновился при последующих испытаниях.



Зависимости коэффициентов трения от числа Рейнольдса в трубах с внутренним покрытием фолеоксом 14-1 для последовательно проводившихся опытов (цифра — № опыта): *a* — течение воды (1-5); *b* — течение воды через 2.5 месяца (1-6); *c* — течение воздуха (1-4).

Восстановление покрытия, потерявшего свою эффективность путем вторичного нанесения флюеокса, требовало тщательной и кропотливой предварительной очистки от первоначального покрытия.

Эксперименты с флюеоксовым покрытием в воздушном потоке показали, что его действие аналогично тому, что происходит при течении воды (см. рисунок, с), и сохраняется даже тогда, когда эффект в воде исчезает.

#### **Заключение.**

1. Покрытие обтекаемой поверхности мономолекулярным слоем флюеокса приводит к снижению сопротивления трения как в водном, так и в воздушном турбулентном потоке, т.е. природа наблюдаемого явления одина для указанных сред.

2. Показанная возможность существенного снижения сопротивления трения при турбулентном обтекании поверхности делает целесообразным проведение дальнейших исследований с целью выявления оптимальных параметров по эффективности и стойкости длинных полярно-неполярных молекул на поверхностях из различных материалов.

## **Список литературы**

- [1] *Снижение вязкого трения* / Сб. докладов под редакцией Г.Р. Хью. М.: Машиностроение, 1984.
- [2] *Хабахнашева Е.М., Перепелица Б.В.* // ИФЖ. 1970. Т. XVIII. № 6. С. 1094–1097.
- [3] *Иванюта Ю.Ф., Чекалова Л.А.* // ИФЖ. 1974. Т. XXVI. № 5. С. 799–806.
- [4] *Денисов Э.П., Григорьев В.Ю., Чекалова Л.А.* и др. Средство снижения сопротивления трения в жидкой среде и устройство его реализации. Патент РФ № 2073129. Бюллетень № 4. 1997.