

СНИЖЕНИЕ ТРЕНИЯ НА ПЛОСКОЙ ПЛАСТИНЕ ПРИ НАЛИЧИИ ЖИДКОЙ ПЛЁНКИ НА ЕЁ ПОВЕРХНОСТИ

© 2012 Клюев Н.И.¹, Фролов В.А.², Крюков Ю.А.¹

1 – Самарский государственный университет, Самара,

2 – Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет), Самара

REDUCTION OF FRICTION ON A FLAT PLATE IN THE PRESENCE OF A FLUID FILM ON ITS SURFACE

© 2012 Nikolay I. Klyuev, Vladimir A. Frolov, Urey A. Kryukov

A model of a flow around a flat plate in the presence of a fluid film on its surface has been proposed. Reduction of friction on the flat plate in the presence of the fluid film on its surface is obtained.

Целью работы является разработка математической модели течения около плоской пластины при наличии жидкой плёнки на её поверхности. Теоретическая значимость работы заключается в получении фундаментальных новых знаний о снижении сопротивления трения плоской пластины в случае присутствия на её поверхности жидкой плёнки.

Рассматривается установившееся течение плёнки на плоской пластине, под воздействием набегающего потока воздуха, вектор скорости которого совпадает с плоскостью пластины (рис.1). Пусть пластина расположена под углом α к горизонту. Тогда течение жидкости происходит за счёт силы тяжести и трения на внешней поверхности пленки. Жидкость равномерно поступает в плёнку из окружающей среды.

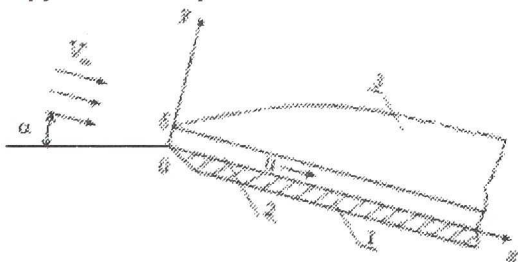


Рис.1

На рис.1 обозначено: 1-пластина, 2-плёнка, 3-пограничный слой, V_∞ – скорость набегающего потока, δ – толщина пленки, u – скорость жидкости.

Течение вне плёнки соответствует задаче Блазиуса с тем отличием, что вместо

неподвижной стенки теперь имеется подвижная плёнка жидкости. Наличие плёнки изменяет трение на межфазной поверхности. Ставится задача определения влияния плёнки на величину трения в пограничном слое. В общей постановке задача является сопряжённой, включающей задачу о течении плёнки (внутренняя задача) и задачу о пограничном слое набегающего воздуха (внешняя задача). Предлагается приближённая модель процесса, в котором плёнка считается постоянной толщины, двигающаяся с постоянной скоростью и напряжение трения, в которой принимается постоянной величиной по длине пластины.

Уравнение движения и граничные условия для плёнки, совершающей перемещение под воздействием трения на внешней поверхности и силы тяжести можно записать в виде

$$0 = g \sin \alpha (\rho_3 - \rho_2) + \mu_3 \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}, \quad (1)$$

$$y = 0, u = 0, y = \delta, \mu_3 \frac{\partial u}{\partial y} = \tau,$$

где ρ – плотность, μ – динамическая вязкость, g – ускорение свободного падения, τ – касательное напряжение, индексы «3», «2» – соответствуют газу и жидкости.

Решение уравнения (1) является

$$u(\delta) = \frac{\delta}{\mu_3} \left\{ -\frac{g \sin \alpha}{2} (\rho_3 - \rho_2) \delta + [\tau + g \sin \alpha (\rho_3 - \rho_2) \delta] \right\}$$

(2)

где $\delta = const$ – толщина плёнки.

Задача Блазиуса [1] с подвижной границей имеет вид

$$\varphi''' + \varphi \varphi'' = 0, \quad \eta = 0, \quad \varphi = 0, \quad \varphi' = \frac{2u(\delta)}{V_\infty}, \quad (3)$$

$$\eta \rightarrow \infty, \quad \varphi' = 2,$$

здесь введено обозначение

$$\eta = \frac{y}{2} \sqrt{\frac{V_\infty}{\nu_3 x}},$$

где ν_3 – кинематическая вязкость газа.

Из анализа задачи Блазиуса (2) следует, что касательное напряжение τ , возникающее на внешней границе плёнки, является функцией координаты x , причём

$$\tau \propto \frac{1}{\sqrt{Re_x}} \propto \frac{1}{\sqrt{x}}.$$

Однако для грубой оценки эффекта влияния плёнки на касательное напряжение у стенки будем полагать, что вдали от передней кромки пластины на длине в 1 м касательное напряжение остаётся постоянной величиной, т.е. $\tau = const$.

В этом случае для срачивания внешней и внутренней задачи на межфазной поверхности $\eta = 0$ ($y = 0$) задаётся только скорость $u(\delta)$, полученная из внутренней задачи. Таким образом, данная постановка задачи включает в себя уравнения (2), (3), которые решаются численно с использованием метода последовательных приближений при предположениях

$$\delta = const; \quad \tau = const; \quad u_2 = const.$$

Рассмотрим пример. Пусть температура окружающей среды $t = 20^\circ C$, скорость набегающего потока воздуха $V_\infty = 10$ м/с, массовый расход воды в плёнке $G = 1,87$ кг/с и угол наклона пластины к горизонту $\alpha = \pi/6$. Численное решение задачи даёт следующие результаты: средняя скорость жидкости в плёнке равна $\langle u_2 \rangle = 1,688$ м/с; толщина

плёнки – $\delta = 1,11 \cdot 10^{-3}$ м; скорость жидкости на поверхности плёнки – $u(\delta) = 2,563$ м/с; касательное напряжение на поверхности плёнки – $\tau(\delta) = 0,089$ Н/м². На рис.2 представлено изменение расчётной скорости в поперечном сечении плёнки.

На рис.3 показано напряжение трения на поверхности плёнки, как функция от угла наклона пластины. При отклонении пластины от горизонтального положения к силе трения на поверхности плёнки добавляется сила тяжести, скорость в плёнке возрастает, а трение уменьшается.

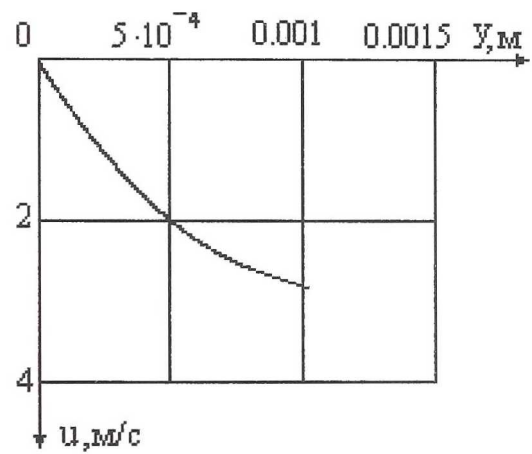


Рис.2

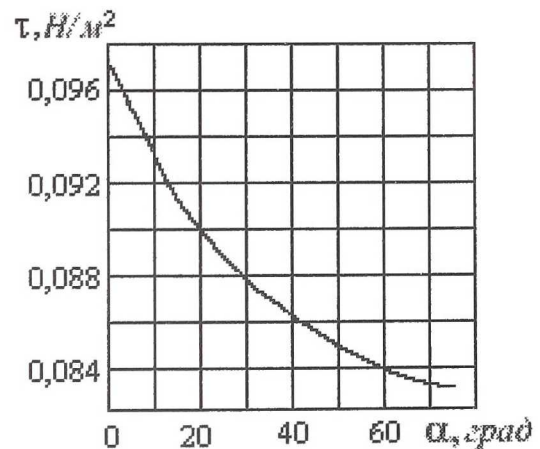


Рис.3

На рис.4 показано изменение напряжения трения для условий $G = 1,87$ кг/с, $\alpha = \pi/6$ при различных числах Рейнольдса набегающего потока.

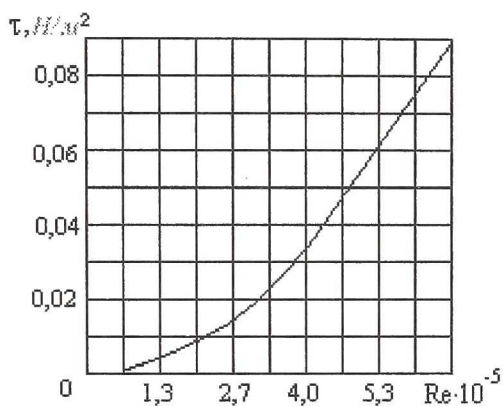


Рис. 4

Полученные результаты свидетельствуют о том, что плёнка жидкости на поверхности тела уменьшает напряжение трения, а, следовательно, и коэффициент сопротивления трения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа — М.: Наука, 1973. — 847 с.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В РАМКАХ КОНЦЕПЦИИ «БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА»

© 2012 Кокарева В. В., Малыхин А. Н., Смелов В. Г.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)

© 2012 Kokareva V.V., Malykhin A.N., Smelov V.G.

SIMULATION OF MANUFACTURING PROCESSES WITHIN THE CONCEPT OF "LEAN PRODUCTION"

In this article we propose to use virtual model of manufacturing to reduce all production expenses by using the digital models both the products and all means of production, manufacturing and logistics processes. It allows the production manager to access information about the product and planning production with optimization of all the resources and the processes, integrating data with suppliers at the earliest stage of design.

Современные предприятия таких отраслей промышленности, как автомобилестроение, нефтегазовое дело, авиационно-космическая и оборонная промышленность, машиностроение, высокие технологии и электроника должны непрерывно применять цифровые модели в процессе проектирования и эксплуатации производственных систем для оптимизации процессов деятельности этих предприятий. Сегодня для выпуска высококонкурентной продукции предприятиям не избежать создания детальных 3D-планировок произво-

дственных линий, цехов и заводов, а также имитационного моделирования.

Крайне важно определить в самом начале цикла разработки, имеются ли производственные возможности для производства данного изделия: различные внутренние ресурсы, профессиональные

навыки персонала для выполнения определенных задач, технологии и оборудование, используемые при создании изделия, производственные мощности. Исходя из этих возможностей компаниям необходимо учесть существующие ограничения до запуска нового изделия или новой технологии в производство.

Основная цель Бережливого производства заключается в сокращении всех видов непроизводительных затрат. Те же цели преследует и технология Цифрового производства.

Предлагаемая концепция e-Manufacturing — это отображение в виде цифровых моделей не только самих изделий (например, в виде двумерных или трёхмерных САД-чертежей), но и всех средств производства, а также производственных и логистических процессы. Например, моделирование