



УДК 66.099.2.001.57
ББК 22.12

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ ОБЛАСТЕЙ ТОЛЩИНЫ ПЛЕНКИ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ В ПРОЦЕССАХ ГРАНУЛООБРАЗОВАНИЯ

Е.А. Смирнов

В статье получена дифференциальная зависимость толщины пленки жидкости от основных технологических параметров, характеризующих процесс гранулирования. Это позволяет исследовать устойчивость тонкопленочного течения на проницаемой поверхности центробежной насадки.

Ключевые слова: устойчивость, тонкопленочное течение, нелинейно-вязкая жидкость, складкообразование, гранулирование.

Одним из важных этапов решения задач, связанных с процессами химических технологий, является обеспечение равномерной толщины пленочного слоя вязкой жидкости, растекающейся по перфорированной поверхности вращающейся насадки. Например, эта проблема актуальна в фармакологии, пищевой промышленности, в частности в процессах гранулирования. В связи с этим ставится задача исследования функции распределения толщины слоя жидкости, растекающейся по поверхности центробежной насадки.

Рассмотрим течение несжимаемой нелинейно-вязкой сплошной среды по внутренней поверхности вращающейся проницаемой криволинейной насадки. Считаем, что насадка вращается с постоянной угловой скоростью ω вокруг своей вертикальной оси. Подача жидкости осуществляется через сопло в центр насадки. Секундный объемный расход жидкости постоянен и равен q , то есть течение стационарное.

Центральная часть основания криволинейной насадки выполнена в виде горизонтальной поверхности радиуса r_0 (см. рис. 1). При соприкосновении струи жидкости с вращающейся горизонтальной поверхностью движе-

ние жидкости начинает замедляться в радиальном направлении и ускоряться в тангенциальном, то есть вблизи оси вращения насадки формируется пространственный пограничный слой, который в точке с координатой $\bar{r}$ «про-растает» до конкретной пленки.

Таким образом, при подводе жидкости в виде струи в центральную часть вращающейся насадки существуют три области течения:

- 1) зона потенциального течения,
- 2) зона пространственно-пограничного слоя;
- 3) зона тонкопленочного течения (которую и будем рассматривать).

Оси ортогональной криволинейной системы координат (см. рис. 1) выберем таким образом, что ось l направлена по касательной к данной точке контура, а ось z – по нормали. В качестве третьей координаты введем в рассмотрение угол φ , составляемый фиксированной плоскостью и плоскостью, проходящей через рассматриваемую точку и ось симметрии.

Основными интегральными характеристиками работы центробежных насадок, представляющими наибольший практический интерес, являются толщина пленки жидкости, текущей по поверхности насадки, и зависимость среднеинтегральной тангенциальной скорости от продольной координаты [1].

В работе [2] это распределение получено в следующем виде:

$$h_0 = \left(\frac{3n+2}{2n+1} \right) \times l \times \frac{2n}{2n+1} \operatorname{Re} \times \frac{2n+1}{(n+1)(4n+1)} q_0^{\frac{2n}{4n+1}} \times$$

$$\times \left[1 - \frac{2n+1}{n+1} \times \lambda^{\frac{1}{n+1}} \times q_0^{-\frac{n+1}{(2n+1)(3n+1)}} \right]$$

Или в дифференциальной форме

$$\frac{dh_0}{d\lambda} = \left(\frac{3n+2}{2n+1} \right) \times l \times \frac{2n}{2n+1} \operatorname{Re} \times \frac{2n+1}{(n+1)(4n+1)} q_0^{\frac{2n}{4n+1}} \times$$

$$\times \left[-\frac{2n+1}{(n+1)^2} \times \lambda^{-\frac{n}{n+1}} \times q_0^{-\frac{n+1}{(2n+1)(3n+1)}} \right],$$

где n – индекс течения (учитывающий степень вязкости жидкости);
 q – расход;
 λ – коэффициент проницаемости, являющийся интегральным параметром, ко-

торый характеризует степень проницаемости центробежной насадки и определяется соотношением

$$\lambda = \sqrt{\frac{2 \times \chi^2}{\xi_1 + \xi_2 \times \frac{s}{d} + \xi_3}},$$

где χ – отношение площади, занимаемой отверстиями, к общей площади;
 ξ_1 – коэффициент гидравлического сопротивления на входе в канал отверстия;
 ξ_2 – коэффициент гидравлического сопротивления в канале отверстия;
 ξ_3 – коэффициент гидравлического сопротивления на выходе из канала отверстия;
 s – длина канала отверстия;
 d – диаметр канала отверстия.

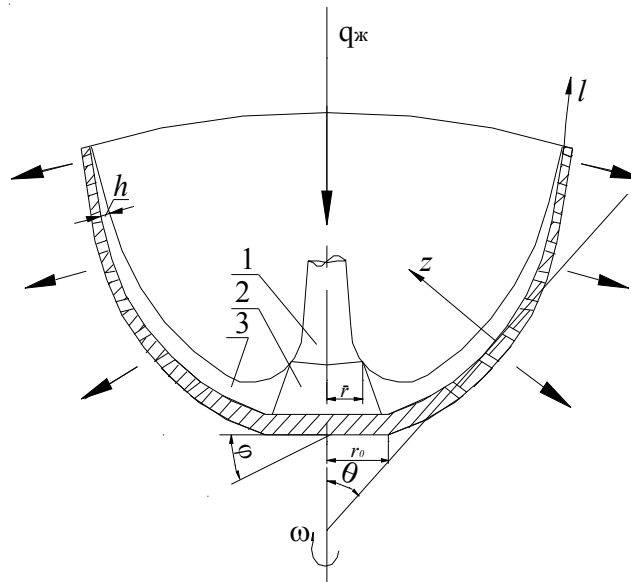


Рис. 1. Физическая модель процесса:

l – зона потенциального течения; 2 – зона пространственно-пограничного слоя; 3 – зона тонкопленочного течения

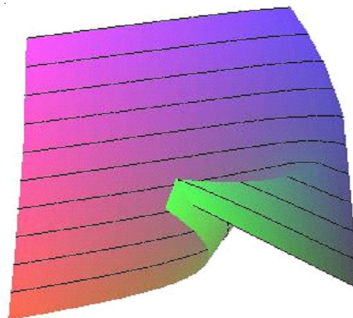


Рис. 2. Складка

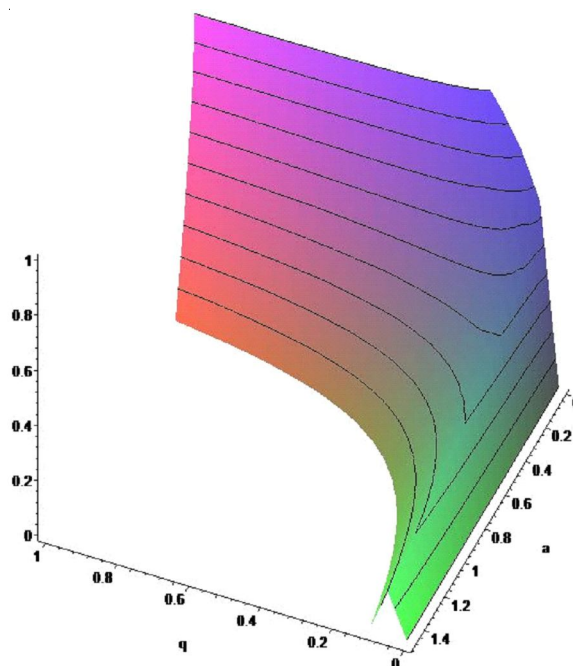


Рис. 3. Распределение толщины пленки в пространстве переменных λ, n, q

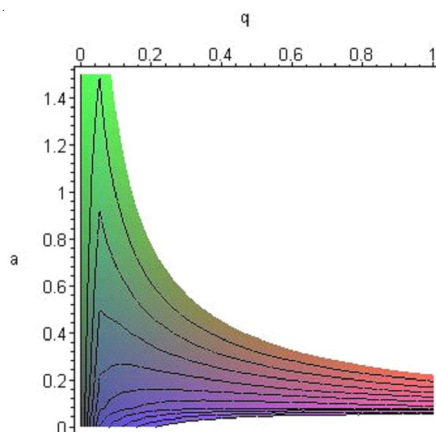


Рис. 4. Зависимость расхода от проницаемости (нижняя граница диапазона формирования равномерного слоя)

Коэффициент проницаемости можно изменять несколькими способами:

- изменением количества отверстий на единице поверхности насадки;
- изменением толщины стенки по длине образующей насадки;
- изменением условий изготовления отверстий.

При проектировании вращающихся пористых поверхностей криволинейной формы в условиях протекания вязкой жидкости на графиках функции распределения толщины

пленки возникают критические области. За пределами этих областей нарушается устойчивость тонкопленочного течения (что приводит к технологически нежелательным результатам).

Результаты математического моделирования позволили установить границы этих критических областей. Данная ситуация иллюстрируется возникновением складок в графиках функции распределения толщины пленки в пространстве переменных λ, n, q и определяется указанным дифференциальным соотношением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рябчук, Г. В. К расчету мощности на разбрызгивание вязкой и неньютоновской жидкостей с помощью вращающейся конической насадки / Г. В. Рябчук, Н. В. Тябин // Сборник трудов Волгоградского политехнического института. – Волгоград, 1968. – С. 204–212.

2. Смирнов, Е. А. Системный анализ и математическое моделирование процесса грануляции на проницаемых криволинейных насадках : дис. ... канд. техн. наук / Смирнов Евгений Анатольевич. – Волгоград, 2005. – 110 с.

**CERTAIN CRITICAL ASPECTS OF THE FILM THICKNESS
OF VISCOUS LIQUIDS IN THE PROCESS GRANULE FORMATION**

E.A. Smirnov

In this paper was obtain a differential dependence on the liquid film thickness of main technological parameters characterizing the granulation process, which allows to study the stability of thin-film flow on a permeable surface centrifugal nozzle.

Key words: *stability for thin film, nonlinear viscous liquid, folding, pelletising.*