

**О.М. ЯХНО**, докт. техн. наук, **С.И. ОДАЙСКИЙ**, **О.В. КРИВШЕЕВ**,  
**В.С. КРИВОШЕЕВ**, канд. техн. наук,

## ОСОБЕННОСТИ ТЕЧЕНИЯ АНОМАЛЬНО-ВЯЗКИХ ЖИДКОСТЕЙ В КОНИЧЕСКИХ КОЛЬЦЕВЫХ КАНАЛАХ В ПОЛЕ ДЕЙСТВИЯ МАССОВЫХ СИЛ

*В статье предпринята попытка оценить влияние центробежных сил на ламинарное нестабилизированное течение аномально-вязкой жидкости, подчиняющейся закону Оствальда де Вилля, на гидравлические потери в коническом кольцевом канале. Оценка такого влияния может существенно сказаться при определении качества смазки подобного типа поверхностей при наличии продольного движения через канал.*

*У статті зроблена спроба оцінити вплив відцентрових сил на ламінарний нестабілізований плин аномально-в'язкої рідини, що підкоряється закону Оствальда де Віля, на гідрравлічні втрати в конічному кільцевому каналі. Оцінка такого впливу може суттєво позначитися при визначенні якості змащення подібного типу поверхонь при наявності поздовжнього руху через канал.*

*In this article the attempt is undertaken to evaluate the influence of centrifugal forces on the laminar instable current of abnormal and ductile liquid submitting to the Law of Ostvalde de Vile, on the hydraulic losses in conical hoop canal. The estimation of such influence may essentially affect under the lubrication quality determination of surfaces in the presence of longitudinal motion through the canal.*

Была предпринята попытка экспериментально определить влияние частоты вращения внутренней конической поверхности на гидравлическое сопротивление смазочного слоя. Схема экспериментального стенда представлена в [1], где рабочим участком является канал, образованный двумя цилиндрическими поверхностями, и канал, образованный двумя коническими поверхностями (рис. 1).

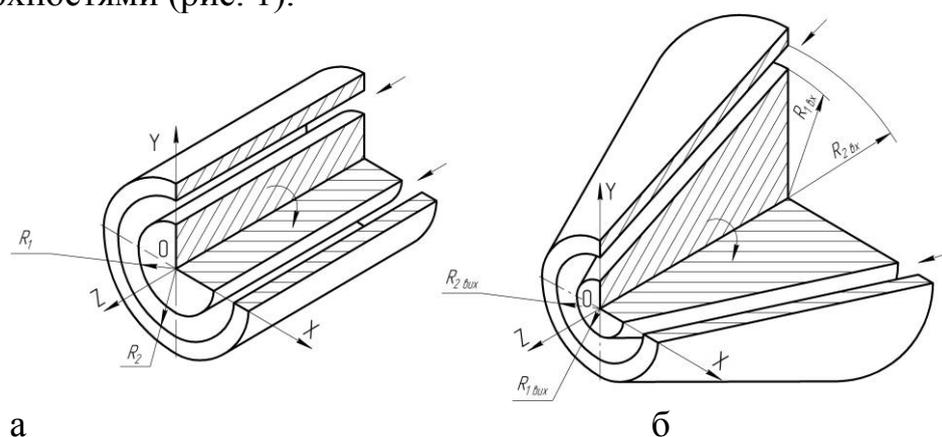


Рис.1. Схемы кольцевых каналов: а – цилиндрического, б – конического

Особенностью течения в коническом кольцевом канале является то, что на течение потока оказывает влияние изменение площади поперечного сечения по длине и изменение кривизны образующих поверхностей ( $1/R_1$ ) и ( $1/R_2$ ) (рис.

2), в то время как для цилиндрического кольцевого канала (рис. 1а) данные факторы отсутствуют [2, 3].

Экспериментальное определение изменения перепада давлений  $\Delta p$  в коническом кольцевом канале в зависимости от угловой скорости  $\omega$  внутреннего конуса при различных числах Рейнольдса  $Re_1$  во входном сечении приведено на рис. 3. В качестве рабочих жидкостей, моделирующих смазочные материалы, использовались водные растворы поливинилового спирта. Такие растворы при концентрации 1...10 % и выше проявляют себя как аномально-вязкие жидкости. Опыты показали, что реологическое поведение таких растворов можно с достаточной степенью точности описать законом Оствальда де Виля при индексе течения  $n < 1$ :  $n$  изменялся в пределах 0,771...0,927. По существу такие растворы могут моделировать течение псевдопластических смазочных материалов.

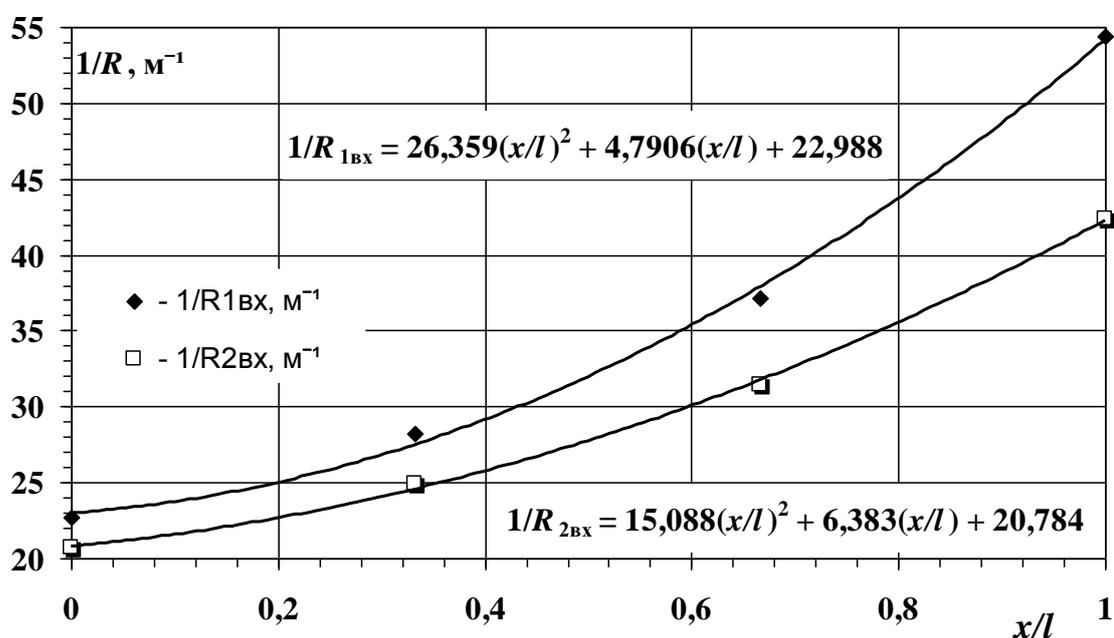


Рис.2. Изменение кривизны образующих поверхностей по длине канала

Экспериментальная установка позволяла проводить экспериментальные исследования при двух условиях: при наличии продольного движения жидкости и при его отсутствии, а также при неподвижном или вращающемся внутреннем конусе (рис. 3). Как видно на рис.3, при увеличении угловой скорости вращения внутреннего конуса гидравлические потери также увеличиваются, и кривая  $\Delta p=f(\omega)$  асимптотически приближается к некоторому критическому значению угловой скорости, при котором перепады давлений настолько велики, что продольное движение жидкости будет отсутствовать, что весьма важно при анализе работы подобного рода опорных подшипников скольжения.

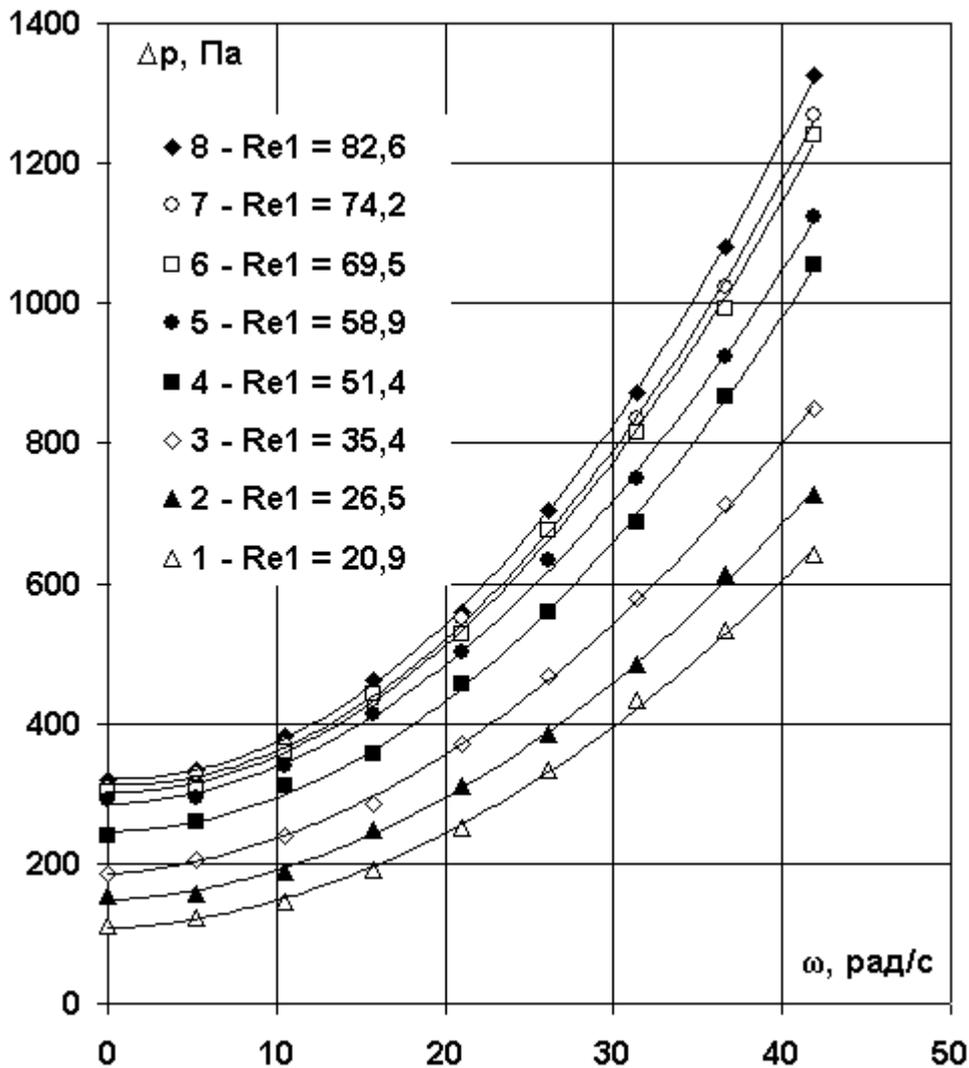


Рис.3. Зависимость потерь давления от угловой скорости

Сопоставление приведенных на рис. 3 кривых, которые в данном случае могут быть описаны зависимостью

$$\Delta p = A\omega^2 + B\omega + \Delta p_0, \quad (1)$$

где  $A, B$  – постоянные;  $\Delta p_0$  – потери давления в коническом кольцевом канале с неподвижными поверхностями соответственно при том же числе Рейнольдса на входе в канал, с зависимостью перепада давлений при отсутствии вращения позволяет определить степень влияния частоты вращения на характер изменения перепада давлений ( табл. 1).

Как видно из формулы (1), третье слагаемое в правой части характеризует перепад давлений вдоль оси конического кольцевого канала при неподвижных конусах. В то же время первые два слагаемые  $A\omega^2 + B\omega$  характеризуют составляющую перепада давлений, связанную с действием центробежных сил, обусловленных вращением внутренней конической поверхности. Данная

величина может быть охарактеризована, как показано в [4], двумя критериями: критерием  $K$

$$K = \left( \frac{\omega R_{16x}}{\nu} \right)^2 \quad (2)$$

и критерием

$$S = \frac{\omega^2}{\nu^2} R_{1ВХ} (R_{2ВХ} - R_{1ВХ})^3, \quad (3)$$

где  $\nu$  – среднерасходная скорость жидкости;  $\nu$  – кинематический коэффициент вязкости.

Эти критерии находятся в непосредственной зависимости от окружного числа Рейнольдса

$$Re_{окр} = \frac{2\omega R_{1ВХ} (R_{2ВХ} - R_{1ВХ})}{\nu}. \quad (4)$$

Опыты показали, что от соотношения величин  $Re_{окр}$  и  $Re_1$  существенно зависит гидравлическое сопротивление в коническом кольцевом канале. Расчёт чисел Рейнольдса производился с учётом реологических особенностей модельной жидкости. При проведении эксперимента соотношение между  $Re_{окр}$  и  $Re_1$  изменялось в пределах: 1,02...23,61 – на входе в конический кольцевой канал и 0,23...5,93 – на выходе из канала. Данные соотношения характеризуют степень влияния массовых сил на характер течения аномально-вязкой жидкости.

Анализ кривых (рис. 3) и формулы (1) показал, что величину  $A\omega^2 + B\omega$  можно представить пропорциональной отношению  $Re_{окр}$  к  $Re_1$

$$A\omega^2 + B\omega = f \left( \frac{Re_{окр}}{Re_1} \right), \quad (5)$$

то есть давление, обусловленное действием массовых сил, зависит от геометрических размеров конического кольцевого канала и реологических свойств жидкости.

На рис. 4 показан характер этой зависимости

$$A\omega^2 + B\omega = C \left( \frac{Re_{окр}}{Re_1} \right)^2 + D \left( \frac{Re_{окр}}{Re_1} \right) + E.$$

На основании анализа данной графической зависимости можно судить о степени влияния вращения внутреннего конуса на величину утечек жидкости из данного зазора, а, следовательно, и на степень смазки конических поверхностей радиально-упорного подшипника скольжения. Следует отметить, что на соотношения, представленные на рис. 4, может оказывать также и качество поверхностей (степень шероховатости) и их кривизна, особенностью которой является то, что она изменяется вдоль щелевого зазора,

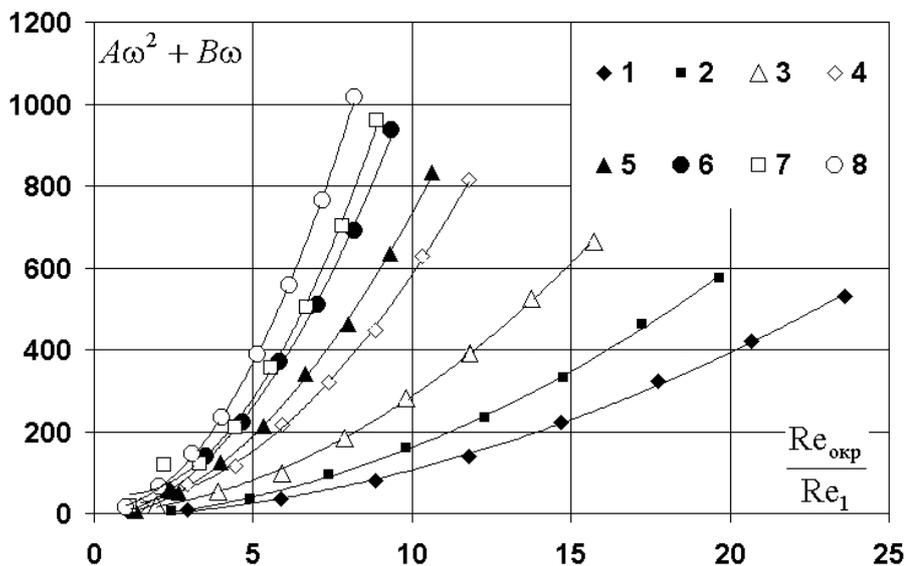


Рис. 4. Зависимость потерь давления, обусловленных действием массовых сил, от соотношения окружного числа Рейнольдса и числа Рейнольдса во входном сечении канала

Таблица 1

№ кривой	$A, \frac{\text{Н с}^2}{\text{м}^2}$	$B, \frac{\text{Н с}}{\text{м}^2}$	$\Delta p_0, \text{Па}$	$C, \text{Па}$	$D, \text{Па}$	$E, \text{Па}$
1.	0,2803	1,2281	106,99	0,8336	3,6133	-13,097
2.	0,3038	1,2882	147,27	1,3006	4,6509	-15,288
3.	0,343	1,6494	185,18	2,4181	4,6634	-2,1826
4.	0,4531	0,2398	245,97	5,9603	-2,9668	18,027
5.	0,4549	0,8738	284,42	6,8142	6,7573	-14,615
6.	0,5301	-0,0964	301,73	10,513	0,6909	-4,8268
7.	0,5609	-0,8679	313,4	14,216	-26,756	59,07
8.	0,5846	-0,6212	321,12	15,907	-8,5004	12,881

Возрастая от сечения на входе в канал до сечения на выходе из канала. На рис. 2 представлен характер изменения кривизны ( $1/R$ ) внешнего и внутреннего конусов по длине канала.

### Выводы

Проведен эксперимент и рассмотрены особенности течения anomalно-вязкой жидкости в коническом кольцевом канале при наличии осевого

движения жидкости и вращательного движения внутренней конической поверхности. Показано, каким образом вращение поверхности, то есть действие центробежных сил, может влиять на перепад давлений. Даны расчётные зависимости.

### **Перелік посилань**

1. Ракович В.Я., Кривошеев В.С. Особенности течения масел в цилиндрических зазорах// Вісник Сумського держ. ун-ту. – Серія технічні науки (машинобудування)-2003. -№12(58). –С. 139-143.
2. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. Изд. 5-е, перераб. –М.: Наука, 1978. -736 с., ил.
3. Ульев Л.М. Ламинарные течения в соосных конических каналах: Монография: В 2-х т.; Под ред. Л.Л. Тобажнянского – Т. 2.-Харьков: НТУ «ХПИ», 2006.-706 с., ил.
4. Щукин В.К. Теплообмен и гидродинамика внутренних потоков в полях массовых сил. – М.: Машиностроение, 1970. -332 с., ил.

УДК 624.2

**С.Г. ТКАЧУК**, докт. техн. наук

### **ПРАКТИЧНІ ФОРМУЛИ ГРАНИЧНОЇ І РОЗРАХУНКОВОЇ ГЛИБИНИ МІСЦЕВОГО РОЗМИВУ**

*На підставі фундаментального закону збереження енергії виводиться практична формула для визначення граничної глибини вирви місцевого розмиву. Вважається, що вся питома (на одиницю об'єму) енергія потоку витрачається на роботу по підняттю з вирви одиниці об'єму ґрунту. Апроксимуючи натурні відносні глибини місцевого розмиву з кадастру М.М.Журавльова, отримується розрахункова залежність з врахуванням її надійності. Гранична глибина вирви місцевого розмиву є контрольною величиною, тому що розрахункова глибина ні за яких обставин не може бути більшою за неї.*

*На основании фундаментального закона сохранения энергии выводится практическая формула для определения предельной глубины воронки местного размыва. Считается, что вся удельная (на единицу объема) энергия потока расходуется на работу по поднятию из воронки единице объема грунта. Аппроксимирующих натурные относительные глубины местного размыва из кадастра М. М. Журавлева, получаемый расчетная зависимость с учетом ее надежности. Предельная глубина воронки местного размыва является контрольной величиной, так как расчетная глубина ни при каких обстоятельствах не может быть больше нее.*

*On the basis of the fundamental law of conservation of energy is derived and practical formula for determining the maximum depth of local erosion crater. It is believed that all the specific (per unit volume) energy of the flow is spent on the work of raising the funnel of a unit volume of soil. Full-scale approximating the relative depth of local erosion of the inventory M. Zhuravleva, obtained the*