

**С. Ф. Разави, аспирант,
О. М. Яхно, д.т.н., профессор,
В. С. Кривошеев, к.т.н., доцент**

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт
имени Игоря Сикорского»*

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ В КОНИЧЕСКОМ ЗАЗОРЕ

Исследования поведения жидкости в конических и цилиндрических зазорах при условии вращения одной из поверхностей проводились рядом исследователей [1–8]. В основном эти исследования осуществлялись применительно к проблемам вискозиметрии и рассматривались случаи, когда вращался наружный цилиндр, а внутренний был неподвижным. Вместе с тем при решении задач гидродинамической смазки актуальными являются проблемы, связанные с поведением жидкости в конических зазорах, когда вращается внутренний конус, а внешний неподвижен. Для такого случая актуальной является проблема распределения давления по внешней поверхности конуса, решение которой во многом определяет качество смазки поверхности. Это весьма актуально для случая, когда смазочный материал является аномально вязкой жидкостью.

Кроме того, сопоставление поведения жидкости в цилиндрическом и коническом зазорах при вращении внутренней поверхности дало бы возможность установить различие в поведении жидкости в обоих рассматриваемых случаях. На наш взгляд, важным фактором в этой задаче является то, что кривизна поверхности вдоль длины зазора в цилиндрической щели является постоянной, а в конической – переменной.

В связи с этим в данной работе было проведено физическое моделирование поведения вязких и аномально вязких жидкостей в коническом зазоре при условии вращения внутреннего конуса. Исследования проводились на стенде (рис. 1), рабочим участком которого являлся конический кольцевой зазор, образованный конусами с одинаковым углом конусности $58,13^\circ$. Кривизна поверхности на рабочем участке менялась от 9^{-1} мм до $47,5^{-1}$ мм. Частота вращения внутреннего конуса – 15...160 об/мин.

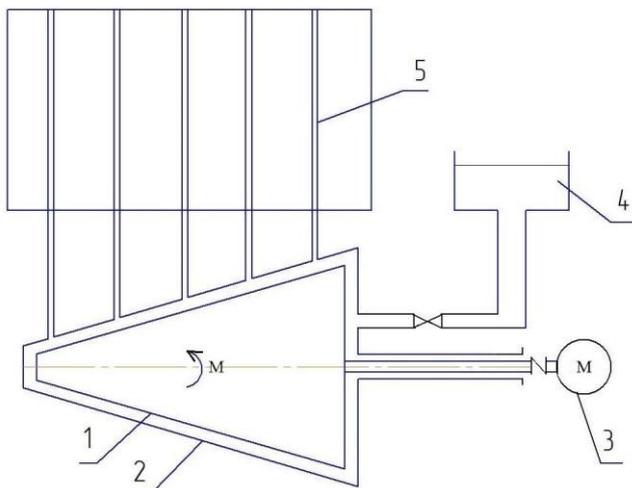


Рисунок 1 – Схема экспериментального стенда:
1 – внутренний вращающийся конус;
2 – внешний неподвижный конус с прозрачной стенкой;
3 – электродвигатель постоянного тока;
4 – питательный бак; 5 – щит пьезометрический

В качестве рабочих жидкостей, моделирующих смазочные материалы, использовались глицерин и водный раствор натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ). Глицерин моделирует ньютоновские жидкости, а водный раствор КМЦ – жидкости с реологическим поведением, соответствующим закону Оствальда де Виля $\tau = k\gamma^n$. На рис. 2 и 3 представлены реологические кривые данных жидкостей при температуре 15°C . Как видно из рис. 2, глицерин представляет собой ньютоновскую жидкость и показывает зависимость τ от γ ; причем данная функция является линейной и, следовательно, вязкость определяется углом наклона.

На рис. 3 представлена зависимость τ от γ для КМЦ и видно, что у нас $\tau = k\gamma^n$,

где $k = 0,194$ и $n = 0,7412$. Исследование поведения данных жидкостей на

экспериментальном стенде дало возможность обнаружить, при каких условиях происходит изменение давления по длине конического зазора. Исследования проводились при частоте вращения внутреннего конуса, изменяющейся в пределах 15...160 об/мин.

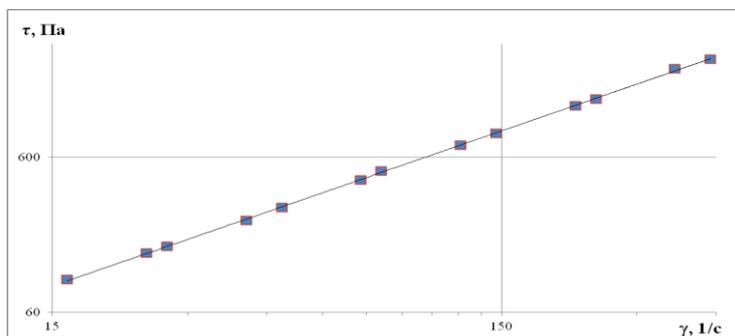


Рисунок 2 – Реологическая зависимость для глицерина $\tau = \kappa\gamma^n$, где $\kappa = 5,9073$ и $n = 1.0004$

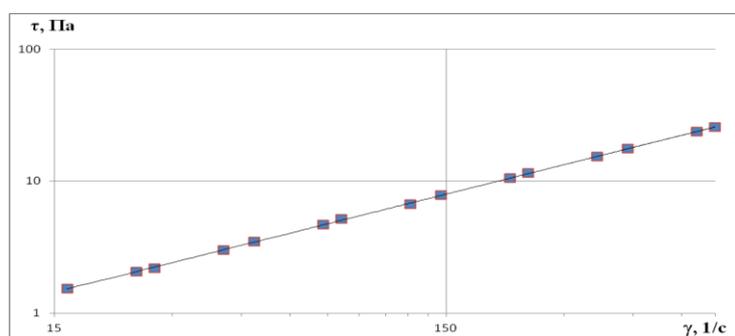


Рисунок 3 – Реологическая зависимость для водного раствора КМЦ $\tau = \kappa\gamma^n$, где $\kappa = 0,194$ и $n = 0,7412$

На рис. 4 показывается, каким образом изменяется давление по длине конического щелевого зазора в рассматриваемом диапазоне частот вращения. Как видно из этих опытов, для ньютоновской жидкости, а также для неньютоновской жидкости при различных частотах вращения давление по длине поверхности внешнего конуса не изменяется. Несмотря на то, что в щелевом зазоре, образованном коническими поверхностями, их кривизна изменяется по длине, как видно из рис. 5, это не влияет на распределение давления. Поэтому можно сделать вывод, что в данном случае при рассматриваемых условиях проведения эксперимента и рассматриваемых частотах вращения изменение давления вдоль внешней конической поверхности не наблюдается.

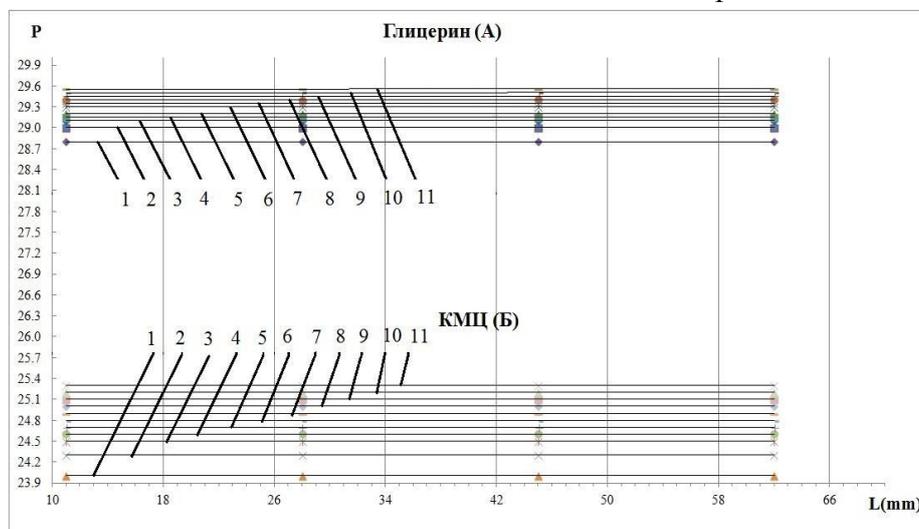


Рисунок 4 – Изменение давления по поверхности внешнего конуса для глицерина (А) и КМЦ (Б) при различных частотах вращения, об/мин:
1 – 0, 2 – 15, 3 – 25, 4 – 27, 5 – 41, 6 – 45, 7 – 65, 8 – 80, 9 – 120, 10 – 130, 11 – 160

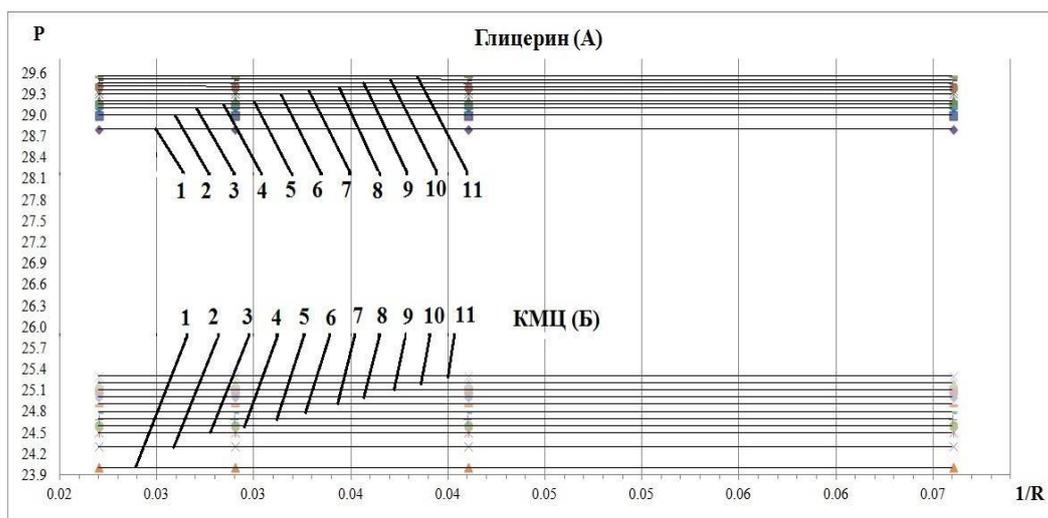


Рисунок 5 – График зависимости $p = f(1/R)$ для глицерина (А) и КМЦ (Б) при различных частотах вращения, об/мин:
 1 – 0, 2 – 15, 3 – 25, 4 – 27, 5 – 41, 6 – 45, 7 – 65, 8 – 80, 9 – 120, 10 – 130, 11 – 160

Следовательно, при описании течения в таком зазоре можно использовать с достаточной точностью формулы для цилиндрического зазора. Данные выводы относятся для случая рассмотренных частот вращения внутреннего конуса.

Выводы: Как видно из проведенных опытов, для рассматриваемых жидкостей в диапазоне частот вращения 15...160 об/мин давление по длине поверхности внешнего конуса не меняется несмотря на то, что кривизна поверхности является функцией продольной координаты.

Литература

1. Ульев Л. М. Медленные течения между соосными коническими поверхностями / Л. М. Ульев // ИФЖ. – 1998. – Т. 71, №. 6. – С. 1092–1098.
2. Slattery G. C. Analysis of the finite cone-plate viscometer and the finite parallel viscometer / G. C. Slattery // Journal of Applied Polymers Science. – 1964. – Vol.8, № 6. – P. 137.
3. Белкин И. М. Ротационные приборы. Измерение вязкости и физико-механических характеристик материалов / И. М. Белкин, Г. В. Виноградов, А. И. Леонов. – М. : Машиностроение, 1967.
4. Малкин А. Я. Реология. Концепции, методы, приложения / А. Я. Малкин, А. И. Исаев. – М. : Профессия, 2007. – 560 с.
5. Боуден Ф. П. Трение и смазка твердых тел : монография / Ф. П. Боуден, Д. Тейбор. ; Пер. с англ. под ред. д-ра техн. наук И. В. Крагельского. – М. : Машиностроение, 1968. – 544 с.
6. Гидродинамическая теория смазки: сборник / под ред. с доп. статьями проф. Л. С. Лейбензона. – М. ; Л. : Гостехиздат, 1934. – 578 с.
7. Гідродинаміка гідростатодинамічного радіального підшипника ковзання / І. Хоменко, М. Кіндрачук, О. Яхно, А. Кобринець // Машинознавство. – 2009. – № 4. – С. 29–33.
8. Рациональная смазка – экономия расходов. Каталог продукции. Kluber Lubrication;