

где дополнительно обозначено:  $R_c$  — средний радиус кольца уплотнения,  $b = 2\pi R_c$  — длина окружности кольца по среднему радиусу,  $\bar{\omega}$  — угловая скорость вращения вала.

Для  $n = 7500$  об/мин соответствующая кривая расхода показана на рис. 5 в виде кривой 3 для случая движения жидкости в направлении от наружного диаметра уплотнения к внутреннему. В целом можно заключить, что роль противодействия со стороны центробежных сил движущемуся потоку при заданном уровне внешнего давления невелика, что подтверждается и имеющимися в литературе данными [7].

Отметим, что рассматриваемая модель легко может быть приспособлена и к течению жидкости в каналах замкнутого сечения, например, кругового.

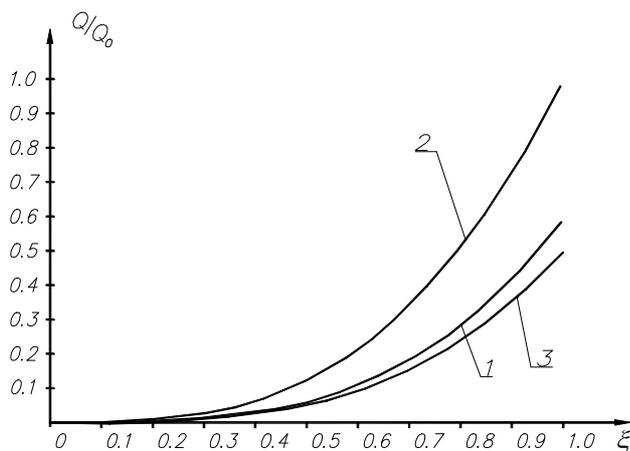


Рисунок 5. Зависимость расхода от высоты щели

УДК 62-762

Голуб В.М., Голуб М.В., Свищев М.А., Холодарь Б.Г.

## МОДЕЛЬ ПРОТЕЧКИ ЖИДКОСТИ В УЗКИХ ЩЕЛЯХ С УЧЕТОМ ТЕМПЕРАТУРЫ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОЙ ПЛЕНКИ

Предложенная в [1] модель протечки жидкостей через тонкие микронные щели базируется на зависимости вязкости течения от двух факторов - давления жидкости в зазоре щели и воздействия поля стенок щели, которое сводится к образованию в пристеночных зонах щели цепочек органических молекул нормально к поверхности контакта и образованию вокруг них своеобразной коллоидной структуры. Для описания влияния этой структуры на протечку жидкости предложена и опробована соответствующая зависимость вязкости от поперечной координаты, определяющей положение струйки тока относительно плоскости симметрии щели. Сама щель считается имеющей постоянное сечение, наличие шероховатости поверхности в параметрах модели не рассматривается. Для определения вклада шероховатости в параметры используемой модели необходимо проведение дополнительных экспериментов.

## ВЫВОДЫ

1. Построена модель первого приближения, учитывающая влияние адгезионных свойств пары "стенка-жидкость" на величину расхода жидкости через тонкие щели.
2. Определены параметры модели для нескольких конкретных жидкостей в предположении изотермического режима течения (одинаковая температура жидкости во всех точках потока без учета зависимости ее от величины зазора щели).

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Д.Бакли. Поверхностные явления при адгезии и фрикционном взаимодействии. М.: Машиностроение, 1986,-360с.
2. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения. М.: Физматгиз, 1963,-472с.
3. Москвитин Н.И. Физико-химические основы процессов склеивания и прилипания. М.: Лесная промышленность, 1974,-192с.
4. Справочник по триботехнике. В 3-х томах. Под общ. ред. М. Хебды и А. В. Чичинадзе. Т1, Т2. М.: Машиностроение, 1989,1990
5. А.Надаи. Пластичность и разрушение твердых тел. Т.2, М.:Мир,1969,-863с
6. Полубаринова-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод. М.:1977,-664с
7. Башта Т.М. и др. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. Изд.2-е. М.: Машиностроение, 1982,-423с
8. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам. (Ред. Б.Б. Некрасов). Минск, Высшая школа, 1985
9. Голуб М.В., Харламенко В.И., Галюк В.Х. Механизм герметизации контактной пары торцового уплотнения. – Вестник машиностроения, -1987, №3, с. 24-26.

Модель приводит к зависимости расхода жидкости через щель вида

$$Q = \int_h dm = \frac{2\rho b h^3 \cdot (1 - \exp(-\alpha p_0))}{\eta_0 \alpha L} \cdot (\Phi(1) - \int_0^1 \Phi(\xi) d\xi)$$

где

$h$  - половина высоты щели,  $L, b$  - ее длина и ширина,  $p_0$  - давление на входе щели (на выходе щели давление принято атмосферным),  $\alpha$  - структурный параметр, определяющий зависимость вязкости от давления,  $\Phi(x)$  - некоторый интеграл, определяющий характер зависимости профиля скорости течения жидкости по высоте щели. Функция  $\Phi(x)$  связана с поперечной координатой частицы жидкости в щели через функцию  $f(y)$ , зависящую от нескольких констант, которые подлежат определению по данным эксперимента. Неньютоновский

Голуб Владимир Михайлович. Аспирант каф. «Машиноведения» Брестского государственного технического университета.

Голуб Михаил Владимирович. Зав. каф. «Машиноведения» Брестского государственного технического университета.

Свищев М.А. Аспирант каф. «Машиноведения» Брестского государственного технического университета.

Холодарь Б.Г.

БГТУ, Беларусь, г. Брест, ул. Московская 267.

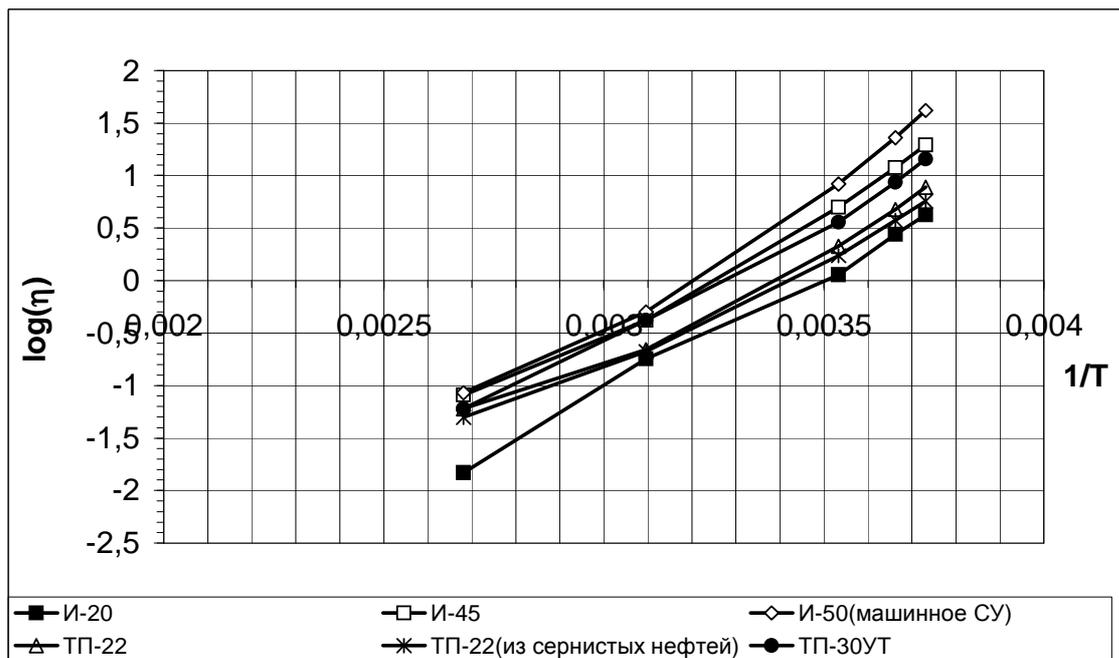


Рисунок 1. Зависимость вязкости промышленных и турбинных масел от абсолютной температуры

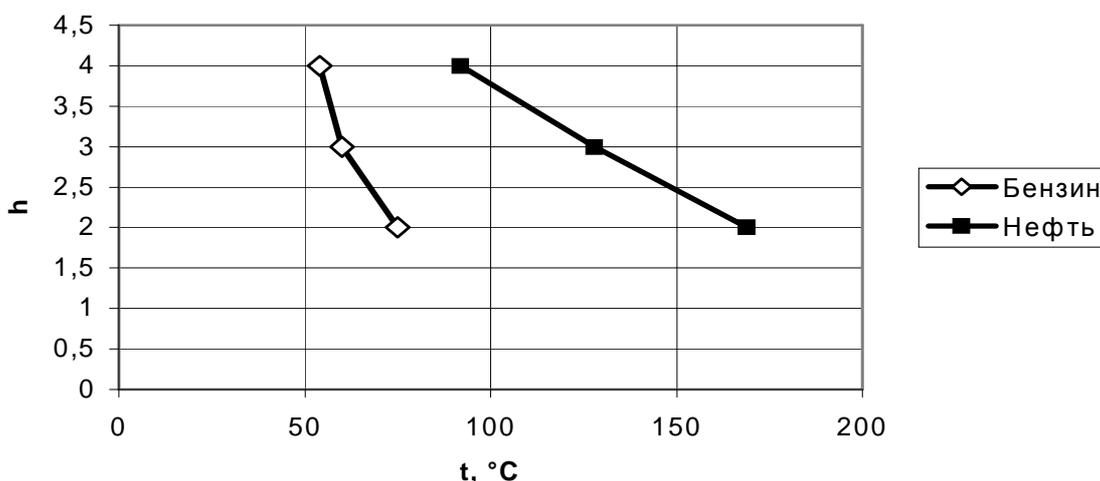


Рисунок 2. Зависимость температуры жидкости от высоты щели

характер течения жидкости вдоль щели определяется именно этой функцией.

Параметры модели определены в [1] для жидкостей различной вязкости в предположении, что температура среды постоянна и не зависит от величины зазора щели. Для всех опытов температура составляла  $T=20^{\circ}\text{C}$ , соответствующая ей вязкость жидкости принималась стандартной по справочнику [2]. Таким образом, определенные параметры носят скорее качественный, чем количественный характер, так как и протекающая среда и величина зазора щели влияют на температуру выходящей через щель жидкости. Важность корректного учета температурного фактора в модели особенно понятна с практической точки зрения, поскольку поверхности щели чаще всего принадлежат деталям, вращающимся друг относительно друга с некоторой угловой скоростью, что вызывает наличие значительной окружной скорости частиц жидкости, находящейся в зазоре, появление больших градиентов этой скорости по высоте щели и соответствующее рассеяние энергии при сдвиге смежных слоев жидкости, которое и вызывает ее разогрев.

Целью настоящей работы является расширение ранее принятой модели протечки жидкости через зазор торцевого уплотнения с учетом ее средней температуры в этом зазоре. В качестве теоретической основы подхода используем известные представления о кинетической природе вязкости [3,4,5], согласно которым температурная зависимость вязкости  $\eta$  имеет вид:

$$\eta = \eta_0 \cdot \exp( U / kT ),$$

где  $\eta_0$  – размерный множитель (т.н. начальная вязкость), который в общем случае является функцией температуры (согласно [3,4] начальная вязкость пропорциональна сомножителю  $T^s$ , где показатель степени  $s$  составляет  $s=1.0$  или  $s=0.5$  соответственно),  $U$  – энергия активации процессов разрушения и рекомбинации связей,  $k$  – постоянная Больцмана,  $T$  – абсолютная температура среды. Зависимость энергии активации принимаем в виде

$$U = U_0 + ap + f( y ),$$

где  $U_0$  – начальное значение энергии активации,  $\alpha p$  – член, учитывающий влияние давления на вязкость жидкости,  $f(y)$  – упомянутая выше функция, учитывающая влияние силового поля стенок щели. Далее мы зависимостью  $\eta_0(T)$  пренебрегаем, используя для удовлетворения экспериментальным данным только экспоненциальный множитель, который в интересующем нас диапазоне изменения температур достаточно хорошо их описывает. Для иллюстрации на рисунке 1 приведены данные для различных масел [2], перестроенные в координатах  $\ln \eta \sim T^{-1}$ . Как видим, с достаточной степенью точности эта зависимость может быть принята линейной.

Для более точного соответствия эксперименту в широком диапазоне температур следовало бы учитывать и температурные зависимости  $U_0(T), \alpha(T), f(T, y)$ , что требует, однако, специально поставленных опытов. Зависимость температуры от величины зазора  $T(h)$  принималась в соответствии рисунка 2. Изменение ее по поперечной координате не учитывалось.

Методика подбора числовых параметров соответствует принятой в [1]. И использованные в качестве исходных данных и полученные при подборе значения параметров модели приведены в таблице 1 и таблице 2. Параметр  $\alpha$  и коэффициент теплового расширения  $k_v$  жидкостей приняты одинаковыми для обеих сред -  $\alpha = 0.03 \cdot 10^{-6}$  1/МПа,  $k_v = 0.006$  1/°C.

Сравнительно с [1] заметно изменились значения параметра  $m$ . Соответственно с этим изменилось и распределе-

Таблица 2

Исходные и расчетные параметры сред

Жидкость	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Вязкость $\eta_0$ , н·с/м <sup>2</sup>	$\gamma$	$\beta_0 = \beta \cdot 10^{-6}$	$m$
Бензин	800.0	$0.57 \cdot 10^{-2}$	10.289	1.495	0.6545
Нефть	900.0	$2.05 \cdot 10^{-2}$	14.090	1.560	1.3250

Таблица 1

Расход жидкости через уплотнение

Зазор $2h$ , мкм	Расход $Q$ , см <sup>3</sup> /час	
	Бензин	Нефть
3.75	30	15.0
3.00	20	7.0
2.75	15	5.0
2.50	10	3.0

Санюкевич Ф.М.

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ НАПОРНЫХ МИКРОЦИКЛОНОВ

Перемещаемая в жидкости твердая частица испытывает сопротивление от инерции среды (динамическое) и от трения (вязкости). Преобладание соответствующего вида сопротивления зависит от скорости перемещения частицы и её обтекаемой поверхности. Известно [1], что для шарообразных частиц диаметром  $d_u$  скорость их осаждения пропорциональна

ние скорости по сечению щели - течение в большей степени концентрируется в срединной по высоте щели зоне (рисунок 3).

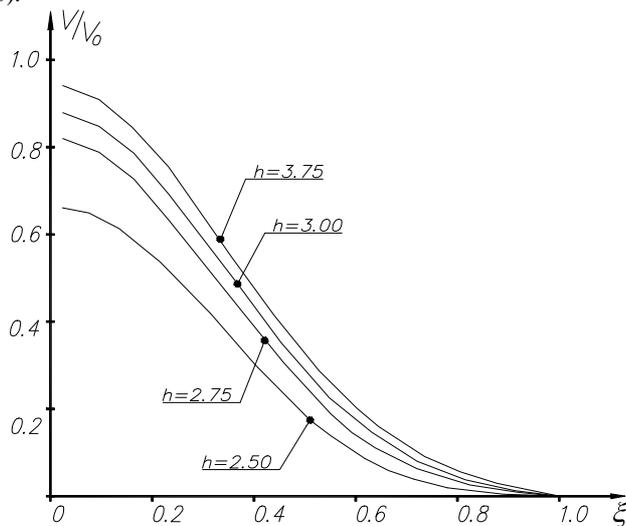


Рисунок 3. Распределение скорости потока по высоте щели

Из опыта проведения данной работы вытекает вывод об определяющей роли теплового фактора - именно принятые по рисунку 2 графики изменения температуры от величины щелевого зазора в уплотнении  $T(h)$  оказывают наиболее сильное влияние на выбор тех или иных значений остальных параметров. Для сближения расчетных и экспериментально найденных данных основной упор следует делать на максимально возможной строгости фиксации в опытах температуры протекающей через щель жидкости, которая включает в себя интегрально шероховатость стенок щели, скорость скольжения стенок друг относительно друга, теплоемкость среды, условия отвода тепла с уплотнения и другие факторы.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Голуб В.М., Голуб М.В., Свищев М.А., Холодарь Б.Г. Течение жидкости через узкие щели контактных пар трения торцовых уплотнений (в настоящем сборнике).
2. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам. Ред. Б.Б. Некрасов. - Высшэйшая школа - Минск. - 1985.
3. Френкель Я.И. Кинетическая теория жидкостей. - Наука. - ЛЕНИНГРАД. - 1975.
4. А. Банди. Теория вязкости. В кн. Реология. Теория и приложения. Под ред. Ф. Эйриха. - ИЛ. - Москва. - 1962.
5. Дж. Ферри. Вязкоупругие свойства полимеров. - ИЛ. - Москва. - 1963.

УДК. 553.97+518

Санюкевич Федор Михайлович. Доцент каф. "Машиноведения" Брестского государственного технического университета. БГТУ, Беларусь, г. Брест, ул. Московская 267.