

# ПОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МАГНИТНЫХ ЖИДКОСТЕЙ И ОПОРНО- УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

С. Н. Соловьев, канд. техн. наук, проф. ;  
В. А. Мозолук, доц., канд. техн. наук;  
Е. В. Трофимова, ст. преподаватель

*Национальный университет кораблестроения, г. Николаев*

**Аннотация.** Представлен расчет магнитной цепи для определения основных параметров магнитожидкостных опорно-уплотнительных устройств и приведена конструкция опорно-уплотнительного устройства, созданного на основе этого расчета.

**Ключевые слова:** магнитная жидкость, опорно-уплотнительное устройство, избирательный перенос, магнитный поток.

**Анотація.** Наведено розрахунок магнітного ланцюга для визначення основних параметрів магніто-рідинних опорно-ущільнювальних пристроїв, а також наведена конструкція опорно-ущільнювального пристрою, створеного на основі цього розрахунку.

**Ключові слова:** магнітна рідина, опорно-ущільнювальний пристрій, вибіркоче перенесення, магнітний потік.

**Abstract.** Calculation of a magnetic chain for definition of basic parameters of magnet-liquid bearing-sealing devices is presented. The design of the bearing-sealing device created on the basis of this calculation is resulted.

**Keywords:** magnetic liquid, bearing-sealing device, sampling transportation, magnetic flux.

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

С момента получения первых магнитных жидкостей (МЖ), сочетающих в себе свойства ферромагнитного материала со свойствами жидкости-носителя, большое распространение получили опорно-уплотнительные устройства с МЖ. Они обладают существенными преимуществами по сравнению с уплотнительными устройствами других типов при равных нагрузочно-скоростных условиях [1].

Вместе с тем при повышении нагрузочно-скоростных характеристик, особенно при расположении оси вала по горизонтали,

проявляются износые явления. Износ рабочих поверхностей может служить причиной нарушения стабильности работы уплотнений, возможного появления микроутечек и других негативных последствий.

Проблема повышения стабильности рабочих параметров опорно-уплотнительных устройств разрешается в первую очередь устранением или подавлением износа. Перспективным направлением в этом является использование магнитных жидкостей с компонентами, иницирующими избирательный перенос при трении. Однако такие специфические МЖ могут проявить себя лишь

в спроектованих надлежачим образом конструкциях опорно-уплотнительных устройств.

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ** — выполнить расчет магнитной цепи для определения параметров магнитоожидкостных опорно-уплотнительных устройств.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Для исследования МЖ и конструкций опорно-уплотнительных устройств использовалась машина трения СМЦ-2, которая была модернизирована таким образом, чтобы можно было наблюдать, регистрировать и измерять эффект избирательного переноса при использовании МЖ различного состава и анализировать конструктивные решения опорно-уплотнительных устройств.

Для удовлетворения требованиям рабочей узел машины трения СМЦ-2 был подвергнут переделке (рис. 1). На вал 1 монтируется втулка 2 опорно-уплотнительного устройства 3. В корпусе опорно-уплотнительного устройства 4 расположен магнит 5, который удерживается полюсными наконечниками 6 и 7. Между полюсными наконечниками и втулкой находится магнитная

жидкость 8. Корпус с помощью винтов закрыт крышкой 9.

Для исследований выбраны сочетания материалов наконечников и втулки: бронза-сталь и сталь-сталь. Втулки изготовлены из стали 45 и бронзы Бр.АЖ9-4. На корпус прикладывается радиальная нагрузка от 5 до 50 кН. Частота вращения вала 300...1000 об/мин.

Для определения конструктивных параметров устройства необходимо представлять, как основные габариты конструкции влияют на напряженность магнитного поля в зазоре, которая является основной характеристикой данного устройства.

В основу расчета положены соотношения отдельных участков магнитной цепи [2]. Определяется проводимость путей распространения магнитного потока и находится полное сопротивление магнитной цепи. По полному магнитному потоку рассчитывается магнитное поле в рабочем зазоре. Направление путей распространения магнитного потока постоянно, роль источника играет магнит, создающий магнито-движущую силу. Сопротивление цепи складывается из сопротивления путей распространения магнитного потока и внутреннего сопротивления магнита (рис. 2).

Полный магнитный поток можно определить как

$$\Phi = \frac{F}{R},$$

где  $F = \mu_0 H_p b_m$  — магнитодвижущая сила;  $R$  — сопротивление цепи;  $b_m$  — длина магнита;  $H_p$  — напряженность магнитного поля;  $\mu_0$  — магнитная постоянная ( $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м);

$$R = R_0 + R_m,$$

где  $R_0$  — сопротивление путей распространения магнитного потока;  $R_m$  — внутреннее сопротивление магнита;

$$R_m = \theta_0 \frac{b_m}{S} = \theta_0 \frac{b_m}{\pi \left[ \left( \frac{d}{2} + d_0 + d_i \right)^2 - \left( \frac{d}{2} + d_i \right)^2 \right]},$$

где  $S$  — площадь торцевой поверхности магнита;  $\theta_0$  — коэффициент жесткости, зависящий от материала;  $d$  — диаметр вала;

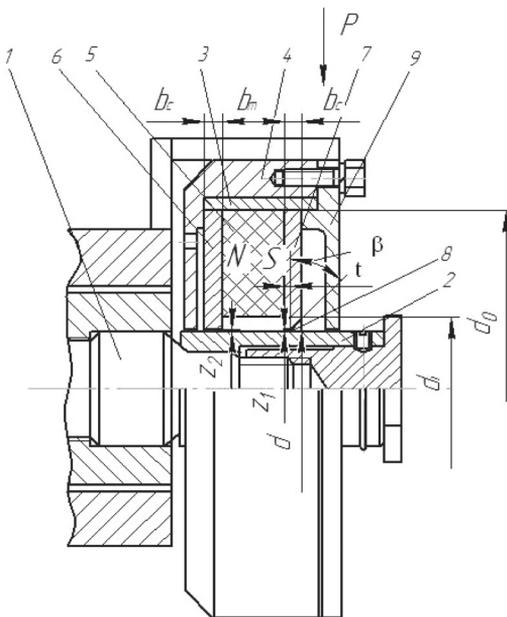


Рис. 1. Опорно-уплотнительное устройство

$d_0, d_i$  — наружный и внутренний диаметры магнита (см. рис. 1);

$$R_0 = \frac{1}{\Lambda},$$

где  $\Lambda$  — магнитный поток,

$$\Lambda = \lambda_{3,1} + \lambda_{4,1} + \lambda_A,$$

$\lambda_{3,1}, \lambda_{4,1}, \lambda_A$  — проводимость соответственно внешнего потока, потока между полюсами, потока, распространяющегося через вал (последовательно через оба полюса) — см. рис. 2;

$$\lambda_A = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2},$$

где  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  — проводимость соответственно через полюса 1 и 2. Она складывается из про-

$$\lambda_1 = \lambda_{1,1} + 2\lambda_{1,2} + \lambda_{1,3} + \lambda_{1,4} + \lambda_{1,5}; \quad \lambda_2 = \lambda_{2,1} + 2\lambda_{2,2} + \lambda_{2,3} + \lambda_{2,4};$$

$$\lambda_{1,1} = \frac{2\pi}{\pi - \beta} \left[ \ln \frac{(b_c - t) \operatorname{ctg} \beta + z_1}{z_1} + (b_c - t) \operatorname{ctg} \beta \right]; \quad \lambda_{1,2} = 3,3 \left( \frac{d}{2} + 0,425z_1 \right);$$

$$\lambda_{1,3} = 2\pi t \frac{1}{\ln \left( \frac{d + 2z_1}{d} \right)}; \quad \lambda_{1,4} = 4 \ln \left[ \frac{d_0 + d_i}{z_1 + (b_c - t) \operatorname{ctg} \beta} \right] \left\{ \frac{d}{2} + \sqrt{(d_0 + d_i)[z_1 + (b_c - t) \operatorname{ctg} \beta]} \right\};$$

$$\lambda_{1,5} = 4 \left( \frac{d}{2} + \sqrt{d_i z_1} \right) \ln \left( \frac{d_i}{z_1} \right); \quad \lambda_{2,1} = 4 \left( \frac{d}{2} + \sqrt{(d_i + d_0)z_2} \right) \ln \left[ \frac{d_i + d_0}{z_2} \right]; \quad \lambda_{2,2} = 3,3 \left( \frac{d}{2} + 0,425z_2 \right);$$

$$\lambda_{2,3} = 2\pi b_c \frac{1}{\ln \left[ \frac{d + 2z_2}{d} \right]}; \quad \lambda_{2,4} = 4 \left[ \frac{d}{2} + \sqrt{d_i z_2} \right] \ln \left( \frac{d_i}{z_2} \right);$$

$$\lambda_{3,1} = 4 \left[ \frac{d}{2} + d_i + d_0 + \frac{1}{8}(b_m + 2b_c) \right]; \quad \lambda_{4,1} = \pi \frac{[(d + 2d_i)^2 - (d + 2z_2)^2]}{4b_m},$$

где  $b_c$  — толщина полюса;  $z_1$  и  $z_2$  — величины зазоров между валом и соответственно 1-м и 2-м полюсами;  $\beta$  — угол заточки полюса;  $t$  — величина площадки полюсного наконечника.

Поток через рабочий зазор можно определить следующим образом:

$$\Phi_z = \frac{\Phi \lambda_A \lambda_{1,3}}{\Lambda \lambda_1}.$$

Тогда для индукции магнитного поля  $B_z$  в зазоре получим выражение

$$B_z = \frac{\Phi_z}{\pi t d} = \frac{\mu_0 H_p b_m \lambda_A \lambda_{1,3}}{\pi t d R \Lambda \lambda_1}.$$

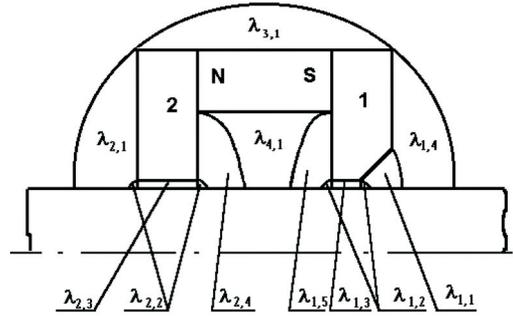


Рис. 2. Схема магнитного потока

водимости ряда стандартных геометрических конфигураций, значение которых можно найти из следующих выражений [2, 3]:

Для расчета были выбраны следующие параметры:

в зависимости от нагрузки и скорости —  $z_1 = 0,4$  мм;  $z_2 = 0,5$  мм;

по конструктивным соображениям —  $d = 30$  мм;  $d_i = 35$  мм;  $d_0 = 46$  мм;  $b_m = 13$  мм;  $t = 0,8$  мм;  $b_c = 3,5$  мм;  $\beta = 45^\circ$ ;

в зависимости от материала магнита [2] —  $\theta_0 = 0,83$ ;  $H_p = 130$  кА/м.

В результате расчета получили  $B_z = 1,423$  Тл, что приемлемо.

Расчет удовлетворяет, если индукция магнитного поля в рабочем зазоре не превышает 2 Тл. Если  $B_z > 2$  Тл, то возрастает

сопротивление магнитопровода в области рабочего зазора, что приводит к росту полей рассеяния, значительно уменьшаются градиенты поля и, как следствие, ухудшаются критические параметры устройства. Это означает, что выбранные величины параметров избыточны, их необходимо откорректировать и в том же порядке просчитать цепь заново.

Точность данного метода лежит в пределах до 10% и зависит от магнитной цепи конструкции. На основе данного мето-

да составлена программа на языке Turbo Pascal.

## ВЫВОДЫ

1. Представленный расчет позволяет выполнить оптимальный выбор конструктивных параметров при проектировании приспособлений для исследования магнитных жидкостей. 2. По результатам расчета была создана конструкция опорно-уплотнительного устройства для исследования МЖ различного состава.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] *Радионов, В. А.* Перспективы применения магнитных жидкостей в судостроении [Текст] / В. А. Радионов, С. Н. Соловьев, В. А. Заварихин // Труды НКИ. — Вып. 159 : Технология судового машиностроения и обработка металлов резанием. — Николаев : НКИ, 1980. — С. 3–8.
- [2] *Берковский, Б. М.* Магнитные жидкости [Текст] / Б. М. Берковский. — М. : Химия, 1989. — 240 с.
- [3] *Постоянные магниты : справочник* [Текст] / [под ред. Ю. М. Пятина]. — М. : Энергия, 1971. — 376 с.