

УСИЛИЕ ТЯЖЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ЛИНЕЙНОГО ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ МЕЖДУ СТАТОРОМ И ВТОРИЧНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ

Мирзин А.М., Коротаев А.Д., Шутемов С.В.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет (ПНИПУ)» (614000, Россия, Пермь, Комсомольский пр-т, 29-а.), e-mail: shutemsv@yandex.ru.

В статье рассмотрена методика расчета усилия тяжения, необходимого для определения трения вторичного элемента об статор. Рабочим усилием цилиндрического линейного вентильного двигателя является осевое усилие, которое создает возвратно-поступательное движение безштангового насоса, находящегося в скважине. Усилие тяжения возникает из-за смещения вторичного элемента цилиндрического линейного вентильного двигателя относительно оси статора. При этом зазор между статором и ротором будет неравномерным. Решена задача по распределению поля по длине неравномерного зазора. В работе дан расчет усилия тяжения в случае, когда вторичный элемент лежит на поверхности статора. В результате расчетов выяснилось, что усилие тяжения значительно и его необходимо учитывать для определения сил трения. На основе данного анализа был сделан вывод о необходимости использования немагнитных центраторов, расположенных определенным образом, для снижения сил трения.

Ключевые слова: цилиндрический линейный вентильный двигатель, постоянные магниты, магнитный зазор, ротор, статор, усилие тяжения, магнитная цепь.

EFFORT TENSION CYLINDRICAL LINEAR GATE PERMANENT MAGNET MOTOR BETWEEN THE STATOR AND THE SECONDARY ELEMENT

Mirzin A.M., Korotaev A.D., Shutemov S.V.

Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Perm National Research Polytechnic University (PNIPU)" (Russia, 614000, Perm, Komsomol prospect, 29-a)

The article describes the method of calculating the pulling force necessary to determine the friction of the secondary element of the stator. Operating force of the cylindrical linear motor valve is an axial force which produces reciprocating motion Boomless pump located downhole. Tension force arises because of the displacement of the secondary element of the cylindrical linear motor valve relative to the axis of the stator. Thus the gap between the stator and the rotor will be uneven. Solve the problem of the field distribution along the length of the uneven gap. The paper presents a tension force in the calculation when the secondary element on the surface of the stator. The calculations revealed that the force of attraction and much needs to be considered to determine the frictional forces. On the basis of this analysis, it was concluded that the need to use non-magnetic centralizers located in a certain way, to reduce the frictional forces.

Keywords: linear cylindrical valve engine, permanent magnets, magnetic gap, rotor, stator, the force of attraction, the magnetic circuit.

ЦЛВД [4] используется для привода безштангового насоса для добычи нефти из скважин. В настоящее время такие двигатели в России не производятся. Сборка и работа цилиндрического линейного вентильного двигателя осложнена усилием тяжения, возникающим из-за смещения вторичного элемента относительно оси статора.

Продольный разрез статора и вторичного элемента показан на рис. 1. На индукторе имеются зубцы и пазы, в которых находятся цилиндрические катушки статора. Полюсное деление $\tau = 30$, а зубцовое деление $t_z = 10$. Катушки соединяются последовательно на

протяжении длины индуктора и образуют трехфазную обмотку, которая питается от преобразователя частоты (ПЧ), находящегося вблизи устья скважины на поверхности. Обмотка цилиндрического индуктора создает бегущее магнитное поле, скорость движения которого и направление изменяются с помощью ПЧ. ЦЛВД получает питание от ПЧ с помощью длинного кабеля, находящегося в скважине, длина которого равна глубине опускания двигателя.

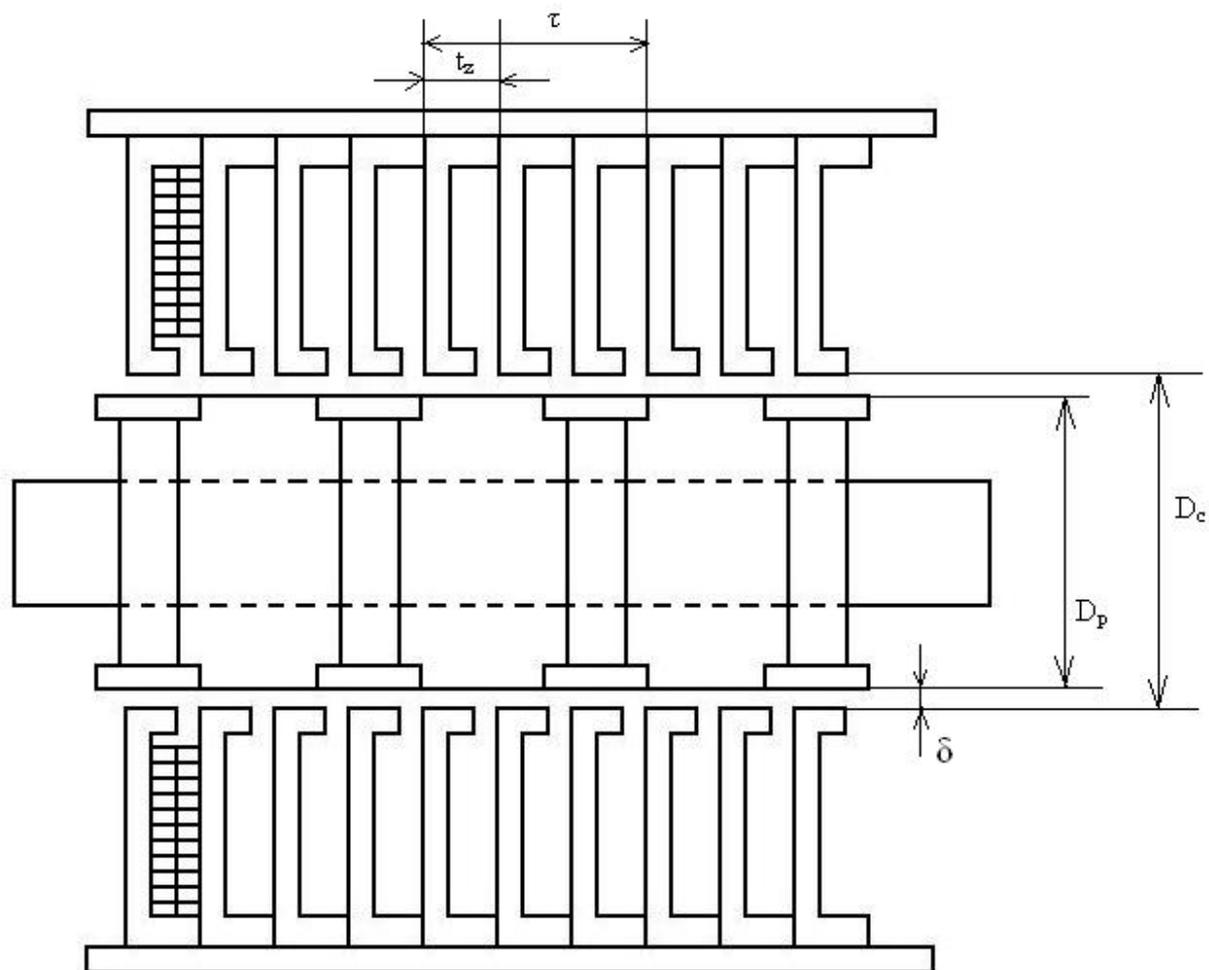


Рис. 1. Продольный разрез статора и ротора

Ротор (вторичный элемент) имеет симметричное положение, т.е. горизонтальная ось проходит по середине штока, а зазор между статором и ротором составляет 1,5 мм по всей длине. В этом случае результирующее усилие тяжения между статором и ротором равно нулю. Концы штока ротора выступают за пределы цилиндрического индуктора с обеих сторон и закрепляются в подшипниках скольжения. В случае износа подшипников зазор между статором и ротором может быть неравномерным, что приводит к появлению усилия тяжения к одной из поверхностей статора. Шток ротора изгибается, и этот факт приводит к

еще большему изменению рабочего зазора. Неравномерность рабочего зазора приводит к появлению радиальных усилий притяжения ротора к индуктору, в результате чего зазор, с одной стороны, будет равен нулю, а с противоположной – будет максимальным (рис. 2).

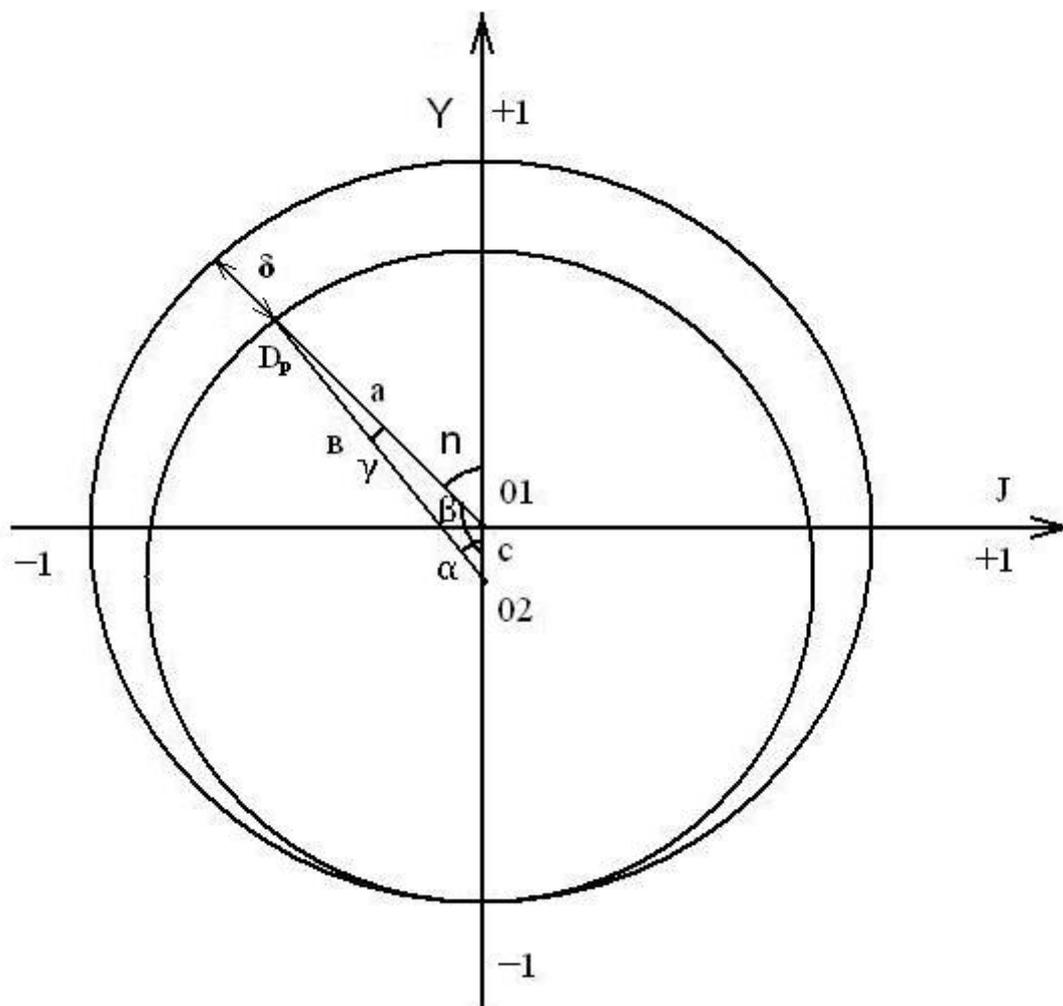


Рис. 2. Определение величины зазора δ в поперечном сечении ЦЛВД

В этом случае силы трения между индуктором и вторичным элементом значительно увеличатся, что приведет к уменьшению силы на выходе штока и возникнет дополнительный износ поверхностей индуктора и вторичного элемента.

Усилие тяжения приводит к значительным трудностям при сборке ЦЛВД [3], когда вторичный элемент вставляется в статор. При одностороннем тяжении вторичный элемент становится на перекосяк и притягивается к индуктору, при этом возникают большие тормозные силы, которые с трудом приходится преодолевать. Значительного ослабления силы трения можно добиться с помощью специальных немагнитных центраторов, которые

устанавливаются на вторичном элементе на определенном расстоянии друг от друга. Диаметр центратора выбирается из условия $D_{ц} < D_c$ и $D_p < D_{ц}$, чтобы при сборке зазор между статором и ротором ограничивался центратором.

На рис. 2 показано сечение ЦЛВД в поперечном направлении, когда ротор полностью притянут к статору и зазор $\delta_{min}=0$, а зазор $\delta_{max}=3$ мм, т.е. ротор лежит на поверхности статора. Радиус статора $R_c=56$, а ротора $R_p=53$, при этом центры радиусов $O1$ и $O2$ будут сдвинуты на $C=1,5$ мм по оси Y . Зазор δ в зависимости от угла π будет определяться из треугольника $O1, O2, D_p$, стороны которых обозначены $R_p=b$, a , c , и углы α, β, γ .

Согласно теоремы синусов имеем

$$\frac{c}{\sin\gamma} = \frac{b}{\sin\beta} = \frac{a}{\sin\alpha} \quad (1)$$

где $\beta = 180^\circ - \pi$

из (1) имеем

$$\sin\gamma = \frac{C * \sin\beta}{b} \quad (2)$$

$$\alpha = 180^\circ - \gamma - \beta \quad (3)$$

$$k = \frac{b}{\sin\beta} \quad (4)$$

$$a = \sin\alpha * k \quad (5)$$

Из геометрии согласно рис. 2 получаем зазор между статором и ротором в зависимости от угла π .

$$\delta = R_c - a \quad (6)$$

На рис. 3 показаны секторы, на которые разбит диаметр статора, всего 12 секторов. Угол π отсчитывается от оси Y и разбивается на 6 значений: $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 150^\circ, 180^\circ$, которые определяют сектора разбивки статора. На протяжении дуги сектора считаем зазор неизменным. Эти зазоры рассчитываются по формулам (1–6), для каждой разбивки и показаны на диаметре статора.

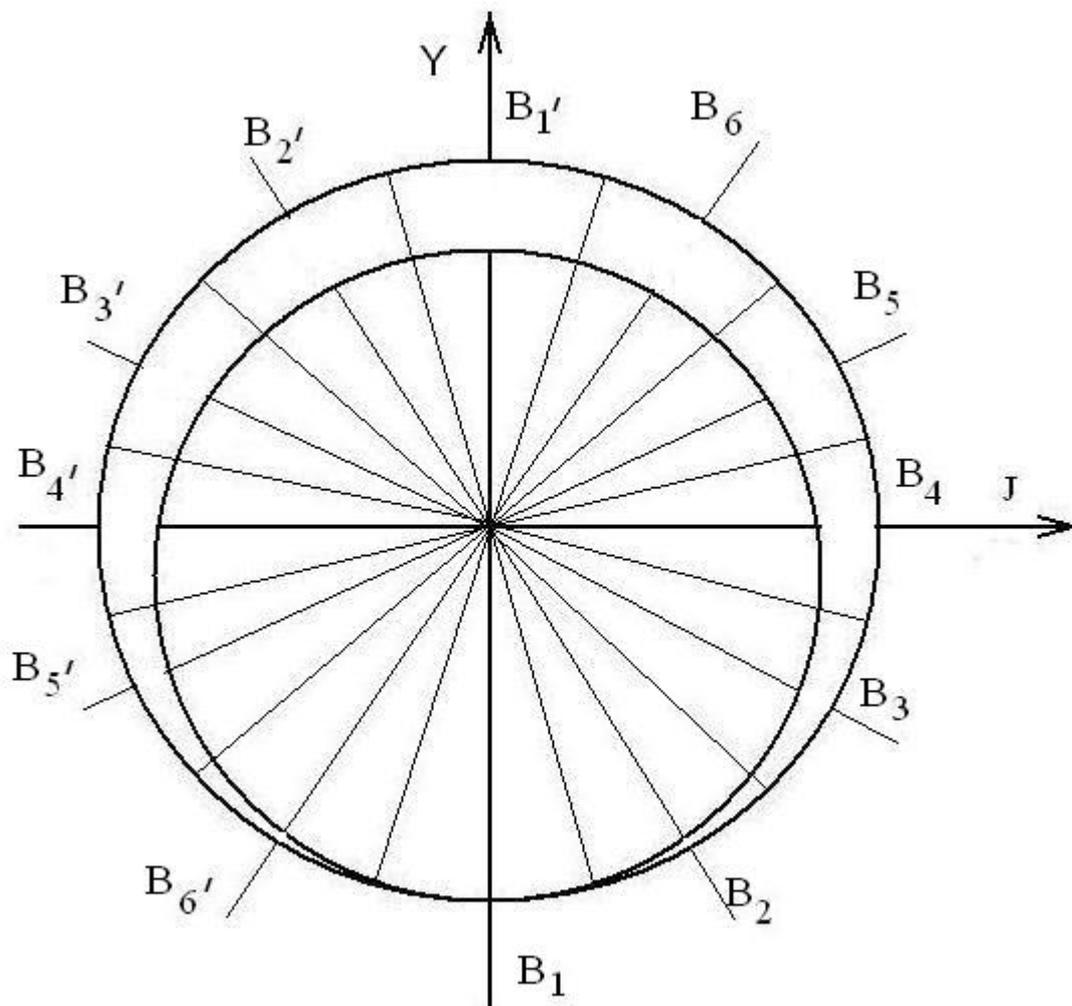


Рис. 3. Разбивка диаметра статора на сектора

Магнитные индукции в зазоре каждого сектора разбивки также считаются неизменными. Относительная магнитная проницаемость статора и ротора принимается равной бесконечности.

Согласно [2,5] кривая размагничивания современных коэрцитивных магнитов с большой зоной линейного участка, расположенной во втором квадранте кривой размагничивания, может быть для практических расчетов заменена прямой вплоть до пересечения с осью Н. Значение H_0 дается в справочнике, и прямая проводится по двум точкам H_0 и B_r .

Упрощения, достаточный для практических рекомендаций расчет можно вести в соответствии с эквивалентной схемой цепи, изображенной на рис. 4, в котором F_M – МДС магнита

$$F_M = H_0 * L_0(7)$$

$$R_M = \frac{H_0 * L_M}{B_r * Q_M} \quad (8)$$

L_M – длина магнита по направлению его намагничивания,

Q_M – поперечное сечение,

B_r – остаточная индукция магнита.

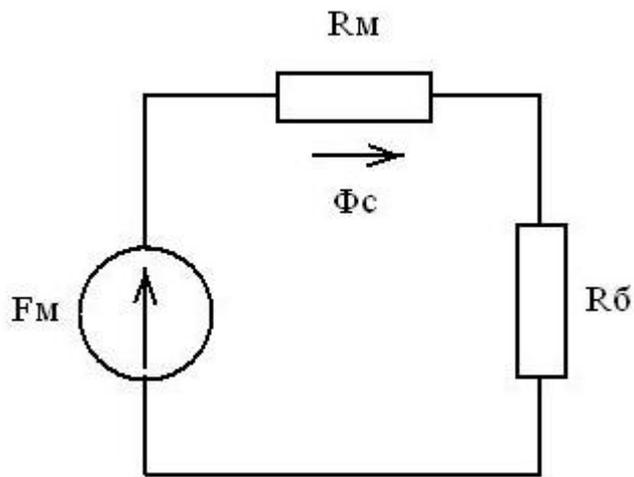


Рис. 4. Эквивалентная схема замещения магнитной цепи

$$R_{\delta c} = \frac{2 * \delta}{\mu * Q_{\delta}} \quad (9),$$

где $R_{\delta c}$ – магнитное сопротивление воздушного зазора на половине полюса

$$Q_{\delta c} = \frac{\pi * D_p * l}{2} \quad (10)$$

Расчет магнитного потока и магнитной индукции в каждой секции определяется на основании схемы замещения, показанной на рис. 4.

$$\Phi = \frac{F_M}{R_M + R_{\delta}} \quad (11)$$

Магнитная индукция в зазоре каждого сектора

$$B_c = \frac{\Phi_0}{Q_{\delta}} \quad (12)$$

Как показывает практика расчета магнитных систем с постоянными магнитами, магнит ведет себя как источник потока, аналогично источнику тока. Это связано с тем, что его внутреннее сопротивление значительно больше всех магнитных сопротивлений магнитной цепи. В этом случае влияние зазора на тяговое усилие не столь значительно по сравнению с другими типами двигателей. В связи с этим принимаем допущение, что расчет магнитной индукции производится при условии равномерного зазора по длине окружности, равной зазору расчетной секции, и ведется по формулам (7-12). В результате расчетов получаем величину силы тяжения, необходимой для расчета трения ротора об статор. Выяснилось, что усилие тяжения значительно и его необходимо учитывать для определения сил трения. На основе данного анализа был сделан вывод о необходимости использования немагнитных центраторов, расположенных определенным образом, для снижения сил трения.

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «ПНИПУ» при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (договор № 02.G25.31.0068 от 23.05.2013 г. в составе мероприятия по реализации постановления Правительства РФ № 218).

Список литературы

1. Бут Д.А. Бесконтактные электрические машины. – М.: Высшая школа, 1990. – 416 с.
2. Зечихин Б.С., Журавлев С.В., Ситин Д.А. Расчетные коэффициенты синхронных машин с редкоземельными магнитами // Электричество. – 2009. – № 3.
3. Киселев В.В., Харлан Г.Д., Чохели М.А., Яковенко В.А. Технология сборки ротора вентильного двигателя с высококоэрцитивными магнитами // Электротехника. – 1990. – № 8.
4. Ключников А.Т., Коротаев А.Д., Шутемов С. В. Моделирование цилиндрического линейного вентильного двигателя // Электротехника. – 2013. – № 11.
5. Овчинников И.Е., Адволоткин Н.П. Закономерности проектирования вентильных двигателей с постоянными магнитами для станков с чпу и других механизмов // Электротехника. – 1988. – № 7.
6. Шимчак И.В. Инновационные конструкции магнитных систем синхронных машин с постоянными магнитами // Электричество. – 2009. – № 9.

Рецензенты:

Шевелев Н.А., д.т.н., профессор, проректор по учебной работе, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (ПНИПУ), г. Пермь.

Щицин Ю.Д., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Сварочное производство и технология конструкционных материалов», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (ПНИПУ), г. Пермь.