

*Н. М. ПИРУМЯН, М. Г. РЕЗИН,  
М. Г. МУРДЖИКЯН, Е. Д. ЯКОВЛЕВ*

## **ВЫБОР ЛИНЕЙНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ПРИВОДА ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА**

Увеличение производительности и длины ленты конвейеров выдвигает ряд новых проблем. Применение резиновой ленты, стоимость которой составляет около 80% общей стоимости конвейера, приводит к увеличению капитальных затрат. Усложняется кинематика конвейера из-за необходимости устанавливать несколько натяжных и приводных станций по длине конвейера. Как показывают исследования, желательно тяговое усилие двигателей распределить более равномерно по всей длине ленты. Без усложнения конструкции конвейера решение этой задачи возможно в случае применения линейного асинхронного двигателя (ЛАД).

На рис. 1 показан возможный вариант расположения ЛАД по длине конвейера. В случае применения линейного двигателя длина конвейера может быть неограниченной, стоимость его сооружения небольшая, а угол подъема конвейера максимально допустимый из условия осыпания транспортируемого материала. Наличие нескольких ЛАД дает возможность уменьшить износ конвейерной ленты на барабанах, так как барабаны перестают быть ведущими. С другой стороны, отсутствие механического сцепления ленты с тяговым приводом исключает потери от силы трения.

Несомненно, стоимость таких электродвигателей может оказаться несколько больше, чем стоимость обычных асинхронных электродвигателей с вращающимся ротором. Однако следует учесть, что стоимость двигателя на современных конвейерах составляет 0,3—1,5% стоимости конвейера. Поэтому удешевление ленты, несомненно, окупит увеличение стоимости электропривода. Поскольку за последние годы идея использования ЛАД в качестве привода конвейеров привлекает большое внимание исследователей [1, 2], представляет интерес рассмотрение некоторых особенностей, связанных с применением этого нового типа двигателя. В качестве примера рассматривается привод конвейера,

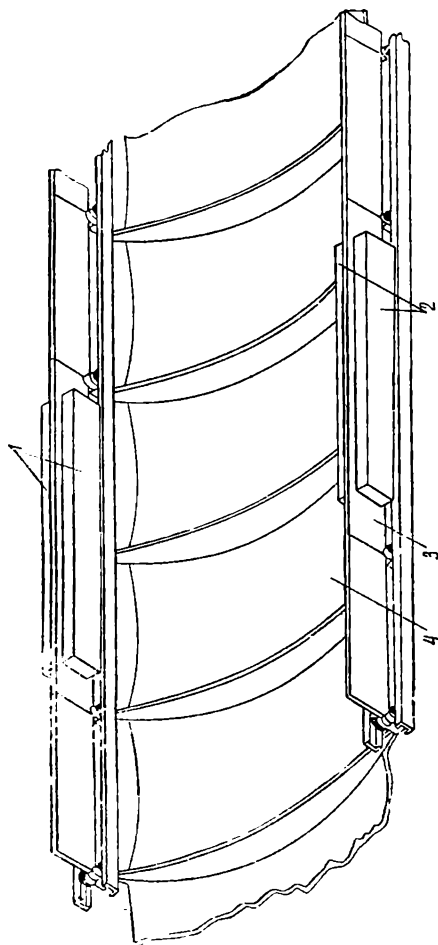


Рис. 1. Расположение ЛАД по длине конвейера:  
1—2 — линейные асинхронные двигатели; 3 — вторичный контур; 4 — к.нвверная лента.

предназначенного для транспортировки мелкой щебенки на расстоянии 2 км.

Привод этого механизма должен обеспечить скорость движения ленты конвейера  $v_n = 10$  м/сек и тяговое усилие  $F_{\text{тяг}} = 210$  кг. Исходя из технологических требований заданными являются толщина  $\Delta$  и ширина  $2c$  реактивной шины, а также величина немагнитного зазора  $\delta$ . Специфические особенности, связанные с разомкнутостью магнитопровода и нарушением непрерывности в картине магнитного поля, практически исключают возможность использования известных результатов решения аналогичных задач для обычных систем с барабанным приводом.

Важным звеном в электромагнитном расчете двигателя конвейера является определение индукции магнитного поля в немагнитном зазоре с учетом продольного и поперечного краевых эффектов. Поскольку готовой методики расчета в известной нам литературе не встречалось, то ниже приводится пример расчета, учитывающий некоторые положения [3, 4]:

1. Число полюсов  $2p = 6$  выбирается из условия уменьшения влияния продольного краевого эффекта.

2. Полюсное деление

$$\tau = \frac{v}{2f(1-s)}. \quad (1)$$

3. Расчетная длина статора

$$l = 2p\tau. \quad (2)$$

4. Тяговое усилие с учетом продольного краевого эффекта

$$F = \frac{F_{\text{тяг}}}{K_{\text{пр}}}, \quad (3)$$

где  $K_{\text{пр}}$  — коэффициент, которым учитывается продольный краевой эффект.

5. Давление на реактивную шину

$$P = \frac{F}{S}, \quad (4)$$

где  $S$  — поперечное сечение шины.

6. Давление на реактивную шину с учетом поперечного краевого эффекта

$$P_0 = \frac{P}{k_{\text{ос}}}, \quad (5)$$

где  $k_{\text{ос}} = f\left(\frac{c}{\tau}, \varepsilon\right)$  — коэффициент ослабления давления;

$\varepsilon$  — магнитное число Рейнольдса.

7. Индукция магнитного поля в немагнитном зазоре

$$B = \sqrt{\frac{P_0 \rho'}{f_1 s l \tau}}, \quad (6)$$

где  $\rho$  — удельное сопротивление реактивной шины.

Магнитная индукция на активной поверхности статора

$$B_0 = k_n B. \quad (7)$$

Здесь  $k_n$  — коэффициент, с помощью которого учитывается степень ослабления поля в центре немагнитного зазора по сравнению с полем на поверхности статора.

Магнитодвижущая сила на полюс

$$F = 0,8 k'_\delta k''_\delta k'''_\delta \delta B, \quad (8)$$

где  $k'_\delta$  — коэффициент Картера (определяется обычным путем);

$k''_\delta$  — коэффициент воздушного зазора, обусловленный дополнительным рассеянием при больших зазорах,

$$k''_\delta = \frac{1}{1 - 0,048 \frac{\delta}{2c}};$$

$k'''_\delta$  — коэффициент, учитывающий ослабление индукции на краях сердечника,

$$k'''_\delta = \frac{\text{sh} \frac{\pi \delta}{2\tau}}{\frac{\pi \delta}{2\tau}}.$$

В таблице показаны основные конструктивные параметры модели статора линейного двигателя.

Расчетные данные ЛАД

Параметры	Величина	Параметры	Величина
Число полюсов . . . . .	$2p=6$	Расчетная длина индуктора, м . . . . .	$l=0,54$
Расчетный немагнитный зазор, мм . . . . .	$\delta=5,86$	Зубцовый шаг, см . . . . .	$t_z=1,5$
Полюсное деление, см . . . . .	$\tau=9$	Высота паза, мм . . . . .	$h_n=33,9$
Число пазов . . . . .	$z=36$	Ширина паза, мм . . . . .	$b_n=8$
Число пазов на полюс и фазу . . . . .	$q=2$	Ширина зубца, мм . . . . .	$b_z=7$

Дальнейшим этапом является выбор типа обмотки ЛАД. Этот вопрос имеет важное значение, ибо распределение индукции

в немагнитном зазоре носит сложный характер. Так, в активной средней зоне выражение для индукции имеет следующий вид:

$$B = B_m \sin(\omega t - \alpha x) - (-1)^p B_{mc} \operatorname{ch} \beta x \sin \omega t - (-1)^p B_{ms} \operatorname{sh} \beta x \cdot \cos \omega t. \quad (9)$$

Выражение для  $B_m$ ,  $B_{mc}$ ,  $B_{ms}$  и для индукций в краевых зонах приводится в [3]. Первый член в этом выражении представляет нормальное бегущее поле, а два последних — неподвижные в пространстве пульсирующие поля. Наличие пульсирующих полей является особенностью данного типа двигателя. Эти последствия значительно ухудшают технико-экономические показатели линейных двигателей. Принимаем для упрощения расчета, что  $\mu_c = \infty$ , т. е.  $\beta = 0$ . Тогда необходимо считать только с пульсирующей составляющей, соответствующей последнему члену выражения (9)

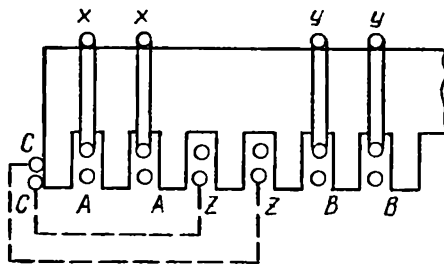


Рис. 2. Расположение корректирующих элементов.

Эта пульсирующая компонента поля обусловлена явлением магнитного шунтирования и зависит от типа обмотки статора и расположения ее концевых катушек, которые играют роль компенсирующих элементов (к. э.). Поэтому от правильного выбора типа обмотки и размещения к. э. существенно зависят показатели ЛАД. Важными являются конструктивные вопросы выполнения к. э., например их крепление. В [3] даются рекомендации по выбору типов обмоток и расположения к. э., отдается предпочтение одному из способов размещения к. э. и указываются его положительные и отрицательные стороны.

Проведенные авторами настоящей работы экспериментальные исследования показали, что возможно иное расположение к. э. (рис. 2), выгодно отличающееся от предложенного в работе [3]. При таком расположении концевых сторон катушек к. э. фазы  $c$  можно располагать непосредственно у торцов сердечника статора ближе к воздушному зазору. В этом случае сопротивление рассеяния к. э. этой фазы наименьшее, а эффект компенсации наибольший. Несимметрия фаз также несколько уменьшается. В случае применения обмотки с укороченным шагом эффект компенсации не ухудшается, так как количество к. э. остается прежним. Такое исполнение к. э. наиболее удобно конструктивно, ибо теперь на торцах необходимо закреплять проводники только одной фазы, а не трех. Достигается также некоторая экономия меди в результате уменьшения длины некоторых катушек фаз.

Значение такого расположения возрастает по мере увеличения мощности. На рис. 3 показаны тяговые характеристики ЛАД с известным расположением к.э. (прямая 1) и с предлагаемым для двигателя ленточного конвейера (прямая 2).

Было проведено экономическое сравнение стоимости ленточного конвейера с линейным двигателем со стоимостью конвейера

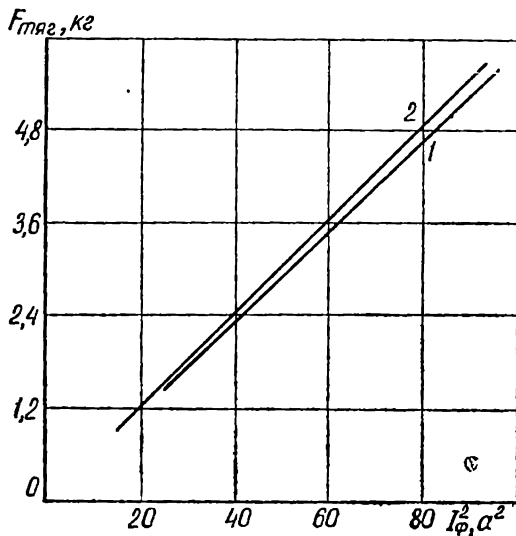


Рис. 3. Тяговые характеристики.

с барабанным приводом на роликоопорах. Годовая экономия по стоимости конвейерной ленты 5804 руб.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. R. Laithwaite, D. Tipping, D. Hesmondhalgh. The application of induction motors to conveyors. Proc. IEE, 1960, 107A, 284.
2. Укр. НИИ Научно-технической информации и технико-экономических исследований. Разработка и внедрение линейных электродвигателей в народном хозяйстве. Киев, «Наукова думка», 1968.
3. А. И. Вольдек. Индукционные магнитогидродинамические машины с жидкометаллическим рабочим телом. М., «Энергия», 1970.
4. Л. А. Верте. Электромагнитный транспорт жидкого металла. М., «Металлургия», 1965.