

2. Емельянов А.А., Богатов Е.А., Клишин А.В., Медведев А.В., Симонович В.Г. Математическая модель линейного асинхронного двигателя на основе магнитных схем замещения // Молодой ученый. – 2010. – №5. – С.14–22.

3. Емельянов А.А., Медведев А.В., Богатов Е.А., Кобзев А.В., Бочкарев Ю.П. Программирование линейного асинхронного двигателя в MATLAB // Молодой ученый. – 2013. – №3. – С. 129-143.

4. Ануфриев И.Е. и др. MATLAB 7 / Ануфриев И.Е., Смирнов А.Б., Смирнова Е.Н.. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 1104 с.

**Емельянов А. А., Медведев А. В., Кобзев А.В.**

*ФГАОУ ВПО «Российский государственный профессионально-педагогический университет», Екатеринбург*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИНЕЙНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ЧИСЛОМ ПАЗОВ НА ПОЛЮС И ФАЗУ РАВНОМ ДВУМ НА ОСНОВЕ МАГНИТНЫХ СХЕМ ЗАМЕЩЕНИЯ**

Математическая модель линейного асинхронного двигателя на основе магнитных схем замещения для исследования электромеханических переходных процессов приведена в статье [1].

Целью данной работы является изложение математической модели линейного асинхронного двигателя на основе электрических и магнитных схем замещения в доступной для понимания студентами форме. Данная работа является продолжением статьи [2], в которой опубликован без сокращения вывод математического аппарата. Для качественного восприятия системы в данной работе повторим основные моменты статьи [2] и покажем процесс перехода от выведенных формул к программированию в MATLAB.

Условное изображение линейного асинхронного двигателя приведено на рисунке 1 а. В активной зоне индуктора (статора) в началах обмоток *A*, *B* и *C* условно примем токи со знаком «+», тогда в соответствующих концах обмоток *x*, *y* и *z* — знак «-». Для учета отрицательных токов необходимо умножить соответствующие элементы матрицы *A* на (-1). В шунтирующих зонах под набегающим и сбегающим краями примем по четыре зубцовых деления. На рисунке 1 б приведена соответствующая магнитная схема замещения линейного асинхронного двигателя.

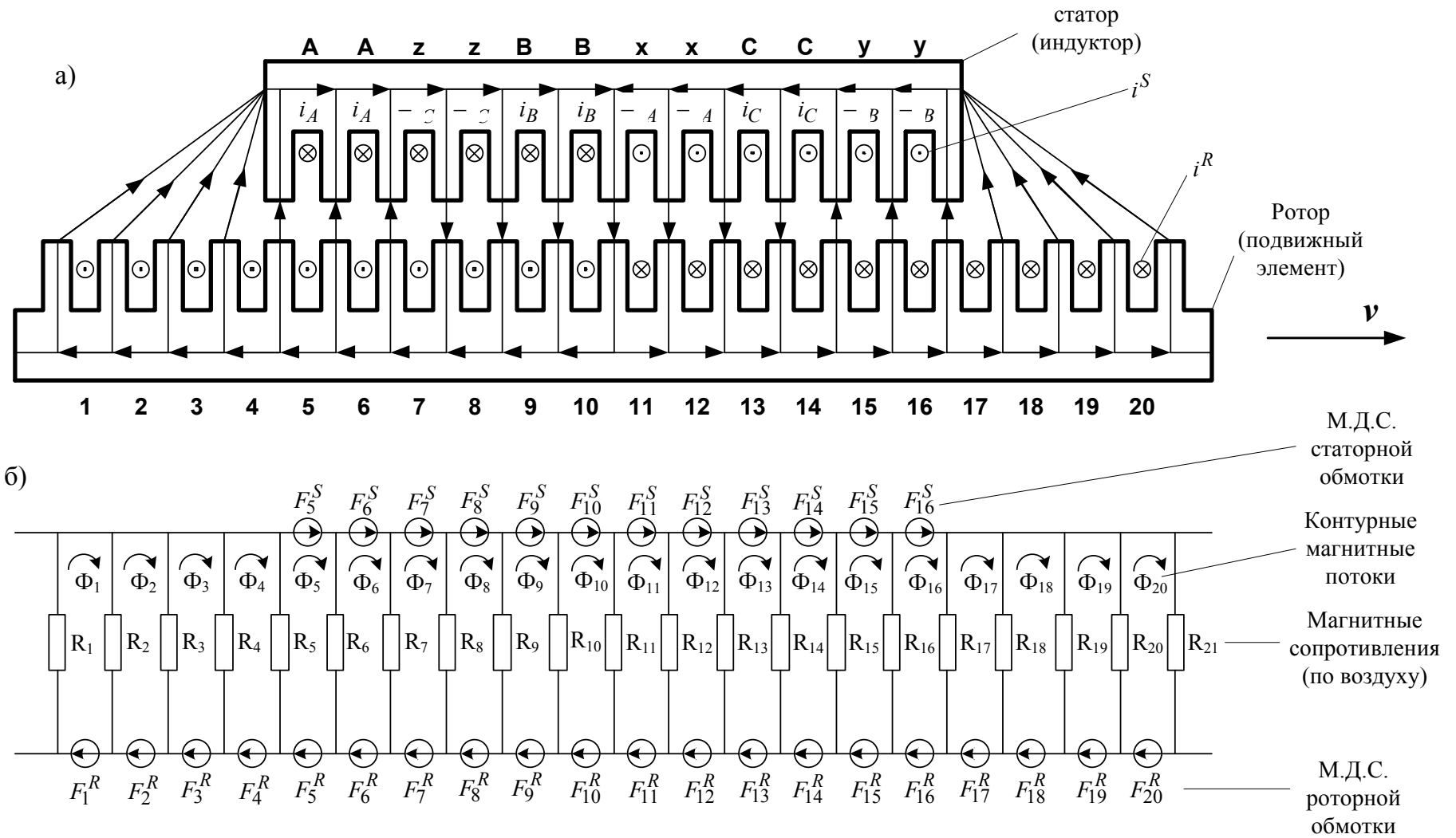


Рис. 1. а) Линейный асинхронный двигатель ( $2p=2, q=2$ ),  
 б) Магнитная схема замещения

Запишем основные уравнения для «n»-ого участка схемы замещения.

*Баланс магнитных напряжений магнитной цепи*

$\Phi_{n-}, \Phi_n, \Phi_{n+}$  – контурные магнитные потоки;

$R_n, R_{n+}$  – магнитные сопротивления воздушных участков;

$F_n^S = \dots$  – магнитодвижущая сила, созданная статорным током  $i_n^S$ , протекающим по всем проводникам паза ( $\omega_n$ );

$F_n^S = \dots$  – в шунтирующих зонах;

$F_n^R = \dots$  – М.Д.С. тока ротора в стержне ( $\omega_n = \dots$ ).

Баланс М.Д.С. для «n»-го участка имеет следующий вид:

$$F_n^S + \dots = \dots + \dots - \dots - \dots$$

Отсюда ток в стержне ротора определится по следующему выражению:

$$i_n^R = - \dots - \dots + \dots + \dots - \dots \quad (1)$$

*Уравнение баланса напряжений электрической цепи ротора*

$$r^r \cdot \dots + \dots \frac{\partial}{\partial t} + \dots \frac{\partial}{\partial t} - \dots \frac{\partial}{\partial t} - \dots \frac{\partial}{\partial t} \quad (2)$$

Выразим производные во времени через конечные разности:

$$\frac{\partial}{\partial t} \approx \frac{\dots - \dots}{\Delta t} \quad \frac{\partial}{\partial t} \approx \dots$$

где  $n$  – номер зубцового деления;

$k$  – номер шага разбиения по времени.

В формуле 2 скорость подвижного элемента принимаем равным  $v = \dots$  и в пределах «k» интервала считается постоянным.

Производные по пространственной координате «x» выразим через центральные конечные разности:

$$\frac{\partial}{\partial x} \approx \frac{\dots - \dots}{\Delta x} \quad \frac{\partial}{\partial x} \approx \dots$$

С учетом вышеприведенных замечаний уравнение (2) примет следующий вид:

$$r^r \cdot \dots + \dots \frac{\partial}{\partial t} + \dots \frac{\partial}{\partial t} - \dots \frac{\partial}{\partial t} - \dots \frac{\partial}{\partial t} \quad (3)$$

Исключим из уравнения (3) токи в роторе. Для этого подставим выражение (1) в уравнение (3) и получим:

$$\begin{aligned}
& \left[ \begin{array}{cccc} \cdot & \cdot & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{cccc} & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \end{array} \right] \\
& + \left[ \begin{array}{cccc} & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{cccc} & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \end{array} \right] \\
& = \left[ \begin{array}{cccc} & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{cccc} & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{cccc} & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{cccc} & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \end{array} \right]
\end{aligned} \tag{4}$$

Это уравнение может быть реализовано при произведении матрицы  $A$  и матрицы-столбца, состоящего из 20 потоков ( $\Phi$ ) и токов в фазах обмотки индуктора. При изменении от  $n = 1$  до  $n = 20$  определяются элементы строк матрицы  $A$  по уравнению (4).

При подстановке в уравнение (4) значения  $n$  от 1 до 4 и от 17 до 20 определяются элементы строк матрицы  $A$ , соответствующие шунтирующим зонам двигателя. Рассмотрим формирование элементов 2-ой строки матрицы  $A$ . Для этого подставим  $n = 2$  в уравнение (4), в результате получим:

$$\begin{aligned}
& \left[ \begin{array}{cccc} \cdot & \cdot & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \end{array} \right] \\
& + \left[ \begin{array}{cccc} & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \end{array} \right] \\
& + \left[ \begin{array}{cccc} & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{cccc} & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \end{array} \right] \\
& = \left[ \begin{array}{cccc} & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{cccc} & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{cccc} & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{cccc} & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \end{array} \right]
\end{aligned}$$

Отсюда  $a_{2,1} = - \dots + \Delta - \dots + \dots + \dots$ . Аналогично, в следующих квадратных скобках будут элементы  $a_{2,2}$ ,  $a_{2,3}$  и  $a_{2,4}$ . В правой части равенства определяется элемент другой матрицы-столбца  $S$ , а именно  $s_2$ .

Если задать  $n$  в уравнении (4) в пределах от 5 до 16, то это позволит определить элементы строк матрицы для активной зоны индуктора (статора). В качестве примера приведем уравнение (4) при  $n = 6$ :

$$\begin{aligned}
 & \left[ \begin{array}{cccc} \dots & \dots & \dots & \dots \end{array} \right] \cdot (-1) \left[ \begin{array}{cccc} \dots & \dots & \dots & \dots \end{array} \right] \\
 & + \left[ \begin{array}{cccc} \dots & \dots & \dots & \dots \end{array} \right] \\
 & + \left[ \begin{array}{cccc} \dots & \dots & \dots & \dots \end{array} \right] \\
 & + \left[ \begin{array}{cccc} \dots & \dots & \dots & \dots \end{array} \right] \\
 & = \left[ \begin{array}{cccc} \dots & \dots & \dots & \dots \end{array} \right]
 \end{aligned}$$

Для элементов матрицы  $\mathbf{A}$ , связанных с токами  $i_A^S$ , выделен 21-й столбец, поэтому:

$$a_{6,21} = \dots - \dots + \Delta \dots$$

Аналогично, для токов  $i_C^S$  – 22-ой столбец:

$$a_{6,22} = - \dots - \dots - \dots$$

Формулы для расчета остальных элементов матрицы  $\mathbf{A}$  для 6-ой строки будут иметь следующий вид:

$$\begin{aligned}
 a_{6,4} &= \dots; \\
 a_{6,5} &= - \dots + \Delta - \dots + \dots + \dots; \\
 a_{6,6} &= \dots + \dots + \Delta + \dots - \dots + \Delta \\
 a_{6,7} &= - \dots + \Delta + \dots + \dots + \dots; \\
 a_{6,8} &= - \dots - \dots
 \end{aligned}$$

### *Баланс напряжения электрической цепи индукторной (статорной) обмотки*

Если питается обмотка индуктора от симметричного напряжения, а схема соединения звезда без нулевого провода, то:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dots \frac{J}{dt} + \dots - \dots - \dots - \dots + \dots + \dots + \dots - \dots + \dots \frac{J:S}{dt} - \dots \frac{J:S}{dt} \\ \dots \frac{J}{dt} + \dots - \dots - \dots - \dots + \dots + \dots + \dots - \dots + \dots \frac{J:S}{dt} - \dots \frac{J:S}{dt} \end{array} \right. \quad (5)$$

где  $U_{AB} = \dots + \dots$   $U_{BC} = \dots$   $U_{AB} + \dots + \dots = \dots$

С учетом шага по времени  $\Delta$  в  $k$ -ый момент времени:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dots \cdot - \cdot \Delta + \\ \dots \cdot - \cdot \Delta \end{array} \right.$$

Уравнения (5) при выражении производных по времени через конечные разности примут следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{\omega}{\Delta} \cdot \dots + \dots - \dots - \dots - \dots + \dots + \dots + \dots \left( \dots \right) - \\ = \dots \hat{\Delta} \cdot \dots + \dots - \dots - \dots - \dots + \dots + \dots + \dots \quad (6) \\ + \left( \dots \right) \dots + \dots \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\omega}{\Delta} \cdot \dots + \dots - \dots - \dots - \dots + \dots + \dots + \dots \left( \dots \right) - \\ = \dots \hat{\Delta} \cdot \dots + \dots - \dots - \dots - \dots + \dots + \dots + \dots \quad (7) \\ + \left( \dots \right) \dots + \dots \end{aligned}$$

Для определения элементов 21-ой строки матрицы  $A$  воспользуемся уравнением (6). Для удобства заменим  $\omega \Delta =$ , тогда:

$$\begin{aligned} U \cdot \dots + \dots \cdot \dots + \dots - \dots \cdot \dots + \dots - \dots \cdot \dots + \dots - \dots \cdot \dots + \dots - \dots \cdot \dots + \\ + \dots \cdot \dots + \dots \cdot \dots + \dots + \Delta \cdot \dots + \dots + \Delta \cdot \dots = \dots + \dots - \\ - \dots - \dots - \dots - \dots + \dots + \dots + \Delta \cdot \dots - \dots + \dots \end{aligned}$$

отсюда:

$$\begin{aligned} a_{21,5} &= \dots = \dots = \dots = \\ a_{21,9} &= \dots = \dots = \dots = - \\ a_{21,21} &= \dots + \Delta \\ a_{21,23} &= - \dots + \Delta \end{aligned}$$

В правой части сформирован элемент  $s_{21}$  матрицы-столбца  $S$ :

$$\begin{aligned} s_{21} = U \Psi (\Phi_{5,k-1} + \Phi_{6,k-1} - \Phi_{9,k-1} - \Phi_{10,k-1} - \Phi_{11,k-1} - \Phi_{12,k-1} + \Phi_{15,k-1} + \Phi_{16,k-1} + \\ + (L^S / Dt) \Psi (i_{A,k-1}^S - i_{B,k-1}^S) + U_{AB,k} \end{aligned}$$

Известно, что в трехфазной обмотке сумма токов в фазах в  $k$ -ый момент времени равна нулю.

$$i_{A,k}^S + \dots + \dots =$$

В матричной форме это уравнение можно получить следующим образом. Так как в матрице-столбце токи  $i_a$ ,  $i_b$  и  $i_c$  занимают положения 21, 22, и 23 соответственно, то в матрице  $A$  в 23-ей строке необходимо приравнять элементы  $a_{23,1}$ ,  $a_{23,2}$ , ...,  $a_{23,20}$  к нулю, а элементы  $a_{23,20}$ ,  $a_{23,21}$ ,  $a_{23,23}$  к единице. То есть  $a_{23,21} = \dots = \dots =$  и  $s_{23} =$ .

Результаты моделирования представлены в таблицах 1, 2 и 3, а также на рисунке 2.

Таблица 1. Значения элементов матрицы  $A$  при  $k = 1$

|             |                  |             |                  |             |                  |             |                  |
|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|
| $a_{1,1}$   | $1,313E+05$      | $a_{1,2}$   | -<br>$6,514E+04$ | $a_{1,3}$   | $-7,370E-04$     | $a_{2,1}$   | -<br>$6,514E+04$ |
| $a_{2,2}$   | $7,265E+04$      | $a_{2,3}$   | -<br>$6,514E+03$ | $a_{2,4}$   | $-7,370E-05$     | $a_{3,1}$   | $7,370E-03$      |
| $a_{3,2}$   | -<br>$6,514E+03$ | $a_{3,3}$   | $8,165E+03$      | $a_{3,4}$   | -<br>$6,514E+02$ | $a_{3,5}$   | $-1,474E-05$     |
| $a_{4,2}$   | $7,370E-04$      | $a_{4,3}$   | -<br>$6,514E+02$ | $a_{4,4}$   | $1,782E+03$      | $a_{4,5}$   | -<br>$1,303E+02$ |
| $a_{4,6}$   | $-1,474E-05$     | $a_{5,3}$   | $7,370E-05$      | $a_{5,4}$   | -<br>$1,303E+02$ | $a_{5,6}$   | $1,261E+03$      |
| $a_{5,7}$   | -<br>$1,303E+02$ | $a_{5,8}$   | $-1,474E-05$     | $a_{16,14}$ | $1,474E-05$      | $a_{16,15}$ | -<br>$1,303E+02$ |
| $a_{16,16}$ | $1,261E+03$      | $a_{16,17}$ | -<br>$1,303E+02$ | $a_{16,18}$ | $-7,370E-05$     | $a_{17,15}$ | $1,474E-05$      |
| $a_{17,16}$ | -<br>$1,303E+02$ | $a_{17,17}$ | $1,782E+03$      | $a_{17,18}$ | -<br>$6,514E+02$ | $a_{17,19}$ | $-7,370E-04$     |
| $a_{18,16}$ | $1,474E-05$      | $a_{18,17}$ | -<br>$6,514E+02$ | $a_{18,18}$ | $8,165E+03$      | $a_{18,19}$ | -<br>$6,514E+03$ |
| $a_{18,20}$ | $-7,370E-03$     | $a_{19,17}$ | $7,370E-05$      | $a_{19,18}$ | -<br>$6,514E+03$ | $a_{19,19}$ | $7,265E+04$      |
| $a_{19,20}$ | -<br>$6,514E+04$ | $a_{20,18}$ | $7,370E-04$      | $a_{20,19}$ | -<br>$6,514E+04$ | $a_{20,20}$ | $1,313E+05$      |

$$a_{21,21} = \dots = a_{22,22} = \dots = a_{23,21} = \dots = \dots =$$

$$a_{4,21} = \dots = \dots = \dots = \dots =$$

$$a_{5,21} = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots =$$

$$a_{11,21} = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots =$$

$$a_{7,21} = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots =$$

$$\begin{aligned}
a_{21,5} &= \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \\
a_{21,9} &= \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \\
a_{6,4} &= \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \\
a_{6,5} &= \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \\
a_{6,6} &= \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \\
a_{6,7} &= \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \\
a_{6,8} &= \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots =
\end{aligned}$$

Таблица 2. Значения элементов матрицы А при k = 2

|             |                  |             |                  |             |                  |             |                  |
|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|
| $a_{1,1}$   | $1,313E+05$      | $a_{1,2}$   | -<br>$6,514E+04$ | $a_{1,3}$   | $4,089E-02$      | $a_{2,1}$   | -<br>$6,514E+04$ |
| $a_{2,2}$   | $7,265E+04$      | $a_{2,3}$   | -<br>$6,514E+03$ | $a_{2,4}$   | $4,089E-03$      | $a_{3,1}$   | $-4,089E-01$     |
| $a_{3,2}$   | -<br>$6,514E+03$ | $a_{3,3}$   | $8,165E+03$      | $a_{3,4}$   | -<br>$6,514E+02$ | $a_{3,5}$   | $8,177E-04$      |
| $a_{4,2}$   | $-4,089E-02$     | $a_{4,3}$   | -<br>$6,513E+02$ | $a_{4,4}$   | $1,782E+03$      | $a_{4,5}$   | -<br>$1,303E+02$ |
| $a_{4,6}$   | $8,177E-04$      | $a_{5,3}$   | $-4,089E-03$     | $a_{5,4}$   | -<br>$1,303E+02$ | $a_{5,6}$   | $1,261E+03$      |
| $a_{5,7}$   | -<br>$1,303E+02$ | $a_{5,8}$   | $8,177E-04$      | $a_{16,14}$ | $-8,177E-04$     | $a_{16,15}$ | -<br>$1,303E+02$ |
| $a_{16,16}$ | $1,261E+03$      | $a_{16,17}$ | -<br>$1,303E+02$ | $a_{16,18}$ | $4,089E-03$      | $a_{17,15}$ | $-8,177E-04$     |
| $a_{17,16}$ | -<br>$1,303E+02$ | $a_{17,17}$ | $1,782E+03$      | $a_{17,18}$ | -<br>$6,515E+02$ | $a_{17,19}$ | $4,089E-02$      |
| $a_{18,16}$ | $-8,177E-04$     | $a_{18,17}$ | -<br>$6,514E+02$ | $a_{18,18}$ | $8,165E+03$      | $a_{18,19}$ | -<br>$6,514E+03$ |
| $a_{18,20}$ | $4,089E-01$      | $a_{19,17}$ | $-4,089E-03$     | $a_{19,18}$ | -<br>$6,514E+03$ | $a_{19,19}$ | $7,265E+04$      |
| $a_{19,20}$ | -<br>$6,514E+04$ | $a_{20,18}$ | $-4,089E-02$     | $a_{20,19}$ | -<br>$6,514E+04$ | $a_{20,20}$ | $1,313E+05$      |

$$\begin{aligned}
a_{21,21} &= \dots = \quad a_{22,22} = \dots = \quad a_{23,21} = \dots = \dots = \\
a_{4,21} &= \dots = \dots = \dots = \dots = \\
a_{5,21} &= \dots = \dots = \dots = \dots = \dots =
\end{aligned}$$



$$a_{11,21} = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots =$$

$$a_{7,21} = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots =$$

$$a_{21,5} = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots =$$

$$a_{21,9} = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots =$$

$$a_{6,4} = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots =$$

$$a_{6,5} = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots =$$

$$a_{6,6} = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots =$$

$$a_{6,7} = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots =$$

$$a_{6,8} = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots = \dots =$$

Таблица 3. Результаты расчетов

| $k = 1$     |           |           |            |           | $k = 2$     |           |           |            |               |
|-------------|-----------|-----------|------------|-----------|-------------|-----------|-----------|------------|---------------|
|             | $X$       | $S$       | $i'_{n,k}$ | $F_{n,k}$ |             | $X$       | $S$       | $i'_{n,k}$ | $F_{n,k}$     |
| $\Phi_1$    | -5,91E-08 | -1,47E-05 | 0,34       | -2,08E-06 | $\Phi_1$    | -1,1E-07  | -4,64E-05 | 0,49       | -<br>5,66E-06 |
| $\Phi_2$    | -1,18E-07 | -2,96E-05 | 0,68       | -2,36E-05 | $\Phi_2$    | -2,22E-07 | -9,33E-05 | 0,99       | -<br>6,38E-05 |
| $\Phi_3$    | -7,30E-07 | -0,0001   | 4,21       | -0,002    | $\Phi_3$    | -1,36E-06 | -0,0005   | 6,06       | -0,004        |
| $\Phi_4$    | -7,68E-06 | -0,002    | 43,74      | -0,19     | $\Phi_4$    | -1,39E-05 | -0,006    | 60,84      | -0,42         |
| $\Phi_5$    | -8,60E-05 | -0,026    | 246,2<br>3 | -1,06     | $\Phi_5$    | -0,0001   | -0,069    | 420,4<br>5 | -2,94         |
| $\Phi_6$    | -9,21E-05 | -0,028    | 283,3<br>5 | 0,33      | $\Phi_6$    | -0,0001   | -0,073    | 486,8<br>4 | 0,43          |
| $\Phi_7$    | -6,30E-05 | -0,015    | 173,8<br>6 | 0,38      | $\Phi_7$    | -0,0001   | -0,049    | 354,8<br>8 | 1,002         |
| $\Phi_8$    | -4,90E-05 | -0,012    | 95,33      | 0,44      | $\Phi_8$    | -9,58E-05 | -0,038    | 251,8<br>9 | 1,87          |
| $\Phi_9$    | 2,79      | 0,012     | -98,77     | -0,46     | $\Phi_9$    | 2,48E-05  | 0,023     | -93,11     | -0,72         |
| $\Phi_{10}$ | 4,37      | 0,015     | -191,7     | -0,61     | $\Phi_{10}$ | 5,63E-05  | 0,035     | -<br>240,2 | -1,48         |

|               |               |               |                |              |               |               |               |                 |              |
|---------------|---------------|---------------|----------------|--------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|--------------|
|               |               |               |                |              |               |               |               | 4               |              |
| $\Phi_1$<br>1 | 9,10          | 0,027         | -273,1         | -0,68        | $\Phi_1$<br>1 | 0,0001        | 0,072         | -<br>448,8<br>7 | -2,2         |
| $\Phi_1$<br>2 | 9,28          | 0,027         | -287,1         | 0,41         | $\Phi_1$<br>2 | 0,0001        | 0,074         | -492,3          | 0,62         |
| $\Phi_1$<br>3 | 6,31          | 0,015         | -174,4         | 0,38         | $\Phi_1$<br>3 | 0,0001        | 0,049         | -356,1          | 1,01         |
| $\Phi_1$<br>4 | 4,92          | 0,012         | -96,51         | 0,44         | $\Phi_1$<br>4 | 9,62E-<br>05  | 0,038         | -<br>254,4<br>1 | 1,85         |
| $\Phi_1$<br>5 | -2,64E-<br>05 | -0,011        | 89,96          | -0,37        | $\Phi_1$<br>5 | -2,16E-<br>05 | -0,022        | 76,95           | -0,51        |
| $\Phi_1$<br>6 | -3,22E-<br>05 | -0,013        | 125,0<br>2     | 0,15         | $\Phi_1$<br>6 | -3,42E-<br>05 | -0,026        | 139,6<br>1      | 0,12         |
| $\Phi_1$<br>7 | -3,02E-<br>06 | -0,001        | 15,63          | 0,025        | $\Phi_1$<br>7 | -4,02E-<br>06 | -0,002        | 12,19           | 0,021        |
| $\Phi_1$<br>8 | -2,89E-<br>07 | -9,08E-<br>05 | 1,53           | 0,0002       | $\Phi_1$<br>8 | -4,02E-<br>07 | -0,0002       | 1,3             | 0,001        |
| $\Phi_1$<br>9 | -4,72E-<br>08 | -1,46E-<br>05 | 0,25           | 3,42E-<br>06 | $\Phi_1$<br>9 | -6,61E-<br>08 | -3,79E-<br>05 | 0,21            | 4,1E-<br>06  |
| $\Phi_2$<br>0 | -2,35E-<br>08 | -7,27E-<br>06 | 0,12           | 3,02E-<br>07 | $\Phi_2$<br>0 | -3,29E-<br>08 | -1,88E-<br>05 | 0,10            | 3,67E-<br>07 |
| $I_a$         | -2,65         | -430,4        | $F_{\Sigma k}$ | 0,014        | $I_a$         | -3,19         | -488,68       | $F_{\Sigma k}$  | -0,82        |
| $I_c$         | 1,74          | -95,943       |                |              | $I_c$         | 2,69          | -262,39       |                 |              |
| $I_b$         | 0,91          | 0             |                |              | $I_b$         | 0,5           | 0             |                 |              |

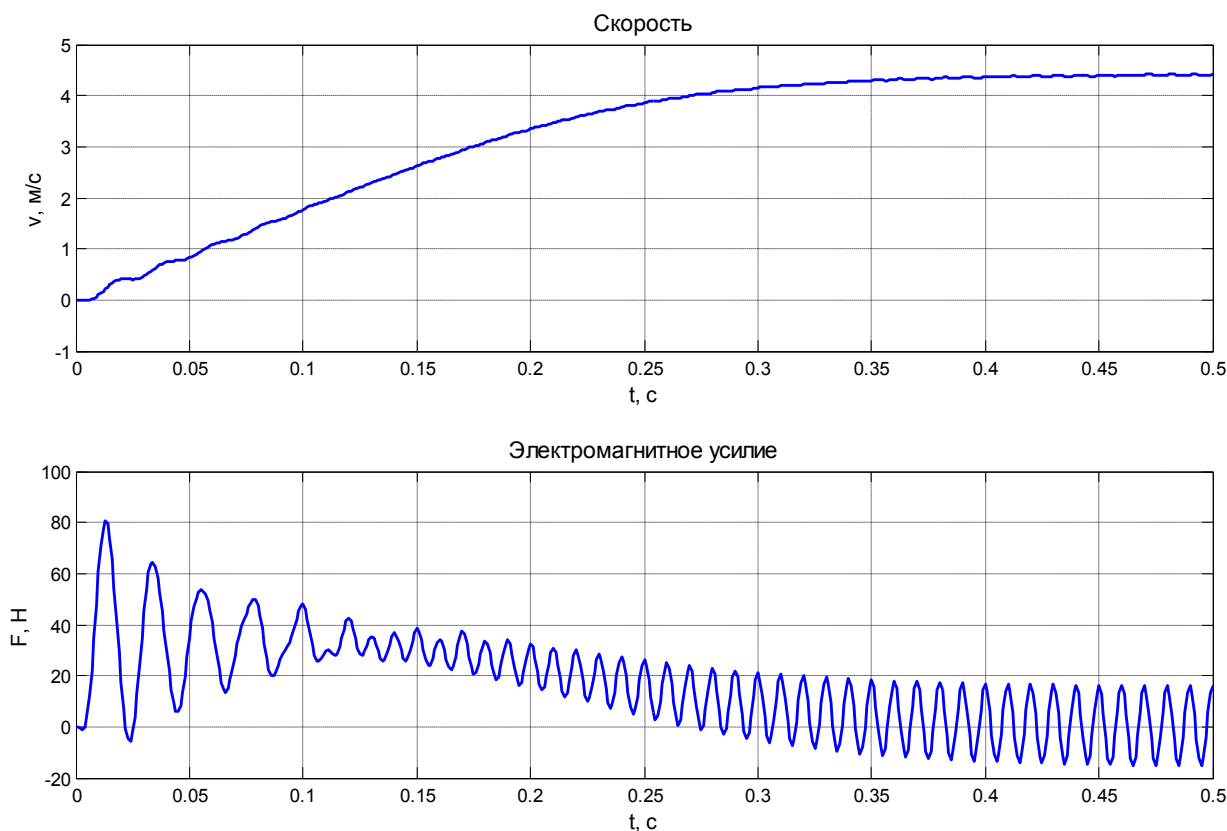


Рис.2. Зависимости электромагнитного усилия и скорости подвижного элемента от времени при пуске

Полученные результаты моделирования пуска линейного асинхронного двигателя совпадают с данными эксперимента приведенных в статье [1, с.56].

### Литература

1. Сарапулов Ф.Н., Емельянов А.А., Иваницкий С.В., Резин М.Г. Исследование электромеханических переходных процессов линейного асинхронного короткозамкнутого двигателя // Электричество. – 1982. – №10. – С. 54–57.
2. Емельянов А.А., Богатов Е.А., Клишин А.В., Медведев А.В., Симонович В.Г. Математическая модель линейного асинхронного двигателя на основе магнитных схем замещения // Молодой ученый. – 2010. – №5. – С.14–22.
3. Ануфриев И.Е. и др. MATLAB 7 / Ануфриев И.Е., Смирнов А.Б., Смирнова Е.Н.. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 1104 с.