

## АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД МЕХАНИЗМА ФОРМИРОВАНИЯ СНОВАЛЬНЫХ ВАЛОВ

В.Ф. ГЛАЗУНОВ, д-р техн. наук, А.Б. ВИНОГРАДОВ, канд. техн. наук, К.С. ШИШКОВ, асп.

**Рассмотрена возможность внедрения системы асинхронного электропривода с векторным преобразователем частоты серии ЭПВ для формирования сновальных валов. Проанализировано влияние датчика линейной скорости снования на систему управления.**

*Ключевые слова:* сновальная машина, асинхронный электропривод, векторное управление, мерильный вал, упругое скольжение.

## ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE OF WARPING SHAFTS FORMATION MECHANISM

V.F. GLAZUNOV, Doctor of Engineering, A.B. VINOGRADOV, Candidate of Engineering, K.S. SHISHKOV, Post Graduate Student

**The authors consider the introduction possibility of the asynchronous electric drive system with the vector frequency converter of EPV series for warping shafts formation. The influence of warping linear speed sensor on control system is analyzed.**

*Keywords:* warping machine, asynchronous electric drive, vector control, measuring roller, elastic sliding.

В обеспечении необходимого качества формирования сновальных паковок значительную роль играет электропривод сновальной машины, совершенствующийся по мере возрастания технологических требований к процессу намотки и развития его элементной базы. Использование электромашинного усилителя [1] в качестве регулируемого источника питания приводного двигателя постоянного тока, магнитного усилителя [2], а в последнее время управляемого тиристорного преобразователя позволило непрерывно совершенствовать электропривод сновальной машины и ее технические характеристики.

К традиционным требованиям, предъявляемым к системе электропривода сновальной машины, следует отнести постоянство линейной скорости наматывания, плавный пуск, позволяющий максимально уменьшить обрывность нитей, необходимый диапазон регулирования, обеспечение заправочной скорости, быстрый останов при обрыве пряжи.

В настоящее время в сновальном оборудовании для механизма формирования сновальных валов находят применение система электропривода постоянного тока УКЭ-Л с нереверсивным тиристорным управляемым выпрямителем, понижающим трансформатором и аналоговым блоком управления. Недостатки указанной системы связаны с низкой надежностью двигателя постоянного тока и необходимостью его частого обслуживания, низкими энергетическими характеристиками, а также несовершенной системой управления параметрами намотки.

Альтернативой существующему тиристорному электроприводу постоянного тока является асинхронный электропривод с частотным управлением, позволяющий заменить дорогой и недостаточно надежный двигатель постоянного тока на дешевый общепромышленный асинхронный двигатель, снизить затраты на эксплуатацию, ремонт или замену двигателя, исключить измеритель частоты вращения вала двигателя, обеспечить простоту настройки микропроцессорной системы управления, а также удобство контроля и диагностики в рабочих и аварийных режимах.

Ниже рассмотрим систему асинхронного электропривода с векторным управлением серии ЭПВ при ориентации переменных по вектору потокосцепления ротора [3], что позволяет обеспечить раздельное регулирование магнитного потока и электромагнитного момента асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Электропривод выполнен на базе трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и преобразова-

теля частоты с неуправляемым выпрямителем и инвертором напряжения. На выходе преобразователя формируется напряжение регулируемой амплитуды и частоты, подаваемое на обмотки статора двигателя. Используя сигналы обратной связи по току и напряжению, система управления вычисляет неизмеряемые переменные, регулирует скорость двигателя в соответствии с получаемым заданием, обеспечивает плавный пуск, реверс и торможение с заданной интенсивностью, стабилизацию технологического параметра, защиту преобразователя и двигателя от аномальных режимов работы. Отсутствие датчика скорости обеспечивает более высокие показатели надежности системы электропривода, а возможность работы в зоне с регулируемым потоком расширяет технологические возможности оборудования.

Структурная схема асинхронного электропривода сновальной машины с векторным преобразователем частоты [3] приведена на рис. 1. Она включает блок системы управления, в которой регуляторы компонент активного и реактивного тока статора, ЭДС, угловой скорости сновального вала и линейной скорости движения нитей синтезированы с использованием принципов подчиненного регулирования, блок электромеханического преобразователя (ЭМП) и технологический блок (ТБ), описывающий процесс партионного снования.

Уравнения электромагнитных процессов асинхронного двигателя сформированы относительно токов статора и потокосцеплений ротора в синхронной ортогональной системе координат  $dq$ , ориентированной по вектору потокосцепления ротора [3]. Преобразователь координат  $ABC \rightarrow dq$  выполняет преобразование фазных токов статора двигателя из естественной трехфазной системы координат в ортогональную, а преобразователь напряжений  $dq \rightarrow \alpha\beta$  ограничивает максимальное значение заданного напряжения, выполняя обратное преобразование координат и компенсируя запаздывание, вносимое системой управления. Блок компенсации обеспечивает компенсацию перекрестных связей в математической модели статорной цепи электродвигателя. Наблюдатель состояния служит для определения мгновенной частоты вращения вектора потокосцепления ротора, вычисления его модуля и углового положения относительно фазы А статора.

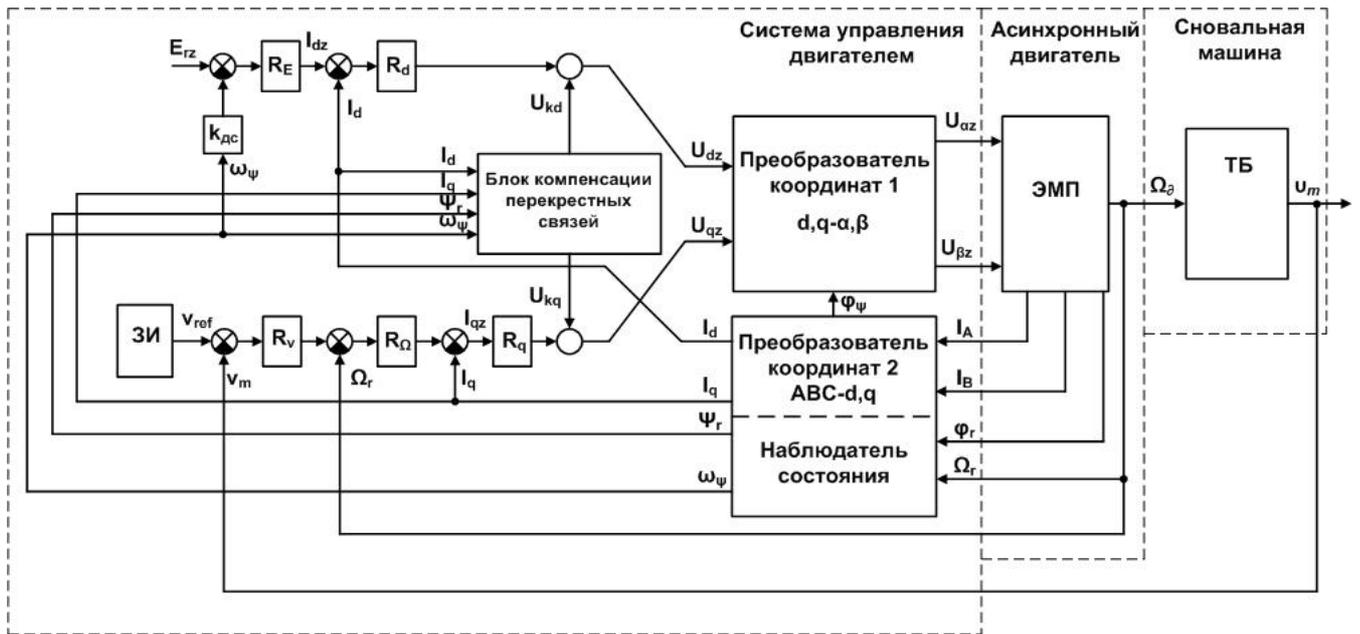


Рис. 1. Структурная схема асинхронного электропривода сновальной машины

Технологический блок (ТБ) сновальной машины [2] включает мерильный вал 1, жестко кинематически связанный с тахогенератором (BR), измеряющим линейную скорость  $v_H$  наматываемой на сновальный вал 3 основы 2 (рис. 2).

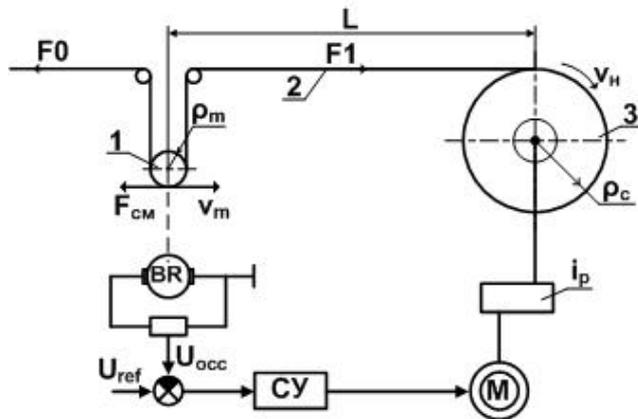


Рис. 2. Функциональная схема зоны между мерильным и сновальными валами

Особенностью системы стабилизации скорости снования при этом является наличие в канале обратной связи упругого звена, представленного участком длиной  $L$  основы 2 между мерильным 1 и сновальным 3 валами и фрикционной связью основы с мерильным валом 1. Наличие этих элементов в цепи обратной связи по скорости приводит к существенной нестабильности как статических, так и динамических характеристик системы управления. Это обусловлено упругим скольжением в зоне контакта основы и мерильного вала и вариацией вязкоупругих параметров пряжи.

Так, в динамических режимах работы машины, особенно при пусках с большим ускорением, возможно скольжение основы относительно поверхности мерильного вала, приводящее к искажению сигнала, поступающего с тахогенератора в систему управления. Наличие динамической ошибки при пуске приводит к рассогласованию линейных скоростей поверхности мерильного вала и реальной скорости движения основы.

Рассмотрим математическую модель процесса деформации основы в зоне мерильного вала при условии отсутствия ее провисания. Для этого запишем дифференциальные уравнения вращательного движения мерильного вала, пренебрегая его упругим скольжением относительно основы, в следующем виде:

$$J_m \frac{d\Omega_m}{dt} = [F_1 - F_0 - F_{см}] \rho_m; \quad (1)$$

$$L \frac{dF_1}{dt} = E(v_H - v_m) - v_m(F_1 - F_0), \quad (2)$$

где  $J_m$ ,  $\rho_m$ ,  $\Omega_m$  – момент инерции, кг·м<sup>2</sup>, радиус, м, частота вращения, рад/с, мерильного вала соответственно;  $F_0$ ,  $F_1$ ,  $F_{см}$  – натяжения основы на входе в зону деформации, при сходе с мерильного вала и статическое окружное усилие на его валу, обусловленное моментом сопротивления вращению, Н;  $v_H$ ,  $v_m$  – линейные скорости поверхностей мерильного и сновального валов, м/с;  $L$ ,  $E$  – длина участка между валами, м и модуль упругости основы, Н соответственно.

Применяя к уравнениям (1) и (2) преобразование Лапласа и преобразуя их, получим передаточные функции в следующем виде:

$$H_1(s) = \frac{\Omega_m(s)}{F_1(s) - F_0(s) - F_{см}(s)} = \frac{\rho_m}{J_m s}; \quad (3)$$

$$H_2(s) = \frac{F_1(s)}{v_H(s) - v_m(s)} = \frac{E k_v}{T_n s + 1}; \quad (4)$$

$$H_3(s) = \frac{v_m(s)}{\Omega_m(s)} = \rho_m; \quad (5)$$

$$H_4(s) = \frac{v_H(s)}{\Omega_c(s)} = \rho_c, \quad (6)$$

где  $\rho_c$  – текущий радиус намотки, м;  $\Omega_c$  – частота вращения сновального вала, рад/с;  $T_n = \frac{L}{v_{cp}}$  – постоянная времени наматываемой

основы, с;  $v_{cp} = \frac{v_m + v_H}{2}$  – средняя величина линейной скорости снования, м/с;  $k_v = v_{cp}^{-1}$ .

Условие упругого скольжения основы на поверхности мерильного вала представим в виде

$$[F_1 + F_0] \cdot f_n \geq F_1 - F_0 - F_{cm}, \quad (7)$$

$$F_0(f_n + 1) + F_1(f_n - 1) + F_{cm} \geq 0, \quad (8)$$

где  $f_n$  – коэффициент трения покоя.

Нарушение условия (7) приводит к проскальзыванию основы относительно мерильного вала, при этом

$$[F_1 + F_0] \cdot f_{ck} < F_1 - F_0 - F_{cm}, \quad (9)$$

$$F_0(f_{ck} + 1) + F_1(f_{ck} - 1) + F_{cm} < 0, \quad (10)$$

где  $f_{ck}$  – коэффициент трения скольжения.

Коэффициенты трения  $f_n$  и  $f_{ck}$ , в общем случае, зависят от радиуса мерильного вала, действующих натяжений и угла охвата ролика основой.

Таким образом, зона деформации основы в области мерильного вала представлена системой с переменной структурой (рис. 3). Блок переключения (БП) выполняет функцию управления каналом, по которому передается сигнал, в соответствии с условиями (8) и (10).

Анализ динамических характеристик асинхронного электропривода проводили применительно к сновальной машине СП-140, имеющей следующие параметры [4, 5, 6]:

$$J_m = 0,02 \text{ кгм}^2; \rho_m = 0,053 \text{ м}; E = 485 \text{ Н}; F_0 = 80 \text{ Н}; \\ L = 0,56 \text{ м}; v_H = 10 \text{ м/с}; i_p = 1,2; f_n = 0,2; f_{ck} = 0,05.$$

Параметры асинхронного электродвигателя механизма сновального вала типа 4А132S4У3 следующие [3]:

$$P_H = 7,5 \text{ кВт}; U_H = 220 \text{ В}; I_H = 15,1 \text{ А}; M_H = 49 \text{ Нм}; \\ \Omega_H = 153 \text{ с}^{-1}; J = 0,028 \text{ кгм}^2; 2p = 4; R_s = 0,68 \text{ Ом};$$

$$R_r = 0,455 \text{ Ом}; L_s = 0,143 \text{ Гн}; L_r = 0,145 \text{ Гн}; \\ L_m = 0,139 \text{ Гн}.$$

Передаточные функции регуляторов тока, частоты вращения и ЭДС рассчитаны по методике [3]. Параметры регуляторов представлены в таблице.

Анализ переходных процессов линейных скоростей мерильного вала и наматываемой основы, выполненный с учетом упругого скольжения между ними, показал, что более интенсивный пуск (рис. 4,а), в отличие от менее интенсивного (рис. 5,а), ухудшает динамику электропривода и приводит к появлению перерегулирования (2,2 %), недопускаемого технологией партионного снования.

Статическая ошибка по скорости обусловлена действием статических моментов нагрузки мерильного, сновального валов и иных механизмов машины. Величина статической ошибки составляет 3,9 %.

Увеличение ускорения при пуске машины приводит к росту динамической составляющей натяжения  $F_1$  основы в зоне мерильного вала. Так, максимальная величина пика этого натяжения превысила натяжение на шпулярнике, равное  $F_0 = 80 \text{ Н}$ , более чем в 4 раза (рис. 4,б), а увеличение времени разгона машины привело к его заметному уменьшению (рис. 5,б). В режиме торможения машины наблюдается недопустимое ослабление натяжения основы между мерильным и сновальным валами (рис. 4,б; 5,б), а затем его увеличение до уровня на шпулярнике, что негативно влияет на качество основы и сопровождается повышенной ее обрывностью.

Электроприводы серии ЭПВ, разработанные НТЦ «Вектор» ИГЭУ, были внедрены на четырех сновальных машинах (три СП-180 и одна СП-120) в ООО «Комтекстиль» (г. Иваново) и работают на этом объекте с 2007 г.

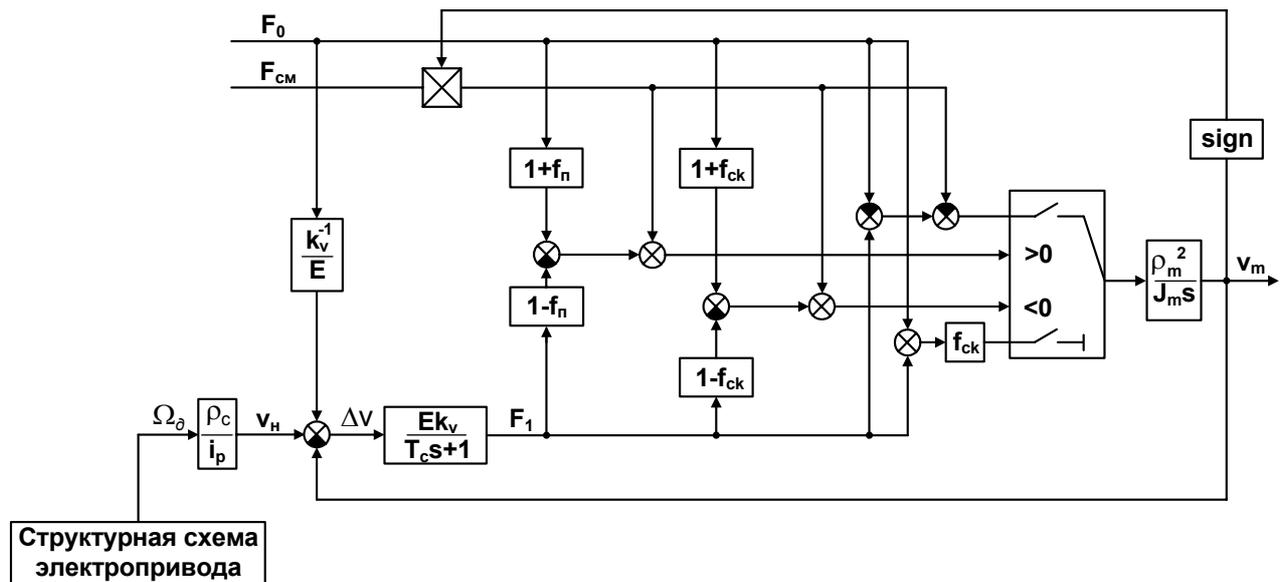


Рис. 3. Структурная схема зоны деформации основы

№	Регуляторы	Передаточная функция	Параметры регулятора
1	Регуляторы активной и реактивной составляющих тока статора (настройка на фильтр Баттерворта 2-го порядка)	$H_{pm}(s) = k_p + \frac{1}{T_i s}$	$k_p = 4,88$ ; $T_i = 0,003$ с
2	Регулятор частоты вращения двигателя (настройка на симметричный оптимум)	$H_{pc}(s) = k_{\omega p} + \frac{1}{T_{\omega i} s}$	$k_{\omega p} = 44,3$ ; $T_{\omega i} = 0,00018$ с
3	Регулятор ЭДС (настройка на модульный оптимум)	$H_{pe}(s) = k_{ep} + \frac{1}{T_{ei} s}$	$k_{ep} = 7,33$ ; $T_{ei} = 0,044$ с

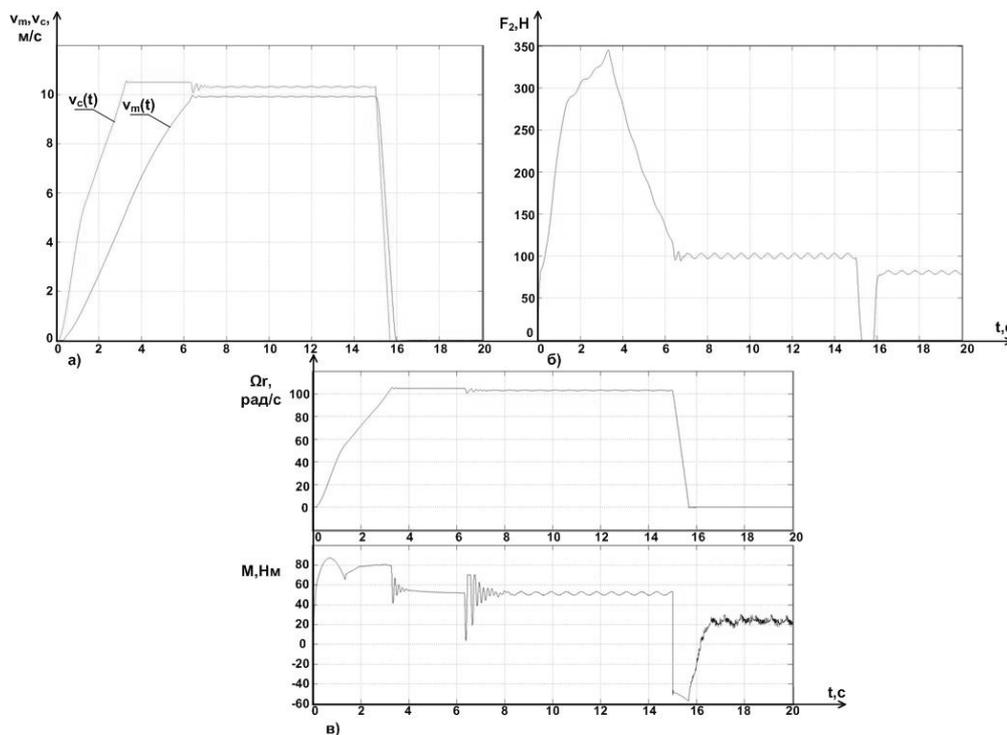


Рис. 4. Переходные процессы в системе асинхронного электропривода сновального вала при разгоне  $t_1 = 5$  с и торможении: а – линейные скорости наматываемой основы и мерильного вала; б – натяжение основы в зоне между мерильным и сновальным валами; в – частота вращения и электромагнитный момент асинхронного двигателя сновального вала

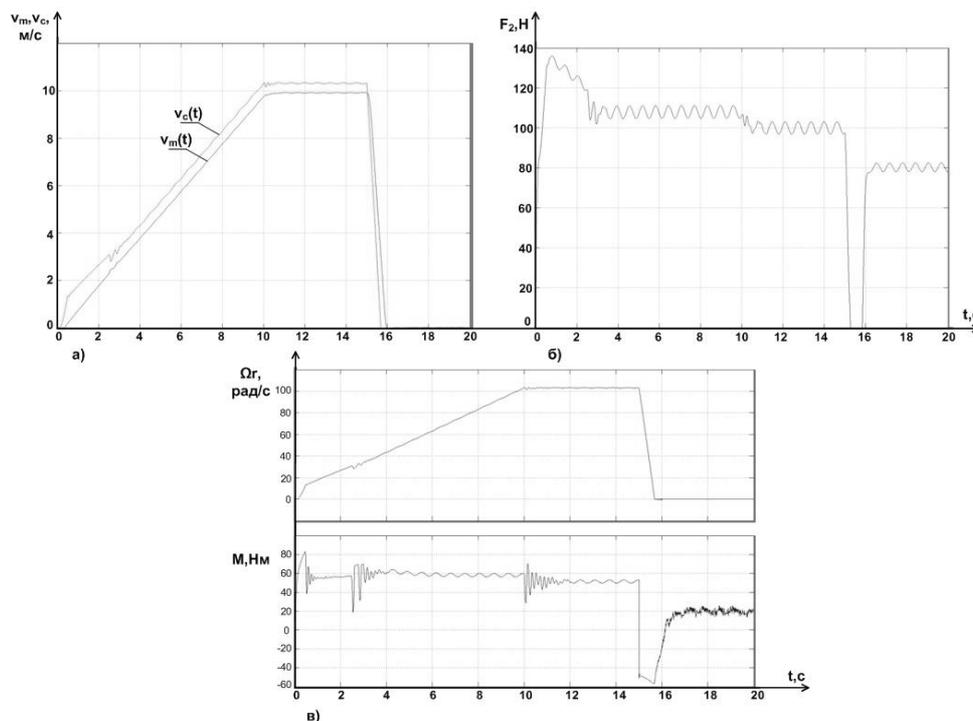


Рис. 5. Переходные процессы в системе асинхронного электропривода сновального вала при разгоне  $t_2 = 10$  с и торможении: а – линейные скорости наматываемой основы и мерильного вала; б – натяжение основы в зоне между мерильным и сновальным валами; в – частота вращения и электромагнитный момент асинхронного двигателя сновального вала

## Заключение

Применение асинхронного электропривода ЭПВ с векторной системой управления для механизма формирования сновальных валов позволяет улучшить статические и динамические характеристики сновальной машины, расширить технологические возможности оборудования и повысить показатели его надежности.

Установлено, что наличие упругого скольжения основы относительно поверхности мерильного вала вносит динамическую и статическую ошибки в канал обратной связи по линейной скорости системы управления электроприводом. Величина ошибки зависит от ускорения при пусках и торможениях машины, параметров мерильного вала, фрикционных свойств поверхностей трения и упругих свойств основы.

Глазунов Виктор Федорович,  
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
доктор технических наук, профессор,  
телефон (4932) 38-50-46,  
e-mail: glazunov@drive.ispu.ru

Виноградов Анатолий Брониславович,  
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
кандидат технических наук, доцент НТЦ «Вектор»  
телефон (4932) 26-97-08.

Шишков Кирилл Сергеевич,  
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
аспирант,  
телефон 8-910-992-17-43

## Список литературы

1. Мильман Я.В., Петров И.А. Автоматика электропривода текстильных машин. – М.: ГнтиМинлегрпром, 1956.
2. Маховер В.Л., Белкин Н.К. Математическое описание процесса наматывания нитей на партионных сновальных машинных СП-140 (180) // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1987. – № 2. – С. 48–52.
3. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2008.
4. Кулида Н.А. Теоретические основы повышения эффективности партионного снования. – Иваново: ИГТА, 2003.
5. Врублевский В.А. Исследование и нормализация скорости движения нитей в процессе снования: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Иваново, ИвТИ им. М.В. Фрунзе, 1981. – С. 16.
6. Крагельский И.В., Виноградова И.Э. Коэффициенты трения: справочное пособие / Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы. – М., 1962.