

Параметрическая оптимизация автоматизированного электропривода конвейера роботизированного комплекса "ТРИПОД"

¹*ТОХМЕТОВА Куралай Муратбековна, докторант, преподаватель, kuralay_tokhmetova@mail.ru,

¹ФЕШИН Борис Николаевич, д.т.н., профессор, bfeshin@mail.ru,

²БОБРЯКОВ Александр Владимирович, д.т.н., доцент, зав. кафедрой, BobriakovAV@mpei.ru,

¹Карагандинский технический университет, Казахстан, 100027, Караганда, пр. Н. Назарбаева, 56,

²Национальный исследовательский университет «МЭИ» («Московский энергетический институт»), Россия, 111250, Москва, ул. Красноказарменная, 14,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Объектом исследования является ленточный конвейер роботизированного комплекса (РК) ТРИПОД. РК представляет собой сложный технологический процесс, входящий в гибкое автоматизированное производство, в котором задействованы взаимосвязанные рабочие операции роботы-триподы и конвейеры. Отображаются исследования стенда одиночного конвейера с асинхронным приводным двигателем. Предложена математическая модель асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором при векторном управлении и её программный аналог в среде Matlab-Simulink. Представлены результаты анализа и параметрического синтеза системы векторного управления асинхронным двигателем конвейера в РК. Приведены временные зависимости момента, частоты вращения вала двигателя и тока на выходе модели системы автоматического регулирования асинхронного электропривода конвейера при векторном управлении средствами преобразователя частоты. Получены и анализируются показатели качества управления переходными процессами по току, потокосцеплению и частоте вращения вала двигателя.

Ключевые слова: роботизированный комплекс, конвейер, асинхронный двигатель, энергосбережение, векторное управление, преобразователь частоты, структурная схема, математическая модель, регулирование, ПИ-регулятор, П-регулятор, анализ.

Введение

В [1, 2] рассматриваются задачи управления комплексом гибкого автоматизированного производства (ГАП) с роботизированными технологическими линиями по критерию электропотребления в динамических режимах работы электроприводов роботов-триподов и конвейерных установок.

Там же показаны зависимости электропотребления от квадратов отклонений (от заданных и эталонных значений) временных координат электроприводов за время переходных процессов. Решение задачи минимизации электропотребления электроприводов, приводящих в действие роботы и конвейерные установки, осложнено наличием запаздываний, нелинейностей, вариацией параметров элементов рабочих механизмов (РМ), стохастическими возмущениями.

На рисунке 1 изображена функционально-технологическая схема роботизированного комплекса (РК) ТРИПОД.

Потенциал энергосбережения лежит в обла-

сти параметрической оптимизации систем автоматического регулирования (САР) электроприводов РК ТРИПОД по прямым и интегральным критериям при перемещении исполнительных органов РК [1].

В настоящей работе объектом исследования является конвейерная установка РК ТРИПОД, состоящая из трех конвейеров. Здесь кроме традиционной системы логического управления процессом запуска и остановки конвейерной установки необходимо создать взаимосвязанную систему управления с РК ТРИПОД, технологическими устройствами подачи обрабатываемых изделий на входе и выходе конвейерной установки. Практический интерес представляет задача минимизации энергетических затрат в переходных процессах асинхронного электропривода основного конвейера (ОК).

Результаты исследования

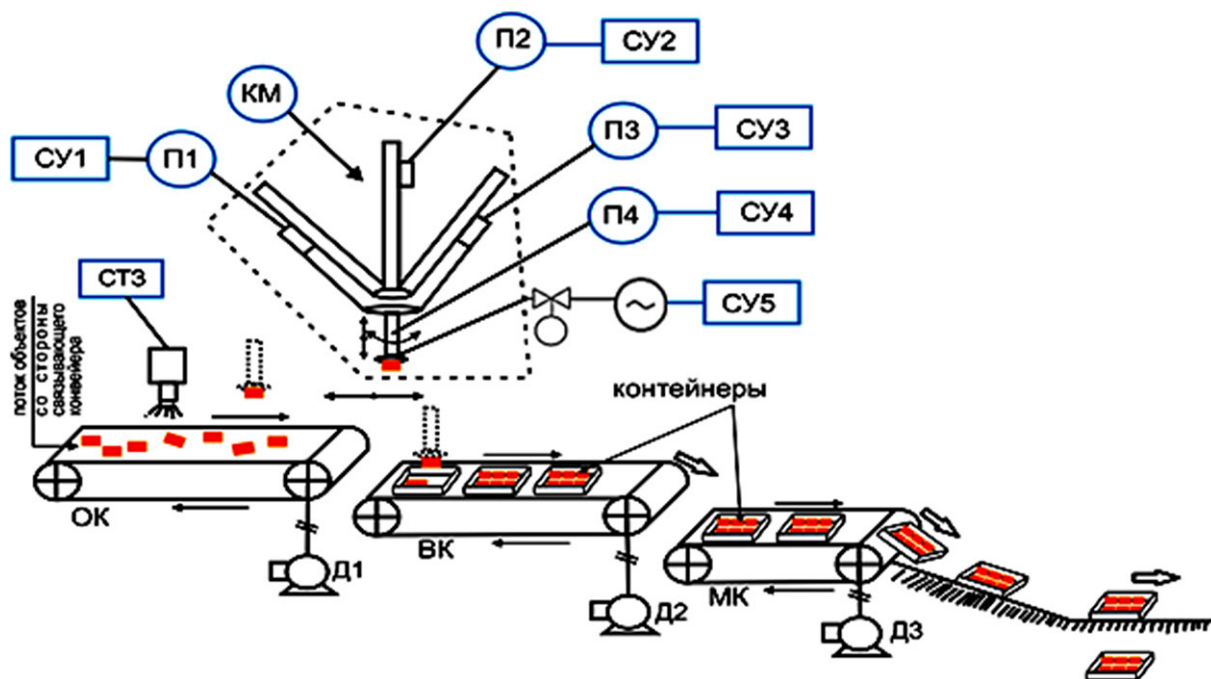
I. Исследование статических и динамических режимов стенда «Конвейерная установка»

Ленточные конвейеры в составе РК ТРИПОД транспортируют полуфабрикаты (ПФ) непрерывным потоком без остановок. В последующем ПФ размещаются манипулятором РК в контейнеры.

Для исследования электропривода ОК РК ТРИПОД выбран стенд «Конвейерная установка Schneider Electric» (рисунок 2). Технические па-

раметры (ширина ленты, длина конвейера, мощность электродвигателя, масса и т.д.) конвейерной установки Schneider Electric и конвейера РК ТРИПОД идентичны.

Стенд установлен в «Авторизованном центре обучения Schneider Electric» кафедры автоматизации производственных процессов Карагандинско-



КМ – кинематический механизм (робот-трипод); СУ1, ... СУ4 – локальные системы управления; СУ5 – вакуумный захват (пневматическая система); СУ6 – система управления основным конвейером; П1, ... П4 – исполнительные приводы; ОК – основной конвейер; ВК – вспомогательный конвейер; МК – малый конвейер; Д1, ... Д3 – двигатели конвейеров; СТЗ – система технического зрения

Рисунок 1 – Функционально-технологическая схема РК ТРИПОД



Рисунок 2 – Учебный стенд «Конвейерная установка Schneider Electric»

го технического университета [3]. Стенд включает: одиночный ленточный конвейер, электропривод ведущего барабана конвейера, редуктор, асинхронный двигатель (АД, тип – 4АА56В4У3), с короткозамкнутым ротором, контакторную систему управления.

Технические данные АД 4АА56В4У3 представлены в таблице 1.

Для расчета электромеханических и механических характеристик АД используют, как правило, схемы замещения. Т-образная схема замещения изображена на рисунке 3. Для инженерных расчетов АД и исследования переходных процессов построена математическая модель. В таблице 2 приводятся рассчитанные параметры схемы замещения.

По расчетным значениям построены механическая и электромеханическая характеристики двигателя, изображенные на рисунке 4.

При исследовании динамических режимов АД используется математическая модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат α, β по рекомендациям [4].

При использовании неподвижной системы координат ($\omega_k=0$), система уравнений имеет вид [5]:

$$\begin{aligned} u_{s\alpha} &= r(1 + T'_s s)i_{s\alpha} - \frac{k_R}{T_R}\psi_{R\alpha} - k_R p\omega_m \psi_{R\beta}, \\ u_{s\beta} &= r(1 + T'_s s)i_{s\beta} - \frac{k_R}{T_R}\psi_{R\beta} - k_R p\omega_m \psi_{R\alpha}, \\ 0 &= -k_R R_R i_{s\alpha} + \frac{1}{T_R}(1 + T_R s)\psi_{R\alpha} + p\omega_m \psi_{R\beta}, \\ 0 &= -k_R R_R i_{s\beta} + \frac{1}{T_R}(1 + T_R s)\psi_{R\beta} - p\omega_m \psi_{R\alpha}, \\ M &= \frac{3}{2}pk_R(\psi_{R\alpha} i_{s\beta} - \psi_{R\beta} i_{s\alpha}), \\ Js\omega_m &= M - M_n. \end{aligned} \quad (1)$$

Таблица 1 – Технические данные АД 4АА56В4У3

Параметр	$P_{ном}$, кВт	n , об/мин	η , %	$\cos(\varphi)$	$I_{1н}$, А	$M_{пуск}/M_{ном}$	$M_{мин}/M_{ном}$	$M_{макс}/M_{ном}$	$J_{дв}$, кг·м ²
Значение	0,18	1360	64	0,64	0,67	2,1	1,5	2,2	0,00079

Таблица 2 – Расчетные параметры АД 4АА56В4У3 и схемы замещения

№	Параметры, единица измерения	Значение
1	Синхронная частота вращения двигателя ω_0 , рад/с	157
2	Номинальная частота вращения двигателя $\omega_{ном}$, рад/с	143
3	Номинальный момент $M_{ном}$, Н·м	1,24
4	Номинальный ток $I_{ном}$, А	0,66
5	Максимальный потребляемый ток при пуске $I_{1макс}$, А	3,95
6	Активное сопротивление обмотки ротора R_1 , Ом	59,2
7	Активное сопротивление обмотки ротора R'_2 , Ом	52,629
8	Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора $X_{1\sigma}$, Ом	29,604
9	Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния $L_{1\sigma}$, Гн	0,0942
10	Приведенное к обмотке статора индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора $X'_{2\sigma}$, Ом	55,919
11	Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния $L'_{2\sigma}$, Гн	0,178
12	Индуктивное сопротивление короткого замыкания при номинальном режиме $X_{кз}$, Ом	85,523
13	Индуктивное сопротивление контура намагничивания X_{μ} , Ом	427,616
14	Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком, L_{Σ} , Гн	1,361
15	Эквивалентная индуктивность обмотки статора L_1 , Гн	1,455
16	Эквивалентная индуктивность обмотки ротора L_2 , Гн	1,539
17	Коэффициент рассеяния σ	0,172
18	Эквивалентное сопротивление R_{Σ} , Ом	59,982
19	Электромагнитные постоянные времени:	
	T_3 , с	0,00418
	T_2 , с	0,0292

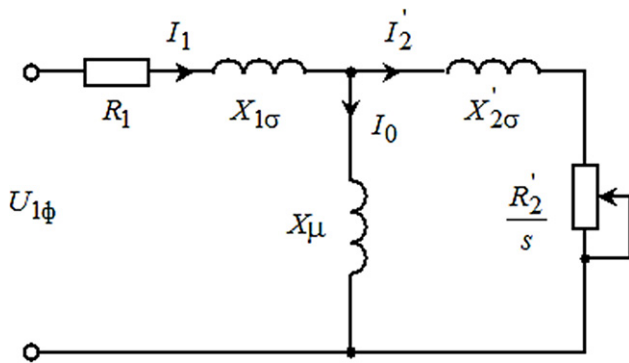


Рисунок 3 – Т-образная схема замещения асинхронного двигателя

Был выбран программный аналог модели АД в среде Matlab-Simulink (рисунок 5) и проведены имитационные эксперименты при пуске двигателя в режиме холостого хода $M_c=0, J=J_{\text{дв}}$. Результаты представлены на рисунке 6.

По графикам видно, что переходный процесс по моменту $M(t)$ носит колебательный характер. Значение первого ударного момента составляет $5,6M_{\text{ном}}$ при токе статора $4,2I_{\text{ном}}$.

На временных характеристиках видно, что прямой пуск АД сопровождается ударными моментами и токами в обмотках статора и ротора, значительно превышающими номинальные значения. По мере разгона двигателя колебания момента и частота вращения затухают и приближаются к установившемуся значению. Из-за этого потери энергии в двигателе и потребление им реактивной мощности при прямом пуске су-

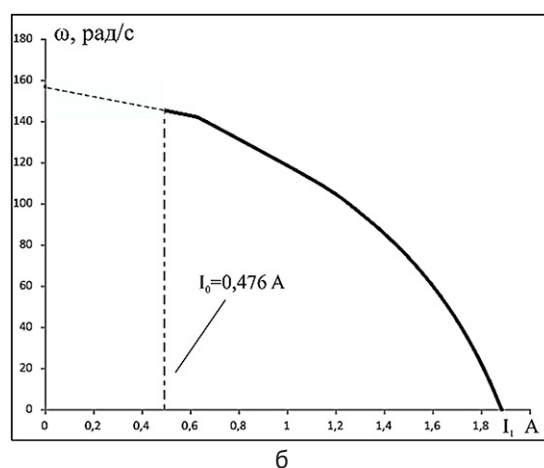
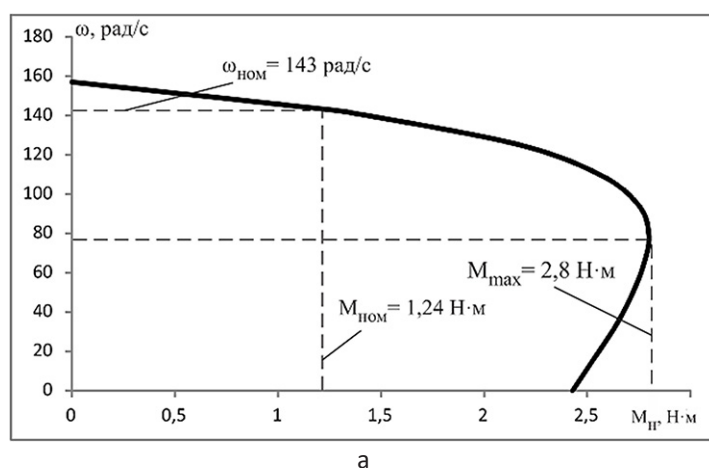


Рисунок 4 – Естественная механическая и электромеханическая характеристики двигателя

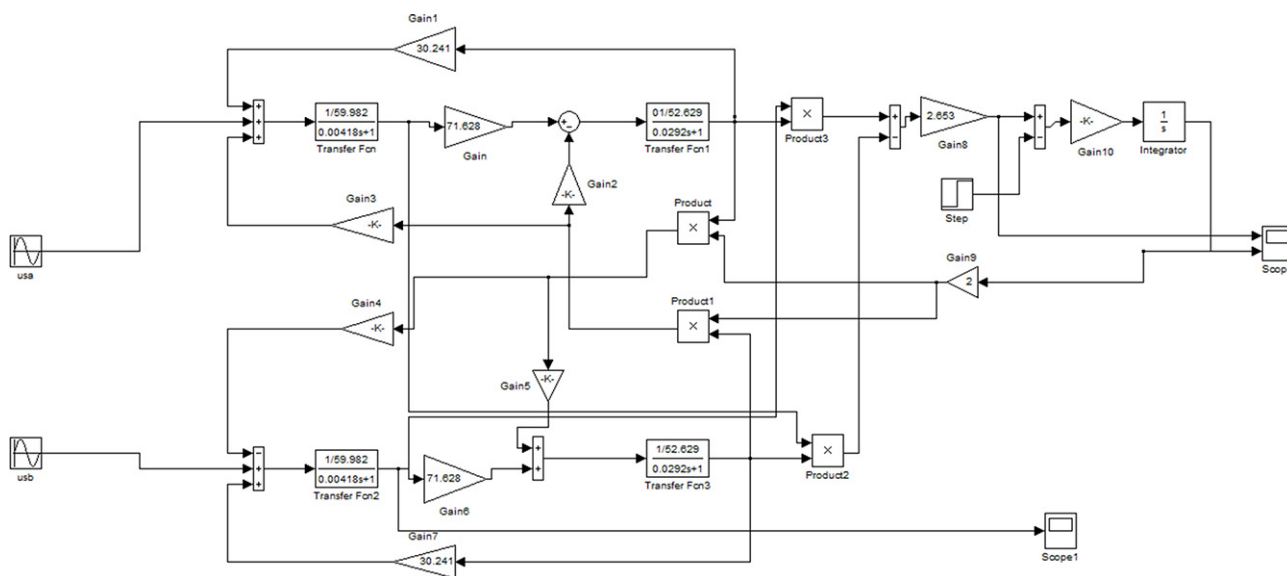


Рисунок 5 – Математическая модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат

щественно возрастают. Так, максимальные потери энергии при переходном процессе превышают номинальную электромагнитную мощность двигателя в 4,8 раза, а максимальная реактивная мощность – почти в 6 раз. Этот вывод согласуется с результатами профессора И.Я. Браславского в работе [6, стр. 136].

II. Имитационное моделирование динамических режимов стенда

Рассмотрим технологическую схему стенда «Конвейерная установка Schneider Electric» (рисунок 7).

Механическая часть приводится в движение электродвигателем с помощью редуктора (Р). Редуктор и конвейер (ЛК) связаны между собой упругой муфтой и представляют собой колебательную систему. Расчетная схема объекта на рисунке 8 – это многомассовая система с упругими

связями, нелинейностями, распределенной нагрузкой на тяговую полосу, нелинейностями – в виде приведенных зазоров и демпфирующими эффектами в редукторе.

Здесь J_1, J_2, J_3 – моменты инерции первой, второй и третьей массы соответственно, где в качестве первой массы выступает ротор, второй массы – редуктор, третьей – производственный механизм (ленточный конвейер); $J_4, J_5, m_{г.в.}, m_{х.в.}$ – моменты инерции и массы грузовой и холостой ветви; $M_{с1}$ – момент сопротивления вала двигателя со стороны редуктора; $M_{с2}$ – момент сопротивления вала редуктора со стороны конвейера, $M_{с3}$ – момент сопротивления нагрузки; $C_{23}, C_{34}, C_{35}, C_{52}$ – жесткости связи между массами; M_n – нагрузка на грузовой ветви конвейера; $M_{х.в.}$ – нагрузка холостой ветви конвейера; $\Delta\varphi_p$ – приведенный зазор редуктора; $\Delta\varphi_{пр.г.}, \Delta\varphi_{пр.х.}$ – провал грузовой и холостой ветвей конвейера; $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ – частоты вращения валов.

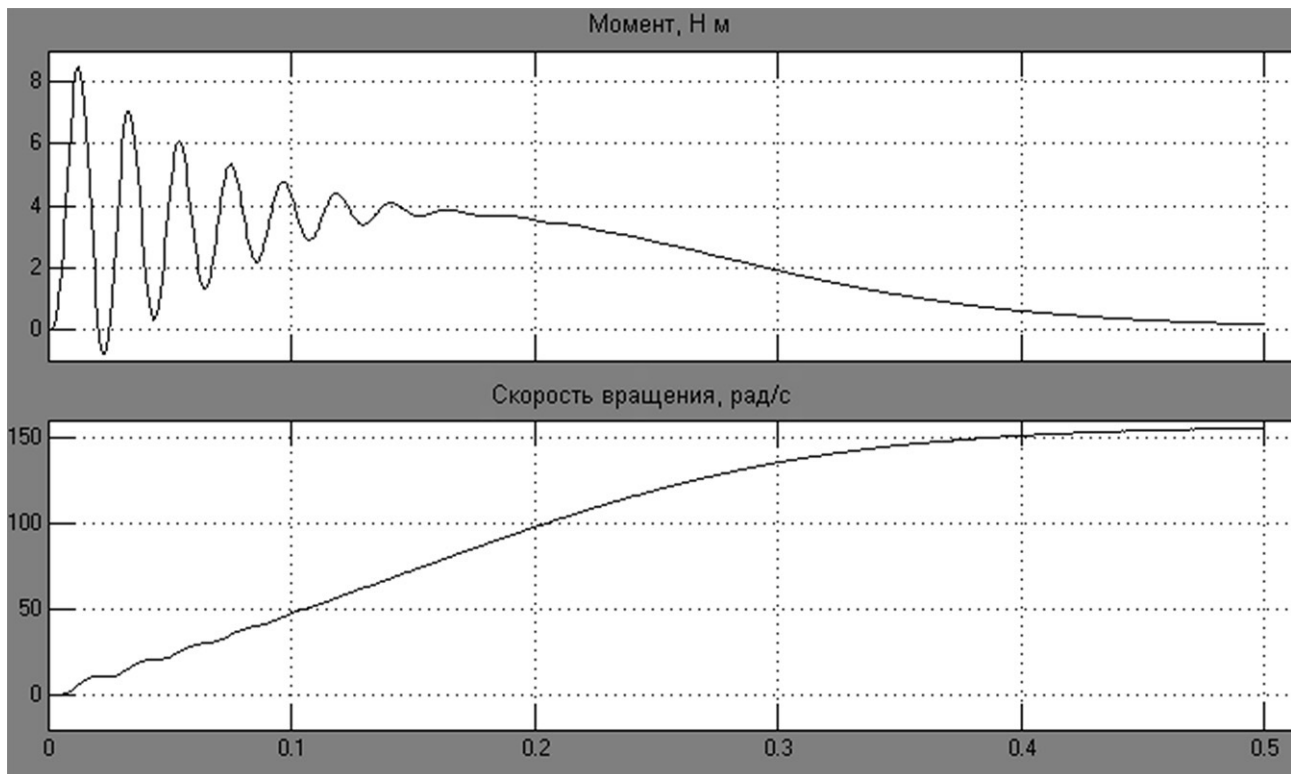


Рисунок 6 – Переходные процессы момента M и скорости вращения ω при пуске двигателя в режиме холостого хода $M_c = 0, J = J_{дв}$

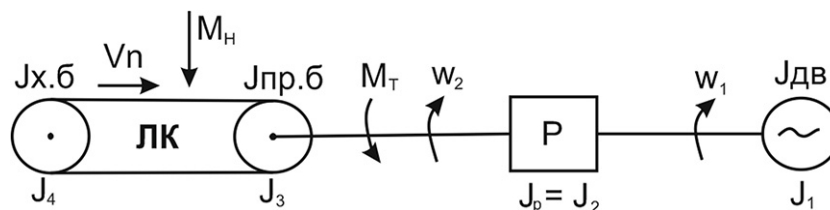


Рисунок 7 – Технологическая схема стенда «Конвейерная установка»

Для исследования в настоящей статье выбрана упрощенная расчетная схема, не учитывающая нелинейности, вязкое трение и с сосредоточенной, детерминированной нагрузкой на валу двигателя.

Математическая модель анализируемой расчетной схемы описывается следующими уравнениями [7, стр. 23]:

$$\left. \begin{aligned} M - M_{c1} - M_{12} &= J_1 \frac{d\omega_1}{dt}; \\ M_{12} - M_{c2} - M_{23} &= J_2 \frac{d\omega_2}{dt}; \\ M_{23} - M_{c3} - M_n + M_{x.b.} &= J_3 \frac{d\omega_3}{dt}; \\ M_{12}(t) &= C_{12}[\varphi_1(t) - \varphi_2(t)]; \\ M_{23}(t) &= C_{23}[\varphi_2(t) - \varphi_3(t)]. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Численные значения параметров системы, полученные в результате расчетов: $J_1 = 0.001185 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $C_{12} = 1.6$; $M_{c1} = 1.28 \text{ Н} \cdot \text{м}$; $J_2 = 0.00625 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $C_{23} = 1 \cdot 10^5$; $M_{c2} = 1.115 \text{ Н} \cdot \text{м}$; $M_{c3} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}$; $J_3 = 0.6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

На рисунке 9 представлена математическая модель асинхронного двигателя конвейера с нагрузкой, которая подается через $t = 0.25 \text{ с}$.

На рисунках 10 и 11 приведены характеристики момента M на валу асинхронного двигателя и частоты вращения вала ω_1 , полученные в результате моделирования.

По полученным результатам можно увидеть, что переходные процессы многомассовых систем являются колебательными. Ударные моменты, пусковые токи, потери мощности в САП асинхронного электропривода могут быть снижены при плавном изменении частоты напряжения статора. Одним из способов, удовлетворяющим данным требованиям, является векторное частотное управление, которое включает в себя преобразователь частоты [6, стр. 136]. Векторное управление является более сложным, но позволяет получить лучшие качественные показатели регулирования.

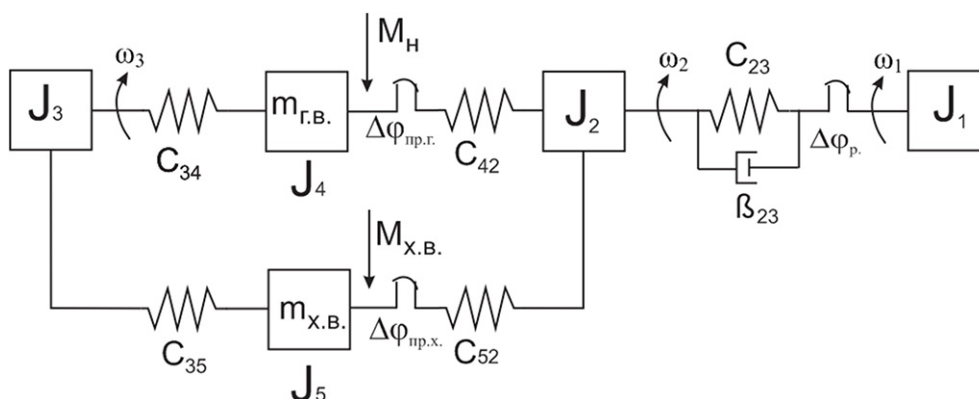


Рисунок 8 – Расчетная схема стэнда «Конвейерная установка»

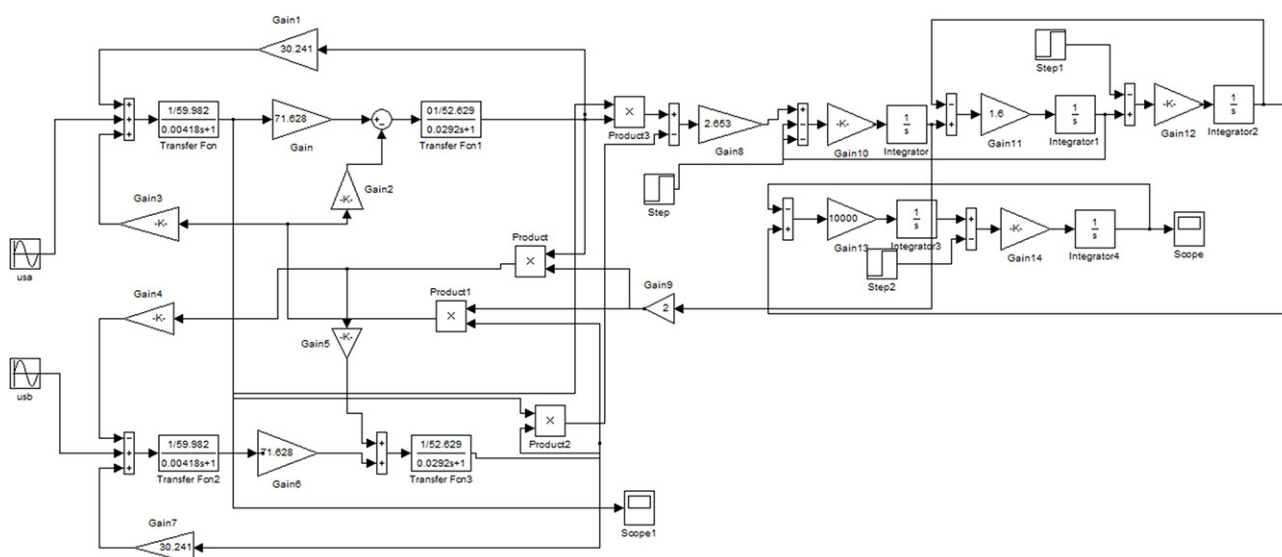
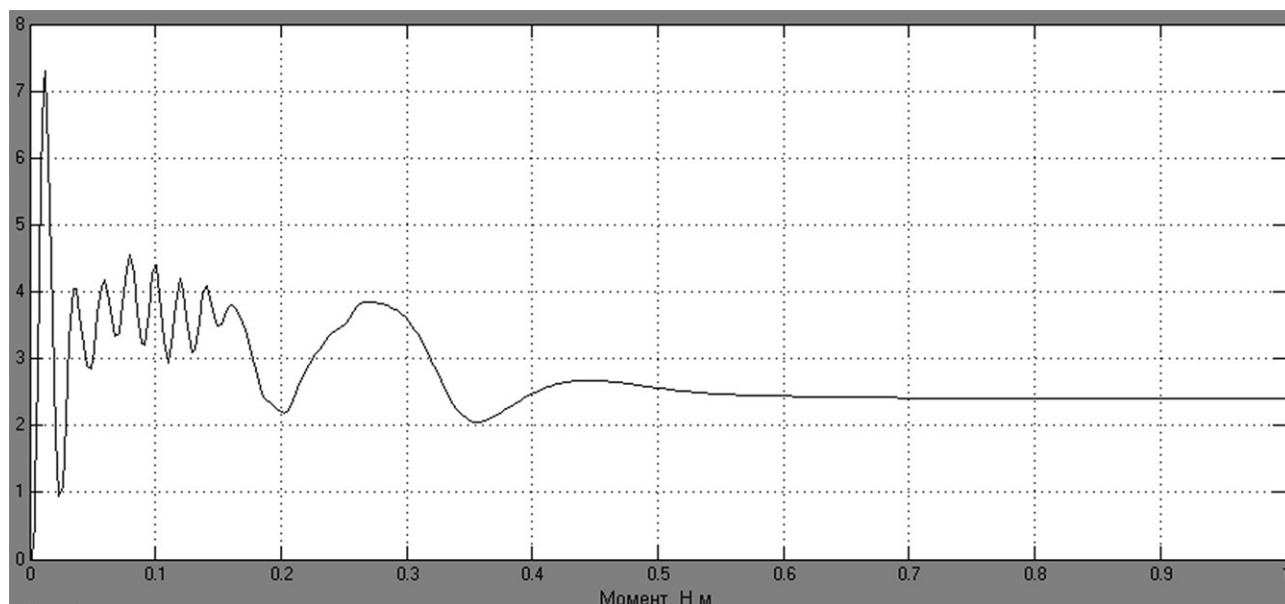
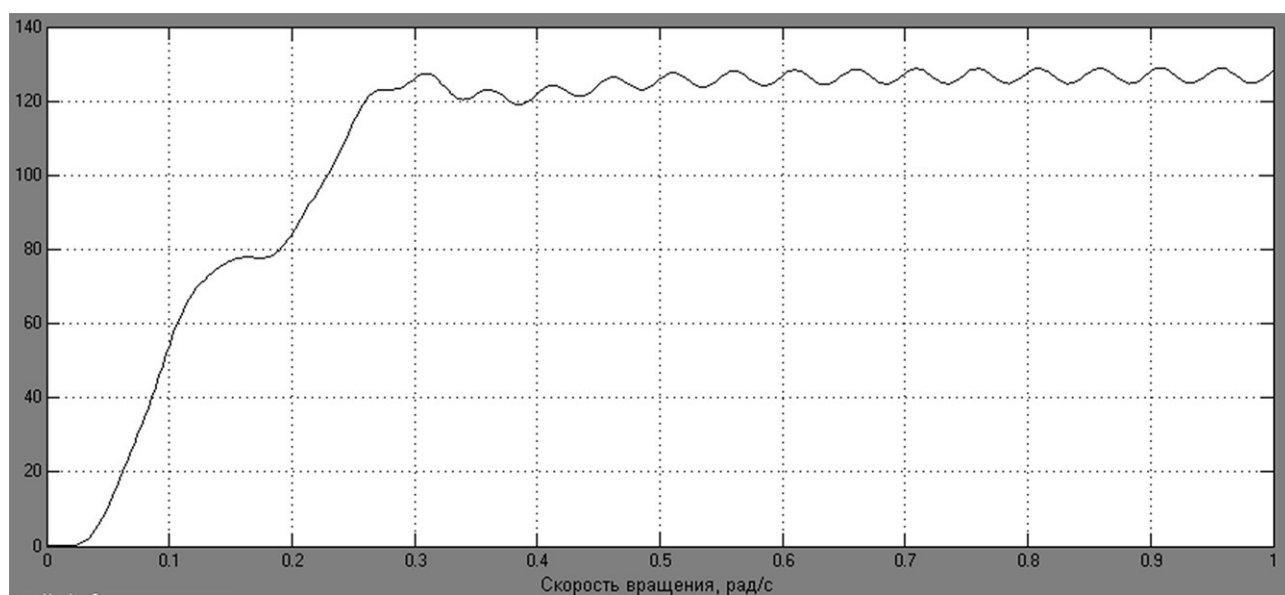


Рисунок 9 – Математическая модель асинхронного двигателя конвейера с нагрузкой

Рисунок 10 – Характеристика движущего момента M на входе рассматриваемой системыРисунок 11 – Характеристика переходного процесса для скорости ω_1

III. Разработка векторной системы управления электроприводом конвейера

Системы векторного частотного управления асинхронным двигателем конвейера базируются на представлении физических переменных двигателя пространственными векторами, у которых могут изменяться как модули, так и положение в пространстве. Основой для реализации системы управления частотно-регулируемых асинхронных электроприводов с векторным управлением является структурная схема, составленная на основе двухфазной модели асинхронного двигателя во вращающейся системе координат, ориентирован-

ной по результирующему вектору потокоцепления ротора Ψ_{2d} .

Решение задачи расчета параметров элементов структурной схемы силового канала электропривода проводится по методике из [4, стр. 26].

В соответствии с техническими требованиями к электроприводу и рекомендациями, были выбраны параметры преобразователя частоты фирмы Schneider Electric Altivar 12, который имеет напряжения питания 240 В, мощность подключаемого электропривода от 0,18 кВт до 4 кВт, частоту питающей сети 50 Гц, выходную частоту 0,5-400 Гц.

Для преобразователя частоты максимальное значение коэффициента усиления определяется по формуле [4, стр. 16]

$$k_{\pi} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{1\text{фн}}}{U_{\text{уп макс}}}, \quad (3)$$

где максимальное значение напряжения управления $U_{\text{уп макс}}$ принимаем 10 В.

Эквивалентная постоянная времени преобразователя

$$T_{\pi} = \frac{0,5}{f_{\text{шим}}}, \quad (4)$$

где значение несущей частоты $f_{\text{шим}} = 8$ кГц.

Обобщенная линеаризованная структурная схема асинхронного электропривода конвейера с векторным управлением ПЧ-АД показана на рисунке 12 [4, стр. 35]. Схема содержит два одинаковых по параметрам внутренних контура регулирования I_{1x} , I_{1y} тока статора с коэффициентом обратной связи по току k_{τ} , внешний контур регулирования потокосцепления ротора с коэффициентом обратной связи по потокосцеплению k_{π} и внешний контур регулирования по скорости с коэффициентом обратной связи по скорости k_c .

Передаточная функция ПИ-регулятора тока

$$W_{\text{пр}} = k_{\text{пр}} \cdot \frac{T_{\text{пр}} \cdot p + 1}{T_{\text{пр}} \cdot p}. \quad (5)$$

Коэффициент обратной связи по току определяется по формуле:

$$k_{\tau} = \frac{U_{\text{зт макс}}}{I_{1y \text{ макс}}}, \quad (6)$$

где $U_{\text{зт макс}}$ принимаем как максимальное значение напряжения управления,

$I_{1y \text{ макс}}$ – максимально допустимое значение тока при зависимом токоограничении,

$M_{\text{эп макс}} = \text{const}$, которое определяется исходя из анализа механической характеристики двигателя.

В таблице 3 представлены полученные параметры передаточной функции ПИ-регулятора тока.

Передаточная функция ПИ-регулятора потокосцепления

$$W_{\text{рψ}} = k_{\text{рψ}} \cdot \frac{T_{\text{рψ}} \cdot p + 1}{T_{\text{рψ}} \cdot p}. \quad (7)$$

Коэффициент обратной связи по потокосцеплению определяется по формуле

$$k_{\psi} = \frac{U_{\text{зψ макс}}}{\psi_{2\tau \text{ н}}}, \quad (8)$$

где $U_{\text{зψ макс}}$ принимаем как максимальное значение напряжения управления,

$\psi_{2\tau \text{ н}}$ – значение номинального потокосцепления двигателя.

В таблице 4 представлены полученные параметры передаточной функции ПИ-регулятора потокосцепления.

Передаточная функция П-регулятора скорости

$$W_{\text{pc}} = k_{\text{pc}}. \quad (9)$$

Коэффициент обратной связи по скорости определяется по формуле

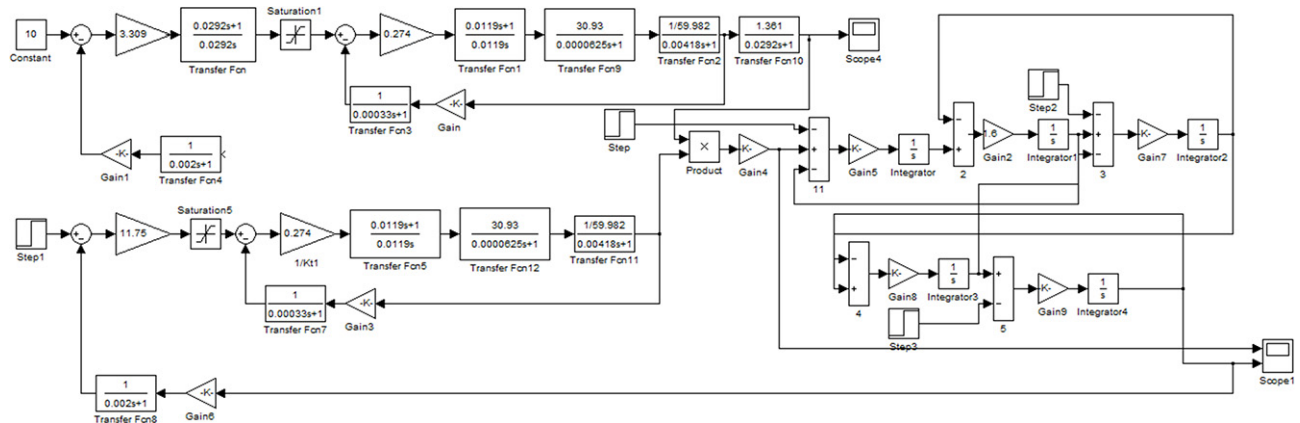


Рисунок 12 – Линеаризованная структурная схема САР асинхронного электропривода конвейера при векторном управлении

Таблица 3 – Параметры передаточной функции ПИ-регулятора тока

Коэффициент обратной связи по току k_{τ}	Эквивалентная постоянная времени $T_{\text{цтз}}$, с	Постоянная времени $T_{\text{пр}}$, с ($T_{\text{пр}} = T_2$)	Коэффициент усиления регулятора тока $k_{\text{пр}}$	Коэффициент оптимизации a_{τ}
13,9	0,001	0,00418	0,274	2

$$k_c = \frac{U_{\text{эс макс}}}{\omega_{\text{эл макс}}}, \quad (10)$$

где $U_{\text{эс макс}}$ принимаем как максимальное значение напряжения управления,

$\omega_{\text{эл макс}}$ – максимальная скорость двигателя.

В таблице 5 представлены полученные па-

раметры передаточной функции П-регулятора скорости.

Теоретические и экспериментальные показатели качества линеаризованных контуров тока, потокосцепления и скорости сведены в таблицы 6, 7 и 8.

Таблица 4 – Параметры передаточной функции ПИ-регулятора потокосцепления

Коэффициент обратной связи по потокосцеплению k_ψ	Эквивалентная постоянная времени $T_{\mu\psi\text{э}}, \text{с}$	Постоянная времени $T_{\text{р}\psi}, \text{с}$ ($T_{\text{р}\psi} = T_2$)	Коэффициент усиления регулятора потокосцепления $k_{\text{р}\psi}$	Коэффициент оптимизации a_ψ
10,93	0,004125	0,00418	3,309	2

Таблица 5 – Параметры передаточной функции П-регулятора скорости

Коэффициент обратной связи по скорости k_c	Малая постоянная времени $T_{\mu\text{с}0}, \text{с}$	Коэффициент усиления регулятора скорости $k_{\text{рс}}$	Коэффициент оптимизации a_c
0,058	0,02	11,75	1

Таблица 6 – Показатели переходных процессов по управлению оптимизированного контура тока с ПИ-регулятором

Перерегулирование σ , %	Время переходного процесса t_n , с		Установившаяся ошибка $\Delta I_{уст}$, А
	t_{py1}	t_{py2}	
Ожидаемые показатели			
6,7	0,00275	0,006	0
Результаты моделирования			
6,9	0,002	0,007	0.013

Таблица 7 – Показатели переходных процессов по управлению оптимизированного контура потокосцепления с ПИ-регулятором

Перерегулирование $\sigma, \%$	Время переходного процесса $t_{\text{р}1}, \text{с}$	Установившаяся ошибка $\Delta \psi_{\text{уст}}, \text{Вб}$
Ожидаемые показатели		
4,3-6,7	0,0164	0
Результаты моделирования		
6,8	0,016	0

Таблица 8 – Показатели переходных процессов по управлению оптимизированного контура скорости вращения с П-регулятором

Перерегулирование $\sigma, \%$	Время переходного процесса $t_{\text{р}1}, \text{с}$	Установившаяся ошибка $\Delta \omega_{\text{уст}}, \text{рад/с}$
Ожидаемые показатели		
4,3-6,7	0,0164	0
Результаты моделирования		
6,4	0,014	0

Результаты моделирования переходных процессов по моменту и скорости вращения асинхронного электропривода конвейера при векторном управлении ПЧ-АД приведены на рисунке 13.

Результаты расчетов и математического моделирования показали, что при векторном частотном управлении величина ударного момента уменьшилась и его максимальное значение составило $1,44M_{\text{ном}}$ при токе статора $1,07I_{\text{ном}}$, то есть двигатель конвейера разгоняется плавно и выходит на установившуюся скорость.

Выводы

Основными результатами параметрической оптимизации асинхронного электропривода конвейера являются следующие:

- плавный пуск конвейера с малыми перегрузками электрической и механической частей привода и малым влиянием на питающую сеть;
- независимое управление конвейером (или несколькими конвейерами) при векторном управлении ПЧ-АД позволяет осуществить плавное регулирование скорости в соответствии с технологическим процессом и алгоритмом работы робота-трипода РК ТРИПОД, входящего в ГАП.

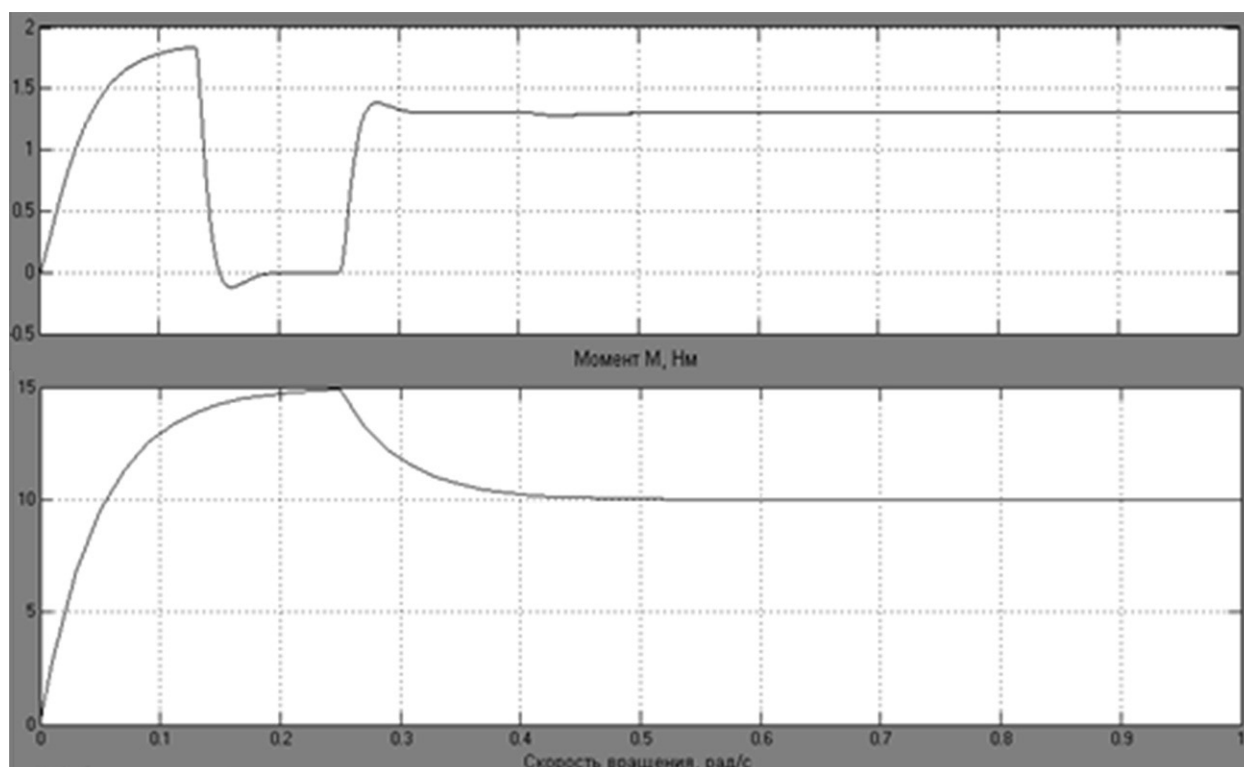


Рисунок 13 – Графики переходного процесса момента $M(t)$ и частоты вращения $\omega(t)$ с нагрузкой

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фешин Б.Н., Шпакова Л.Г., Тохметова К.М. Алгоритмы энергосбережения в гибких автоматизированных производствах (часть 1) / Карагандинский государственный технический университет // Труды университета. 2019. № 3. С. 145-148.
2. Фешин Б.Н., Шпакова Л.Г., Тохметова К.М. Алгоритмы энергосбережения в гибких автоматизированных производствах (часть 2) / Карагандинский государственный технический университет // Там же. 2019. № 4. С. 130-133.
3. Ахметжанов К.Е., Ильина А.Г., Тохметова К.М., Фешин Б.Н. Исследование и параметрическая оптимизация САР конвейерной установки / Карагандинский государственный технический университет // Автоматика. Информатика. 2019. № 1. С. 19-23.
4. Мальцева О.П., Удуд Л.С. Системы управления электроприводов.: учебное пособие / О.П. Мальцева, Л.С. Удуд, Н.В. Кояин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – 82 с.
5. Терехов В.М. Системы управления электроприводов: учебник для студ. высш. учебн. заведений / В.М. Терехов, О.И. Осипов. – Москва: Изд-во «Академия», 2006. – 304 с.
6. Браславский И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод: учебник для студ. высш. учебн. заведений / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков. – Москва: Изд-во «Академия», 2004. – 202 с.
7. Брейдо И.В., Фешин Б.Н. Имитационное моделирование и параметрическая оптимизация автоматизированных электроприводов. Караганда: КарГТУ, 2003. – 130 с.

**«ТРИПОД» роботтандырылған кешені конвейерінің автоматтандырылған электр жетегін
параметрлік оңтайландыру**

¹*ТОХМЕТОВА Куралай Муратбековна, докторант, оқытушы, kuralay_tokhmetova@mail.ru,

¹ФЕШИН Борис Николаевич, т.ғ.д., профессор, bfeshin@mail.ru,

²БОБРЯКОВ Александр Владимирович, т.ғ.д., доцент, кафедра меңгерушісі, BobriakovAV@mpei.ru,

¹Қарағанды техникалық университеті, Қазақстан, 100027, Қарағанды, Н. Назарбаев даңғылы, 56,

²«МЭИ» ұлттық зерттеу университеті («Мәскеу энергетика институты»), Ресей, 111250, Мәскеу, Красноказарменная көш., 14,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Зерттеу нысаны ТРИПОД роботтандырылған кешенінің (РК) таспалы конвейері болып табылады. РК икемді автоматтандырылған өндіріске кіретін күрделі технологиялық процесс болып табылады, онда жұмыс операцияларымен өзара байланысты Роботтар-триподтар мен конвейерлер іске қосылады. Асинхронды жетек қозғалтқышы бар бір конвейердің стендін зерттеу көрсетіледі. Векторлық басқару кезінде қысқа тұйықталған роторы бар асинхронды электр қозғалтқышының математикалық моделі және Matlab-Simulink ортасында оның бағдарламалық аналогы ұсынылған. РК конвейердің асинхронды қозғалтқышын векторлық басқару жүйесін талдау және параметрлік синтездеу нәтижелері ұсынылған. Жиілік түрлендіргішінің құралдарын векторлық басқару кезінде конвейердің асинхронды электр жетегінің автоматты реттеу жүйесі моделінің шығысындағы қозғалтқыш білігінің айналу моментінің, жиілігінің және тоқтың уақытша тәуелділіктері келтірілген. Қозғалтқыш білігінің ағымдағы, ағындық және айналу жиілігіндегі өтпелі процестерді басқару сапасының көрсеткіштері алынады және талданады.

Кілт сөздер: роботты кешен, конвейер, асинхронды қозғалтқыш, энергияны үнемдеу, векторды басқару, жиілікті түрлендіргіш, құрылымдық схема, математикалық модель, реттеу, ПИ-реттегіш, П-реттегіш, талдау.

Parametric Optimization of the Automated Electric Drive of the TRIPOD Robotic Complex Conveyor

¹*ТОХМЕТОВА Kuralai, doctoral student, Lecturer, kuralay_tokhmetova@mail.ru,

¹FESHIN Boris, Dr. Tech. Sci., Professor, bfeshin@mail.ru,

²BOBRYAKOV Alexander, Dr. Tech. Sci., Associate Professor, Head Department, BobriakovAV@mpei.ru,

¹Karaganda Technical University, Kazakhstan, 100027, Karaganda, N. Nazarbayev ave., 56,

²National Research University «MPEI» («Moscow Power Engineering Institute»), Russia, 111250, Moscow, Krasnokazarmennaya str., 14,

*corresponding author.

Abstract. The object of the research is the belt conveyor of the TRIPOD robotic complex (RC). The RC is a complex technological process included in flexible automated production, in which robots-tripods and conveyors interconnected by working operations are involved. The studies of the stand of a single conveyor with an asynchronous drive motor are displayed. A mathematical model of an asynchronous electric motor with a squirrel-cage rotor with vector control and its software analogue in the Matlab-Simulink environment are proposed. The results of analyzing and parametric synthesizing the vector control system for the asynchronous motor of the conveyor in the RK are presented. The time dependences of the torque, the frequency of rotation of the motor shaft and the current at the output of the model of the automatic control system of the asynchronous electric drive of the conveyor with vector control by means of the frequency converter are given. Indicators of the quality of control of transient processes in current, flux linkage and rotation frequency of the motor shaft are obtained and analyzed.

Keywords: robotic complex, conveyor, asynchronous motor, energy saving, vector control, frequency converter, structural diagram, mathematical model, regulation, PI-controller, P-controller, analysis.

REFERENCES

1. Feshin B.N., Shpakova L.G., Tokhmetova K.M. Algoritmy energosberezheniya v gibkikh avtomatizirovannykh proizvodstvakh (chast 1) / Karagandinskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet // Trudy universiteta. 2019. № 3. S. 145-148.
2. Feshin B.N., Shpakova L.G., Tokhmetova K.M. Algoritmy energosberezheniya v gibkikh avtomatizirovannykh proizvodstvakh (chast 2) / Karagandinskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet // Tam zhe. 2019. № 4. S. 130-133.
3. Akhmetzhanov K.E., Ilina A.G., Tokhmetova K.M., Feshin B.N. Issledovanie i parametricheskaya optimizatsiya SAR konveinoi ustanovki / Karagandinskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet // Avtomatika. Informatika. 2019. № 1. S. 19-23.
4. Maltseva O.P., Udut L.S. Sistemy upravleniya elektroprivodov.: uchebnoe posobie / O.P. Maltseva, L.S. Udut, N.V. Koyain. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2007. – 82 s.
5. Terekhov V.M. Sistemy upravleniya elektroprivodov: uchebnik dlya stud. vyssh. uchebn. zavedenii / V.M. Terekhov, O.I. Osipov. – Moskva: Izd-vo «Akademiya», 2006. – 304 s.
6. Braslavskii I.Ya. Energosberegayushchii asinkhronnyi elektroprivod: uchebnik dlya stud. vyssh. uchebn. zavedenii / I.Ya. Braslavskii, Z.Sh. Ishmatov, V.N. Polyakov. – Moskva: Izd-vo «Academa», 2004. – 202 s.
7. Breido I.V., Feshin B.N. Imitatsionnoe modelirovanie i parametricheskaya optimizatsiya avtomatizirovannykh elektroprivodov. Karaganda: KarGTU, 2003. – 130 s.