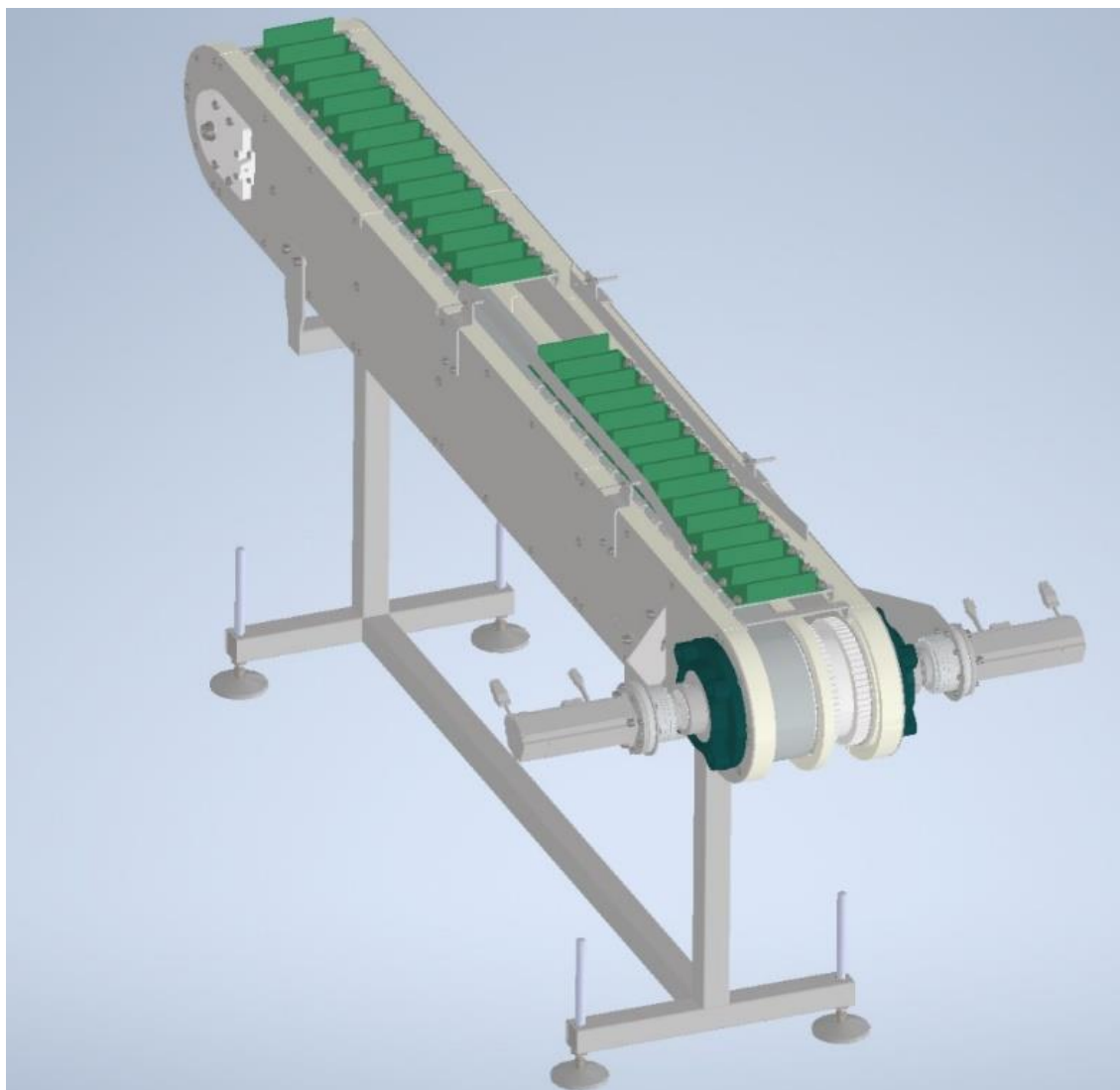


## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИВОДА ШАГОВОГО КОНВЕЙЕРА НА ОСНОВЕ СИНХРОННОГО СЕРВОДВИГАТЕЛЯ

*Кокудович Д. В., Сааков А. В., Вабищевич Л. И., Прокопеня О. Н.  
Брестский государственный технический университет,  
г. Брест, Республика Беларусь*

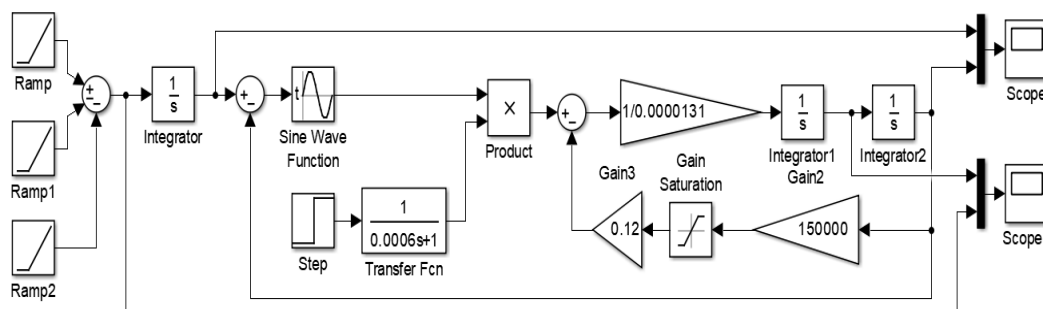
В данной работе рассматривается двухприводный конвейер с двумя зубчатыми лентами (рисунок 1), который входит в состав высокопроизводительного роботизированного комплекса по фасовке глазированных сырков в коробку из гофрокартона. Задача состоит в обеспечении максимальной производительности, т. е. отработка шага перемещения должна осуществляться за минимальное время. Это требует соответствующего закона управления двигателем. В рассматриваемом приводе используется синхронный серводвигатель VCH2LD0433CF5C.



*Рисунок 1 – Шаговый конвейер*

Задача решается методами математического моделирования с использованием математической модели привода на основе синхронного серводвигателя [1].

Математическая модель, построенная на основе уравнения движения ротора в приложении Simulink среды программирования Matlab, приведена на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Реализация математической модели в приложении Simulink программного пакета Matlab**

Данная математическая модель отображает зависимость угла поворота ротора синхронного двигателя, а также зависимость угла поворота магнитного поля статора от времени. Данные зависимости выводятся на осциллограф. На второй осциллограф выводятся зависимости скоростей изменения указанных переменных.

Данная математическая модель позволяет исследовать влияние различных конструктивных параметров привода, а также момента сопротивления и закона управления на характер движения и качество работы привода.

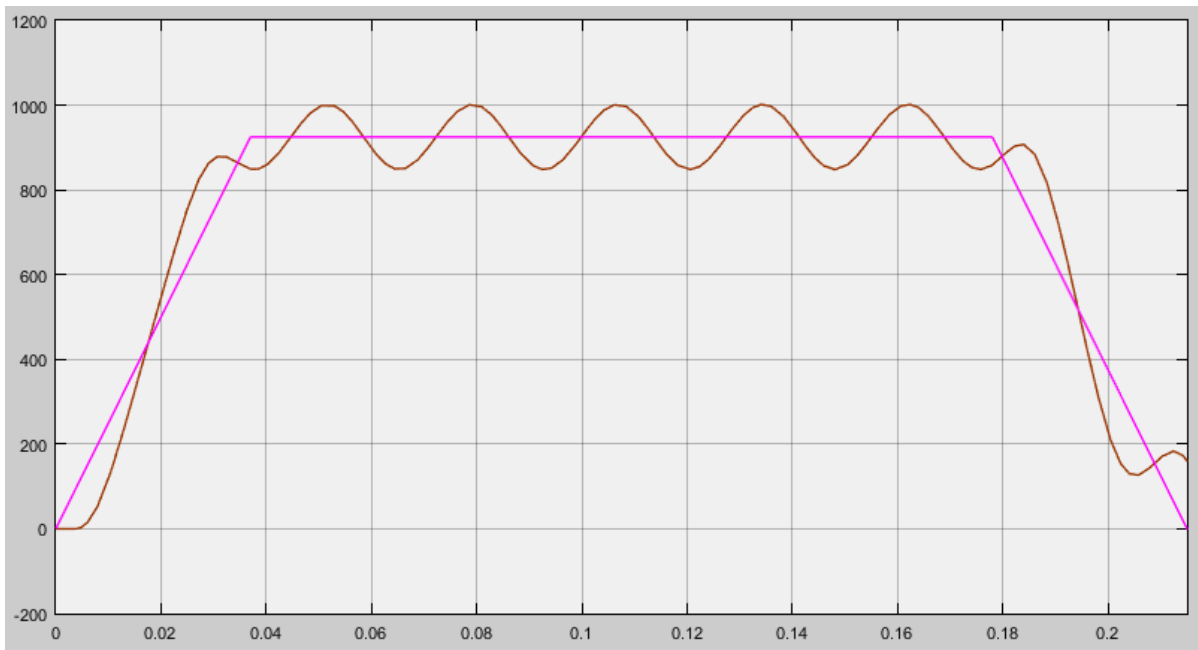
Установлено [2], что использование трапецеидального закона изменения скорости позволяет существенно повысить производительность. Однако при этом возникает задача выбора приемлемого ускорения, которое бы обеспечивало выход на предельную скорость при устойчивой работе двигателя.

Три генератора линейного сигнала на входе модели позволяют сформировать трапецеидальный закон изменения скорости. На первом этапе движение осуществляется с постоянным ускорением до достижения номинальной скорости, затем движение с номинальной скоростью и движение с отрицательным ускорением той же величины до остановки.

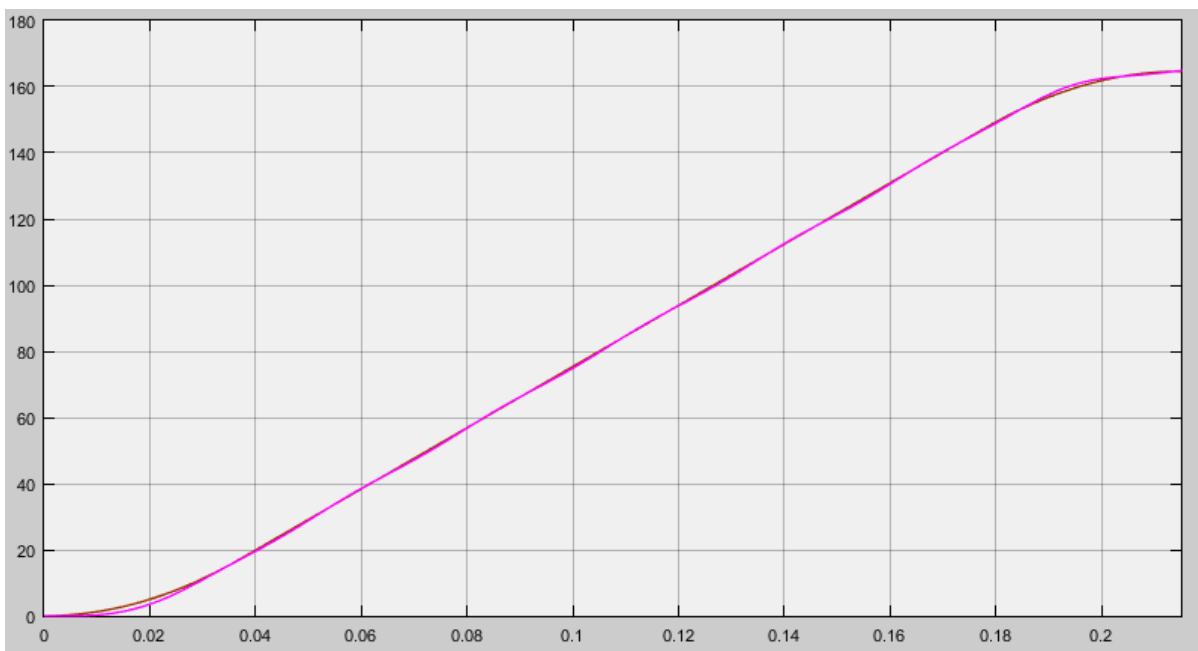
С помощью данной модели определено максимальное угловое ускорение, при котором сохраняется работа двигателя в синхронном режиме. Оно составляет  $\varepsilon = 25000 \text{ c}^{-2}$ . При большем ускорении двигатель выпадает из синхронизма. Результаты моделирования при движении с указанным ускорением показаны на рисунках 3, 4.

На рисунке 3 приведены кривые изменения скорости ротора, а также заданной скорости (скорости вращения поля), которая изменяется по трапецеидальному закону. Скорость ротора имеет колебательную составляющую, которая не отражается существенно на отработке заданного перемещения.

Перемещение ротора приведено на рисунке 4. Кривая углового перемещения имеет параболические участки в начале и в конце и линейный участок посередине. Разность углов на участках разгона и торможения не превышает 1,57 рад ( $90^\circ$ ), следовательно, двигатель работает в синхронном режиме.



**Рисунок 3 – Изменение скоростей вращения магнитного поля и ротора**



**Рисунок 4 – Изменение углов поворота магнитного поля и ротора**

Результаты моделирования показывают, что угловой поворот вала двигателя на 167,6 рад выполняется за 0,215 с. В то же время при загруженном конвейере предельная скорость при вращении с места в синхронном режиме составляет 0,56 от номинальной, что обеспечивает время отработки такого же перемещения 0,334 с. Таким образом, использование трапецеидального закона управления с предельным ускорением позволяет уменьшить время отработки шага в 1,55 раза.

С помощью математической модели определены значения предельной скорости двигателя для различных значений передаточного отношения редуктора.

При этом вычислялись значения приведенного момента инерции привода и требуемой скорости вращения двигателя. Результаты расчета представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета предельной скорости

$i$	$I_{пр}, кг*м^2$	$\Omega_{пред}, рад/с$	$\Omega_{треб}, рад/с$	$\Omega_{пред}/ \Omega_{треб}$
1	0,021228	18	8,42	2,13
5	0,000884	94	42,1	2,23
10	0,000248	172	84,2	2,04
20	0,000089	260	168,4	1,54
40	0,000049	318	336,8	0,94

Приведенные результаты показывают, что по мере уменьшения передаточного отношения редуктора увеличивается приведенный момент инерции, и как следствие, снижается предельная скорость вращения в синхронном режиме. Одновременно снижается требуемая скорость двигателя, обеспечивающая заданную скорость выходного звена.

В последнем столбце приведено соотношение скоростей, которое характеризует резерв повышения производительности конвейера за счет возможного увеличения скорости двигателя. В этом смысле наибольшими возможностями обладает привод с передаточным отношением редуктора, близким к 5. Он позволяет повысить производительность конвейера по отношению к проектной в 2,23 раза за счет повышения скорости двигателя до предельной. Несколько меньшими возможностями обладает безредукторный привод.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кокудович, Д. В. Мехатронные модули и мехатронные системы / Д. В. Кокудович, О. Н. Прокопеня // Новые технологии и материалы, автоматизация производства : сборник статей / Брестский государственный технический университет – Брест : Издательство БрГТУ, 2021. – С. 6–12.

2. Сааков, А. В. Система управления приводом шагового конвейера / А. В. Сааков, О. Н. Прокопеня, Л. И. Вабищевич // Новые технологии и материалы, автоматизация производства : сборник статей / Брестский государственный технический университет – Брест : Издательство БрГТУ, 2021. – С. 17–20.

УДК 681.5.09

### РАСЧЁТ НАДЁЖНОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С БОЛЬШИМ КОЛИЧЕСТВОМ ОБЪЕКТОВ

*Королёв А. А., Михновец А. Н., Карпович Д. С.*

*Белорусский государственный технологический университет,  
ул. Свердлова 13а, 220006, г. Минск, Беларусь*

Внедрение достижений науки и техники, современных технологий характеризуется созданием сложных систем и устройств с высоким уровнем автоматизации, выполняющих интеллектуальные, адаптивные функции управления в космической и авиационной технике, тепловой и атомной энергетике, химической, нефте-