

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ НОЖНИЧНЫМ ПОДЪЕМНИКОМ

*В данной работе описывается система управления ножничным подъемником. Особенностью ножничного подъемника является нелинейность кинематики и динамики механизма. Описанный метод позволяет реализовать движение с постоянной скоростью для объекта, закон движения которого нелинеен.*

### ВВЕДЕНИЕ

Мобильные грузовые роботы могут выполнять погрузочно-разгрузочные работы, перемещение и доставку материала. Одной из основных частей такого робота является подъемный механизм. В данной работе в качестве подъемного механизма рассматривается ножничный подъемник. Законы его движения нелинейные, что может вызвать случайные повреждения грузов из-за резких ускорений и торможений, а также получение низкой точности позиционирования по высоте. Отсюда возникает необходимость линейного управления ножничным подъемником.

### 1. ОПИСАНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Для управления ножничным подъемником следует знать уравнения кинематики и динамики этого механизма. Введем обозначения, показанные на рисунке 1.

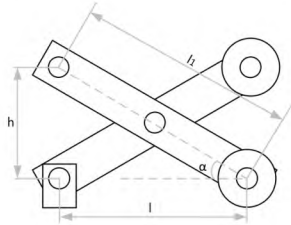


Рис. 1 – Введенные обозначения

Зависимость текущей высоты одной секции подъемника от положения коретки винта [1]:

$$h(l) = n \cdot \sqrt{l_1^2 - l^2} \quad (1)$$

Скорость подъема в зависимости от скорости движения винта [1]:

$$h'(l) = -n \cdot \frac{l}{\sqrt{l_1^2 - l^2}} \cdot l' \quad (2)$$

В формуле (2) мы управляем  $l'$ , то есть скоростью движения коретки на винте. Нам надо, чтобы скорость изменения подъема была линейной. Этому соответствует следующий закон движения:

$$l' = \frac{\sqrt{l_1^2 - l^2}}{l} \cdot \nu \quad (3)$$

где  $\nu$  – желаемая линейная скорость перемещения. Эта скорость должна выбираться в зависи-

мости от поставленной задачи и возможностей двигателя.

Закон управления выше зависит от текущего положения и дает на выходе задание по скорости. Соответственно, это полноценный нелинейный регулятор. Его можно встроить вместо пропорционального регулятора положения в систему с подчиненным управлением.

Если использовать уравнение выше как регулятор по положению, наша система всегда будет стремиться двигаться с требуемой в данный момент (в зависимости от текущего положения) скоростью. Объясняется это тем, что данный регулятор получает в качестве обратной связи не ошибку по положению, а текущее положение. Соответственно, при управлении будет полностью отсутствовать момент торможения. Система будет двигаться с максимальной скоростью вплоть до желаемой точки, после чего будет стремиться моментально остановиться. Мгновенная остановка невозможна из-за инерции, что приведет к тому, что система не сможет точно останавливаться или будет и вовсе неустойчивой в момент подхода к точке остановки.

Исправить это можно следующим образом: мы интегрируем параллельно линейную (эта система никак не учитывает высоту и текущее положение подъемника) и нелинейную систему управления по положению (регулятор, основанный на уравнении (3)). В любой момент времени из двух регуляторов управлять будет тот, управляющее воздействие которого меньше по модулю.

Таким образом, в момент начала движения сигнал классического регулятора положения будет гораздо больше, чем от нелинейного регулятора. Соответственно, двигатель будет управляться нелинейным регулятором. По мере приближения к желаемой точке управляющий сигнал линейного регулятора станет меньше, чем у нелинейного регулятора, и управление перейдет к классическому регулятору, который, в свою очередь, сможет точно и плавно остановить систему. Момент перехода между регуляторами полностью контролируется настройкой  $P$  составляющей классического регулятора. Чем выше параметр  $P$ , тем позже произойдет переход и тем резче будет торможение.

## II. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Математическая модель основана на двигателе постоянного тока, который приводит в движение линейный механизм, основанный на винтовой передаче: гайка передачи присоединена к подвижному концу балки; движение гайки приводит в движение присоединенную балку, что, в свою очередь, изменяет высоту подъемника.

Описываемый подход основан на идее, что система управления двигателем по скорости сможет эффективно отработать нелинейное входное воздействие. Таким образом, модель состоит из двух частей: классической подчиненной системы управления ДПТ по скорости; генератора задачи по скорости – специального блока, который рассчитывает необходимую в данный момент времени скорость в зависимости от текущего положения подъемника и желаемой скорости изменения высоты подъема.

Модель в Simulink представлена на рисунке 4.

Задание по положению дается в метрах, но система управления работает с радианами, поэтому на входе есть блоки для перевода метров в радианы, а на выходе блоки для обратного перевода радиан в метры. С целью упрощения демонстрации концепции показанная система реализует описанный метод управления только для движения в одну из сторон (так как работает по абсолютному значению, а не по модулю).

При моделировании считаем, что длина балки подъемника 0.8 метра, а шаг винта 2 см/об, то есть 0.02 м/об. Моделируем передвижение коретки винта с длины 0.3 метра на длину 0.6 метра. Данному перемещению соответствует изменение высоты с 0.74 м до 0.53 м. График изменения высоты при линейном управлении скоростью вращения винта без регулирования скорости подъема:

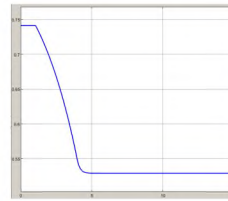


Рис. 2 – График изменения высоты при линейном управлении

График изменения высоты с применением нелинейной системы управления и желаемой скоростью подъема 0.03 м/с:

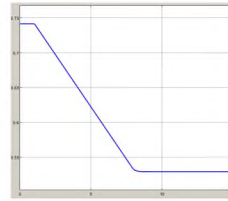


Рис. 3 – График изменения высоты при нелинейном управлении

## III. ВЫВОДЫ

В работе описан метод управления ножничным подъемником, законы движения которого нелинейны. По показанным результатам моделирования видно, что, используя описанный метод, движение становится прямолинейным. Однако стоит учитывать, что результаты не учитывают реальные действующие в системе силы и внешние воздействия (например силы груза на подъемнике). Мы можем утверждать, что система справится с нужными нам режимами работы с помощью статических расчетов, но результаты надо будет подтвердить практически в будущем.

1. Довнар А.Д., Рогач А.Ю. Кинематика и динамика ножничного подъемника // Минск: БГУИР, 2021. - 2с.
2. Zhang W. и др. A Study on the Static Stability of Scissor Lift // TOMEJ. 2015. Т. 9. № 1. С. 954–960.

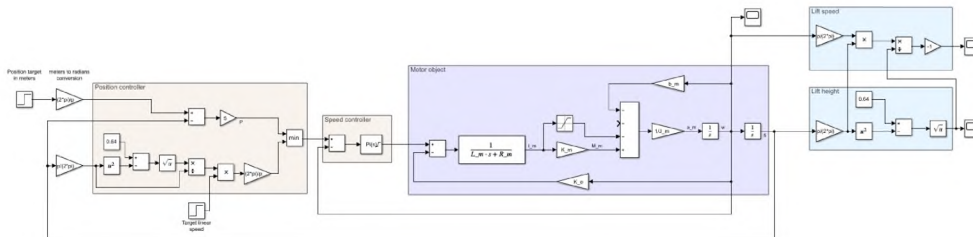


Рис. 4 – Модель системы в Simulink

*Рогач Александра Юрьевна*, студент четвертого курса кафедры систем управления БГУИР, auseratocarpus@gmail.com.

*Научный руководитель: Довнар Андрей Дмитриевич*, инженер кафедры систем управления, dovnar@bsuir.by.