

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ДВИЖЕНИЯ ЛИФТА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ЗАДАНИЯ СКОРОСТИ ПРИВОДНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

*Садыков Дмитрий Николаевич*, магистрант, КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова 66, e-mail: [daemon\\_dima@mail.ru](mailto:daemon_dima@mail.ru).

*Бочкарев Игорь Викторович*, д.т.н., профессор, КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Ч.Айтматова 66, e-mail: [elmech@mail.ru](mailto:elmech@mail.ru)

**Аннотация.** В работе исследуется частотно-токовый асинхронный электропривод лифтовой установки с векторным управлением. Составлена математическая модель лифтовой установки, описывающая динамику ее движения. При этом введен ряд допущений, позволивший при сохранении адекватности отражения реальных свойств элементов лифтовой установки упростить ее математический аппарат и использовать базовые законы для описания динамики лифта. На базе данной математической модели построена имитационная модель частотно-токового асинхронного электропривода лифтовой установки с векторным управлением. С помощью полученной модели проведены исследования динамики движения лифта при различных способах задания скорости ротора электродвигателя, приводящего в действие лифт. Для этого построены компьютерные модели линейного и S-образного задатчиков интенсивности нарастания скорости. В результате исследований получены осциллограммы переходных процессов, протекающих как в лифтовой установке, так и в асинхронном электродвигателе. Получено, что использование S-образного задатчика интенсивности целесообразней как в пассажирских, так и в грузовых лифтовых установках с канатоведущим шкивом.

**Ключевые слова:** лифтовая установка, электропривод, асинхронный двигатель, частотно-токовое векторное управление, математическая модель, задатчик интенсивности нарастания скорости, имитационное моделирование.

## RESEARCH OF DYNAMICS OF THE LIFT MOTION AT VARIOUS TYPES OF SPEED OF THE DRIVE ELECTRIC MOTOR

*Sadykov Dmitry Nikolaevich*, undergraduate, KSTU after name I. Razzakov, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, 66 Ch. Aitmatova Ave., e-mail: [daemon\\_dima@mail.ru](mailto:daemon_dima@mail.ru).

*Bochkarev Igor Viktorovich*, Doctor of Technical Sciences, Professor, KSTU after name I. Razzakov, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, 66 Ch. Aitmatova Ave., e-mail: [elmech@mail.ru](mailto:elmech@mail.ru)

**Annotation.** The paper investigates the frequency-current asynchronous electric drive of an elevator installation with vector control. A mathematical model of the elevator installation was compiled, describing the dynamics of its movement. At the same time, a number of assumptions were introduced, which, while maintaining the adequacy of the reflection of the real properties of the elements of the elevator installation, simplified its mathematical apparatus and used the basic laws to describe the dynamics of the elevator. Based on this mathematical model, a simulation model of the frequency-current asynchronous electric drive of an elevator installation with vector control is built. Using the obtained model, studies of the dynamics of the movement of the elevator were carried out with various methods for setting the rotor speed of the electric motor that drives the elevator. For this, computer models of the linear and S-shaped adjusters of the rate of increase in the speed were built. As a result of the research, oscillograms of transient processes occurring both in the elevator installation and in the asynchronous electric motor are obtained. It was found that the use of an S-shaped intensity adjuster is more expedient in both passenger and freight elevator

installations with a traction sheave.

**Keywords:** elevator installation, electric drive, induction motor, frequency-current vector control, mathematical model, speed ramp intensity adjuster, simulation.

**Введение.** При синтезе систем управления электроприводом (СУЭП) важным показателем является качество переходных процессов, которые должны удовлетворять конкретным эксплуатационным требованиям, предъявляемым к оборудованию, в котором использован данный электропривод. В данной статье рассматривается частотно-токовый асинхронный электропривод лифтовой установки с векторным управлением [1 - 4]. Интересен вопрос влияния вида задания скорости на переходные процессы как в двигателе, так и в имитационной модели лифтовой установки, а также его влияния на динамические усилия, возникающие в механических системах, которые прямо пропорциональны производной по времени линейной или угловой скорости и имеют максимальные значения в моменты трогания или торможения лифтовой установки [5, 6]. Под заданием скорости понимается задатчик интенсивности нарастания скорости ротора электродвигателя. В простейшем случае задание нарастания скорости может быть описано линейной функцией, но также задание скорости может осуществляться и по S – образной кривой.

**Постановка задачи.** Для проведения исследования динамики движения лифтовой установки при различных способах задания скорости необходимо построить имитационную модель системы преобразователь частоты – двигатель (ПЧ – АД) и имитационную модель лифтовой установки, а также проанализировать линейный и S-образный графики задатчика интенсивности разгона (остановки). С помощью полученной имитационной модели частотно-токового асинхронного электропривода лифтовой установки с векторным управлением провести исследования осциллограмм переходных процессов.

#### Результаты исследований.

В качестве рабочего органа рассматривается лифтовая установка с канатоведущим шкивом (КВШ), принципиальная кинематическая схема которой приведена на рис. 1 [7, 11].

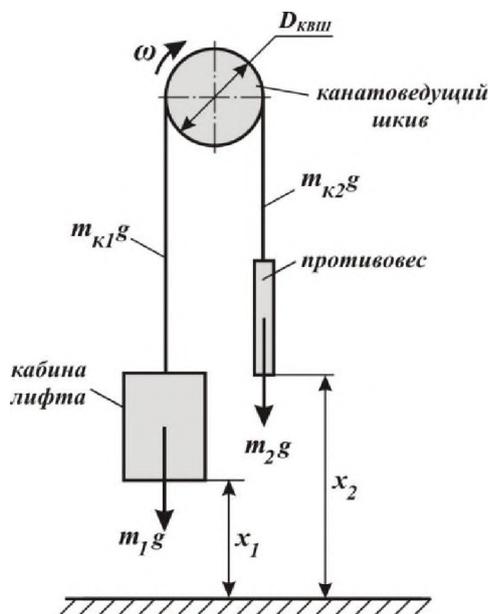


Рис. 1. Кинематическая схема лифтовой установки с канатоведущим шкивом

Для построения математической модели, описывающей движение лифтовой установки с канатоведущим шкивом согласно кинематической схеме, приведенной на рис. 1, введем следующие допущения:

- 1) кабина и противовес заменяются сосредоточенными массами;
- 2) кабина, противовес и канаты являются абсолютно жесткими;
- 3) канаты не испытывают действия посторонних сил кроме сил, возникающих под воздействием масс противовеса и кабины;
- 4) лебедка установлена на абсолютно жестких опорах и в процессе работы не деформируется.

Согласно второму закону Ньютона силы, возникающие в канатах, описываются [6]:

$$\begin{aligned} F_1 &= m_1 g + m_1 R_{KBIII} \frac{d\omega}{dt}, \\ F_2 &= m_2 g - m_2 R_{KBIII} \frac{d\omega}{dt}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $F_1$  – усилие, возникающее в канате на стороне кабины;  $F_2$  – усилие, возникающее в канате на стороне противовеса;  $m_1$  – масса кабины;  $m_2$  – масса противовеса;  $R_{KBIII} = D_{KBIII} / 2$  – радиус канатопроводящего шкива.

Тогда момент на валу с канатопроводящим шкивом определится:

$$M_{KBIII} = (F_1 - F_2) R_{KBIII} + J \frac{d\omega}{dt}, \quad (2)$$

где  $J$  – момент инерции вращающихся масс лебедки.

Система уравнений, описывающая изменение координат кабины  $x_1$  и противовеса  $x_2$  относительно земли, будет определяться:

$$\left. \begin{aligned} dx_1 &= x_{1,0} + V dt, \\ dx_2 &= x_{2,0} - V dt, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где  $x_{1,0}$ ,  $x_{2,0}$  – начальные координаты соответственно кабины и противовеса;  $V = R_{KBIII} \omega$  – линейная скорость перемещения кабины и противовеса.

В процессе передвижения кабины и противовеса будут соответственно меняться и массы каната на их сторонах. Система уравнений, описывающая изменение масс канатов со стороны кабины и противовеса:

$$\left. \begin{aligned} m_{к1} &= q_{y\delta} \cdot x_1 \cdot N_{mp}, \\ m_{к2} &= q_{y\delta} \cdot x_2 \cdot N_{mp}, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где  $m_{к1}$ ,  $m_{к2}$  – массы канатов соответственно на стороне кабины и противовеса.

С учетом уравнений (1) ÷ (4), система уравнений, описывающая процесс передвижения лифтовой установки с канатопроводящим шкивом, примет вид

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= (m_1 + q_{y\delta} \cdot x_1 \cdot N_{mp}) g + (m_1 + q_{y\delta} \cdot x_1 \cdot N_{mp}) R_{KBIII} \frac{d\omega}{dt}, \\ F_2 &= (m_2 + q_{y\delta} \cdot x_2 \cdot N_{mp}) g - (m_2 + q_{y\delta} \cdot x_2 \cdot N_{mp}) R_{KBIII} \frac{d\omega}{dt}, \\ x_1 &= x_{1,0} + R \int \omega dt, \\ x_2 &= x_{2,0} - R \int \omega dt, \\ M_{KBIII} &= (F_1 - F_2) R_{KBIII} + J_{KBIII} \frac{d\omega}{dt}. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Отметим, что система (9) имеет вид, необходимый для создания компьютерной модели лифта в среде Simulink [9, 10]. В качестве системы управления асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором рассмотрим частотно-токовое векторное управление с обратной связью по скорости ротора и току статора, при этом проведем

сравнение работы лифтовой установки при линейном и S-образном графиках задатчика интенсивности разгона (остановки).

Модель линейного задатчика интенсивности представлена на рис. 2. Основной частью данной модели является блок задания линейной функции Ramp, который формирует сигнал вида  $y(x) = kx$ .

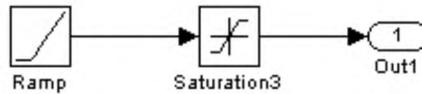


Рис. 2. Модель линейного задатчика интенсивности

Модель S-образного задатчика интенсивности представлена на рис. 3. Данная модель формирует S-образный график за время устанавливаемого величинами в блоках Constant. Итоговая амплитуда сигнала устанавливается в блоке Gain3.

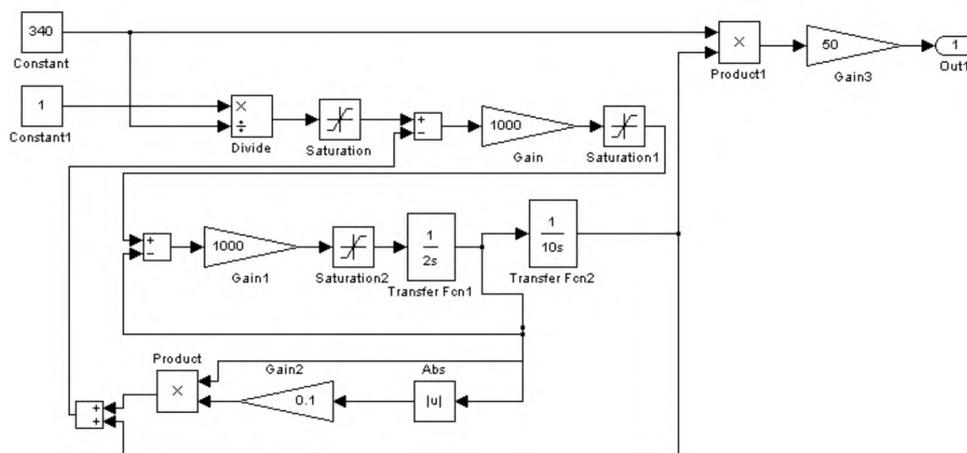


Рис. 3. Модель S-образного задатчика интенсивности

На базе системы (5) можно построить имитационную модель лифтовой установки с канатоведущим шкивом в среде Simulink, которая представлена на рис. 4.

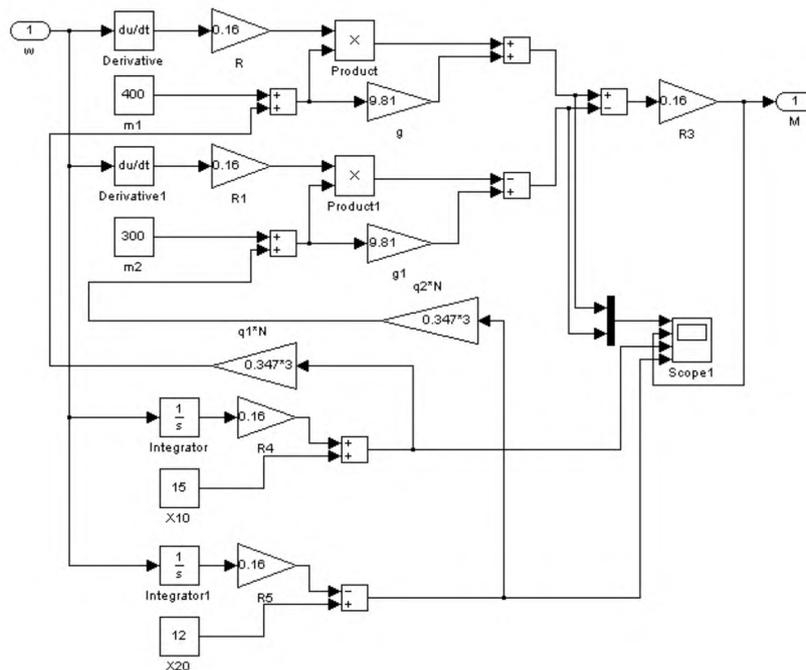


Рис. 4. Имитационная модель лифтовой установки с канатоведущим шкивом

На основании составленных выше моделей строится имитационная модель для исследования динамики движения лифта при различных способах задания скорости. К исследованию подлежат следующие параметры переходного процесса: изменения частоты вращения ротора двигателя, усилий в канатах со стороны кабины (клетки) и со стороны противовеса, а также изменение момента сопротивления на канатопроводящем шкиве.

Проводятся два опыта: первый при линейном задатчике интенсивности, осциллограммы которого приведены на рис. 5, второй при S-образном задатчике интенсивности, осциллограммы которого приведены на рис. 6. Время разгона электродвигателя до скорости вращения ротора 100 рад/с в двух опытах одинаково и равно 0,5 с. При этом масса кабины постоянна, направление движения лифтовой установки соответствует подъему кабины. При этом осциллограммы задатчиков интенсивности идентичны скорости вращения вала ротора двигателя (рис. 5, рис.6).

В опыте с линейным задатчиком интенсивности (рис. 5) заданный график разгона двигателя практически полностью соответствует фактическому. В момент трогания кабины лифта возникает бросок момента на 0,01 секунде, который является пиковым и равным 325 Нм. После окончания разгона на 0,5 секунде происходит скачкообразное уменьшение момента на КВШ. Данные скачки момента могут ощущаться пассажирами, находящимися в кабине лифта.

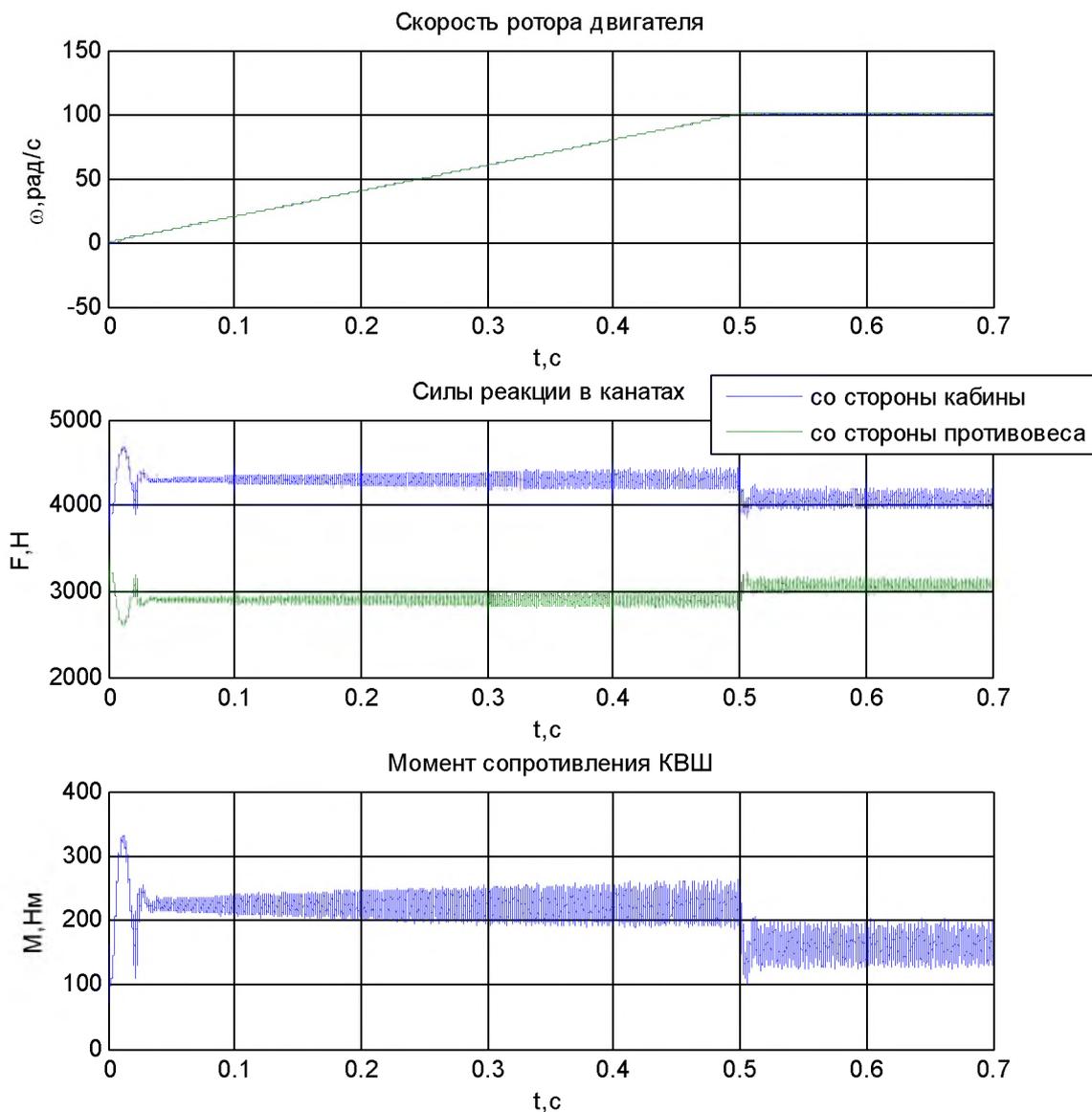


Рис. 5. Осциллограммы переходного процесса при линейном задатчике скорости

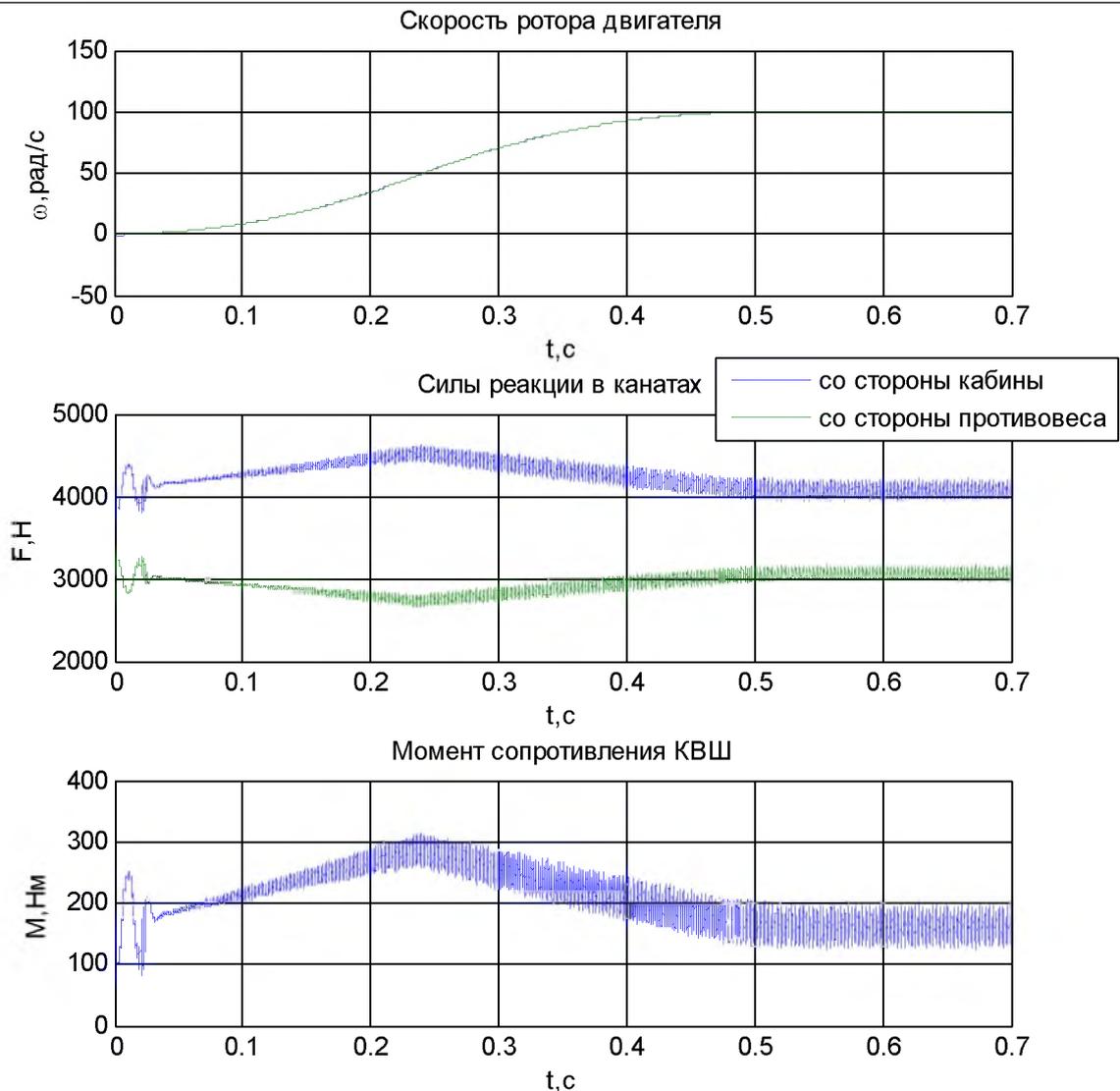


Рис. 6. Осциллограммы переходного процесса при S-образном задатчике скорости.

В опыте с S-образным задатчиком интенсивности (рис. 6) фактический график разгона электродвигателя практически полностью совпадает с заданным. Аналогично с выше приведенным опытом (рис. 5) на 0,01 секунде возникает бросок момента равный 248 Нм, который на 31% меньше первого. На 0,25 секунду приходится пик момента на КВШ, который равен 285 Нм. После окончания разгона момент плавно переходит к установившемуся значению.

### Заключение

Для кинематической схемы лифтовой установки с канатоведущим шкивом составлена математическая модель, описывающая динамику ее движения. При этом введен ряд допущений, позволивший при сохранении адекватности отражения реальных свойств элементов лифтовой установки упростить математический аппарат и использовать базовые законы для описания динамики лифта.

На базе полученной системы уравнений, описывающих процесс передвижения лифтовой установки с канатоведущим шкивом, построена ее имитационная модель в среде Simulink.

С помощью полученной модели проведены исследования динамики движения лифта при различных способах задания скорости ротора электродвигателя, приводящего в действие лифт. Для этого построены компьютерные модели линейного и S-образного задатчиков интенсивности нарастания скорости. Исследованы следующие параметры переходного процесса: изменения частоты вращения ротора двигателя, усилий в канатах со стороны кабины (клетки) и со стороны противовеса, а также изменение момента сопротивления на канатопроводящем шкиве.

В результате проведенных исследований получено, что использование S-образного задатчика интенсивности целесообразней как в пассажирских, так и в грузовых лифтовых установках с КВШ. Это объясняется тем, что при одинаковом времени разгона (остановки) и прочих равных условиях, использование S-образного задатчика интенсивности позволяет снизить пиковый момент на КВШ на 14,04%, что в свою очередь будут положительно сказываться на ресурсе лебедки. При этом сохраняется плавность разгона (остановки).

### **Литература**

1. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. – М.: Изд-во Академия, 2004. – 576 с.
2. Байконушов И.Д., Мусабеков Б.К., Галбаев Ж.Т. Схемы управления грузоподъемных транспортных средств (лифт) // Известия КГТУ. 2019. № 1 (49). – С. 146-152.
3. Бочкарев И.В., Кадыров И.Ш., Галбаев Ж.Т. Разработка базовых схем микропроцессорного управления электромеханическими системами машинных агрегатов / Известия КГТУ, 2009, №16. – С. 260-265.
4. Гершаник Ю.М., Симонов В.А., Чуватов А.Б. Электропривод современных лифтов. – М.: ЦНИИТ Эстроймаш., 1978. – 68 с.
5. Зуев Ф. Г., Лотков Н. А. Подъемно-транспортные установки. – М.: Колос, 2006. – 471 с.
6. Кахиев Р.Н., Столяров Д.П., Орлов Д.Ю. Математическая модель грузоподъемной лебедки с канатопроводящим шкивом // X Международная конференция студентов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук», 23-26 апреля 2013, – Томск.
7. Лифты. Учебник для вузов /под общей ред. Д. П. Волкова. – М: изд-во АСВ, 1999. – 480 с.
8. Манухин С. Б., Нелидов И. К. Устройство, техническое обслуживание и ремонт лифтов. – М.: Академия, 2004. – 338 с.
9. Терёхин В.Б., Дементьев Ю.Н. Компьютерное моделирование систем электропривода постоянного и переменного тока в Simulink: учебное пособие / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2013. – 307 с.
10. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288с.
11. Яновски Л. Проектирование механического оборудования лифтов. – М.: Издательство АСВ, 2005. – 336 с.