

УДК 62-52; 51-74; 519.711.3

## **Плавный разгон и торможение промышленных механизмов**

**И.Ю. Краснов\*, Е.С. Горюнов**

*Томский политехнический университет  
Россия, 634050, Томск, ул. Усова, 7*

Received 02.02.2013, received in revised form 27.02.2013, accepted 24.12.2013

---

*В статье дан алгоритм плавного разгона и торможения для промышленных механизмов, имеющих в своей структуре асинхронные двигатели. Представлены результаты моделирования переходных процессов, протекающих в асинхронном двигателе при его разгоне и торможении. Результаты показали, что использование S-образного профиля разгона и торможения электропривода грузоподъемного механизма, в частности пассажирского лифта, обеспечивает плавность хода кабины лифта, что сказывается на комфортности пассажиров, а также сохранности механических частей оборудования (редуктора привода).*

*Ключевые слова: плавный разгон, плавное торможение, асинхронный двигатель.*

---

### **Введение**

В настоящее время со всё большим развитием и усложнением технологических процессов, с одной стороны, и с доступностью современной преобразовательной техники – с другой, существует необходимость в разработке новых и совершенствовании уже имеющихся методов и алгоритмов управления промышленными механизмами. Механизмы, подвергающиеся частым включениям и отключениям, наиболее подвержены износу металлических конструкций именно во время пуска (разгона) и останова (торможения). Для минимизации нежелательных воздействий на подобные механизмы были разработаны алгоритмы, позволяющие сформировать S-образные профили разгона и торможения.

### **Формирование профилей разгона и торможения**

По S-образным профилям осуществляется постепенное изменение выходной частоты в соответствии с требуемым уровнем и скоростью изменения (рис. 1).

S-образные профили разгона и торможения формируются из трёх отдельных участков: два участка с равноускоренным характером, средний – с прямолинейным. Участки равноускоренного характера строятся в соответствии с параболическим законом, участок прямолинейного характера – с линейным.

Для создания или изменения S-образных профилей разгона и торможения задаются следующие определённые параметры (табл. 1).

---

© Siberian Federal University. All rights reserved

\* Corresponding author E-mail address: kiu@tpu.ru

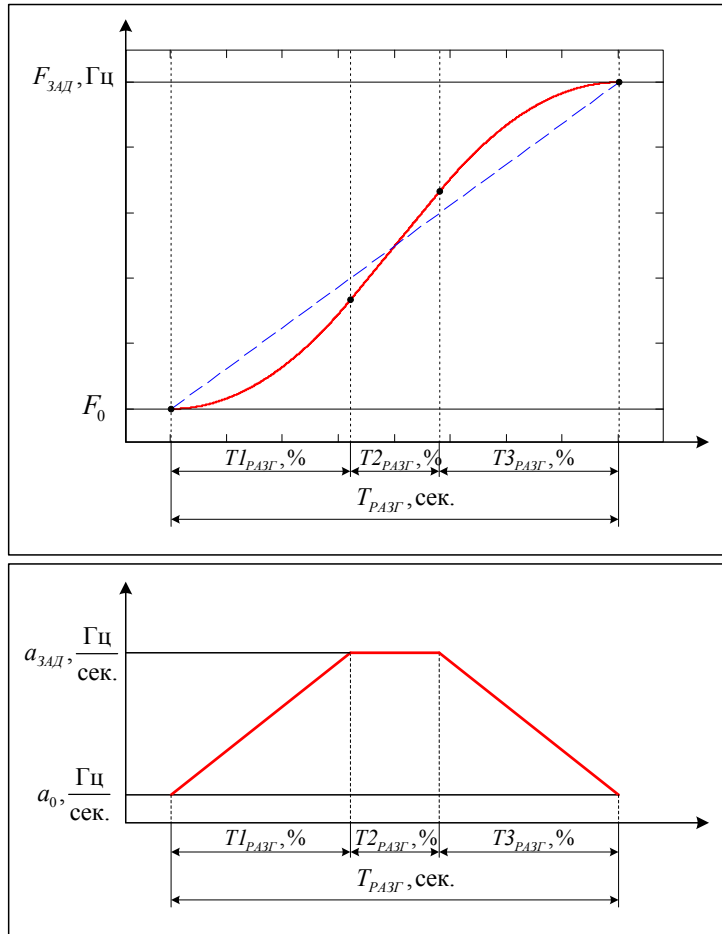


Рис. 1. Общий вид профиля частоты (сверху) и ускорения (снизу) разгона; частоты вращения вала двигателя (Гц):  $F_{зад}$  – требуемая,  $F_0$  – начальная; ускорения вращения вала двигателя (Гц/с):  $a_{зад}$  – требуемое,  $a_0$  – начальное; длительность разгона (с):  $T_{РАЗГ}$  – общее,  $T1_{РАЗГ}$  – первого участка,  $T2_{РАЗГ}$  – линейного участка,  $T3_{РАЗГ}$  – третьего участка

Таблица 1. Параметры профиля разгона с 0 до 5 Гц и торможения с 0 до 5 Гц за 2с

Имя параметра, единицы измерения	Описание и единицы измерения
$F_{зад}$ , Гц	Заданная частота
$T_{РАЗГ}$ , с	Полное время разгона
$T_{ТОРМ}$ , с	Полное время торможения
$T1_{РАЗГ}$ , % от $T_{РАЗГ}$	Время первого участка S-образного профиля разгона
$T3_{РАЗГ}$ , % от $T_{РАЗГ}$	Время третьего S-образного профиля разгона
$T1_{ТОРМ}$ , % от $T_{ТОРМ}$	Время первого участка S-образного профиля торможения
$T3_{ТОРМ}$ , % от $T_{ТОРМ}$	Время третьего участка S-образного профиля торможения

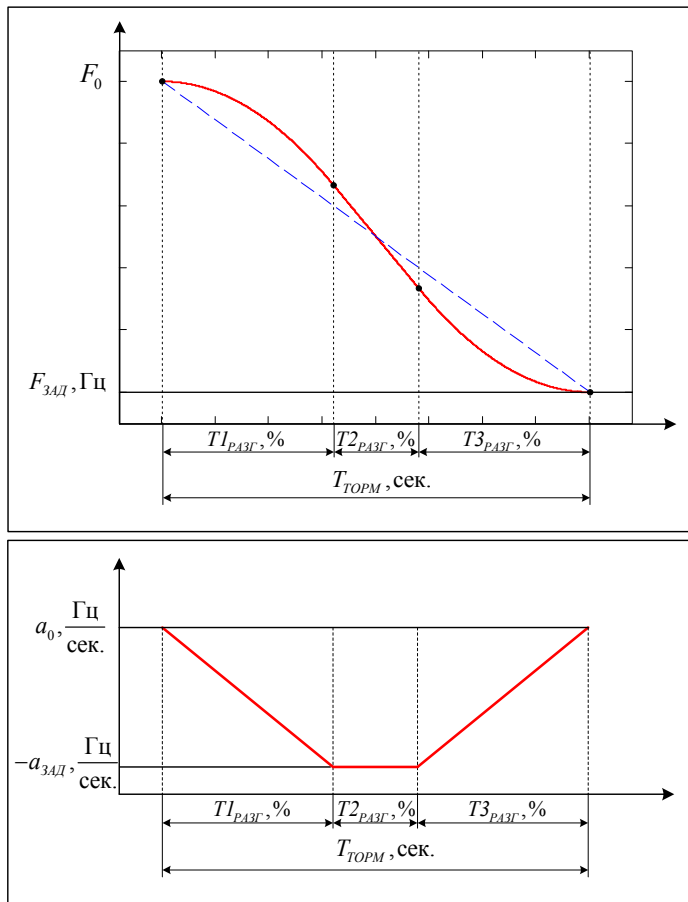


Рис. 2. Общий вид профиля частоты (сверху) и ускорения (снизу) торможения; длительность торможения (с):  $T_{ТОРМ}$  – общее,  $T1_{ТОРМ}$  – первого участка,  $T2_{ТОРМ}$  – линейного участка,  $T3_{ТОРМ}$  – третьего участка

Вид линейного профиля разгона и торможения, при котором  $T_1 = T_3 = 0$ , обозначен на рис. 1, 2 пунктирной линией.

Длительность линейных участков разгона  $T_{РАЗГ}$  и торможения  $T_{ТОРМ}$  вычисляется автоматически, исходя из общего времени разгона  $T_{РАЗГ}$  и торможения  $T_{ТОРМ}$ , первого и третьего участков разгона  $T1_{РАЗГ}$  и  $T3_{РАЗГ}$  и первого и третьего участков торможения  $T1_{ТОРМ}$  и  $T3_{ТОРМ}$ :

$$T_{РАЗГ} = T_{РАЗГ} - (T1_{РАЗГ} + T3_{РАЗГ}); T_{ТОРМ} = T_{ТОРМ} - (T1_{ТОРМ} + T3_{ТОРМ}).$$

### Пример формирования профиля разгона и торможения

Необходимо осуществить разгон двигателя с 0 до 5 Гц по S-кривой за 2 с с длиной первого участка разгона 0,4 с, а третьего – 0,6 с. Полный останов двигателя необходимо осуществить по S-кривой за 2 с с длиной первого участка разгона 0,6 с, а третьего – 0,4 с.

Задаются значения соответствующих параметров, указанных в табл. 2.

Для осуществления торможения двигателя по сформированному профилю с текущей частоты до заданной (или до нулевой – полный останов) следует изменить значение переменной

$F_{зад}$  на требуемое значение частоты. Результат полного останова двигателя ( $F_{зад} = 0$ ) с текуще-го значения (5 Гц) с параметрами из табл. 2 представлен на рис. 4.

Вид профиля разгона двигателя по заданным параметрам представлен на рис. 3.

Таблица 2. Значения параметров профилей разгона и торможения

Разгон	$F_{зад} = 5,0$	$T_{РАЗГ} = 2,0$	$TI_{РАЗГ} = 20; // (0,4 \text{ с})$
	$F_0 = 0,0$		$TЗ_{РАЗГ} = 30; // (0,6 \text{ с})$
Торможение	$F_{зад} = 0$	$T_{ТОРМ} = 2,0$	$TI_{ТОРМ} = 30; // (0,6 \text{ с})$
	$F_0 = 5,0$		$TЗ_{ТОРМ} = 20; // (0,4 \text{ с})$

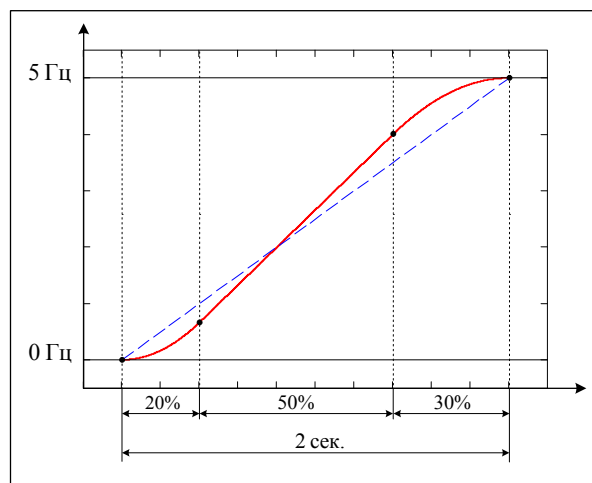


Рис. 3. Профиль разгона по S-кривой с 0 до 5 Гц за 2 с (сплошная линия) в соответствии с параметрами из табл. 2

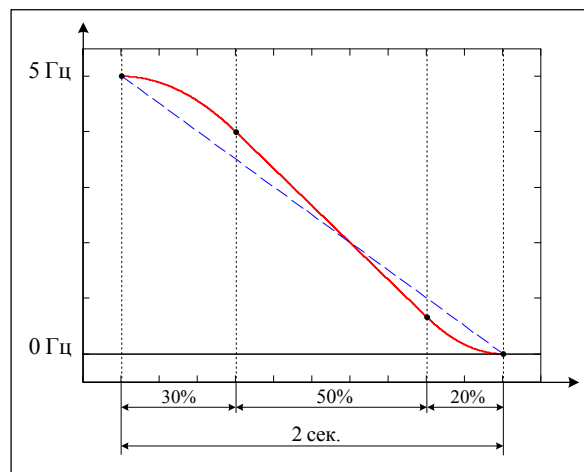


Рис. 4. Профиль торможения по S-кривой с 5 до 0 Гц за 2 с (сплошная линия) в соответствии с параметрами из табл. 2

## Плавный разгон и торможение электропривода пассажирского лифта

Системами, максимально соответствующими современным тенденциям лифтостроения, являются электроприводы по системе «преобразователь частоты – асинхронный двигатель». Они отвечают требованиям и запросам современного рынка, но преимущественно производятся за пределами России, в Европе и Китае, или собираются на отечественных заводах из импортных комплектующих. Система «преобразователь частоты – асинхронный двигатель» вносит новые возможности в управлении и манипулировании электродвигателями. Как следствие, возникает необходимость в формировании качественно новых алгоритмов управления, наиболее адаптивных и совершенных, способных выполнять широкий комплекс задач. Приоритетными из них по сей день являются безопасность, бесперебойность, энергоэффективность и комфортность. Для обеспечения плавности движения механизмов электропривода лифта в качестве формы разгона целесообразно использовать S-образный профиль (рис. 1).

### *Моделирование разгона и торможения электропривода пассажирского лифта*

На этапе разработки алгоритма плавного разгона и торможения было проведено имитационное моделирование работы электропривода пассажирского лифта [1].

Модель электропривода состоит из следующих блоков: асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, источник питания, блок управления и блок задания скорости (рис. 5) [2]. Блок формирования частоты формирует требуемую частоту вращения вала ротора двигателя по S-образным профилям (рис. 6 и 7). Профиль торможения привода лифта формируется из профиля замедления привода и профиля дотягивания (останова) (рис. 7).

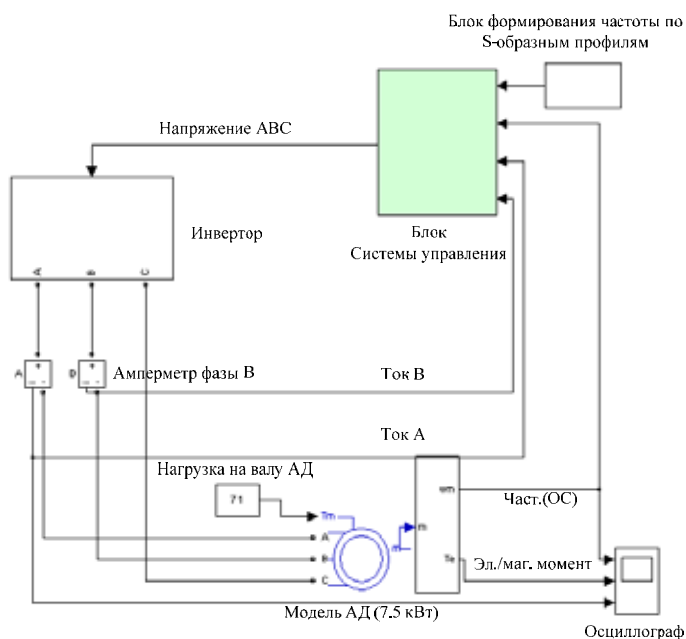


Рис. 5. Модель электропривода пассажирского лифта в системе Matlab / Simulink

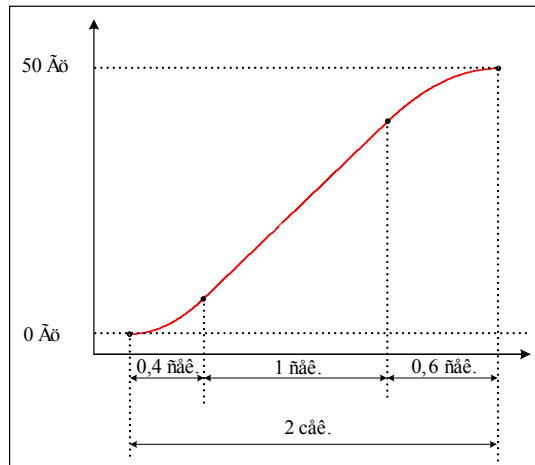


Рис. 6. Профиль разгона привода лифта по S-образному профилю с 0 до 50 Гц за 2 с

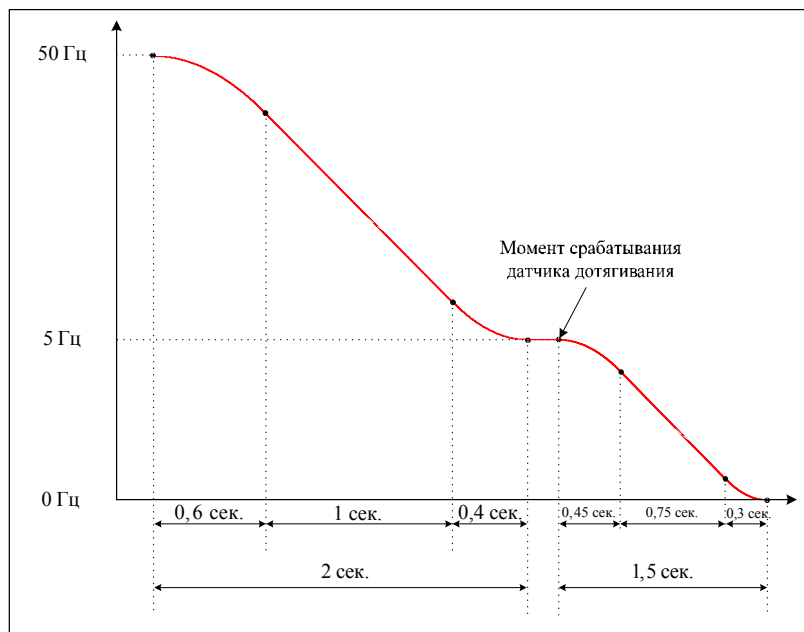


Рис. 7. Профиль торможения привода лифта по S-кривой

АД с короткозамкнутым ротором мощностью 7,5 кВт был выбран на основе проведённых расчётов, исходя из предполагаемой нагрузки (массы кабины лифта с пассажирами).

Трёхфазный источник питания, представляющий собой преобразователь частоты, в зависимости от сигнала управления формирует необходимую частоту и амплитуду питающего напряжения.

В процессе проведения имитационного моделирования были получены кривые переходных процессов, протекающих в АД в процессе его разгона (рис. 8).

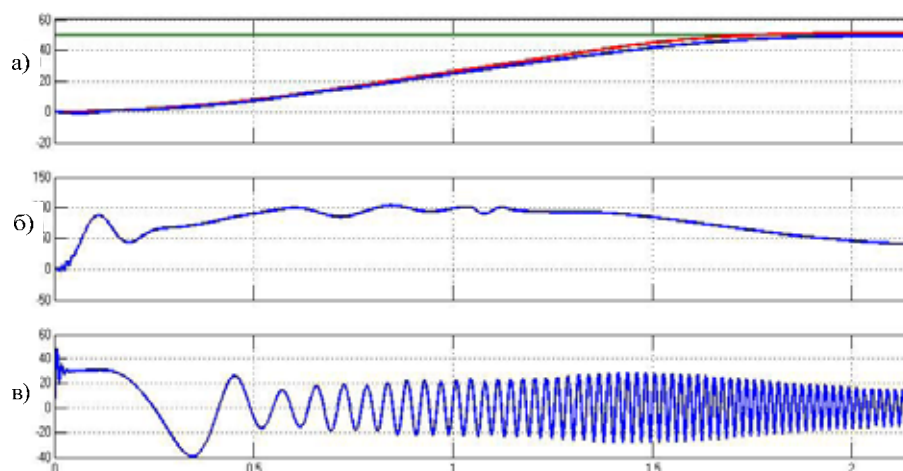


Рис. 8. Кривые переходных характеристик: а) заданная частота и частота вращения вала ротора; б) электромагнитный момент; в) фазный ток

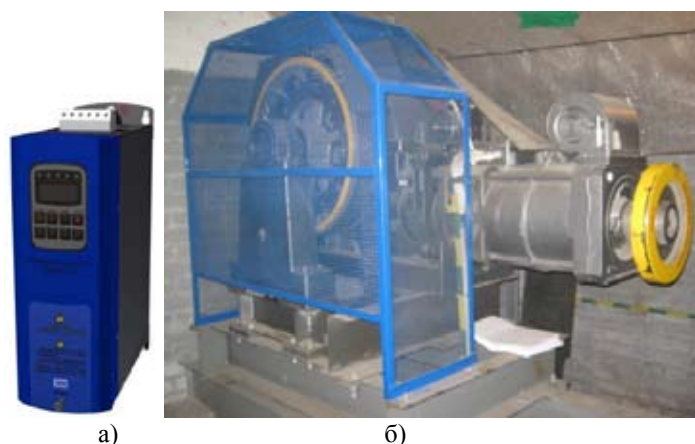


Рис. 9. Преобразователь частоты «ESD-TCL» (ЗАО «ЭлеСи») (а), электропривод лифта с редукторной лебёдкой (б)

На рис. 8 достаточная плавность кривой электромагнитного момента двигателя, а также отсутствие знакопеременного характера свидетельствуют о требуемой плавности процесса разгона электропривода и его механизмов.

При работе в преобразователе частоты алгоритм плавного разгона и торможения обеспечил заметное улучшение характеристик процессов асинхронного редукторного электропривода пассажирского лифта (рис. 9). Переходный процесс по частоте вращения вала ротора АД имеет S-образную форму, схожую с формой заданной частоты.

Результаты проведённых экспериментальных исследований доказали соответствие профиля частоты вращения вала ротора АД S-образным профилям разгона и торможения. Вид кривой при торможении также соответствует профилю задания с участком дотягивания.

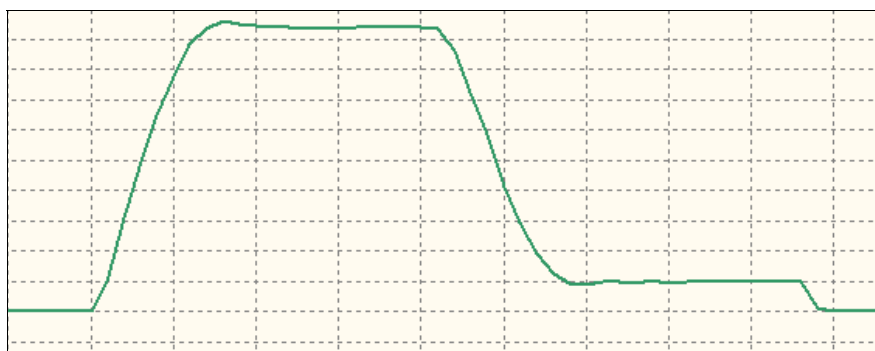


Рис. 10. Частота вращения вала ротора АД при разгоне и торможении (результат эксперимента)

### Заключение

В результате выполнения работы был разработан алгоритм плавного разгона и торможения, также промоделированы процессы, протекающие в асинхронном двигателе. Использование S-образного профиля разгона и торможения электропривода грузоподъемного механизма пассажирского лифта обеспечивает плавность хода кабины лифта, что сказывается на комфортности пассажиров, а также на сохранности механических частей оборудования (редуктора привода). Разработанный алгоритм функционирует в качестве программного обеспечения преобразователя частоты «ESD-TCL 7,5» ЗАО «ЭлеСи».

### Список литературы

- [1] Кетков Ю., Кетков А., Шульц М. MATLAB 7 – программирование, численные методы. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 737 с.
- [2] Богатырев Д.Е., Махонин С.В. и др. // ЭлектроФорум. 2001 № 2.

## Smooth Starting and Smooth Stopping of Industrial Mechanisms

Ivan Yu.Krasnov and Evgenii S. Goryunov  
Tomsk Polytechnic University  
7 Usova Str., Tomsk, 634050, Russia

---

*At the present paper the algorithm of smooth starting and smooth stopping for the industrial mechanisms, having at the structure asynchronous motors presented. Results of modeling of transitive processes, proceeding in asynchronous motor are presented, during its starting and stopping. Results have shown, that using of a S-shaped profile of starting and stopping of electric drive of the load-lifting mechanism, in particular the passenger lift, provides smoothness of a motion of a cabin of the lift that affects comfort of passengers, and also affects safety of mechanical parts of the equipment (a reducer of a drive).*

*Keywords: smooth start; smooth stop; asynchronous motor.*

---