

УДК 621.86

Методы управления нормально - замкнутыми фрикционными тормозными устройствами

Александров Роман Сергеевич¹,
аспирант

61romchik61@mail.ru
SPIN-код: 4000-2628

Ивашков Николай Ильич²,
канд. техн. наук

ptsnpp@yandex.ru

¹ Кафедра РК4 «Подъемно-транспортные системы», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

² ООО НПП «Подъемтранссервис», Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрены методы управления нормально-замкнутыми фрикционными тормозными устройствами, применяемыми в подъемно-транспортных машинах. Проанализированы стадии процесса торможения, выделены проблемы, связанные с динамическими нагрузками при быстром срабатывании тормозов, и предложены способы их решения. Описаны конструктивные решения, такие как электрогидравлические толкатели с регулируемым демпфированием, тормоза с дублированным электромагнитным приводом и электромеханические центробежные толкатели, позволяющие реализовать ступенчатое или плавное торможение. Также рассмотрены методы управления стандартными приводами с использованием ШИМ-контроллеров и частотных преобразователей. Подчеркнута важность интеграции систем управления, датчиков и частотно-регулируемых приводов для дальнейшего совершенствования тормозных систем.

Ключевые слова: подъемно-транспортные машины, фрикционные тормоза, динамические нагрузки, регулирование тормозного момента, ступенчатое торможение, механизмы передвижения кранов

Control methods for spring-applied friction brakes

Aleksandrov Roman Sergeevich¹,
Graduate Student

61romchik61@mail.ru
SPIN-code: 4000-2628

Ivashkov Nikolay Ilyich²,
Candidate of Technical Sciences

ptsnpp@yandex.ru

¹ Department of RC4 "Lifting and Transport systems", Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

² LLC SPE "Podyemtransservis", Moscow, Russia

Abstract. The methods of controlling spring-applied friction braking devices used in lifting and transport vehicles are considered. The stages of the braking process are analyzed, the problems associated with dynamic loads during rapid braking are highlighted, and ways to solve them are proposed. Constructive solutions are described, such as electrohydraulic pushers with adjustable damping, brakes with a duplicated electromagnetic drive and elec-

tromechanical centrifugal pushers that allow for stepwise or smooth braking. The methods of controlling standard drives using PWM controllers and frequency converters are also considered. The importance of integrating control systems, sensors and variable frequency drives for further improvement of braking systems is emphasized.

Keywords: lifting and transport vehicles, friction brakes, dynamic loads, brake torque control, step braking, crane movement mechanisms

Введение. Необходимость снижения скорости и последующей фиксации механизма связана с использованием фрикционных тормозных устройств. Оптимизация процессов торможения механизмов передвижения и поворота подъемно-транспортных машин продолжает оставаться важной и актуальной задачей. До настоящего времени полностью не преодолена устаревшая техническая традиция использования в этих механизмах тормозов, предназначенных для подъемных механизмов, имеющих высокое быстродействие, т. е. минимальное время наложения тормозных колодок. Разные механизмы грузоподъемной машины требуют разных подходов к проектированию этих устройств.

Материалы и методы. Всего выделяют четыре стадии торможения [1]. *Первая стадия* запаздывания начала движения тормозных колодок к шкиву, характеризуется временем t_3 . *Вторая стадия*, движение тормозных колодок к шкиву под действием замыкающей пружины и демпфирующим действием со стороны растормаживающего привода, характеризуется временем t_d . Сумму этих времен называют временем срабатывания тормоза t_{CP} , и оно обеспечивается растормаживающим приводом, т. е. электромагнитом или электрогидравлическим толкателем (ЭГТ). *Третья стадия* — возрастание тормозного момента от нуля (контакта тормозных колодок о шкив) до номинальной величины M_T , характеризуется временем t_{T1} . *Четвертая стадия* — торможение номинальным тормозным моментом M_T , характеризуется временем t_{T2} . Таким образом, суммарное время торможения можно записать как:

$$t_T = t_3 + t_d + t_{T1} + t_{T2}. \quad (1)$$

Механизм подъема требует минимальной просадки груза при срабатывании тормоза, т. е. минимального времени торможения t_T . Именно время срабатывания тормоза t_{CP} в этом случае играет большую роль. Исследование показало [2], что ЭГТ разного конструктивного исполнения обеспечивают разное время обратного хода штока ($t_{CP} = 0,36$ с и $t_{CP} = 0,23$ с), что влияет на величину просадки груза.

Результаты. Однако тенденция к уменьшению времени срабатывания t_{CP} в механизмах передвижения крана и грузовой тележки или механизмах поворота башни чревато возникновением больших динамических нагрузок, передающихся на металлоконструкцию грузоподъемной машины, из-за быстрого наложения полного тормозного момента. Вследствие этого возникают маятниковые колебания груза, которые вызывают неравномерное движение кранов или грузовых тележек и создают неудобства при их эксплуатации,

а в случае башенных кранов выходят из строя редукторы механизма поворота башни из-за большой инерционности стрелы с грузом. Для решения этой проблемы на практике нередко распускают пружины тормозов для уменьшения тормозного момента, а следовательно, увеличивая время торможения, что приводит к аварийным ситуациям, например от угона крана при действии ветровой нагрузки [0]. Исходя из формулы 1, для увеличения времени торможения необходимо растянуть во времени какую-либо стадию торможения.

Обсуждение. Одним из способов является конструктивное изменение *растормаживающих приводов тормозов*. Компания EMG (Германия) выпускает специальное исполнение электрогидравлических толкателей, позволяющее растянуть процесс торможения во времени [4]. Это достигается установкой амортизирующей пружины на штоке и дроссельным клапаном внутри корпуса толкателя. Отечественный аналог такого толкателя выпускает ООО НПП «Подъемтранссервис». На основе выполненных исследований компания осуществляет производство тормозов с плавным регулируемым наложением тормозного момента [5]. Это обеспечивается специальной конструкцией ЭГТ типа РД (регулируемое демпфирование), а именно двумя важными особенностями и в то же время отличиями от стандартных ЭГТ, дросселирующим обратным клапаном внутри корпуса толкателя и демпфирующим узлом на верхней части штока толкателя. Благодаря этому торможение происходит в 2 ступени: уменьшенным по величине тормозным моментом и номинальным.

Клапан 1 (рис. 1) крепится к корпусу насоса 2 с возможностью осевого перемещения и выполнен в виде диска со стержнем с дросселирующими отверстиями 3. Стержень клапана перемещается в глухом отверстии штока 4, связанного с поршнем 5, в котором имеется дренажное отверстие 6.

Демпфирующий узел (рис. 2) состоит из пружины 7, закрепленной одним концом на втулке 8 гайкой 9, которая имеет возможность осевого перемещения по штоку толкателя, за счет выполненного в штоке паза, а вторым концом на штоке, с помощью штифта 10, который перемещается в пазу втулки 11. Втулка связана с верхним рычагом тормоза 12 при помощи оси 13, которая перемещается в пазе штока толкателя 14. Перемещение втулки по штоку ограничивается стержнем 15 с гайкой 16, связанным со штоком.

Конструкция толкателя позволяет производить регулировки по времени действия первой ступени торможения, а также по величине тормозного момента первой ступени, что отличает его от толкателя фирмы EMG. Изменением величины сжатия демпфирующей пружины регулируется тормозной момент первой ступени торможения, чем сильнее сжата пружина, тем меньше будет начальный тормозной момент. Время действия первой ступени (время работы демпфирующей пружины) регулируется в диапазоне от 2 до 8 с в зависимости от положения оси верхнего рычага в пазе штока толкателя верхними гайками. Чем ниже ось в пазе, тем меньше время действия первой ступени торможения. Данными мероприятиями достигается уменьшение скорости опускания штока толкателя, что увеличивает время срабатывания

тормоза до величины $t_{CP} = 0,8 \dots 1$ с, а также позволяют получить характеристику торможения показанную на рис. 2.

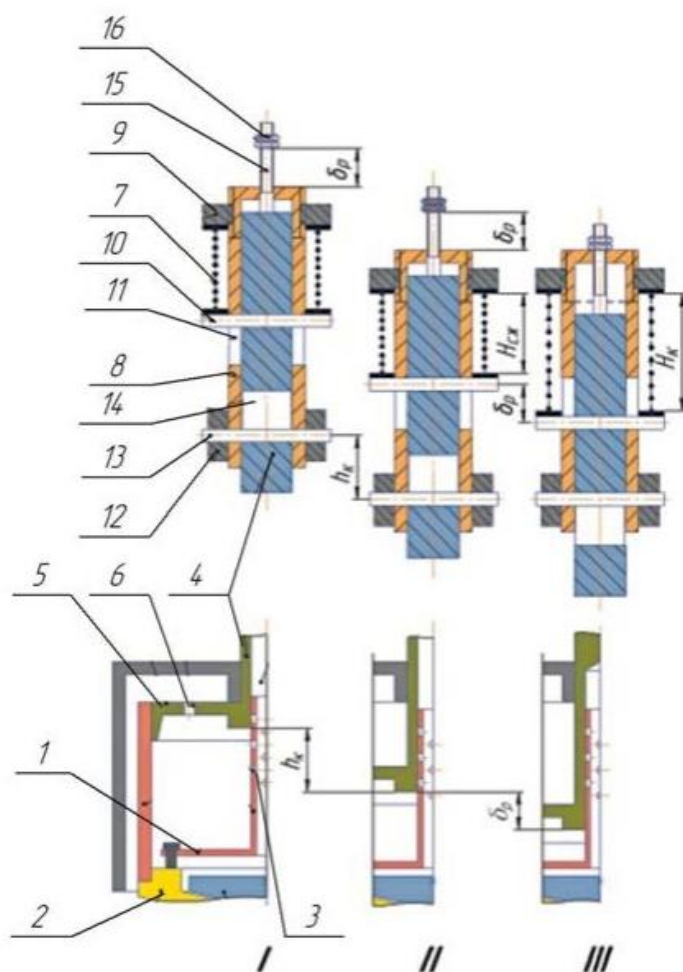


Рис. 1. Схема ЭГТ типа РД

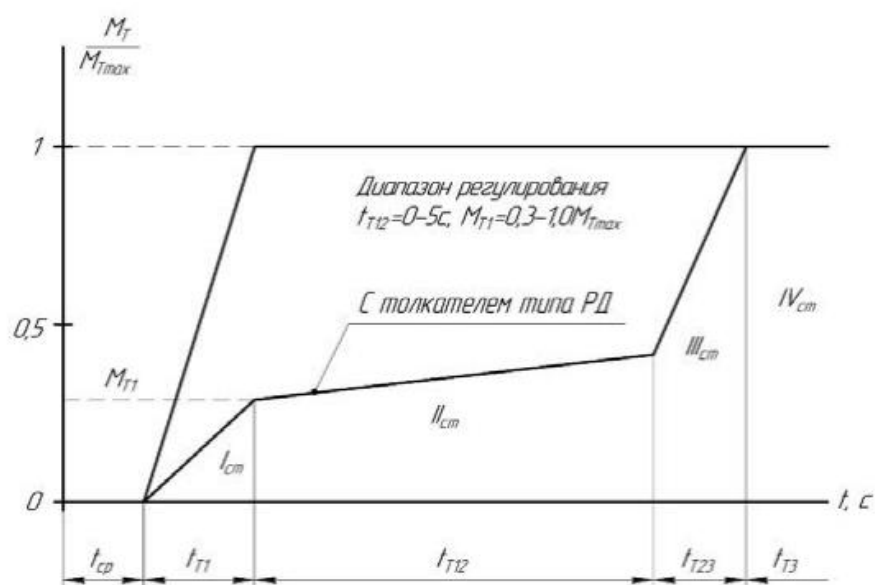


Рис. 2. Обобщенная тормозная характеристика тормозов плавного регулируемого торможения

Другим способом регулирования скорости механизмов является использование специальных конструкций тормозов. Одним из примеров может служить конструкция тормоза с электромеханическим центробежным толкателем (ЭМЦТ) [6]. Для получения пониженной скорости, с которой будет происходить дальнейшее торможение, электродвигатель ЭМЦТ подключается в цепь ротора электродвигателя механизма через согласующий трансформатор. В момент включения приводного двигателя в цепи его ротора появляется постоянное напряжение частотой 50 Гц. Согласующий трансформатор обеспечивает на двигателе ЭМЦТ номинальное напряжение и тормоз размыкается. По мере увеличения скорости приводного двигателя уменьшается частота и напряжение в цепи его ротора, что соответственно приводит к уменьшению частоты вращения двигателя ЭМЦТ. Тормоз начинает подтормаживать и в некоторый момент времени сумма момента приводного двигателя и момента от груза становится равной тормозному моменту. Начинается движение с пониженной скоростью, которое поддерживается автоматически.

Другим примером конструкции тормоза, позволяющей реализовать ступенчатое наложение тормозного момента, может служить тормоз с дублированным приводом растормаживания. Данные конструкции тормозов разработаны и выпускаются ООО НПП «Подъемтранссервис» для повышения надежности и безопасности эксплуатации кранов на объектах использования атомной энергии (ОИАЭ) [7]. Наличие дублирующего привода растормаживания тормоза позволяет закончить операцию при выходе из строя одного из устройств растормаживания без риска для персонала, при нахождении крана в опасной зоне. Исходя из этого каждое растормаживающее устройство подобрано так, чтобы преодолеть усилие замыкающей пружины и растормозить тормоз. Однако если подобрать замыкающую пружину с усилием равным суммарному усилию растормаживающих устройств, то можно добиться торможения в две ступени, уменьшенным тормозным моментом и номинальным, поочередно выключая приводы растормаживания.

Например, существует конструкция тормоза типа ТКПА-200 с двумя электромагнитами МПТ-212 в качестве растормаживающих устройств (рис. 3). Тормоз состоит из основания 1, двух рычагов 2 с тормозными колодками 3, охватывающими тормозной шкив 11. На левом рычаге установлены соосно первый электромагнит 4 и внешняя скоба 6. На правом рычаге установлены соосно второй электромагнит и внутренняя скоба 7. Между рычагами соосно электромагнитам и скобам установлены тяги 9, контактирующие с торцами штоков якорей электромагнитов с размещенной на них замыкающей пружиной 10 тормоза. На тяге установлены гайки для регулировки усилия пружины 5 и хода штоков электромагнитов 8.

Тормоз работает следующим образом. При одновременном включении электромагнитов, они преодолевают усилие замыкающей пружины, тормоз размыкается. При выключении одного электромагнита происходит замыкание тормоза, тормозные колодки касаются тормозного шкива, однако включенный другой электромагнит будет уменьшать усилие замыкающей пружины

ны, при этом тормозной момент первой ступени будет примерно $0,5M_T$, где M_T — номинальный тормозной момент, Нм. Длительность первой ступени определяется временем рабочего состояния второго электромагнита и задается алгоритмом системы управления. После выключения второго электромагнита происходит увеличение тормозного момента до номинального значения, так как замыкающей пружине уже ничего не противодействует. Тем самым увеличивается время нарастания тормозного момента до номинальной величины t_{T1} , что увеличивает время торможения и снижает динамические нагрузки на механизм и металлоконструкцию.

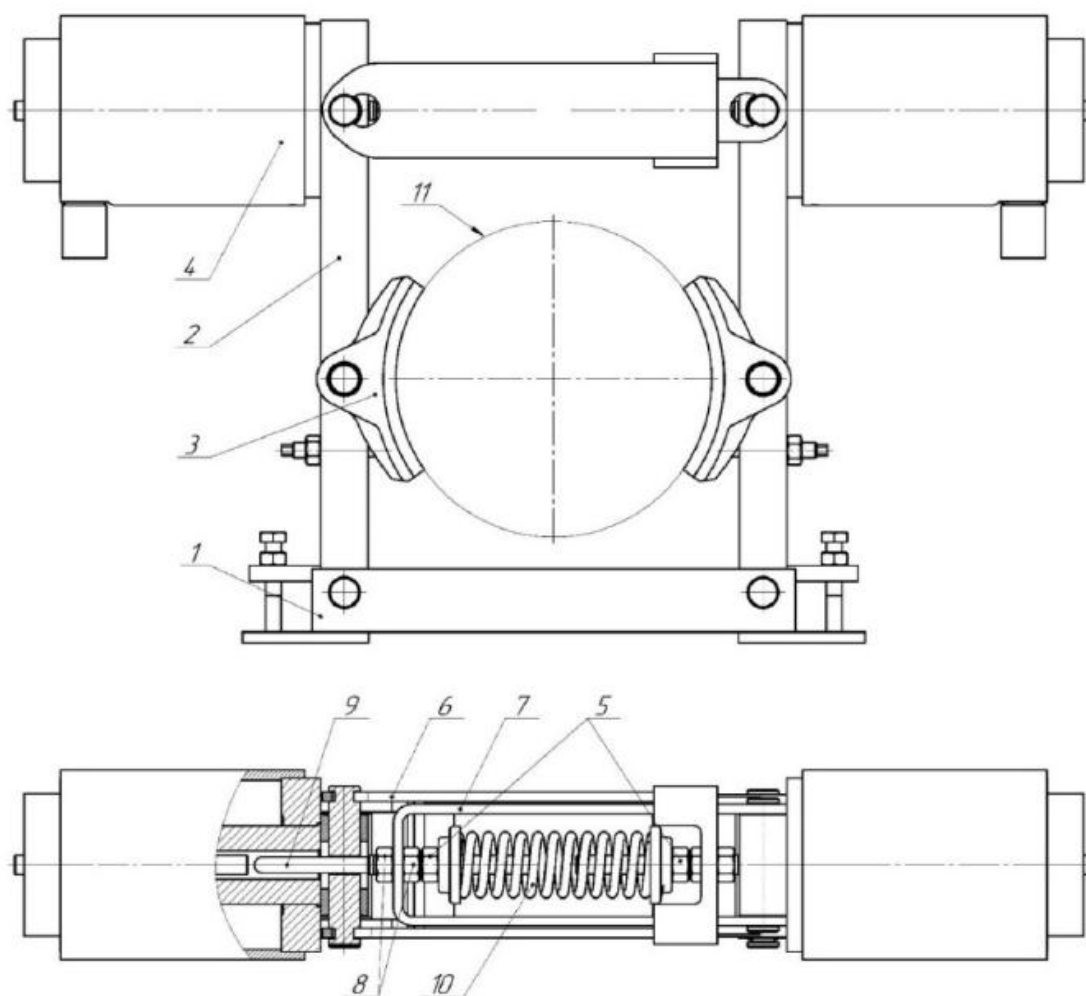


Рис. 3. Общий вид тормоза

Регулирование тормозного момента первой ступени торможения в диапазоне от $0,5M_T$ до M_T возможно уменьшением тока в катушке электромагнита. При уменьшении тока изменяется тяговая характеристика электромагнита, и, соответственно, уменьшается усилие на штоке якоря, что приводит к увеличению усилия замыкающей пружины и, как следствие, тормозного момента. Однако на практике часто используется понижение напряжения питающего катушку электромагнита при помощи ШИМ-контроллера.

Таким образом, еще одним способом регулирования времени торможения является усовершенствование системы управления стандартным растормаживающим приводом. Так как зависимость между напряжением на катушке и усилием электромагнита квадратичная ($F \sim U^2$), то снижение напряжения в 2 раза приводит к уменьшению усилия, противодействующего замыкающей пружине, в 4 раза, что позволяет в широком диапазоне регулировать тормозной момент тормоза и плавно произвести остановку механизма.

Аналогично при помощи частотного преобразователя можно контролировать скорость вращения крыльчатки ЭГТ. Зависимость давления в поршневой полости от скорости вращения крыльчатки также квадратичная ($p \sim \omega^2$), поэтому снижение частоты питающего напряжения приведет к уменьшению усилия ЭГТ и соответственно тормозного момента тормоза. При должном оснащении датчиками последние два способа регулирования способны автоматически корректировать тормозной момент в зависимости от нагрузки и условий работы.

Заключение. Стоит отметить, что быстрое развитие электронно-вычислительной техники и появление частотно-регулируемого привода, позволило регулировать частоту вращения электродвигателя, а следовательно, и замедление механизма. Это снижает динамические нагрузки на кран, поскольку, они зависят от величины максимального тормозного момента и скорости увеличения этого момента с течением времени. Однако не все краны по разным техническим и экономическим причинам оснащены частотно-регулируемым приводом, а в случае экстренного торможения механизм останавливается только механическим тормозом, без использования электрического торможения. Поэтому задача снижения динамических нагрузок решается с помощью тормозных устройств. Дальнейшее совершенствование тормозных систем связано с внедрением алгоритмов управления, использованием датчиков реального времени и интеграцией с частотно-регулируемыми приводами.

Список источников

- [1] Костромин А.Д., Ивашков Н.И. Критерии оценки и выбора тормозов по характеристикам процесса торможения. *Подъемно-транспортное дело*, 2007, № 6, с. 2–8.
- [2] Ивашков Н.И., Костромин А.Д., Горобец Г.А. Нормирование просадки груза в крановых механизмах подъема. *Подъемно-транспортное дело*, 2007, № 1, с. 2–6.
- [3] Абрамович И.И., Березкина Ю.В., Ивашков Н.И., Костромин А.Д. Безопасность кранов на рельсовых путях. *Подъемно-транспортное дело*, 2009, № 1, с. 6–8.
- [4] Brochure Electro Hydraulic Thrusters EHLTY. URL: https://www.emg.elexis.group/fileadmin/user_upload/emg/Sicherheitskomponenten/EMG-ELDRO/EMG-ELHY/20221212_EMG_ELHY_RU_Rev00.pdf (accessed 15.05.2025).
- [5] Ивашков Н.И., Костромин А.Д. Тормоза с плавным регулируемым наложением тормозного момента для механизмов передвижения и поворота кранов. *Подъемно-транспортное дело*, 2016, № 3, с. 8–13.
- [6] Смольяков А.И. Теоретическое и экспериментальное исследование системы регулирования скорости крановых механизмов тормозами с электромеханическими толкателями. *Подъемно-транспортное дело*, 2016, № 3, с. 4–8.
- [7] Ивашков Н.И., Казуто Ю.В., Костромин А.Д., Карасев Д.А. Тормоза кранов, работающих с радиоактивными грузами. *Подъемно-транспортное дело*, 2015, № 4–5, с. 26–28.