

БАЛЛАДА О ТОРМОЗАХ

Е.В. Попов, канд. техн. наук,
Генеральный директор
ООО «Кранэлектропривод»
Г. Москва
(495) 686-31-60
kranpribor@mail.ru

Эта статья является итогом наблюдений инженера – электроприводчика, ежедневно занимающегося наладкой и испытаниями крановых электроприводов. А неотъемлемой частью кранового электропривода является механический тормоз (рис. 1).

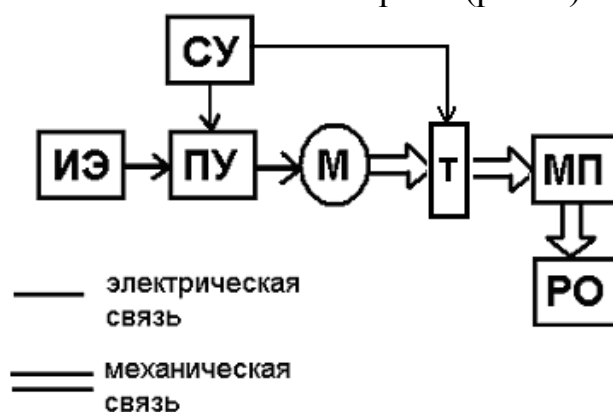


Рис. 1 Функциональная схема кранового электропривода

ИЭ – источник энергии; ПУ – преобразовательное устройство (в простейших электроприводах отсутствует и заменяется коммутационной аппаратурой); СУ – система управления; М – электродвигатель; Т – тормоз; МП – механическая передача; РО – рабочий орган.

Ситуация с выбором, качеством изготовления и эксплуатацией тормозов на кранах стала настолько катастрофической, что не поднять эту проблему в специализированном журнале невозможно. К сожалению, оказались забыты не только особенности применения тормозов, но в ряде случаев подвергается сомнению сама необходимость их применения.

Необходимо напомнить функции выполняемые тормозом в крановом электроприводе:

1. Фиксация груза, стрелы, при неработающем приводе. В механизмах подъема груза или стрелы момент нагрузки имеет т.н. «активный» характер, т.е. груз всегда стремится раскрутить двигатель в сторону спуска. При подъеме груза двигатель развивает двигательный момент, преодолевающий момент нагрузки, при спуске, развивая тормозной момент, препятствует его свободному опусканию (падению). Если поднять груз с основания и отключить двигатель, не зафиксировав его вал тормозом, груз будет опускаться с ускорением под действием собственного веса, т.е.

говоря бытовым языком будет падать. При этом может разрушиться как сам груз от соударения с основанием, так и металлоконструкция крана. Скорость вращения вала двигателя за короткое время достигает такого значения, что под действием центробежных сил разрушаются его вращающиеся элементы (обмотки ротора). Отключение электродвигателя может быть и внезапным для машиниста крана, например при обесточивании.

Чтобы тормоз обеспечивал удержание номинального груза в статическом состоянии на весу его момент выбирается с определенным коэффициентом запаса торможения. Коэффициентом запаса торможения k называется отношение момента M_T создаваемого тормозом, к статическому крутящему моменту M_1 создаваемому весом номинального груза на тормозном валу и определяемому с учетом потерь в полиспасте и механизме, способствующих удержанию груза:

$$k = \frac{M_T}{M_1}$$

Статический крутящий момент определяют по формуле

$$M_1 = \frac{QD_\delta \eta_0}{2ai_0}$$

где Q - вес номинального груза вместе с грузозахватным устройством; D_δ - диаметр барабана, измеренный по центрам каната; a - кратность полиспаста; i_0 - передаточное число механизма от вала барабана до тормозного вала; η_0 - общий К.П.Д. механизма учитывающий потери в полиспасте, на барабане и в механических передачах.

Правила Устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов предъявляют следующие требования к тормозам:

2.4.1. Механизмы подъема груза и изменения вылета должны быть снабжены тормозами нормально закрытого типа, автоматически размыкающимися при включении привода.

2.4.2. У грейферных 2-х барабанных лебедок с отдельным электрическим приводом тормоз должен быть установлен на каждом приводе.

На приводе поддерживающего барабана допускается устройство педали (кнопки) для растормаживания механизма при неработающем двигателе; при этом растормаживание должно быть возможным только при непрерывном нажатии на педаль (кнопку).

При срабатывании электрической защиты или выключении электрического тока тормоз должен автоматически замыкаться даже в том случае, когда педаль (кнопка) нажата.

2.4.3. Механизмы подъема груза и изменения вылета должны быть снабжены тормозами, имеющими неразмыкаемую кинематическую связь с барабанами.

В кинематических цепях механизмов подъема электрических талей допускается установка муфт предельного момента.

2.4.4. Тормоз механизма подъема груза и стрелы кранов, за исключением случаев, указанных в ст. 2.4.5 и 2.4.6 настоящих Правил, должен обеспечивать тормозной момент с коэффициентом запаса торможения, принимаемым по нормативным документам, но не менее 1,5.

2.4.5. Для снижения динамических нагрузок на механизме подъема стрелы допускается установка двух тормозов с коэффициентом запаса торможения у одного из них не менее 1,1, у второго - не менее 1,25. При этом наложение тормозов должно производиться последовательно и автоматически.

2.4.6. У механизма подъема с двумя одновременно включаемыми приводами на каждом приводе должно быть установлено не менее одного тормоза с запасом торможения 1,25. В случае применения двух тормозов на каждом приводе и при наличии у механизма двух и более приводов коэффициент запаса торможения каждого тормоза должен быть не менее 1,1.

2.4.7. У кранов, транспортирующих расплавленный металл и шлак, ядовитые или взрывчатые вещества, механизмы подъема груза и изменения вылета должны быть оборудованы двумя тормозами, действующими независимо друг от друга. У специальных металлургических кранов (колодцевых, стрипперных, клещевых и т.п.), предназначенных для транспортировки раскаленного металла, а также у кранов, предназначенных для перемещения радиоактивных, ядовитых и взрывчатых веществ, механизмы подъема также должны быть снабжены двумя тормозами. При наличии на приводе механизма подъема груза и стрелы двух и более тормозов коэффициент запаса торможения каждого из них должен составлять не менее 1,25.

2.4.8. При установке двух тормозов они должны быть спроектированы так, чтобы в целях проверки надежности одного из тормозов можно было безопасно снять действие другого тормоза.

2. Фиксация механизмов горизонтального перемещения кранов при неработающем приводе. Данные механизмы имеют так называемую «реактивную» природу момента нагрузки, т.е. нагрузка всегда препятствует вращению. Однако возможно самопроизвольное перемещение под действием ветра, уклона пути, колебаний подвешенного груза. Поэтому, в большинстве случаев в механизмах горизонтального перемещения также устанавливают тормоза. Правила определяют для тормозов механизмов передвижения менее строгие требования:

2.4.9. Тормоза на механизмах передвижения кранов (тележек) должны устанавливаться в тех случаях, если:

- а) кран предназначен для работы на открытом воздухе;
- б) кран предназначен для работы в помещении и передвигается по крановому пути, уложенному на полу;

в) кран предназначен для работы в помещении на крановом пути и передвигается со скоростью более 32 м/мин.

2.4.10. Тормоза на механизмах поворота устанавливаются на всех кранах, работающих на открытом воздухе, а также на кранах, работающих в помещении (группа классификации (режима) механизма М2 и более по ИСО 4301/1).

2.4.11. Тормоза механизмов передвижения и поворота кранов (за исключением механизмов передвижения стреловых кранов, а также механизмов поворота башенных, стреловых с башенно-стреловым оборудованием и порталных кранов) должны быть нормально закрытого типа, автоматически размыкающимися при включении привода.

На стреловых кранах, механизм передвижения которых оборудован управляемым тормозом нормально открытого типа, должен устанавливаться стояночный тормоз.

Тормоза на механизме передвижения железнодорожных кранов должны соответствовать установленным нормам.

На механизмах поворота башенных, стреловых с башенно-стреловым оборудованием и порталных кранов допускается устанавливать управляемые тормоза нормально открытого типа. В этом случае тормоз должен иметь устройство для фиксации его в закрытом положении. Такое устройство может быть установлено на рычагах или педалях управления тормозом.

2.4.12. Если системой управления крана предусмотрено торможение электродвигателем, то допускается автоматическое замыкание тормозов механизмов передвижения или поворота на нулевой позиции контроллера с задержкой по времени не более 1с или электрическое управление замыканием (размыканием) тормозов на нулевой позиции контроллера педалью (кнопкой).

2.4.13. Тормоза механизмов передвижения и поворота у кранов, работающих на открытом воздухе, должны обеспечивать остановку и удержание крана (тележки) при действии максимально допустимой скорости ветра, принимаемой по ГОСТ 1451 для рабочего состояния крана, с учетом допустимого уклона.

2.4.15. Груз, замыкающий тормоз, должен быть укреплен на рычаге так, чтобы исключалась возможность его падения или произвольного смещения. В случае применения пружин замыкание тормоза должно производиться усилием сжатой пружины.

3. Снижение скорости движущихся рабочих органов крана вплоть до остановки путем превращения запасенной вращающимися частями привода кинетической энергии в тепловую. В современных системах кранового электропривода эта функция тормоза, как правило, не используется, поскольку, повсеместно используется электрическое торможение до нулевой скорости. Тем не менее, в эксплуатации и производстве находится большое количество простейших систем кранового

электропривода, где тормоз накладывается при номинальной скорости вращения вала сразу после отключения электродвигателя от сети.

Как отмечалось выше, при работе тормоза совершается превращение кинетической энергии движущихся масс в тепловую энергию, и, следовательно, элементы тормоза нагреваются, что ухудшает условия работы тормозной накладки, увеличивая ее износ и понижая коэффициент трения. Понижение коэффициента трения при нагреве приводит к тому, что тормоз не будет в состоянии остановить обслуживаемый им механизм на нормированном тормозном пути или, что более важно удержат груз на весу в грузоподъемном устройстве.

Таким образом, недооценка тепловых явлений в тормозах может привести к ненормальной работе тормоза и даже к аварии.

В настоящее время колодочные тормоза (за исключением тормозного шкива и кожуха) изготавливаются на специализированных предприятиях. Краностроительные заводы изготавливают тормозной шкив, кожух и устанавливают тормоз на лебедке.

К сожалению, в последнее время при эксплуатации тормозов выявлен ряд серьезных проблем.

Низкое качество изготовления тормозов. Во многих случаях тормоза отечественного производства имеют крайне низкое качество. Вот неполный перечень встретившихся автору при испытаниях серийных лебедок дефектов тормозов:

- Непараллельность тормозных поверхностей колодок;
- Заедания в рычажной системе;
- Несоблюдение размеров рычагов;
- Течь рабочей жидкости через уплотнения в корпусе гидротолкателя.

Однако, даже идеально изготовленный тормоз при его неправильной установке на лебедку, и, некачественно изготовленном тормозном шкиве не обеспечит требуемого тормозного момента. Часто можно встретить следующие дефекты:

- Установка тормозного устройства с перекосом относительно тормозного шкива;
- Волнистая поверхность тормозного шкива;
- Конусовидность тормозного шкива;
- Повышенная вибрация тормозного устройства из-за неотбалансированного тормозного шкива.

Кроме того, для равномерного прилегания колодок к шкиву они перед установкой на лебедку должны быть притерты на специальном стенде. К сожалению, данная операция на большинстве российских краностроительных заводах не проводится. В простейших системах кранового электропривода, где тормоз накладывается на номинальной скорости колодки рано или поздно притрутся естественным путем. В современных системах

электропривода, где торможение до нулевой скорости производится электродвигателем, колодки практически не истираются. Таким образом, для современных систем электропривода притирка колодок является обязательной, в противном случае тормоз может не обеспечить требуемого момента.

Формальный выбор типоразмера тормоза. Любой тормоз имеет определенный диапазон развиваемых тормозных моментов при разных значениях настроечного параметра определяющего тормозной момент. Чаще всего это длина пружины. Если выбрать тормоз по предельному значению тормозного момента, то с учетом некоторых перечисленных выше дефектов тормоз может не обеспечить удержание контрольного груза при статических и динамических испытаниях. Совсем недавно автор наблюдал подобную картину на одном российском краностроительном заводе при испытании новой модификации башенного крана. Добиться удержания груза удалось, только установив тормоз большего типоразмера и с большим трудом его отрегулировав.

Неудачное построение схемы управления тормозом, применение электрических аппаратов, не предназначенных для коммутации цепей тормоза.

Пример. Для управления тормозом с мощным электромагнитом постоянного тока одним российским краностроительным заводом был применен аппарат, предназначенный для коммутации переменного тока – магнитный пускатель. Дуга, возникающая при отключении магнита, вывела из строя главные контакты пускателя после нескольких десятков коммутаций. Тогда было принято решение, широко распространенное в радиолюбительской практике – катушка электромагнита была зашунтирована диодом. Это привело к значительной задержке в наложении тормоза и провалу груза при торможении.

Механизмы передвижения большинства мостовых и козловых кранов, как правило оснащены тормозами с приводом от электрогидравлических толкателей. При этом электродвигатели толкателей включены параллельно электродвигателям передвижения. Таким образом, наложение тормозов производится сразу после отключения двигателей, что приводит к резкому торможению и раскачиванию груза. Из-за этого обслуживающий персонал «распускает тормоза», выводя их из действия.

Между тем согласно 2.4.12. «Если системой управления крана предусмотрено торможение электродвигателем, то допускается автоматическое замыкание тормозов механизмов передвижения или поворота на нулевой позиции контроллера с задержкой по времени не более 1с или электрическое управление замыканием (размыканием) тормозов на нулевой позиции контроллера педалью (кнопкой)» большинство выпускаемых для механизмов передвижения панелей управления оборудованы для выполнения этих требований, однако краностроительные заводы, вероятно для экономии провода упорно включают гидротолкатели параллельно приводным электродвигателям.

Неправильная регулировка тормоза. Изучение множества недавних случаев падения груза из-за невыполнения тормозом своих функций позволяет сделать вывод о резком снижении квалификации обслуживающего персонала.

Пример. После падения груза на одном из башенных кранов было установлено, что тормозной шкив при наложенных колодках прокручивается вручную. Представитель владельца крана – главный механик (!) объяснил, что в управлении механизации нет ни одного человека, кто бы мог правильно отрегулировать тормоз.

Пример. Один из заводов космической отрасли обратился в специализированную фирму с просьбой установить второй тормоз на механизме подъема мостового крана г/п 10 т. Оказалось, что тормоз не может удержать груз массой 1 т. На вопрос – не проще ли в этом случае отрегулировать тормоз, представитель завода ответил, что предприятие таких специалистов не имеет (при наличии нескольких десятков единиц грузоподъемной техники).

Между тем проверка исправности, и, при необходимости регулировка тормоза является первейшей обязанностью машиниста крана....

К сожалению, из-за неправильной регулировки тормоз или не обеспечивает требуемого тормозного момента, или как говорят «зажат», что приводит к перегрузке приводного электродвигателя и чрезмерному нагреву тормозного шкива. А при перегреве коэффициент трения фрикционных материалов, как говорилось ранее уменьшается.

В случае применения современных систем частотнорегулируемого электропривода, имеющих чувствительные защиты от перегрузки электродвигателя, работа при зажатом тормозе становится невозможной.

Говорят, что в трудное для страны время расцветают всякие около- и антинаучные течения. Не обошли они стороной и подъемно-транспортное машиностроение.

Легенда о самотормозящей передаче. Однажды автор беседовал с директором одного из заводов, производящего лебедки, и, посетовал на низкое качество тормозов, на что получил буквально следующий ответ: «с тормозами мне все ясно – они не нужны, должен на себя все брать редуктор».

Вряд ли директор придумал это сам, скорее озвучил чье-то мнение, из чего становится ясно, что эта идея блуждает в околоинженерном мире. Если перевести ее на технический язык, речь идет о самотормозящей передаче. Наиболее распространенной механической передачей, могущей обладать свойством самоторможения является червячная передача. При каком же условии наступает самоторможение? Очевидно, что момент от потерь в механической передаче должен полностью компенсировать момент от подвешенного груза. Потери в механической передаче выражаются коэффициентом полезного действия - КПД.

В крановом электроприводе существует понятие обратного КПД, т.е. КПД механизма при обратном направлении потока энергии – от рабочего органа к двигателю. Согласно [] обратный КПД механизма

$$\eta_{\text{обр}} = 2 - \frac{1}{\eta_{\text{пр}}}$$

Где $\eta_{\text{пр}}$ - прямой КПД

Для самоторможения значение обратного КПД должно быть равно 0. Поэтому условием самоторможения является значение прямого КПД меньше или равно 0,5.

Иначе говоря, несмотря на стремление груза раскрутить вал электродвигателя, электродвигателю все же приходится работать в двигательном режиме, преодолевая сопротивление трения в элементах передачи, расположенных между валом двигателя и самотормозящимся элементом.

Следует отметить, что при проектировании редукторов стараются добиться максимального значения КПД, поскольку низкое значение КПД приводит к необходимости увеличения мощности электродвигателя и повышенному выделению тепла. Таким образом, механическая передача с КПД менее 0,5 является крайне неэффективной с экономической точки зрения. Поэтому самотормозящие передачи применяются в подъемных устройствах крайне ограничено, например, в электроприводе якорно-швартовых механизмов. Для этого применяют специальные червячные редукторы с КПД менее 0,5. Тем не менее, все эти механизмы оборудованы тормозом. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов оговаривают случаи применения самотормозящих червячных передач однозначно:

2.4.14. У механизмов кранов червячная передача не может служить заменой тормоза.

Это связано с изменением значения КПД червячного редуктора в процессе работы. При приработке редуктора значение его КПД может увеличиться, и передача перестанет быть самотормозящей.

Существуют также специальные грузоупорные тормоза, например, применяющиеся в отечественных электроталях серии ТЭ вместе с обычным колодочным тормозом. Такие тормоза препятствуют опусканию груза под действием собственного веса. Опускание груза возможно только при работе электродвигателя. Грузоупорные тормоза имеют достаточно сложную конструкцию, выделяют при работе большое количество тепла, поэтому применяются в механизмах небольшой мощности. Кроме того, при остановке груза грузоупорным тормозом происходит достаточно большой выбег, что требует применения колодочного тормоза для быстрой фиксации вала. В настоящее время при разработке новых отечественных талей грузоупорный тормоз не применяется.

Таким образом, самотормозящая передача является лишь необязательным дополнением к механическому тормозу, а не его заменой.

Легенда об обратной связи

С появлением на кранах современного частотнорегулируемого электропривода, ряд фирм занимающихся его внедрением акцентировали внимание на одной якобы важнейшей его функции – возможность удержания груза на весу при разомкнутом тормозе. Для этого необходима установка на валу электродвигателя датчика скорости, т.е. введение обратной связи. Почему-то считается, что при этом повышается безопасность. Вид остающегося на месте груза при принудительно расторможенном тормозе настолько потряс воображение некоторых руководителей, что с ходу был сделан вывод о полной ненужности механического тормоза. Между тем, Правила гласят:

«2.4.1. Механизмы подъема груза и изменения вылета должны быть снабжены тормозами нормально закрытого типа, автоматически размыкающимися при включении привода».

Почему-то никто не думает, что будет с таким механизмом при внезапном отключении питающей кран линии. А будет падение груза, т.к. при отсутствии электроэнергии удержание груза на весу электродвигателем невозможно.

Удержание груза (лифтовой кабины) на весу в некоторых случаях применяется в электроприводе лифтов. Однако механический тормоз существует и там. Кроме того лифт помимо механического тормоза имеет и другие устройства безопасности предотвращающие падение кабины при неисправности тормоза или обрыве каната. Кран, ввиду того, что груз перемещается посредством свободно подвешенного каната таких устройств не имеет.

Следует отметить, что система кранового электропривода, где производится удержание груза на весу при неисправном тормозе существует более сотни лет и применяется по настоящее время. Это система генератор – двигатель (Г-Д или по-другому система Леонарда), с успехом используется на отечественных башенных кранах типа КБ-503, КБ-504, КБ-515. Удержание, или очень медленное, практически не заметное глазу опускание груза при неисправном тормозе осуществляется безо всяких обратных связей, просто в силу наличия постоянно замкнутого контура «якорь генератора - якорь электродвигателя». Однако это возможно только при работе мотор-генераторного агрегата. Многолетний опыт эксплуатации таких систем показал, что обслуживающий персонал, не зная описанного выше свойства электропривода, перестает следить за исправностью тормоза (груз-то при запитанном кране, включенном генераторе и неисправном тормозе не опускается). В результате, при внезапном обесточивании крана происходит падение груза. Автору пришлось воочию наблюдать несколько таких случаев.

Таким образом, удержание груза на весу посредством электропривода является не более чем рекламным трюком и никоим образом не является альтернативой механическому тормозу. Кроме того это приводит к дополнительному расходу электроэнергии при неработающем механизме

подъема и необходимости установки дорогостоящего и ненадежного датчика скорости.

Такая система может быть полезна лишь для проверки исправности тормоза. При этом включение режима удержания груза на весу должно считаться неисправностью тормоза со срабатыванием сигнализации и фиксацией данного события регистратором параметров.

Любопытно, что наиболее горячими сторонниками отмены тормозов обычно являются люди, непосредственно отвечающие за качество их изготовления, установки и регулировки. Мотивация проста – хорошо тормоза выбирать, делать и регулировать мы не можем, а потому лучше вообще их исключить, а их функции возложить на продукцию стороннего производителя (редуктора, электропривода), пускай он и отвечает.

К сожалению, в последнее время наши краностроители настолько увлеклись дискуссиями о характеристических числах, внедрением разного рода электронных приборов безопасности, регистраторов параметров, что о главном устройстве безопасности крана – о механическом тормозе как-то забыли. Грош цена любому самому совершенному прибору безопасности, если при его срабатывании кран не будет остановлен и его механизмы не будут надежно зафиксированы тормозами.

Кстати, ни железнодорожники, несмотря на появление суперсовременных скоростных поездов с электрическим торможением, ни автомобилестроители, несмотря на появление гибридных автомобилей с электрическим торможением что-то не спешат отказываться от механических тормозов. Сторонникам отмены тормозов на кранах для начала можно посоветовать демонтировать их на собственных автомобилях. Только вот согласятся ли?