

подшипникам качения. В случае масляного голодания в качестве гидродинамического уравнения используется уравнение осредненного течения, выведенное Патиром и Чже-ном. При использовании пластичных смазочных материалов используется модифицированное уравнение Рейнольдса, выведенное авторами статьи, которое используется как в случае избыточного количества смазочного материала, так и в случае масляного голодания.

В процессе длительной эксплуатации изделий часто свойства смазочного материала не остаются постоянными. Например, в приводах космической техники изменяется количество смазочного материала в зоне трения, его температурно-вязкостная характеристика и другие. Модель позволяет учесть эти изменения во времени.

Для более точной оценки вязкости смазочного материала и других параметров, зависящих от температуры, в САПР вводится модель расчета температур трущихся поверхностей. Модель позволяет рассчитать фактическую температуру в зоне трения. Она определяется как сумма среднеповерхностной температуры и температуры вспышки. Среднеповерхностная температура определяется из решения задачи теплопроводности, учитывающей тепловые источники в составе привода и условия теплоотвода в окружающую среду.

Модель учитывающая изнашивание трущихся поверхностей звеньев привода строится на основе банка данных, включающих результаты экспериментальных исследований различных материалов и смазок.

Модели в составе САПР увязаны друг с другом в определенной последовательности, которая определяется типом электромеханического привода, условиями его функционирования, причинами выхода из строя. Если в приводе имеется звено, лимитирующее работоспособность привода, то САПР значительно упрощается по структуре.

На основе описанных выше моделей были разработаны САПР нескольких электромеханических приводов, которые использовались для оптимизации конструктивного исполнения и режимов работы в составе изделий.

УДК 629.1.02-592+631.35-592

А.Т. Скойбеда, И.М. Комяк

## **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В КОНСТРУИРОВАНИИ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ САМОХОДНЫХ КОЛЕСНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН**

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

Современные самоходные сельскохозяйственные машины являются высокопроизводительной и одновременно дорогостоящей техникой. Их повреждения и простои в незапланированном ремонте по ликвидации последствий аварий приносят большие убытки. В связи с этим очень важными становятся меры по обеспечению активной безопасности самоходных машин - разработке и эффективному использованию высоконадежных тормозных систем с энергоемкими тормозными механизмами и прогрессивными конструкциями приводов управления, выполненными с применением современных конструкционных материалов и обладающими минимальными массово-геометрическими параметрами в сочетании с высокой производственной и эксплуатационной технологичностью.

Почти каждая из европейских стран имеет собственные требования к тормозным системам самоходных сельхозмашин. Они вырабатывались в течение многих лет и, хотя при этом учитывались эксплуатационные показатели транспортных средств и условия безопасности дорожного движения, законодательства других государств почти не принимались во внимание. Такая ситуация способствовала утверждению в производстве разных технических принципов, которые часто трудно согласовать.

Более 35 лет Европейская Экономическая Комиссия Организации Объединенных Наций (ЕЭК ООН, г. Женева) занимается постепенным согласованием различных национальных норм в области торможения транспортных средств, которые являются в настоящее время невидимым торговым барьером, потенциально затрагивающим все европейские страны. Разработкой предписаний в отношении торможения сельскохозяйственных машин в ЕЭК ООН занимается Комитет по внутреннему транспорту (КВТ ЕЭК ООН). В его работе принимают участие представители более 25 правительств, в том числе и неевропейских стран – США, Канады, Японии, Австралии. На заседания в качестве представителей изготовителей и потребителей транспортных средств приглашаются наблюдатели от разных международных организаций. Признание правил ЕЭК ООН носит добровольный характер.

В тесном сотрудничестве с КВТ ЕЭК ООН работает Технический комитет (ТК) 23 “Тракторы и машины для сельского и лесного хозяйства” международной организации по стандартизации (ИСО). На ТК 23 ИСО часто налагается обязанность разработки специфических методик испытаний или стандартов для компонентов тормозных систем в области существующих или предлагаемых Правил ЕЭК ООН. Необходимо подчеркнуть, что признание стандартов ИСО является полностью добровольным и никакой национальный институт по стандартизации не обязан их применять.

Согласованием норм и правил, действующих среди изготовителей транспортных средств в странах Общего рынка с целью отмены всех торговых ограничений, а также вопросами законодательства в Европейском Экономическом Сообществе (ЕЭС, г. Брюссель) занимается Комитет по адаптации директив в отношении технического прогресса и Рабочая группа по устранению технических барьеров в отношении торговли. Технические требования Общего рынка к транспортным средствам выдаются всем странам-членам в виде Директив. Структура и техническое представительство Комитета в Брюсселе менее сложны и, следовательно, менее требовательны, чем в Женеве. При разработке проектов Директив в отношении торможения транспортных средств Брюссельский Комитет в значительной степени руководствуется аналогичными Правилами ЕЭК ООН. Системы присвоения знака официального утверждения в этих документах также схожи между собой. ЕЭС применяет строчную букву “e” вместо заглавной для утверждения соответствующего оборудования. Основное отличие между Правилами ЕЭК ООН и Директивами ЕЭС заключается в том, что первые принимаются добровольно, тогда как последние обязательны для стран-членов Общего рынка.

Большое влияние на мировой процесс нормообразования в области торможения транспортных средств оказывают Скандинавские страны. Шведское правительство было пионером по введению целого ряда правил дорожной безопасности, предъявляющих более высокие требования к техническим условиям создания и эксплуатации транспортных средств, чем ЕЭК ООН и ЕЭС. Горный рельеф и суровые климатические условия Норвегии явились причиной введения достаточно жестких норм к приводам тормозов, которые дифференцированы в зависимости от максимальной конструктивной скорости сельхозмашин. Эти требования являются одними из наиболее строгих в Европе.

Нормативные документы, которыми в настоящее время руководствуются при создании новых образцов самоходной сельскохозяйственной техники в странах СНГ, разрабатывались с учетом рекомендаций ЕЭК ООН, ЕЭС и ИСО.

Анализ показывает, что национальные законодательства в области торможения сельскохозяйственных транспортных средств часто предъявляют более высокие требования к тормозным системам, чем международные. Периодически международные требования пересматриваются в сторону ужесточения нормативов к структуре и конструкции элементов тормозной системы, эргономическим параметрам органов управления.

В последнее время самоходные колесные сельхозмашины, работающие с набором адаптеров, все чаще оборудуются аппаратурой для управления тормозами прицепов. При разработке привода тормозов для перспективных энергонасыщенных сельхозмашин, обеспечивающих возможность буксировки прицепов и способных развивать скорость свыше 25 км/ч, в части совместимости в одном транспортном поезде тягачей и прицепов рекомендуется учитывать требования основополагающего международного регламента по автомобильным тормозам – Правил № 13 ЕЭК ООН.

Существенное влияние на структуру и функциональные параметры тормозной системы транспортного средства оказывает тип трансмиссии. Авторами проведен анализ более 200 моделей самоходных колесных сельскохозяйственных машин 44 фирм, наиболее известных конструкций гидромотор-колес отечественных и 12 зарубежных фирм, а также продукция 6 ведущих иностранных фирм, специализирующихся на выпуске тормозов и аппаратуры для управления ими.

Изучение трансмиссий серийных моделей современных самоходных колесных сельскохозяйственных машин для уборки зерновых и кормовых культур, овощей и винограда позволило определить типы тормозных механизмов, приводов управления и их применяемость для каждого типа трансмиссии.

В настоящее время серийные машины имеют в основном трансмиссии трех типов: полностью механические; с двухмашинным гидрообъемным приводом, механической коробкой передач и мостом; с многомашинным (трех- и более) гидрообъемным приводом ( трансмиссии на базе гидромотор-колес ).

Мост ведущих колес может иметь раздельно- или единогоагрегатное исполнение. Первое ( модульный мост ) является наиболее прогрессивным решением для такого рода конструкций.

В полностью механических модульных мостах рабочие тормозные механизмы, как правило, устанавливаются на входных валах бортовых редукторов. Большие передаточные отношения последних ( $i < 40$ ) позволяют существенно уменьшить массо-геометрические характеристики тормозных механизмов по сравнению с установленными в колесе. Широкое распространение в таких трансмиссиях получили закрытые многодисковые тормозные механизмы сухого трения с коэффициентом взаимного перекрытия, равным единице, обладающие эффектом самоусиления ( 40 % ), а также барабанные тормозные механизмы сухого трения ( 32 % ). Отмечается рост числа машин, в трансмиссиях которых применяются открытые дисково-колодочные тормоза сухого трения ( 28 % ). На крутосклонных модификациях самоходных сельхозмашин преимущественное распространение получили открытые дисково-колодочные и барабанные тормоза сухого трения.

Привод рабочих тормозов в основном раздельный гидрообъемный прямого действия (тормоза приводятся в действие мускульной силой водителя и используются для уменьшения радиуса поворота машины при выполнении технологического процесса) с устройством механической блокировки педалей между собой в транспортном режиме работы сельхозмашины ( 84 % ). Передаточное отношение гидропривода обычно находится в пределах 0,9-1,2. Механический ( рычажный )

дится в пределах 0,9-1,2. Механический (рычажный) привод рабочих тормозов применяется в тех случаях, когда тормозные механизмы находятся в непосредственной близости от поста управления сельхозмашиной.

Роль стояночного тормоза, как правило, выполняют рабочие тормозные механизмы, оборудованные отдельным механическим приводом. Некоторые фирмы, например Zahnradfabrik Passau (ФРГ), применяют отдельный трансмиссионный стояночный тормоз (барабанный) с механическим приводом, расположенный на вторичном валу коробки передач. В качестве передаточного механизма в стояночных тормозных системах широкое применение получили тросы дистанционного управления двустороннего действия (64%). Благодаря достаточно высокому КПД, простоте обслуживания и компоновочным преимуществам тросовый привод в сочетании с рычажным позволяет создавать эффективные передаточные механизмы в ограниченных межагрегатных пространствах современных трансмиссий.

В самоходных сельхозмашинах, имеющих полностью механические трансмиссии с единого агрегатными мостами, а также с мостами, выполненными по типу автомобильных и заимствующими у них отдельные узлы, как правило, в качестве рабочих используются барабанные тормозные механизмы, размещенные в колесе, с гидрообъемным или пневматическим приводом. Гидрообъемный привод – прямого действия (56%) или насосно-аккумуляторный, заблокированный с рулевым управлением (20%). Как гидро-, так и пневмопривод (24%) выполняется с возможностью раздельного управления бортами. Стояночный тормоз обычно трансмиссионный – барабанный или ленточный с механическим приводом. На сельхозмашинах с пневмоприводом тормозов в последние годы отмечена тенденция к совмещению в одном приборе исполнительных органов приводов рабочей и стояночной тормозных систем – функции стояночных часто выполняют рабочие тормозные механизмы, приводящиеся в действие пневмокамерами с пружинными энергоаккумуляторами.

В моноблочных механических трансмиссиях, выполненных по типу тракторных, в качестве рабочих преимущественное распространение получили многодисковые тормозные механизмы с коэффициентом взаимного перекрытия, равным единице, работающие в масле. Это объясняется их высокими износостойкостью и энергоемкостью. Место установки таких механизмов – входные валы конечных передач. Привод – раздельный гидрообъемный прямого действия (16%) или насосно-аккумуляторный (84%). Для обеспечения стояночного торможения рабочие тормозные механизмы оборудуются отдельным механическим приводом (рычажным или кулачковым) или применяется трансмиссионный дисковый тормоз. Передаточный механизм – рычажный или рычажно-тросовый.

На полноприводных модификациях сельхозмашин торможение управляемых колес осуществляется, как правило, через карданный вал привода управляемого моста посредством управления тормозными механизмами основного моста. Поскольку при транспортном режиме движения по дорогам с твердым покрытием управляемый мост рекомендуется отключать, некоторые фирмы, у которых привод этого моста включается посредством гидроуправляемой фрикционной муфты, предусматривают автоматическое включение последней при торможении сельхозмашины, если скорость движения превышает определенное значение (16-18 км/ч). Этим обеспечивается полное использование сцепного веса машин для создания тормозной силы. Привод управляемого моста включается и отключается микропроцессором. Для уменьшения нагруженности тормозов основного ведущего моста ряд фирм в приводе управляемого моста (на входном валу раздаточной коробки) предусматривает установку дополнительного дискового тормоза, приводимого в действие посредством гидропривода одновременно с тормозами основного моста.

Рассмотренные способы торможения управляемых колес сельскохозяйственных транспортных средств через карданный вал привода управляемого моста обладают следующими основными недостатками: повышенной динамической нагруженностью привода, наличием дифференциальной связи между колесами управляемого моста, не позволяющей полностью реализовать его потенциальные тормозные возможности ( по сцеплению с дорогой ) при попадании одного из колес на скользкий участок пути. Поэтому в последние годы на сельхозмашинах с максимальной транспортной скоростью 40 км/ч и более все чаще на входных валах бортовых редукторов управляемого моста устанавливают дисковые тормозные механизмы мокрого трения. Они обеспечивают непосредственное торможение каждого из управляемых колес и приводятся в действие посредством гидравлического привода одновременно с тормозами основного моста. Следует отметить, что на управляемых мостах самоходных сельхозмашин тормоза, как правило, устанавливаются в тех случаях, когда на мост приходится не менее 35 % веса машины.

Отличительной особенностью трансмиссий с двух- и многомашинным гидрообъемным приводом является использование для рабочих торможений сельхозмашин тормозных качеств самой гидропередачи. Торможение осуществляется за счет дросселирования рабочей жидкости через предохранительный клапан гидропередачи.

Фрикционные тормоза в трансмиссиях с двухмашинным гидрообъемным приводом используют при экстренных торможениях и торможениях в аварийных ситуациях ( выход из строя гидромашин, обрыв рукавов высокого давления и т.д. ). Гидропривод обеспечивает требуемую эффективность торможения, как правило, только на низших ( технологических ) передачах, а на высшей ( транспортной ) передаче при экстренных торможениях возникает необходимость подтормаживания механическими тормозами.

Тормоза трансмиссий с многомашинным гидрообъемным приводом, в котором используются нерегулируемые или бесступенчато регулируемые гидромоторы, обеспечивают защиту гидротрансмиссии от самопроизвольного включения при неисправностях в управлении гидромашинами. Они применяются в качестве стояночно-аварийных, поскольку тормозные свойства таких трансмиссий обеспечивают, а в ряде случаев значительно превышают требуемое при экстренном торможении сельхозмашины замедление.

Места установки, применяемость и привод тормозных механизмов в трансмиссиях с двухмашинным гидрообъемным приводом такие же, как и в полностью механических трансмиссиях. Отличие заключается в том, что в ряде случаев функциональные параметры рабочих тормозных механизмов и их приводов принимаются несколько меньшими с учетом части энергии, поглощаемой при торможении гидропередачей.

В мотор-колесах сельхозмашин преимущественно используются сухие барабанные и нормально замкнутые многодисковые тормозные механизмы, работающие в масле. Дисково-колодочные тормозные механизмы широкого распространения не получили.

Барабанные тормозные механизмы находят применение в основном в конструкциях мотор-колес с вращающимся корпусом ( компоновочные преимущества ), выполненных на базе высокомоментных радиально-поршневых гидромоторов ( Poclain Hydraulics (Франция), Partek (Финляндия) и др. ). Привод этих тормозов в мотор-колесах с нерегулируемыми гидромоторами либо полностью механический, в основном тросовый, либо пружинный с гидравлическим растормаживанием при помощи давления подпитки гидротрансмиссии. В мотор-колесах с двухскоростными гидромоторами привод барабанных тормозов отдельный: гидравлический насосно-аккумуляторный – для экстренных и механический – для стояночных торможений. В качестве источника энергии в насосно-аккумуляторном гидроприводе применяется, как правило, основной

насос гидротрансмиссии ( высокое давление ) или насос подпитки ( низкое давление ). Исполнительные органы – внешние гидроцилиндры прямого действия.

Многодисковые нормально-замкнутые тормозные механизмы, работающие в масле, преимущественно распространены в мотор-колесах с вращающимся валом, выполненных на базе высокомоментных радиально-поршневых гидромоторов, а также в мотор-колесах едино- и раздельно-агрегатной схемы с редуктором, разработанных на базе высокооборотных аксиально-поршневых гидромоторов. Тормозные механизмы устанавливаются на валах гидромоторов и приводятся в действие с помощью цилиндрических винтовых или тарельчатых пружин. Растормаживание осуществляется встроенными кольцевыми гидроцилиндрами с помощью давления подпитки гидротрансмиссии.

В последнее время мотор-колеса с вращающимся валом, выполненные на базе двухскоростных высокомоментных радиально-поршневых гидромоторов, в случае необходимости оборудуются работающими в масляной ванне многодисковыми тормозными механизмами, которые обеспечивают кроме стояночно-аварийных рабочие торможения сельхозмашин ( серии 11 и 18 Poclain Hydraulics ). При отжатых давлением подпитки пружинах стояночно-аварийного привода возможно воздействие на пакет фрикционных дисков тормоза с помощью гидравлического рабочего привода. Тем самым осуществляется рабочее или технологическое (раздельное управление бортами ) торможение сельхозмашины.

С целью уменьшения металлоемкости и снижения массы тормозных систем наметилась тенденция к изготовлению большинства деталей методами прогрессивных технологий: штамповкой, точным литьем, сваркой трением.

В связи с тем, что установлено отрицательное воздействие волокон асбеста на здоровье человека, в настоящее время активно ведутся работы по созданию новых фрикционных материалов для тормозных накладок, не содержащих в своем составе асбеста.

Разрабатываются новые металлические материалы для пар трения, обладающие по сравнению с чугуном повышенной стойкостью к абразивному износу, отсутствием склонности к образованию термических трещин, лучшей теплопроводностью и низкой ползучестью при повышенной температуре.

В ближайшие годы можно ожидать перехода к применению синтетических тормозных жидкостей на кремнийорганической основе, отличающихся от тормозных жидкостей на гликолиевой основе полной негигроскопичностью, сохранением стабильности вязкостных характеристик в более широком диапазоне температур и меньшей зависимостью температуры кипения от атмосферного давления.

Учитывая положительный опыт применения для привода стояночных тормозов тросов дистанционного управления двустороннего действия, многие известные их изготовители ведут активные работы по созданию работающих на сжатие силовых тросов для привода рабочих тормозов.

Все более широкое применение для управления приводами тормозов сельхозмашин находят автоматика и микропроцессорная техника, позволяющие значительно повысить уровень активной безопасности сельскохозяйственных машин.

На самоходных сельхозмашинах с насосно-аккумуляторным приводом рабочих тормозов и гидроусилителем руля наметилась тенденция к созданию объединенных гидросистем рулевого и тормозного управления, на базе которых возможно создание полностью автоматизированных систем управления. Привод стояночного тормоза на таких машинах все чаще осуществляется тормозными кранами с обратным следящим действием и рабочими тормозными цилиндрами с пружинными энергоаккумуляторами,

что позволяет осуществлять управляемое торможение сельхозмашины стояночным тормозом в случае отказа рабочих тормозов.

Достичь высокой надежности тормозных систем сельхозмашин можно только с помощью комплекса конструктивных, технологических и организационно-технических мероприятий при производстве и эксплуатации.

Условия правильной эксплуатации тормозной системы должны быть заложены в ее конструкции. Необходимо обеспечить ее надежную работу даже при недостаточно квалифицированном обслуживании. Субъективный фактор в обслуживании и управлении, особенно в отношении тормозного привода на новых сельхозмашинах, следует по возможности исключить, а операции ухода сводить к минимуму. Устранению подлежат периодические операции регулирования, которые при недостаточно внимательном обслуживании могут стать причинами преждевременного выхода приводов тормозов из строя.

В комплексе мероприятий, обеспечивающих эксплуатационную надежность приводов тормозов, большую роль играет автоматическая защита от случайных или преднамеренных перегрузок. В аварийных ситуациях, которые могут повлечь за собой выход из строя узлов трансмиссии, как например у сельхозмашин с гидромотор-колесами, наиболее целесообразна полная автоматизация управления процессом торможения машины.

Значительным резервом повышения надежности приводов тормозов самоходных сельхозмашин в эксплуатации является квалифицированная техническая диагностика, позволяющая реализовать систему обслуживания и ремонта тормозных систем по фактическому техническому состоянию.

**Литература.** 1.Скойбеда А.Т., Комяк И.М. Прогрессивные направления развития конструкций тормозных механизмов самоходных колесных сельскохозяйственных машин и повышение эффективности их использования. – Мн.: БелНИИНТИ, 1988. – 52 с. 2. Скойбеда А.Т., Комяк И.М. Тенденции развития приводов тормозов самоходных колесных сельскохозяйственных машин и повышение надежности их эксплуатации. – Мн.: БелНИИНТИ, 1990. – 64 с. 3. Кулешов А.А., Марголин И.И. Пневмоколесные машины с бортовыми приводами и мотор-колесами. – М.: Машиностроение, 1995. – 312 с. 4. Williamson M. Braking into the Millennium: The international review of industrial vehicle design. & Engineering. Of - Highway & Heavy - Duty Equipment // Industrial vehicle technology, 1995 - p. 2-7. 5. Skoybeda A. T. , Komyak I.M. Tendencies of the development of the self-moving wheel agricultural machine breaking systems // Proceeding of fifth international scientific-technical conference on internal combustion engines and motor vehicles MOTAUTO'98, Sofia 14-16 October 1998, - Sofia, Vol. IV, ISBN 954-90272-2-8. - p. 74-80.