

В настоящее время многофункциональный регулятор напряжения (79.3702) с использованием полупроводниковых компонентов ряда ведущих зарубежных компаний внедрен в производство на ОАО «Электромодуль» (г. Молодечно, Республика Беларусь) и устанавливается на генераторные установки нового поколения для серийных автомобилей ВАЗ и КамАЗ.

Особенности управления индивидуальным приводом ведущих колёс машины при асимметричной тяговой нагрузке

д.т.н. проф. Шипилевский Г.Б.
ОАО «НАТИ», МГТУ «МАМИ»
(495) 223-05-23, доб. 1527

Аннотация. При индивидуальном приводе ведущих колёс машины и асимметричности тяговой нагрузки или условий их сцепления поддержание прямолинейности движения машины требует различия теоретических скоростей по бортам машины. Это различие не может быть запрограммировано заранее и при ручном управлении может быть введено водителем, однако при автоматическом или дистанционном управлении требует автоматической коррекции на основе траекторных измерений. К этому подходу близок вопрос автоматической коррекции управления поворотом быстроходных гусеничных машин в условиях возможного заноса. Наиболее удобным здесь можно считать использование датчиков угловой скорости.

Ключевые слова: колесная машина, индивидуальный привод ведущих колес, асимметричная тяговая нагрузка.

Под индивидуальным приводом понимается такое устройство силовой передачи, которое позволяет при соответствующем управляющем воздействии задавать и поддерживать различающиеся частоты вращения ведущих колёс. К такому приводу можно отнести как наличие отдельных тяговых электродвигателей для каждого ведущего колеса, так и механизм поворота гусеничной машины двухпоточного типа с двумя дифференциалами и гидрообъемным контуром. Перспективы широкого применения такого привода становятся всё более привлекательными для широкого круга объектов, в частности, для тракторов.

Работы в этом направлении ведут многие фирмы, понимая множество ожидаемых преимуществ, в числе которых не только бесступенчатое регулирование передаточного отношения, но и возможность применения принципиально новых приёмов управления. Например, для гусеничного трактора в такой передаче исключается необходимость в механизме поворота, а для колёсного – в дифференциале с механизмом блокировки. Управление заключается в раздельном задании частот вращения ведущих колёс по конкретным критериям эффективности для разных условий, причём можно не рассматривать совершенно очевидное действие для поворота гусеничного трактора.

В данной постановке в первую очередь имеется в виду ситуация, когда машина (трактор) должна работать с асимметричной тяговой нагрузкой. Она возникает, когда из-за большого удельного сопротивления орудия его ширина захвата существенно меньше, чем ширина колеи, и для обеспечения стыковки смежных проходов орудие смещается в сторону от оси симметрии трактора, например, с помощью двухточечного навешивания. В этом случае тяговые усилия ведущих колёс или гусениц неодинаковы. Если считать, что колёса или гусеницы находятся на опорной поверхности с одинаковыми условиями сцепления, степени буксования движителей будут различаться (внимание автора на это достаточно давно обратил Б.И. Рабинков в личной беседе).

В общем случае здесь можно говорить о наличии постоянного и достаточно большого поворачивающего момента (в отличие от случайных знакопеременных воздействий, всегда сопровождающих движение машины). Так, у гусеничной машины такой момент может появ-

виться от существенно неодинакового натяжения гусениц, у колёсной – от неодинакового состояния шин с разных сторон. Можно считать, что аналогичные явления могут возникать при существенном различии вертикальной нагрузки или условий сцепления с разных сторон машины, которое также приводит к неодинаковости тяговых усилий по бортам.

В связи с этим при одинаковой частоте вращения ведущих колёс действительные скорости с каждой стороны будут различаться, так что машина будет всё время стремиться поворачивать в сторону большего тягового усилия. При обычном ручном управлении водитель, желающий сохранить прямолинейность движения, достаточно легко найдёт возможность парировать это стремление. В гусеничной машине или в колёсном тракторе с бортовым поворотом он интуитивно найдёт такое положение органа управления поворотом (рулевого колеса, штурвала, джойстика), которое обеспечит требуемое неравенство частот вращения ведущих колёс для выравнивания действительных скоростей по бортам. В колёсных тракторах с обычным способом управления поворотом, включая шарнирно-сочленённые, нужная компенсация будет достигнута соответствующим положением рулевого колеса (правда, при этом несколько вырастет сопротивление движению трактора).

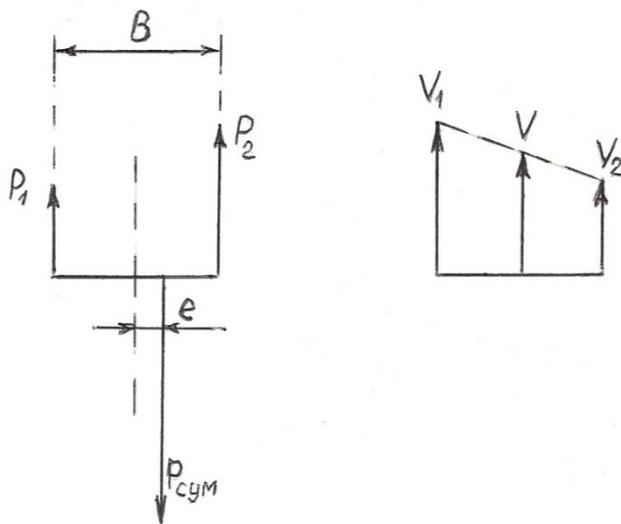


Рисунок 1 - Схема сил и план скоростей машины

Однако в случае работы машины в режиме автоматического вождения или при дистанционном управлении это явление будет играть роль интенсивного возмущающего воздействия, способного существенно ухудшить качество управления и требующего действенной коррекции. Для определения путей такой коррекции необходимо провести анализ кинематики и динамики движения машины с учётом принятых условий.

Понятно, что факт самопроизвольного поворота не может быть объяснён иначе, чем наличием поворачивающего момента. Другими словами, сумма моментов относительно центра масс машины, создаваемых тяговыми усилиями колёс или гусениц и суммарным сопротивлением движению, не равняется нулю, а создаёт именно такой момент. Для более наглядного представления изобразим схему действия сил и план скоростей (рисунок 1). На них указаны ширина колеи B и эксцентриситет равнодействующей суммарного сопротивления e . Для тяговых усилий P_1 и P_2 действует условие равновесия

$$P_1 + P_2 = P_{\text{сум}} \quad (1)$$

Примем для упрощения допущение об одинаковости условий сцепления с каждой стороны машины. Затем представим зависимость между тяговыми усилиями колёс или гусениц в виде линейного соотношения с коэффициентом k (что вполне согласуется с видом тяговой характеристики трактора, на которой степень буксования до некоторого предела пропорциональна сумме окружных усилий, а также с широко используемой в теории автомобиля для аналогичных явлений « φ - S »-диаграммой). Тогда можно рассмотреть условия, при которых сумма моментов относительно центра масс обратится в нуль, а скорости V_2 и V_1 станут одинаковыми, т.е. самопроизвольный поворот машины станет невозможным. Для этого предста-

вим баланс моментов в виде:

$$0,5 B (P_2 - P_1) = P_{\text{сум}} e, \quad (2)$$

а затем приведём это выражение к виду

$$0,5 k B (V_{T2} - V_{T1} + V_1 - V_2) = P_{\text{сум}} e. \quad (3)$$

В результате несложных выкладок можно увидеть, что вызывающая поворот разность $V_1 - V_2$ обращается в нуль только при

$$V_{T2} - V_{T1} = 2 P_{\text{сум}} e / k B. \quad (4)$$

Из этого можно сделать ряд выводов. Необходимая для сохранения прямолинейного движения разность теоретических скоростей (частот вращения ведущих колёс) прямо зависит от сцепных свойств почвы, суммарного сопротивления движению и положения вектора его равнодействующей, т.е. от существенно переменных величин. В связи с этим она не может быть запрограммирована раз и навсегда, а должна корректироваться при изменении условий движения. Однако эти условия характеризуются неизмеряемыми величинами, что не позволяет организовать прямые связи для формирования корректирующих действий.

Строго говоря, условие равенства нулю поворачивающего момента является избыточным. Вполне достаточно, чтобы он не превосходил момент сопротивления началу поворота, определяемый сухим трением движителей в поперечном направлении. Однако определение величины этого момента сопротивления с учётом фактической эпюры давлений движителей на почву, свойств почвы и других влияющих факторов представляется весьма затруднительным (если не считать её оценкой для гусеничного трактора известное классическое выражение $M_{\text{сопр}} = 0,25 \mu GL$ по Львову).

Следующий вывод органично вытекает из предыдущего. Автоматическое устранение нежелательного поворота возможно только на основе траекторных измерений, позволяющих обнаружить начало такого поворота и ввести требуемое рассогласование теоретических скоростей по бортам машины.

Наконец, задача стабилизации прямолинейного движения по существу тождественна задаче стабилизации заданной кривизны поворота, актуальной, в частности, для быстроходных гусеничных машин с механизмом поворота разностно-скоростного действия (Кондаков С.В. «Повышение подвижности быстроходной гусеничной машины путём автоматизации системы управления криволинейным движением» докт. дисс. М. 2009). Здесь целью управления является поддержание заданной водителем кривизны при входе в поворот и при выходе из него при движении по грунтам с ослабленной несущей способностью. Именно это позволяет считать целесообразной проработку вопроса об оснащении машин средствами траекторных измерений, позволяющими оценивать фактическую кривизну траектории и корректировать воздействие на механизм поворота, задавая такую разность частот вращения ведущих колёс, которая приведёт к снижению возникшего рассогласования. При этом прямолинейное движение машины может рассматриваться как частный случай – задание нулевой кривизны или угловой скорости поворота.

Учитывая, что при этом подходе потребность в соответствующих аппаратных средствах может стать довольно значительной, выбор таковых стоит делать среди тех, которые будут достаточно доступны по стоимости оснащения машин. Заранее нельзя отдать предпочтение какому-либо виду таких средств, так что придётся просто сравнить их возможности.

Сразу можно указать на нецелесообразность использования средств спутниковой навигации, несмотря на их расширяющееся применение для других целей. Определение кривизны движения машины, в принципе возможное на основе сравнения изменяющихся координат, потребует такой точности и оперативности измерений, которые в системе GPS возможны только в условиях действия платных опций типа «OmniStar» по специальным кодам доступа. Что же касается отечественной системы ГЛОНАСС, то в ней такие опции пока не предусматриваются вообще. Нет сведений и о перспективах появления таких опций в европейской системе «Galileo», которая должна начать работу с 2014 года.

Более перспективным представляется использование инерционно-гироскопических средств. С их помощью необходимые измерения делаются с достаточной точностью и опера-

тивностью (поясним, что для определения кривизны следует измерять действительную линейную скорость машины и угловую скорость её поворота). Ограничения могут быть связаны только со стоимостью таких средств, которая пока ещё довольно высока.

Наиболее простым представляется использование двух радарных доплеровских датчиков действительной скорости. Такой приём широко применяется в космической технике, в частности, для управления посадкой на Луну. В нашем случае такие датчики при прямолинейном движении машины будут давать измерения с заранее известной разницей, зависящей от различия выбранных углов установки (если оси конусов излучения будут параллельны, то эта разница будет отсутствовать). При появлении вращательного движения машины разница будет изменена, но текущие измерения позволят определить как угловую скорость этого движения, так и поступательную скорость машины с погрешностью, связанной с приближённым определением положения мгновенного полюса поворота (проекции мгновенного центра скоростей на продольную ось машины).

Приведённые соображения могут стать основой способа коррекции траекторного управления машиной. Если ей задано прямолинейное движение, то коррекция должна устранять самопроизвольное появление кривизны или угловой скорости. Если машина должна поворачивать по команде автоматического или дистанционного управления, кривизна или угловая скорость должны находиться в зависимости от заданного управляющего воздействия и корректироваться при отклонении от неё. В связи с этим нужно уточнить характер такой коррекции или даже необходимый способ управления поворотом машины.

В упомянутой выше работе автор предложил считать фактором, определяющим вид управления и его коррекции, кривизну траектории. Однако при этом возникает неопределённость, связанная с тем, что кривизна является свойством траектории точки, а машина представляет собой тело, т.е. множество точек. Вопрос о том, какая из них может быть принята в качестве контрольной, остаётся открытым. С точки зрения качества управления, в том числе обеспечения безопасного движения, траекторные требования могут быть предъявлены ко всем точкам машины без исключения, а отслеживать кривизну траектории придётся только по одной. Теоретически можно рассматривать в этом плане точку, являющуюся проекцией мгновенного центра скоростей на продольную ось машины (называемый некоторыми авторами «мгновенный полюс вращения - МПВ»). Но её положение не может считаться вполне определённым даже на колёсных машинах с учётом того, что их движение рассматривается в условиях присутствия бокового увода и скольжения. А на машинах гусеничных неопределённость положения МПВ ещё выше.

В этом плане контроль угловой скорости поворота представляется более удобной величиной. Она характеризует движение машины в целом без какой-либо неопределённости. К тому же её измерение может быть достаточно простым, например, с помощью гироскопического датчика.

Заключение

Машины с индивидуальным приводом ведущих колёс, в том числе гусеничные с разностно-скоростным способом поворота, при асимметричной тяговой нагрузке или в других обстоятельствах, вызывающих появление поворачивающего момента, склонны к самопроизвольному повороту при прямолинейном движении или к отклонению параметров управляемого поворота от желательных значений. При ручном управлении водитель может компенсировать эти факторы ценой некоторого усложнения своих действий или появления дополнительного сопротивления движению машины, однако при автоматическом или дистанционном управлении требуется автоматическая коррекция.

Наиболее эффективным способом такой коррекции представляется контроль угловой скорости поворота и сравнение её фактического значения с задаваемой водителем или системой управления. Корректирующее воздействие должно уменьшать выявленную разность между ними. При этом нужно иметь в виду, что прямолинейное движение машины является частным случаем нулевого задания угловой скорости поворота.