

УДК 631.333-585.004.17

А. И. Бобровник, д-р техн. наук, Белорусский национальный технический университет
E-mail: bobrovnik.ai@yandex.ru

ПОВЫШЕНИЕ ПРОХОДИМОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СЕЛЬСКОМ И ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

В статье рассмотрены условия работы создаваемого на ОАО "МАЗ" автомобиля для использования в сельском хозяйстве. Приводится техническая характеристика проектируемого автомобиля, современные состояния и направления развития ходовых систем мобильных машин высокой проходимости при их эксплуатации на различных типах лесных угодий, в условиях бездорожья, в весеннюю и осеннюю распутицу. Показаны преимущества и недостатки механических, гидравлических, электромеханических приводов. Дан анализ основных типов современных двигателей, цепей противоскольжения, быстро устанавливаемых сегментных цепей, ленточных и дискретных уширителей. Предложен гидравлический привод передних управляемых колес.

Ключевые слова: грузовой автомобиль, гидравлический привод, проходимость, сельское хозяйство, трактор, колесная формула, тягово-сцепные свойства, ходовые системы, цепи противоскольжения.

Рисунки на 3-й и 4-й полосах обложки

Постановка задачи. В соответствии с Государственной научно-технической программой "Машиностроение" ОАО "МАЗ" АН РБ совместно с другими организациями ведет работы по разработке и освоению производства гаммы автомобилей с колесной формулой 6×4 с технически допустимой общей массой 25 т для преимущественного использования в сельском и лесном хозяйстве.

Разрабатываемый автомобиль предназначен для выполнения транспортных операций в технологическом цикле сельскохозяйственного и лесохозяйственного производства и должен удовлетворять следующим специфическим требованиям: иметь повышенную проходимость; устройства отбора мощности для привода специального оборудования, монтируемого на шасси; комплектоваться универсальными кузовами, позволяющими перевозить различные грузы; оказывать минимальное воздействие на грунт; быть способным к эксплуатации на дорогах общего пользования. Автомобили должны соответствовать лучшим мировым аналогам, а двигатели — экологическому классу Евро 4 с возмож-

ностью модернизации до уровня Евро 5 с минимальными конструктивными доработками.

Повышение производительности и проходимости разрабатываемых автомобилей будет обеспечиваться путем применения колесной формулы 6×4, снижения нагрузки на тележку ведущих мостов до 18—19 т и установки сдвоенных колес на ведущих мостах, уменьшения снаряженной массы автомобиля, применения надставных бортов, сокращения времени погрузочно-разгрузочных работ, использования трехсторонней разгрузки кузова.

Пути исследования. Минский автомобильный завод, всегда игравший важную роль в развитии экономики республик бывшего Союза, и ныне обеспечивает нужды Республики Беларусь и других стран СНГ в большегрузной автомобильной технике. МАЗ имеет богатейший опыт в разработке и организации серийного производства мобильных машин. В расчете на трехосные шасси автомобилей МАЗ-6303 и МАЗ-5516 в странах СНГ выпускается ряд моделей специальной техники. Это комбинированная дорожная машина, автоцистерны, поливочные машины, автобетоносмесители, мусоровозы, изотер-

КОНСТРУКЦИЯ

мические фургоны, телескопические экскаваторы-планировщики, крано-манипуляторные установки и другая техника с полной массой 25–30 т. На первом этапе разработки гаммы автомобилей для использования в сельском и лесном хозяйстве необходимо провести исследования по определению путей повышения проходимости грузовых автомобилей с учетом условий эксплуатации на различных типах опорной поверхности сельскохозяйственных угодий и в лесных хозяйствах при их круглогодичной эксплуатации.

В Республике Беларусь в настоящее время на каждый гектар пашни приходится 40–45 т различных сельскохозяйственных грузов. В связи с интенсификацией производства этот объем постоянно растет. Наиболее массовым грузом являются органические удобрения, на долю которых приходится 41 % общего объема перевозок. На втором месте — зерно колосовых культур (7 %). Далее — силосные культуры (4 %), сенаж (4,6 %), кормовые корнеплоды (5 %), картофель (3,5 %) [1]. При перевозке сельскохозяйственных грузов, особенно объемных (сено,

сенаж, солома, льнотреста и др.) вследствие их малого веса не всегда удается полностью использовать грузоподъемность транспортного средства. В сельском хозяйстве продолжительность работы автомобилей на линии при обслуживании машинно-тракторных агрегатов, работающих в поле (посевных, посадочных, зерноуборочных, свеклоуборочных и др.), прямо зависит от продолжительности работы сельскохозяйственных машин, которые не должны простаивать вследствие отсутствия автотранспорта. Поэтому для оценки проходимости автомобиля при выполнении транспортных работ необходимо знать сроки выполнения технологических операций, связанных с перевозками грузов на различных агрофонах при изменяющейся влажности и плотности почвы.

Сроки начала выполнения транспортных работ при возделывании культур в Республике Беларусь на минеральных почвах тяжелого механического состава, кроме благоприятных для транспорта летних месяцев, представлены в табл. 1. На минеральных почвах легкого механического состава — в табл. 2.

Таблица 1

Технологическая карта по возделыванию культур на минеральных почвах тяжелого механического состава

Наименование работ	Название культур и сроки проведения операций, календарные даты								
	Озимая пшеница	Озимая рожь	Ячмень	Лен	Картофель	Кормовая свекла	Всеко-овсяная смесь	Клевер	Клеверо-тимощечная смесь
Транспортировка и внесение минеральных удобрений	20.05 1.08	20.08 25.04	17.04 —	17.04 —	20.04 5.05	20.09 20.04	20.09 20.04	25.04 25.06	25.04 25.06
Транспортировка семян, удобрений	25.08	1.09	25.04	26.04	5.06	25.04	3.05	28.04	20.04
Транспортировка рабочего раствора гербицида	20.05 10.05	10.05 20.05	28.05 —	25.08 4.05	—	27.04	—	—	—
Транспортировка зерна, картофеля со взвешиванием	10.08	8.08	5.08	—	5.09 1.10	—	—	—	—
Транспортировка рабочего раствора	—	—	—	1.06	28.04 10.05	27.04 12.05	—	—	—
Транспортировка торфокрошки, навоза	—	—	—	—	15.12	—	—	—	—
Подвоз воды к пункту приготовления раствора	—	—	—	—	28.04	—	—	—	—
Транспортировка рабочего раствора	—	—	—	—	10.05 1.07	—	—	—	—
Транспортировка ботвы, тюков	—	—	—	—	—	1.10	—	22.06 27.08	23.06
Транспортировка корнеплодов	—	—	—	—	—	3.10	—	—	—

Технологические карты по возделыванию культур на минеральных почвах легкого механического состава

Наименование работы	Название культур и сроки проведения операций, календарные даты							
	Озимая рожь	Ячмень	Люпин	Картофель	Кукуруза	Кормовой люпин	Пелюшка овсяная смесь	Многолетние травы
Транспортировка и внесение минеральных удобрений	5.08	13.04	10.04	15.04	20.04	15.04	10.04	15.04 25.06
Транспортировка, внесение органических удобрений	6.08	—	—	1.02	10.12	—	—	—
Транспортировка семян, удобрений, загрузка	1.09	25.04	20.04	28.04	—	25.04	20.04	20.04
Транспортировка и внесение аммиачной селитры	15.04	—	—	—	—	—	—	—
Транспортировка рабочего раствора гербицида	5.05	20.05	22.04	—	—	—	—	—
Транспортировка и внесение аммиачной селитры	15.05	25.05	—	—	—	—	—	—
Транспортировка зерна, картофеля	29.07	1.08	15.09	5.09 1.10	—	—	—	—
Транспортировка семенного зерна	—	—	17.09	—	—	—	—	—
Транспортировка рабочего раствора	—	—	—	25.04 3.05 28.06	15.05	22.04	—	—
Транспортировка и внесение навозной жижи	—	—	—	—	21.04	—	—	—
Транспортировка массы к траншеям	—	—	—	—	10.09	20.08	15.07	26.08

И на выработанных торфяниках — табл. 3 [2]. Наибольшая продолжительность работ связана с уборкой сахарной свеклы и картофеля (25—30 дней), наименьшая — посев льна-долгунца — 4 дня. Приведенные в табл. 1—3 агрофоны и сроки выполняемых транспортных работ в растениеводстве используются для оценки несущей способности почв при изменении влажности в ранневесенний и осенний периоды при выборе средств повышения проходимости автомобиля.

Особенностью работы транспортных средств является обеспечение перевозок грузов в условиях бездорожья, особенно в осеннюю и весеннюю распутицу или зимой, когда средняя техническая скорость снижается. В настоящее время в условиях Республики Беларусь при самостоятельной перевозке грузов автомобилями на особенно труднопроходимых участках автомобили буксируют до асфальти-

рованных дорог с помощью гусеничных или колесных тракторов.

Перевозка измельченной массы в процессе заготовки кормов для скормливания, приготовления сенажа, силоса, травяной муки и транспортировка грубых кормов (сено, солома) в среднем составляют 40—50 % общего объема перевозок урожая сельскохозяйственных культур. Этим перевозкам свойственны следующие особенности: большой объем заготовок и разнообразие употребляемых на корм культур, различающихся условиями транспортировки; продолжительный период выполнения уборочно-транспортно-заготовительных работ, совпадающий по времени с уборкой и перевозкой других культур (зерновых, свеклы, картофеля); относительно короткие расстояния перевозок, поэтому в рабочем цикле транспортных средств большой удельный вес (35—50 %) составляют простои под

Технологическая карта по возделыванию культур на выработанных торфяных месторождениях

Наименование работы	Название культур и сроки проведения операций, календарные даты				
	Овес	Картофель	Викоовсяная смесь	Многолетние травы	Многолетние травы второго и последующих лет пользования
Транспортировка и внесение минеральных удобрений	7.04	18.04 15.04	12.04 20.04	12.04	25.04 20.06
Транспортировка семян, удобрений	11.04	28.04	20.04	20.04	—
Транспортировка рабочего раствора	23.05	30.06 23.04 5.05	—	—	—
Транспортировка зерна, картофеля	15.06	10.09 25.09	—	—	—
Транспортировка сенажной массы	—	—	—	—	1.09

погрузкой, разгрузкой и т. д. Необходимо учитывать также, что автомобиль работает в соответствии с производительностью уборочных, транспортных, заготовительных (траншей, башен) и перерабатывающих (сушильные агрегаты) средств и устройств. Работа заготовительных и перерабатывающих устройств определяет темпы и объемы уборки, потребность в транспортных средствах. Физические свойства кормовых культур затрудняют полное использование грузоподъемности и обуславливают относительно невысокую производительность автомобильного подвижного состава, высокий удельный вес (около 70 %) трудовых затрат на выполнение погрузочно-разгрузочных и транспортировочных работ.

При перевозке силосной и сенажной массы при погрузке по убираемому полю движение автомобиля синхронно с движением транспорта с кормоуборочной машиной со скоростью 4—5 км/ч. Насыпная же плотность сенажной и силосной массы 0,17—0,20 и 0,25—0,35 т/м³ соответственно.

Эффективное применение кормоуборочной техники возможно при использовании транспортных средств высокой грузоподъемности. Так как скорости движения при погрузке невелики, а сопротивление движению по полю высокое, при перевозках сенажа на небольшие расстояния экономически выгоднее использовать колесные трактора с прицепами.

Высокий уровень организации труда и использования автомобильной техники требует подготовки полей и дорог к работе. С этой целью заблаговре-

менно очищают поле от камней, засыпают ямы и канавы, подготавливают дороги.

В лесном комплексе большинство технологических операций выполняют машинами и орудиями на тракторной тяге. Применение тракторов, привлеченных из других отраслей и имеющих другое назначение, а не нужные специфические технологические операции, не способствует содействию естественного возобновления леса. В лесу допустимое давление на почву не должно превышать 60 кПа [3].

Большое вредное воздействие на грунт оказывает поворот гусеничного движителя. Поворот трактора на угол 90° на торфяно-болотной почве сопровождается повреждением и сдвигом до 95 % надпочвенного покрова, а на минеральной почве — до 75 %. Концепция мобильной машины для работы на сплошных вырубках должна рассматриваться как концепция агрегатной машины, способной свободно двигаться и осуществлять технологические операции без нанесения вреда окружающей среде. Такая машина должна быть устойчивой в продольном и поперечном направлениях при валке деревьев, раскряжке и погрузке сортиментов с помощью гидроманипулятора. Мощность ее двигателя должна быть использована как для собственных движителей, так и для гидропривода рабочих органов активного действия и систем управления.

Данная концепция должна быть построена на разработке и применении блочно-модульной конструкции, состоящей из моторно-трансмиссионного модуля (МТМ) и транспортно-технологического

Вероятные значения подъемов для различных зон стран СНГ [5]

Зона	Максимальный подъем на дороге, %			Подъем на обрабатываемом поле, %	
	Грейдерной	Грунтовой	Полевой	Средний	Наибольший
Равнинная	5–6	7	8	0,5	3
Холмистая	6–7	8	10	1,0	6

модуля (ТТМ). Оба модуля соединяются между собой шарнирно через вертикальную ось вращения и управляются двумя гидроцилиндрами. Угол управления в пределах 40–60° достаточен для движения в транспортном потоке и выполнения технологического процесса рубок ухода. Подобные конструкции широко применяются в харвестерах (валочно-сучкорезно-раскряжевочных машинах) и форвардерах (сортиментовозах), выпускаемых фирмами Norgac, Lokoto, Kanto-Repola (Финляндия); 05 ААВ (Швеция), Timberjack (Канада) и др.

Высокие результаты дают также исполнение движителей в виде балансирных тандемных тележек, применение колес одинакового размера с эластичными шинами сверхнизкого давления шириной 550, 600, 650 или 700 мм, с размещением их по схемам 6 × 6 или 8 × 8, а также 4 × 4. Все колеса должны быть ведущими. Должна быть предусмотрена возможность установки на тандемные тележки быстросъемных гусеничных лент, а также цепей на одиночные колеса при работе на слабонесущих грунтах и по снегу с давлением на почву 45–60 МПа. Балансирные тандемные тележки легко перекатываются через пни и другие препятствия, практически не вызывая изменений геометрического положения кабины, сиденья и технологического оборудования относительно вертикальной плоскости [3].

Нами ниже рассмотрена опорно-цепная проходимость [4, 5]. Большое влияние на проходимость оказывает угол перекоса мостов автомобиля, равный сумме углов переднего и заднего мостов относительно горизонтальной плоскости. Перекос ведущих мостов вызывает перераспределение нормальных реакций опорной поверхности на ведущие колеса, что приводит к уменьшению суммарного реализуемого вращающего момента по условиям сцепления колес и тем самым к снижению проходимости. При недостаточных углах перекоса отдельные колеса могут отрываться от грунта. Если это произойдет с колесами ведущего моста, то движение автомобиля окажется проблемным, так как будет исключена возможность реализации силы тяги.

Различают автомобили ограниченной, повышенной и высокой проходимости.

Автомобили ограниченной проходимости эксплуатируются на дорогах с твердым покрытием и на грунтовых сухих дорогах с дополнительными приспособлениями, повышающими, главным образом, сцепные свойства движителей. Автомобили повышенной проходимости представляют собой, как правило, модификацию основных моделей ограниченной проходимости, отличаясь от них некоторыми конструктивными особенностями: приводом на все колеса, пониженным или регулируемым давлением воздуха в шинах, блокируемым дифференциалом. Большое значение при транспортировке имеет рельеф, оцениваемый подъемом (уклоном). Вероятные значения подъемов для различных зон приведены в табл. 4.

Неровности сельскохозяйственных фонов состоят из случайной и периодической составляющей. Следует отметить значительную долю гармоничных составляющих в функции, отражающей закономерность воздействия неровностей почвы на движитель трактора. Гармонические составляющие полевых неровностей различны по частоте и высоте ординат и определяются агротехникой возделывания культур [6]. К характерным полевым неровностям относят: свальные гребни и борозды, создаваемые при основной обработке почвы (вспашке). Их высота (глубина) 7,5–15 см, периодичность — через 30–35 см. Гребни рядков образуются при посадке пропашных культур. Их высота 5–10 см, расстояние между ними (шаг), чаще всего, 60–70 см (в зависимости от ширины междурядий). Гребни рядков колосовых культур: высота 5–8 см, шаг 12–15 см. Основные сельскохозяйственные фоны — стерня, пахота, поле, подготовленное под посев, а также зелень, целина.

Свойства опорно-цепной проходимости особенно проявляются при движении автомобиля по слабосвязанным грунтам. Распределение и максимальные значения вертикальных напряжений под ведомым и ведущим колесами близки между собой,

Характеристика торфяно-болотных почв

Агрофон	Влажность озимой пшеницы, %	Плотность, кПа
Стерня	64–68	360–490
Поле, подготовленное под посев	73–75/74–76	240/188
Стерня озимых	74–76	364

а горизонтальные напряжения принудительно различаются. Ведущее колесо создает явно выраженные зоны напряжений при максимальной концентрации и наиболее глубоком проникновении в почву задней части пятна контакта. Под ведомым колесом зона максимальных горизонтальных напряжений явно выражена в набегающей части пятна контакта, а их значения и глубина проникновения в почву значительно больше, чем у напряжений под ведущим колесом в этой части пятна контакта. Разница в распределении горизонтальных напряжений под ведущим и ведомым колесами обусловлена тем, что касательные силы на ведомом и ведущем колесах действуют в противоположных направлениях. Наличие горизонтальных напряжений почвы как под ведомым, так и под ведущим колесом приводит к деформации уплотнения и сдвига грунта в направлении движения колеса. Вследствие этого у его передней части образуется почвенный клин. С увеличением деформации почвы в горизонтальном направлении и глубины колеи возрастают количество почвы и высота клина перед колесом. Это явление называют бульдозерным эффектом.

Наиболее характерно проявление бульдозерного эффекта на влагонасыщенных и пластичных почвах, для которых характерно высокое боковое выпирание. Чем выше плотность почвы, тем меньше ее боковое выпирание. При очень высокой влажности почвы образование колеи вследствие бокового выпирания проявляется наиболее интенсивно. По сторонам и впереди колеса образуются валики выпирания. С увеличением силы, действующей на колесо, боковое выпирание почвы происходит интенсивнее. При увеличении ширины колеса боковое выпирание почвы снижается, но увеличивается фронт деформации в направлении движения. Опорно-сцепную проходимость колеса определяет жесткость шины, от которой зависит давление движителя на почву. Чем ниже несущие свойства почвы, тем меньшее давление на почву они должны создавать. Если жесткость шины значительно больше жесткости почвы, то шина погружается в нее без деформации (как твердое тело) или испытывает небольшую деформацию. Образуется глубокая колея. Если жесткость шины значительно ниже плотности грунта, то шина излишне деформируется, вследствие чего увеличивается плотность пятна контакта, и нарушается баланс между силами сцепления и сопротивления качению.

Торфяно-болотные почвы характеризуются специфическими физико-механическими и технологическими свойствами, существенно отличающи-

мися от минеральных (табл. 5). Торфяные почвы представляют собой продукты разложения органических веществ и других остатков животного и растительного происхождения в условиях избыточного увлажнения. Мелиорированные торфяно-болотные почвы имеют низкую несущую способность, повышенную влажность, большие упругие и остаточные деформации при работе на них машинно-тракторных агрегатов. Для работы на таких почвах машины должны удовлетворять определенным требованиям: высокой проходимостью, низким удельным давлением на почву. При работе на переувлажненных участках чаще всего используют гусеничные тракторы болотных модификаций.

При использовании колесных тракторов в этих условиях сдвигают передние и задние колеса, снижают давление воздуха в шинах.

Значительное снижение тяговых показателей колесных тракторов на мелиорированной торфяно-болотной почве объясняется ухудшением сцепления колес с почвой вследствие повышенной влажности сопротивления на самопередвижение.

При влажности песчаных почв больше 16 %, супесчаных 16–25 %, суглинистых и глинистых 26–42 % на поверхности поля накапливается вода, колеса машины вдавливаются в грунт, образуя глубокую колею [7]. С увеличением влажности торфяника с 55 % до 80 % глубина колеи на поле, подготовленном под посев, увеличивается с 0,05 до 0,12 м, с шинами 12 × 38" трактора "БЕЛАРУС", с 0,05 до 0,09 м с арочными шинами [7].

Особенно уплотняется почва полей, бывших под пропашными культурами, вследствие многократных проходов агрегатов при воздействии сельскохозяйственных культур, главным образом автомобильными прицепами, у которых давление воздуха в шинах поддерживается в пределах 0,35–0,5 МПа. Даже после прохода машин на стерне происходит чрезмерное уплотнение почвы. По колее груженого авто-

КОНСТРУКЦИЯ

Таблица 6

Коэффициент сопротивления качению ходовых колес сельскохозяйственных машин и сцепок

Условия движения	Весной	В конце весны, летом, в начале осени	Осенью	На стальных колесах
Уплотненная полевая дорога	0,14—0,06	0,04—0,03	0,05—0,08	—
Сухая стерня клевера	0,17—0,07	0,06—0,05	0,08—0,09	0,06—0,10
Стерня клевера после дождя	—	0,12—0,14	—	0,18—0,20
Полевая дорога	0,15—0,07	0,06—0,04	0,06—0,09	0,06—0,03
Целина, луг полугустой, травостой высотой до 10 см	0,15—0,07	0,07—0,05	0,08—0,09	0,05—0,07
Клеверище, густой травостой высотой до 20 см	0,10—0,09	0,09—0,07	0,08—0,10	—
Клеверище, обработанное на глубину 5—6 см	0,20—0,11	0,09—0,08	0,09—0,14	—
Стерня после озимых	0,24—0,09	0,09—0,07	0,09—0,15	0,09—0,15
Стерня на супеси	0,25—0,11	0,10—0,09	0,10—0,16	—
Стерня вздушенная	—	—	0,10—0,12	0,16—0,18
Поле из-под картофеля	0,27—0,13	0,11—0,09	0,12—0,18	—
Культивируемое поле	0,33—0,15	0,13—0,11	0,14—0,20	0,22—0,24
Слежавшаяся пашня, прошлогодняя зябь	0,40—0,20	0,15—0,12	0,15—0,19	—
Свежевспаханное поле	0,44—0,24	0,25—0,18	0,20—0,30	—
Укатанная снежная дорога	—	0,04—0,06	—	0,08—0,10

мобилия ЗИЛ-130 плотность увеличивается в 2—3 раза. Удельное сопротивление почвы по следу колес повышается на 15—20 %.

Наиболее доступным средством повышения проходимости пропашных тракторов является применение трактора с задним и передним ведущими мостами или снижение давления в шинах задних колес до 80—100 кПа (0,08—0,1 МПа), передних до 140 кПа (0,14 МПа). Рабочая скорость транспортного средства зависит от мощности двигателя, необходимой для преодоления сопротивления качению автомобиля и привод рабочего технологического оборудования. Коэффициенты сопротивления ка-

чению и сцепления зависят от агрофона, конструкции шины, давления воздуха в ней, скорости движения, вертикальной нагрузки на колеса и других факторов [8—10].

Значение этих параметров, по данным различных авторов, изменяются в большом диапазоне и приведены в табл. 6, 7 [11, 12]. Сравнение приведенных коэффициентов показывает, что на ряде характеристик опорной поверхности (рыхлый снег, сырой песок, на влажной разбитой грунтовой дороге) в отдельные периоды нарушается проходимость машин, оборудованных шинами низкого давления.

Таблица 7

Значения коэффициентов сцепления и сопротивления качению в различных условиях работы

Условия движения	Коэффициент сцепления колесного трактора	Коэффициент сопротивления качению колесного трактора	Коэффициент сцепления гусеничного трактора	Коэффициент сопротивления качению гусеничного трактора
Сухая укатанная дорога: глинистый грунт песчаный грунт чернозем	0,8—0,9	0,03—0,05	1,0	0,05—0,07
	0,7—0,8	0,05	0,9—1,0	0,05—0,07
	0,6—0,7	—	0,9	0,05—0,07
Грунтовая дорога после дождя после распутицы	0,20—0,40	0,05—0,25	—	—
	—	0,10—0,25	0,4—0,6	0,10—0,15
Грунтовая дорога в период распутицы после дождя	—	0,10—0,25	—	—
—	—	0,05—0,15	—	—

КОНСТРУКЦИЯ

Продолжение табл. 7

Условия движения	Коэффициент сцепления колесного трактора	Коэффициент сопротивления качению колесного трактора	Коэффициент сцепления гусеничного трактора	Коэффициент сопротивления качению гусеничного трактора
Разбитая грунтовая дорога	0,15–0,25	0,10–0,25		
Целина, залежь, плотная дернина, сильно уплотненная стерня (суглинок)	0,8–0,9	0,03–0,06	1,0	0,05–0,07
Суглинистая и глинистая целина в пластическом состоянии		0,10–0,20		
Стерня нормальной влажности	0,7–0,8	0,06–0,08	0,9–1,0	0,07–0,09
Стерня влажная	0,6–0,7	0,08–0,10	0,9	0,08–0,11
Стерня, размягченная дождем		0,12–0,14		
Слежавшаяся пашня	0,5–0,6	0,10–0,12	0,7	0,07–0,08
Вспаханное поле		0,16–0,18		
Поле	0,5–0,7	0,16–0,20	0,6–0,7	0,10–0,12
Поле, подготовленное под посев, вспаханное (суглинок), чистый пар, свежесжатое из-под картофеля	0,3–0,5	0,18–0,22		
Поле культивированное сухое	0,4–0,6	0,16–0,20		
Свежесжатое поле (супесь)	0,4–0,7	0,12–0,22	0,6	0,12–0,14
Поле, подготовленное под посев		0,12–0,14		
Влажный луг:				
скошенный	0,7	0,08	0,8	0,09
нескошенный	0,5–0,6	0,10	0,6–0,7	0,11
Задернелый луг	0,20–0,40			
Песок:				
влажный	0,2–0,5	0,10–0,30	0,40–0,60	0,15–0,20
сухой	0,4–0,5	0,06–0,30	0,5	–
сухой	0,20–0,75	0,06–0,30	0,4	0,10–0,12
Глубокая грязь	0,30–0,50	0,15–0,25		
Торфяно-болотная осушенная целина	–	–	0,4–0,6	0,11–0,14
Задернелое болото мокрое	0,20–0,25	0,20–0,25	0,30–0,40	0,20–0,30
Заболоченная местность	0,10–0,30	0,20–0,35		
Нетопкое болото	0,10–0,30			
Снежная укатанная дорога	0,3	0,03–0,05	1	0,06–0,07
Снежная целина	0,15–0,25	0,20–0,30	0,25–0,35	0,15–0,25
Глубокий снег	0,15–0,25	0,12–0,28	–	0,09–0,12
Уплотненный снег	0,15–0,20			
Рыхлый снег	0,20–0,40	0,10–0,30		
Лед (при скорости 50 км/ч)	0,07–0,15			
Обледенелая дорога	0,05–0,15			

Специализация автомобильного транспорта в основном осуществляется путем оборудования базовых автомобилей специальными кузовами и устройствами, позволяющими перевозить требуемые грузы в различных климатических и дорожных условиях. С целью повышения проходимости применяются автомобили высокой проходимости, арочные и широкопрофильные шины. Для движения по бездорожью выпускаются автомобили со всеми ведущими осями [4].

Эффективность применения специализированного подвижного состава в значительной степени зависит от правильного его выбора для определения вида груза и условий эксплуатации. Для сельскохозяйственных грузов конструкция автомобиля должна обеспечивать высокую проходимость, необходимую маневренность и удовлетворять требованиям безопасности движения.

Для перевозки древесины широкое распространение получили автомобильные поезда, состоящие из тягача, роспуска, полуприцепа. При этом давление воздуха в шинах составляет 0,45–0,5 МПа, а привод механизма разгрузки механический или гидравлический.

При движении транспортных средств от колес на опорную поверхность передаются вертикальные и горизонтальные усилия. Величина давления колес не постоянна. Неровности на опорной поверхности вызывают колебания масс автомобиля. В результате давление колеса существенно возрастает по сравнению со статическим. При наездах на неровности и ударах о покрытие после перекачивания через препятствия давление колеса на опорную поверхность возрастает. Процесс взаимодействия колеса при движении по неровной поверхности зависит от колебания поддресоренных масс, имеющих сравнительно большие период и амплитуду, и колебания неподдресоренных масс с относительно большой частотой и амплитудой, а также от величины колебаний крутящего момента, подводимого к колесу.

При выборе схемы привода переднего моста автомобиля возможно использовать один из видов энергии: электрическую, гидравлическую пневматическую и их комбинации. Скорость передачи информационного импульса составляет $3 \cdot 10$ Мм/с у электрического сигнала, 1000 м/с у гидравлического и 300 м/с у пневматического [12]. Силовая напряженность, т. е. предельно возможные усилия, развиваемые на единицу активной поверхности, составляет у электродвигателей 10–20 кг/см², у гидродвигателей 100–300 кг/см², у пневмодвигателей 50–

300 кг/см² и более. Быстродействие различных приводов можно оценивать по величине предельных угловых ускорений при разгоне вращающихся приводов: 1000 1/с² у электроприводов, 10 000 1/с² у гидроприводов. Время торможения составляет: 0,1–0,3 с² у электроприводов, 0,001–0,0001 с² у гидроприводов и 0,1–0,01 с² у пневмоприводов.

Удельные массовые показатели составляют 0,3–0,4 кг/кВт у гидроприводов и 2–30 кг/кВт у электроприводов. Достоинства и недостатки различных приводов таковы, что не позволяют сделать вывод о преимуществах какого-либо из них. Например, гидравлический привод обеспечивает минимальные массу и габаритные размеры.

В настоящее время большинство пневмоколесных машин оснащены механическими, гидромеханическими, реже гидродинамическими, гидрообъемными трансмиссиями, которым свойственен ряд недостатков [13].

В последние годы получили развитие полифункциональные электрические трансмиссии, которые базируются на использовании однотипных легко унифицируемых агрегатов — электрических мотор-колес. Требуемый диапазон регулирования скорости при полной мощности составляет 1 : 20. Системы переменного тока имеют ряд преимуществ по сравнению с системами постоянного тока. У них на 20 % меньшая масса, они дешевле (до 50 %), их КПД выше и габариты меньше.

Процесс буксования автомобильного колеса при движении на сельскохозяйственных фонах является нормой. При буксовании происходит сдвиг и смятие почвы, проскальзывание опорной поверхности и почвозацепов относительно поверхности почвы. Влияние буксования на эксплуатационно-технологические показатели проявляется через снижение топливной экономичности, скорости и производительности агрегатов. Для оценки буксования автомобиля и обеспечения проходимости в сложных условиях необходимо использовать имеющиеся на автомобиле системы, действующие по замеряемым значениям теоретической и действительной скоростей, и при его превышении включающие дополнительный привод переднего моста.

Для снижения динамических нагрузок в приводе механических передач (в 1,5 раза и более) предложены схемы приводов, содержащие упругий вал (торсион) и планетарную передачу, позволяющую разделить крутящий момент на два потока: через полуось и размещенный внутри торсион, с последующим суммированием моментов.

При использовании упруго-эластичного привода минимальная угловая скорость двигателя для трактора класса 1,4 увеличивается на 2–8 %, путь и время разгона сокращаются на 10–20 %, а максимальные нагрузки на полуоси снижаются в 1,2–2 раза благодаря уменьшению амплитуды колебаний крутящего момента на полуоси (рис. 1) [14].

Как самостоятельное направление в развитии трансмиссии для автомобильного транспорта гибридный электромеханический привод возник еще в середине прошлого века. Однако широкое распространение он получил на карьерных самосвалах большой грузоподъемности. В развитии автомобильных трансмиссий сформировались три направления: схемы с генераторами постоянного тока и параллельно включенными тяговыми двигателями постоянного тока; схема с генератором переменного тока, выпрямителем и последовательно включенными тяговыми электродвигателями постоянного тока; схема с генератором переменного тока и асинхронными тяговыми двигателями. Основное преимущество электротрансмиссии по сравнению с гидромеханической — плавность хода, отсутствие рывков, имеющих место при переключении передач механической трансмиссии; торможение с минимальным износом деталей; простота обслуживания современных систем управления, которые позволяют проводить полную диагностику комплектующих изделий электропривода.

Машины со смешанным приводом характеризуются передачей энергии параллельно двумя каналами. Часть ведущих колес приводится во вращение от вала двигателя через механическую, реже гидромеханическую трансмиссию. Другая часть ведущих колес приводится во вращение с помощью электродвигателей, получающих электроэнергию, вырабатываемую генератором, связанным с коленчатым валом того же двигателя.

Гидравлический привод ходовой части применен на комбайне [15].

Масса комбайна (конструкционная) в основной рабочей комплектации достигает $18\,000 \pm 540$ кг, мощность двигателя при номинальной частоте вращения — 265 кВт.

Шасси-мост ведущих колес — механический с гидрообъемным приводом. Применены шины ведущих колес — 650/75-R32 с давлением 0,3 МПа, шины управляемых колес — 500/70-R24 с давлением в шинах 0,16 МПа. Кинематическая схема включает привод гидромотора 90M100, имеющего 3192 мин^{-1} , который через коробку передач и карданные валы

передаст крутящий момент на бортовые и планетарные редукторы, расположенные в ведущих колесах.

Система MAN *HydroDrive* появилась в результате анализа часто встречающихся ситуаций (рис. 2, 3) [16]. Главными элементами системы являются гидравлические (гидрообъемные) моторы, располагаемые внутри ступиц передних колес. Именно они обеспечивают дополнительную тягу на передней оси. Новая система идеально подходит для грузовиков, большую часть времени передвигающихся по хорошим дорогам. А устанавливать ее начали на самые различные версии грузовиков серии TGA — седельные тягачи, самосвалы и грузовики различного назначения с полной массой более 18 т.

В нормальных условиях тягачи, оборудованные системой MAN *HydroDrive*, эксплуатируются как обычно, с приводом на задние колеса. А на мягком грунте, на строительных площадках или на зимних дорогах при необходимости водители подключают дополнительную тягу. Теперь оба мотора в ступицах колес переднего моста с гидростатическим приводом обеспечивают дополнительную тягу и повышенную курсовую устойчивость.

Подключить систему можно как в порожнем, так и в груженом состоянии при скорости не выше 30 км/ч. При достижении этой скорости система автоматически отключается, и далее автомобиль движется с приводом на задние колеса. Грузовики с системой MAN *HydroDrive* имеют дорожный просвет, соответствующий автомобилям с обычным приводом, предназначенным для передвижения по хорошим дорогам. Кроме этого сохраняется стандартная высота шасси, облегчающая водителю посадку и высадку.

Система MAN *HydroDrive* состоит из гидравлического насоса высокого давления, двух гидромоторов в ступицах колес переднего моста, одного резервуара для масла, охладителя масла и клапанного блока. При включении привода гидравлический насос, присоединенный фланцем к выходному валу коробки передач, нагнетает в моторы масло под давлением до 420 бар. Новыми являются также гипоидные мосты с передаточным отношением 2,85. Они позволяют уменьшить потребление топлива на дальних маршрутах.

На рис. 4 показана номограмма по областям предпочтительного применения транспортных средств на различной опорной поверхности [17].

Белорусской шинной промышленностью созданы шины для автомобилей высокой проходимости (16.00 R20 Бел-95 и 525/70 R21 Бел-66А), позволяющие работать на слабых грунтах не при 10–12 % де-

формации, а при деформации до 35 % по высоте профиля. Эти так называемые шины сверхнизкого давления на слабых грунтах работают при внутреннем давлении воздуха в них, равном 0,055 МПа. От обычных шин они отличаются высокой эластичностью.

Повышенная эластичность шины способствует улучшению взаимодействия колеса со слабыми грунтами и не вызывает больших перегревов при качении деформированной шины. Чтобы при понижении внутреннего давления шина не провернулась на ободе, ее борта зажимаются между ребордами разъемного диска специальным распорным кольцом.

По мере снижения внутреннего давления в шинах площадь их контакта с грунтом увеличивается, а удельное давление снижается. На мягком грунте величина деформации шин на соответствующих давлениях несколько меньше, чем на твердом, но доля потерь на деформацию шин в общем сопротивлении движению при низких давлениях воздуха значительна. Мощность, затрачиваемая на преодоление этих потерь, переходит в тепло, что приводит к повышенному нагреву шин. В связи с этим, общая длительность движения с пониженным внутренним давлением в период гарантийного пробега шин и скорость движения ограничиваются специальными указаниями в инструкции по эксплуатации автомобиля.

Автомобили МАЗ семейства 5000 разрабатывались для перевозки грузов по дорогам общего пользования и не предназначались, вследствие их высоких осевых нагрузок (до 13 т), для работы на сельскохозяйственных полях и угодьях. Однако в силу того, что для агропромышленного комплекса Республики Беларусь автомобили МАЗ являются наиболее доступными по ценовому фактору и по возможностям существующей в стране системы технического сервиса, они имеются практически на каждом сельхозпредприятии страны.

Эксплуатация наиболее широко применяемых в агропромышленном комплексе РБ автомобилей-самосвалов моделей МАЗ-5516 и МАЗ-5551 (грузоподъемность — 19 и 9 т соответственно), оборудованных дорожными шинами с относительно малой шириной профиля, приводит на переувлажненных агрофонах и на грунтах с низкой несущей способностью либо к глубокому колееобразованию, либо к существенному недоиспользованию потенциальной грузоподъемности автомобилей. Часто движение автомобилей на полях и лугах возможно только при их буксировке тракторами больших тяговых классов, что требует существенных материальных и трудовых затрат и зачастую приводит к поломкам техники.

Глубокое колееобразование на сельскохозяйственных угодьях нарушает структуру почвы, приводит к ее переуплотнению на значительных глубинах, вызывает повышенный расход топлива, затрудняет проведение последующих технологических работ на полях, способствует застою воды. В переуплотненных от воздействия ходовых систем машин почвах возникает явление пространственной тесноты, возрастает сопротивление развитию корневых систем возделываемых растений, нарушается оптимальный водо- и воздухообмен. Продуктивность участков полей с переуплотненной почвой значительно снижается. Возрастает опасность водной и ветровой эрозии, которая проявляется в виде размывающих водных потоков от атмосферных осадков и в виде пыльных бурь (особенно на торфяных почвах) [18, 19].

В силу изложенного становится актуальной модернизация автомобилей с целью более щадящего воздействия их ходовых систем на почву.

Особенности компоновки автомобилей МАЗ обуславливают то обстоятельство, что, например, у самосвала МАЗ-5516 вертикальная нагрузка на колесо переднего моста у порожнего автомобиля лишь на 7 % меньше, чем у полностью груженого (32,13 и 34,34 кН соответственно). Нагрузка на одно из колес задних мостов составляет 9,57 кН у порожнего автомобиля и 31,88 кН у груженого. Аналогичная картина имеет место и в отношении автомобиля МАЗ-5551. Таким образом, наиболее негативное воздействие на почву оказывают именно колеса передних мостов.

Нами были проведены исследования по модернизации ходовой части передних мостов автомобилей МАЗ-5516 и МАЗ-5551 с целью уменьшения их негативного влияния на почву сельскохозяйственных угодий. На первом этапе исследований предпочтение отдавалось шинам белорусского производства, которые в настоящее время уже применяются на серийных моделях автомобилей МАЗ. При этом было установлено, что шины модели Бел-95 не могут быть применены на автомобилях МАЗ-5516 и МАЗ-5551 вследствие существенно большего диаметра, чем у серийных шин Бел-116 (на 221 мм). Шины модели Бел-66А "вписываются" по диаметру в конструкцию автомобиля, но при их установке ширина машины возрастает до 2,82 м, что превышает максимальную ширину (2,75 м), допускаемую Правилами дорожного движения РБ для дорожных автомобилей [20].

На втором этапе исследований был выполнен анализ технических параметров шин и колёс зарубежных производителей и их ценовых показателей.

КОНСТРУКЦИЯ

Было установлено, что на передних мостах автомобилей-самосвалов МАЗ семейства 5000 можно использовать шины модели ИД-П284 производства ОАО "Омскшина" (г. Омск, Россия) и колеса 514-400 (400Г-508) также российского производства (ОАО "Челябинский кузнечно-прессовый завод", г. Челябинск). Применение таких колес и шин позволит снизить удельное давление под колёсами переднего моста на 50—55%, а дорожный просвет увеличить на 30 мм. С другой стороны, использование этих шин требует изменений в конструкциях передних мостов, рам, рулевых управлений.

Применение же на автомобилях МАЗ-5516 и МАЗ-5551 шин модели ИД-П284 возможно при доработке диска колёс 400Г-508.

В качестве базовой модели наиболее целесообразно использовать трёхосный полноприводный автомобиль-самосвал МАЗ-651705 (рис. 5), предназначенный для работы в тяжелых дорожных условиях, с последующей его модернизацией. Автомобиль МАЗ-651705 имеет колесную формулу 6 × 6, его грузоподъемность 19 т (как и у автомобиля МАЗ-5516), он оборудован системой централизованного регулирования давления воздуха в шинах. Дорожный просвет у этого автомобиля равен 350 мм, в то время как у автомобилей МАЗ-5516 и МАЗ-5551 он составляет лишь 240 и 270 мм соответственно. При прочих равных условиях суммарная сила тяги на колесах этого полноприводного автомобиля будет существенно больше, чем у автомобиля МАЗ-5516 (в 1,84 раза у автомобиля со снаряженной массой и в 1,29 раза у полностью груженого автомобиля).

Была также изучена номенклатура шинной продукции, выпускаемой в РБ (ПО "Белшина", г. Бобруйск). Основные характеристики шин белорусского производства, которые в настоящее время применяются на серийных автомобилях большой грузоподъемности семейства МАЗ, приведены в табл. 8.

На автомобилях МАЗ-5516 и МАЗ-5551 в серийном исполнении заводом-изготовителем устанавливаются шины Бел-116. На автомобиле МАЗ-651705

в заводской комплектации установлены шины Бел-95. При одинаковых вертикальной нагрузке на шину и внутреннем давлении в ней удельное давление на опорную поверхность у шины Бел-95 будет на 40 % меньше, чем у шины Бел-116, а у шины Бел-66А — на 68 % меньше.

При рассмотрении автомобиля МАЗ-651705 как базового возможно несколько вариантов его комплектования шинами.

В первом варианте оборудование автомобиля МАЗ-651705 колесами с шинами модели Бел-95 на переднем мосту и сдвоенными колесами с такими же шинами на задних мостах снизит удельное давление на грунт под всеми колёсами на 40 % при одинаковом давлении в шинах в сравнении с автомобилем МАЗ-5516. При этом необходима проработка установки сдвоенных колес на задних мостах. Дорожный просвет автомобиля при этом не изменится.

Во втором варианте рассмотрена установка на передний мост автомобиля МАЗ-651705 колес с шинами модели Бел-66А, на задние мосты — сдвоенных колес с такими же шинами. Удельное давление на грунт снизится на 68 % под всеми колесами. Потребуется проработка установки сдвоенных колес на задние мосты и установки шин Бел-66А на передний мост автомобиля.

Использование на модернизированном автомобиле системы централизованного регулирования давления воздуха в шинах и шин Бел-95 позволит при необходимости снижать удельные нагрузки в пятнах контакта шин с грунтом до 2,5—3 раз по сравнению с автомобилями МАЗ-5516 и МАЗ-5551.

Из средств, повышающих проходимость автомобиля в сложных дорожных условиях, широкое распространение получили металлические цепи противоскольжения. По конструкции цепи противоскольжения бывают: мелкозвенчатые, траковые, гусеничные.

Мелкозвенчатые цепи противоскольжения применяются для движения по мягким грунтовым,

Таблица 8

Основные характеристики шин, применяемых на автомобилях МАЗ

Модель шины	Наружный диаметр, мм	Ширина профиля, мм	Допустимая грузоподъемность, кН	Допустимая скорость движения, км/ч	Давление в шине при максимальной нагрузке, МПа
Бел-116	1122	313	37,5	100	0,85
Бел-95	1343	438	62,0	80	0,87
Бел-66А	1285	525	50,0	80	0,60

скользким, обледенелым дорогам, по снежной целине и в горах (рис. 6).

Траковые цепи используются при движении по грунтовым дорогам в распутицу, по заболоченному грунту или снежной целине. Натяжение траковой цепи считается правильным, если один из траков может быть поднят рукой над покрывкой на 5–8 мм.

Гусеничные цепи противоскольжения (рис. 7) применяются для движения трехосных автомобилей также по грунтовым дорогам в период распутицы, по снежной целине и заболоченному грунту. Натяжение гусеничной цепи считается правильным, если провисание их верхней ветви между колесами не превышает 10–15 мм. Необходимо помнить, что во избежание износа покрывок, разрушения дорог и в целях экономии топлива цепи надо сразу снимать после преодоления труднопроходимого участка дороги [21].

При движении автомобиля по грунтовым, обледенелым и заснеженным дорогам применение цепей противоскольжения увеличивает сцепление колеса с опорной поверхностью. Сила тяги, реализуемая двигателем, возрастает на 24–66 % [22–24].

Несколько иная картина наблюдается при эксплуатации колесных машин с цепями противоскольжения в условиях снежной целины. Экспериментальные исследования показали, что при высоте снега более 0,6 радиуса колеса, наряду с приростом силы тяги в 1,3–1,5 раза имеет место процесс интенсивного увеличения глубины колеи и роста силы сопротивления движению в 1,6–1,8 раза. Ощутимый эффект повышения проходимости наблюдается лишь при глубине снега до 0,5 радиуса колеса, при этом происходит повышение тягово-сцепных свойств машины (сила тяги увеличивается в среднем на 30 %) и несущественный рост сопротивления движения (сила сопротивления возрастает на 10–15 %) [24, 25].

Для сравнения тяговых возможностей полноприводных автомобилей и гусеничных машин приве-

Таблица 9

Значения коэффициентов сопротивления качению/сцепления

Дорожные условия	Полноприводные		Гусеничные	
	f	φ_x	f	φ_x
Размокшая грунтовая дорога	0,1–0,25	0,25–0,4	0,1–0,15	0,4–0,6
Песок	0,1–0,3	0,2–0,5	0,15–0,2	0,4–0,7
Заболоченная местность	0,2–0,35	0,1–0,3	0,2–0,3	0,3–0,4
Снежная целина	0,2–0,3	0,15–0,25	0,15–0,25	0,25–0,35

дены значения коэффициентов сопротивления качению f и сцепления φ_x на некоторых типах грунтов, которые в определенной степени могут дать представление о тягово-сцепных качествах этих транспортных средств (табл. 9) [26].

Из практики известно, что с применением цепей противоскольжения коэффициент сопротивления качению f и коэффициент сцепления φ_x имеют средние значения между показателями полноприводного автомобиля и гусеничной машиной.

Сравнивая значения коэффициентов сопротивления качению f и коэффициентов сцепления φ_x с применением на автомобилях цепей противоскольжения, получено условие проходимости автомобиля с учетом коэффициента нагрузки колес λ_k : $\varphi_x \lambda_k > f$ (табл. 10).

Для дорожных условий, на которых не выполняется условие проходимости с цепями противоскольжения, требуются другие технические решения, увеличивающие значение коэффициента φ_x .

Использование цепей противоскольжения только на крайних колесах ведущей оси менее эффективно и дает меньшее тяговое усилие по сравнению с цепями конструкции "спарка". Так, при движении с пробуксовкой в горку или на подъеме, при трогании

Таблица 10

Ориентировочные значения коэффициентов сопротивления качению/сцепления и условие проходимости

Дорожные условия	Без цепей противоскольжения			С цепями противоскольжения		
	f	φ_x	Условие проходимости	f	φ_x	Условие проходимости
Размокшая грунтовая дорога	0,1–0,25	0,25–0,4	Не выполняется	0,1–0,2	0,325–0,5	0,125–0,4
Песок	0,1–0,3	0,2–0,5	Не выполняется	0,125–0,25	0,3–0,6	0,05–0,475
Заболоченная местность	0,2–0,35	0,1–0,3	Не выполняется	0,2–0,325	0,2–0,35	Не выполняется
Снежная целина	0,2–0,3	0,15–0,25	Не выполняется	0,175–0,275	0,2–0,3	Не выполняется

нии тягача с прицепом с места наружные колеса ведущей оси с цепями противоскольжения выгребают грунт и создают под собой лунки. Внутренние колеса в это время продолжают скользить по грунту.

При применении цепей противоскольжения на крайних колесах ведущей оси и при движении по заснеженным или обледенелым дорогам тяговые свойства увеличиваются на 25 %. А при использовании цепей противоскольжения "спарка" тяговое усилие возрастает до 60 % [27].

Производителями цепей противоскольжения являются: ООО "Эрмика" — цепь 295/80 R22,5 СЛ 8/6; фирма "АвтоПромСкан" — цепи 6 мм на колеса *Bridgestone, Yokohama, Toyo, Firestone, Kormoran*, для среднетоннажных автомобилей ЗИЛ-5301 "Бычок", "Зубренок", "Ермак", ISUZU, автобусы "Богдан", КамАЗ-4308, МАЗ-437040, ГАЗ-3310 "Валдай" с 17,5-дюймовыми колесами отечественного и импортного производства. Фирма PEWAG, Австрия, выпускает цепи противоскольжения для автомобилей МАЗ, КАМАЗ, еврофур. Толщина материала звеньев квадратного сечения 4,5 мм, 5,6 мм и 7 мм, сварные кольца с диаметром прутка 7 мм и боковые крюки большого диаметра. ЗАО "Jupojostechnika", Шяуляй, Литва, выпускает цепи *SuperA23104* для шин 295/80 R 22.5 (МАЗ). ПФК "Ли́ра" производит цепи "Лесенка" и "Зигзаг".

Стандартные цепи противоскольжения устанавливаются на колеса в начале запланированного подъема или участка со слабой несущей способностью. Использование и наличие таких цепей на транспортном средстве во многих странах мира регламентировано правилами дорожного движения, строго контролируется и обозначено соответствующими предупреждающими знаками.

Водители, игнорирующие использование цепей противоскольжения, застряв на подъеме, используют аварийные сегментные цепи *Pewag cervino* (рис. 8), которые быстро устанавливаются на неподвижные колеса и так же быстро могут быть демонтированы после преодоления сложного скользкого участка дороги или подъема.

Модель цепи тип А универсальная и рассчитана на шины размером 10.00 R20, 11.00 R20, 12.00 R20, 11 R22.5, 12 R22.5, 13 R22.5, 295/80 R22.5 (МАЗ), 305/70 R22.5, 315/60 R22.5, 315/70 R22.5, 315/80 R22.5.

Одним из способов повышения проходимости колесных машин является применение дискретных уширителей (рис. 9). Экспериментальная проверка их эффективности показала, что установка до 14 уши-

рителей на колеса автомобиля с колесной формулой 6×6 обеспечивает снижение силы сопротивления движению на 30 %, прирост силы тяги — на 18 %. При этом преодолеваемая высота снежного покрова увеличивается примерно на 25 % [21].

Заключение. Выполнение транспортных работ в сельскохозяйственном производстве связано с большим разнообразием перевозимых грузов в течение всего календарного периода, с различными сроками выполнения сельскохозяйственных работ, с необходимостью согласования и взаимодействия уборочных агрегатов и транспортных средств. Особенно сложным является движение автомобилей при перевозке грузов в условиях бездорожья, в осеннюю и весеннюю распутицу или зимой на труднопроходимых участках. После потери проходимости автомобилем для их буксировки до асфальтированных дорог в хозяйствах используют гусеничные или колесные тракторы. Анализ направлений развития автотранспорта для лесного хозяйства показывает, что для обеспечения проходимости машин допустимое удельное давление на почву не должно превышать 60 кПа.

Сгруппированы из различных источников значения коэффициентов сцепления и сопротивления движению мобильных транспортных средств. Если их величины близки или равны между собой, то движение автомобиля со всеми ведущими колесами по условиям опорно-сцепной проходимости невозможно. Это касается размокшей грунтовой дороги, заболоченной местности, снежной целины и т. д. Для автомобиля с колесной формулой 6×4 при распределении 1/3 массы на направляющие колеса условием проходимости является величина суммарного коэффициента сопротивления движению, не превышающая 0,7 коэффициента сцепления.

Достоинства и недостатки различных приводов ходовых систем не позволяют сделать вывод о преимуществах какого-либо привода. В последние годы получили развитие как гидравлические, так и электрические трансмиссии, базирующиеся на использовании однотипных, унифицированных агрегатов. Принципиальная гидравлическая схема современного привода ходовой части мобильной машины включает гидронасосы регулируемой производительности и гидромоторы, установленные вместе с планетарным редуктором в ведущих колесах.

При существующих компоновках автомобилей-самосвалов МАЗ семейства 5000 и разрабатываемого автомобиля наибольшие удельные нагрузки в пятнах контакта шин с опорной поверхностью имеют место у шин колес передних мостов как у порож-

них, так и у полностью груженых автомобилей. Для уменьшения этих нагрузок целесообразно применение шин с увеличенной шириной и диаметром.

Для использования автомобилей в тяжелых дорожных условиях, характерных для их эксплуатации в агропромышленном и лесохозяйственном комплексах, машины следует оснащать шинами повышенной проходимости. Наиболее перспективными являются полноприводные шасси и автомобили-самосвалы МАЗ с колесной формулой 6×6 базовой модели МАЗ-6517, обладающие большим дорожным просветом (350 мм) и большой грузоподъемностью (19 т). При их использования на внутривозвратных перевозках для уменьшения удельных нагрузок в пятне контакта шин задних мостов с грунтом целесообразно применять на этих мостах сдвоенные колеса. Модернизированные автомобили могут быть загружены в почвенно-климатических условиях Республики Беларусь практически круглогодично. Приведены области целесообразного применения транспортных средств в зависимости от несущей способности грунта.

Полноприводные шасси с колесной формулой 6×6 при сдвигании колес задних мостов могут быть также использованы для установки специального технологического оборудования для механизации сельскохозяйственного производства.

Предложен гидравлический привод передних управляемых колес с установкой гидромотора и редуктора в направляющих колесах. Для привода технологического оборудования на автомобиле необходима установка гидравлической системы, включающая насос, фильтры, бак, распределители и другие узлы, которые могут быть использованы также для привода переднего ведущего моста при движении в экстремальных условиях.

Для повышения проходимости и курсовой устойчивости на обледенелых дорогах и на снежной целине целесообразно устанавливать дискретные уширители, мелкозвенчатые и гусеничные цепи противоскольжения, аварийные сегментные цепи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лабодаев В. Д., Удовенко В. М. Автомобильные перевозки сельскохозяйственных грузов. — Мн.: Ураджай, 1987. — 290 с.
2. Мышко Р. А., Добыш Д. Ф., Будько Ю. В. Индустриальные технологии на мелиорированных землях. — Мн.: Ураджай, 1987. — 200 с.
3. Бартенев И. М., Драпалок М. В. Состояние и направления развития тракторостроения для лесного комплекса // Тракторы и сельхозмашины. — 2012. — № 11. — С. 3–6.
4. Тарасик В. П. Теория движения автомобиля. — Санкт-Петербург, БХВ-Петербург. — 2006. — 479 с.
5. Высоцкий М. С., Жуков А. В., Мартыненко Т. В., Кадолко Л. Н., Сеняк А. Н. Динамика длиннобазовых автопоездов. — Мн.: Наука и техника. — 1987. — 199 с.
6. Кутьков Г. М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства. — М.: КолосС. — 2004. — 503 с.
7. Кацыгин В. В., Кринко М. С., Мельников Е. С. Скоростные энергонасыщенные трактора. — Мн.: Ураджай. 1979. — 175 с.
8. Шило И. Н. Эксплуатация сельскохозяйственной техники. — Мн.: Беларусь. — 2008. — 251 с.
9. Новиков А. В. Техническое обеспечение производства продукции растениеводства Практикум. — Мн.: БГАТУ. — 2011. — 407 с.
10. Платонов В. Ф. Гусеничные транспорты-тягачи. — М.: Машиностроение. — 1978. — 351 с.
11. Бабков А. Ф. Автомобильные дороги. — М.: Машиностроение. — 1960. — 239 с.
12. Ерофеев А. А. Автоматизированные системы управления строительными машинами. — Л.: Машиностроение. 1977. — 224 с.
13. Погарский Н. А., Степанов А. Д. Универсальные трансмиссии пневмоколесных машин повышенной единичной мощности. — М.: Машиностроение. 1976. — 224 с.
14. Бобровник А. И. Повышение эксплуатационных качеств мобильных агрегатов для внесения удобрений. — Мн.: МТЗ. 1997. — 160 с.
15. Комбайн зерноуборочный КЗ-14 "Полесье GSM". Инструкция по эксплуатации ПО "Гомсельмаш". 2007. — 122 с.
16. Интернет-ресурс (Российский портал) Фирма MAN www.mantruckandbus.ru/man/media/migrated/doc/mn_ru_2/In_motion_1_2010_web_pdf
17. Лаврентьев В. Б. Вождение автомобилей высокой проходимости. — М.: Транспорт. 1974. — 96 с.
18. Вахонин Н. К. Инновационные технологии в мелиорации и сельскохозяйственном использовании мелиорированных земель. Материалы Международной научно-практической конференции. — Мн.: РУП "Институт мелиорации НАН Беларуси". 2010. — 244 с.
19. Зайдельман Ф. Р. Деградация мелиорируемых почв и их защита // Мелиорация и водное хозяйство. — 2009. — № 3. — С. 32–36.
20. Правила дорожного движения. [Утверждены Кабинетом Министров Республики Беларусь 21.03.1886 № 203]. Мн.: Экономпресс, 1998. — 47 с.
21. Юрковский И. М. Вождение автомобиля в сложных дорожных условиях. — М.: 1970. — 150 с.
22. Баракханов Л. В., Беляков В. В., Кравец В. Н. Проходимость автомобиля. — Н. Новгород. НГТУ. 1986. — 200 с.
23. Применение мелкозвенчатых цепей противоскольжения для повышения проходимости автомобилей // Сборник № 2. Аннотации научно-исследовательских работ по проблемам повышения проходимости колесных машин. — М.: ИКТП АН СССР. 1958. — С. 18–23.
24. Скотников В. А., Пономарев А. В., Климанов А. В. Проходимость машин. — Мн.: Наука и техника. 1982. — 327 с.
25. Беляков В. В. Взаимодействие со снежным покровом эластичных движителей специальных транспортных машин // Дис. д-ра техн. наук: 05.05.03. Н. Новгород. НГТУ. 1999. — 485 с.
26. Платонов В. Ф. Динамика и надежность гусеничного движителя. — М.: Машиностроение. 1973. 232 с.
27. Сайт [Автоинтерес.ru](http://avtointeres.ru) [Электронный ресурс]. <http://avtointeres.ru/archives/1011>