

## ПОВЫШЕНИЕ ПРОХОДИМОСТИ АВТОМОБИЛЯ МАЗ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ МОДИФИКАЦИИ

*Докт. техн. наук БОБРОВНИК А. И.*

*Белорусский национальный технический университет*

E-mail: bobrovnik.ai@yandex.ru

Сформулированы требования к параметрам проектируемого автомобиля с колесной формулой 6×4 и технически допустимой массой 25 т при круглогодичной эксплуатации в сельскохозяйственном производстве для своевременной доставки грузов при обеспечении технологического цикла в растениеводстве агропромышленного комплекса в соответствии с календарными сроками выполняемых механизированных работ. Разрабатываемый автомобиль должен иметь также устройство отбора мощности.

Приведены технологические карты по возделыванию основных культур на минеральных и торфяных почвах с указанием режимов движения автомобилей и вида перевозимого груза. Указаны специфические свойства торфяно-болотных почв. Рассмотрены вопросы проходимости мобильных машин при движении на почвах с малой несущей способностью. Отмечены области применения автомобилей ограниченной и повышенной проходимости. Даны описание взаимодействия колес с опорной поверхностью, значения удельного сопротивления почв после многократного проезда автомобиля.

Уточнены величины коэффициентов сопротивления качению и сцепления ходовых систем машин в весенние и осенние периоды для колесных и гусеничных движителей. Проанализированы схемы приводов переднего моста автомобиля: электрические, гидравлические, механические и их характеристики. Для снижения динамических нагрузок в приводе механических передач предложен упруго-эластичный привод с разделением потока мощности. Описана система привода направляющих колес аналога автомобиля с гидравлическим объемным приводом, расположенным внутри ступиц передних колес, обеспечивающих дополнительную тягу. Предложены пути модернизации автомобилей МАЗ с колесной формулой 6×4 для повышения проходимости.

Из средств, повышающих проходимость автомобилей на различных агрофонах, широкое распространение получили металлические цепи противоскольжения, сегментные и мелкозвенные, траковые, гусеничные цепи, уширители. Дано условие обеспечения проходимости автомобиля.

**Ключевые слова:** автомобиль, проходимость, почва, несущая способность, сельскохозяйственное производство, ходовая система, цепи противоскольжения, эксплуатация.

Ил. 3. Табл. 8. Библиогр.: 13 назв.

## OFF-ROAD CAPABILITY IMPROVEMENT OF MAZ-AUTOMOBILE HAVING AGRICULTURAL MODIFICATION

*BOBROVNIK A. I.*

*Belarusian National Technical University*

The paper contains requirements to parameters of an automobile being designed with axle arrangement 6×4 and technically permissible mass of 25 tons with its all year round operation in agricultural industry with the purpose to ensure in-time load transportation and technological cycle in crop production of the agricultural complex in accordance with time schedule of the executed mechanized works. The future automobile should also have a power takeoff device.

The paper presents operation chart flowsheets for cultivation of main crops on mineral and peat soils with indication of automobile motion modes and type of transported loads. Specific properties of peat-bog soils are given in the paper. The paper considers off-road capability of mobile machines when they are moving on soils with low bearing capacity. The paper indicates field applications of automobiles with limited and high off-road capability. Description of wheel interaction with bearing surface area, values of soil resistivity after multiple automobile passages have been given in the paper.

The paper specifies values of rolling resistance coefficient and adhesion coefficient of the automobile undercarriage systems in spring and autumn for wheeled and crawler units. Schemes of the automobile front axle drives (electric, hydraulic, mechanical) and their characteristics have been analyzed in the paper. An elastic flexible drive with separation of flow power has been proposed for reduction of dynamic loads in a power

transmission drive. The paper describes a drive system of auto-analogue steering wheels with hydraulic hydrostatic drive which is located within a front wheel hub that ensure additional thrust. Recommendations for MAZ-automobile modernization with axle arrangement 6×4 have been given with the purpose to improve its off-road capability.

Metallic anti-skid chain, segment and small link, track and crawler chains, wideners have obtained a wide application for improvement of automobile off-road capacity in various soil preparations. The paper notes the conditions required for provision of the automobile off-road capacity.

**Keywords:** automobile, off-road capability, soil, bearing capacity, agricultural industry, undercarriage, anti-skid chain, operation.

Fig. 3. Tab. 8. Ref.: 13 titles.

**Введение.** В соответствии с Государственной научно-технической программой «Машиностроение» на 2011–2015 гг. ОАО «МАЗ», ОИМ НАН Беларуси совместно с другими организациями выполняется задание 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. Техническая характеристика разрабатываемого автомобиля: колесная формула 6×4, общая масса 24 т, мощность двигателя 185 кВт, ресурс 809 тыс. км. Аналог СНГ – КамАЗ 6515-049-97, аналог ЕС – Mercedes-Benz Actros 3336K.

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 монтируемого технологического оборудования; комплектоваться универсальными кузовами, способными перевозить различные грузы; оказывать минимальное воздействие на грунт; предусматривать эксплуатацию на дорогах общего пользования.

Повышение производительности и проходимости создаваемых автомобилей будет обеспечиваться за счет применения колесной формулы 6×4, двускатной ошиновки ведущих мостов, снижения нагрузки на тележку ведущих мостов до 18–19 т. Высокопроизводительная работа автомобиля-самосвала достигается благодаря уменьшению снаряженной массы автомобиля, применению надставных бортов для перевозки сельскохозяйственных грузов, сокращению времени погрузочно-разгрузочных работ в связи с использованием трехсторонней

разгрузки платформы. Автомобили будут соответствовать экологическому классу Евро-4 и предусматривать модернизацию при необходимости до уровня Евро-5 с минимальными конструктивными доработками.

Создаваемые универсальные шасси и автомобили-самосвалы будут обладать повышенными потребительскими свойствами по проходимости, улучшенными характеристиками при круглогодичной эксплуатации в сельскохозяйственном производстве.

**Основная часть.** На первом этапе необходимо провести исследования по определению способов повышения проходимости грузовых автомобилей при эксплуатации на различных типах сельскохозяйственных угодий. Вначале рассмотрим грузы, перевозимые в агропромышленном комплексе, и сроки выполнения транспортных работ. В настоящее время на каждый гектар пашни в Республике Беларусь приходится 40–45 т различных сельскохозяйственных грузов. В связи с интенсификацией производства этот объем постоянно растет.

Особенностью сельскохозяйственных грузов является их многократность. Наиболее массовые грузы – органические удобрения, на долю которых приходится 41,0 % от общего объема перевозок, на втором месте – зерно колосовых культур (7,0 %), далее – силосные культуры (4,0 %), сенаж (4,6 %), кормовые корнеплоды (5,0 %), картофель (3,5 %) [1]. При перевозке сельскохозяйственных грузов их вес лимитируется не мощностью двигателя автомобиля, а условиями сцепления ведущих колес с опорной поверхностью. При перевозке объемных грузов – сено, сенаж, солома, льнотреста и другие – из-за их малого веса не всегда удается полностью использовать грузоподъемность транспортного средства, что приводит к снижению производительности.

Для оценки проходимости автомобиля при выполнении транспортных работ необходимо знать сроки выполнения технологических операций, связанных с перевозками грузов на различных агрофонах при изменяющейся в течение

года влажности и плотности почвы. Сроки начала выполнения транспортных работ при возделывании культур на минеральных почвах тяжелого механического состава представлены в табл. 1, на торфяных почвах – в табл. 2 [2].

Таблица 1

**Технологическая карта по возделыванию культур на минеральных почвах тяжелого механического состава**

Наименование работ	Название культур и сроки проведения операций, календарное число								
	Озимая пшеница	Озимая рожь	Ячмень	Лен	Картофель	Кормовая свекла	Вико-овсяная смесь	Клевер	Клеверотимофеечная смесь
Транспортирование и разбрасывание органических удобрений	25.06–11.07	–	–	–	–	25.09	–	–	–
Транспортирование и внесение извести	07.07	–	–	–	–	–	–	–	–
Транспортирование и внесение минеральных удобрений	20.05–01.08	20.08–25.04	17.04–	17.04–	20.04–05.05	20.09–20.04	20.09–20.04	25.04–25.06	25.04–25.06
Транспортирование семян, удобрений	25.08	01.09	25.04	26.04	05.06	25.04	03.05	28.04	20.04
Транспортирование минеральных удобрений	20.04	–	–	–	–	–	–	–	–
Транспортирование рабочего раствора гербицида	20.05–10.05	10.05–20.05	28.05	25.08–04.05	–	27.04	–	–	–
Транспортирование зерна, картофеля со взвешиванием	10.08	08.08	05.08	–	05.09–01.10	–	–	–	–
Транспортирование соломы к месту скирдования	13.08	12.08	05.08	–	–	–	–	–	–
Транспортирование вороха от комбайна	–	–	–	01.08	–	–	–	–	–
Транспортирование льносоломки на льнозавод	–	–	–	05.08	–	–	–	–	–
Транспортирование льнотресты на льнозавод	–	–	–	01.09	–	–	–	–	–
Транспортирование торфокрошки	–	–	–	–	15.12	–	–	–	–
Транспортирование навоза	–	–	–	–	15.12	–	–	–	–
Подвоз воды к пункту приготовления раствора	–	–	–	–	28.04	–	–	–	–
Транспортирование рабочего раствора	–	–	–	–	10.05–01.07	–	–	–	–
Транспортирование ботвы, тюков	–	–	–	–	–	01.10	–	22.06–27.08	23.06
Транспортирование корнеплодов	–	–	–	–	–	03.10	–	–	–
Транспортирование сенажной массы	–	–	–	–	–	–	–	21.06–21.08	26.08
Транспортирование измельченной массы травяной муки	–	–	–	–	–	–	–	10.08 10.06 12.06 12.08	–

Технологическая карта возделывания культур на торфяных почвах

Наименование работ	Название культур и сроки проведения операций, календарное число						
	Овес	Картофель	Однолетние травы	Озимая рожь на корм	Райграс	Рапс	Многолетние травы
Транспортирование и внесение минеральных удобрений	15.10	12.04–23.04	15.09–10.07	21.08	–	05.08	26.04–15.06
Транспортирование и загрузка семян	05.04	–	05.04	25.08	15.04	07.08	01.04
Транспортирование раствора гербицида	20.05	20.04–28.04	–	–	–	–	–
Транспортирование зерна со взвешиванием	10.08	–	–	–	–	–	–
Транспортирование, маркировка рулонов, тюков	12.08	–	–	–	28.06	–	13.06
Транспортирование семян	–	23.04	–	–	–	–	–
Транспортирование раствора	–	25.06	–	–	–	–	–
Транспортирование от комбайна	–	05.09	05.07	20.05	10.09	05.10	10.07–27.08
Транспортирование к месту хранения	–	05.09	20.09	–	31.07	–	05.09
Транспортирование технических культур	–	25.09	–	–	01.07	–	–

Оптимальная продолжительность сельскохозяйственных работ (в днях) составляет: раннее весеннее боронование зяби и озимых, посев льна-долгунца – четыре дня; междурядная обработка кукурузы, скашивание озимых зерновых для раздельной уборки – пять дней; междурядная обработка сахарной свеклы, междурядная обработка картофеля, уборка зернобобовых, внесение минеральных и органических удобрений под ранние яровые культуры – шесть дней; посев ранних яровых зерновых культур – восемь дней; уборка соломы озимых культур, тербление льна-долгунца, обмолот льна-долгунца, внесение минеральных и органических удобрений под картофель и кукурузу – 10 дней; уборка кукурузы и других силосных, уборка трав на сено – 15 дней; уборка трав на сено – 25 дней; уборка картофеля – 30 дней.

Время перевозки необходимого объема сельскохозяйственных грузов для хозяйства и число транспортных средств  $N_{авт}$  зависят от погодных условий [3]

$$N_{авт} = \frac{Q}{D_p W_{см} N_{см} K_{п.у}}, \quad (1)$$

где  $Q$  – объем перевозимых грузов;  $D_p$  – число рабочих дней в период работы;  $W_{см}$  – сменная производительность на перевозке;  $N_{см}$  – число смен в сутки;  $K_{п.у}$  – коэффициент, учитывающий погодные условия, равный 0,85–1,00.

Соответствующий коэффициент  $K_{п.у}$  устанавливают зональные опытные станции на основании анализа погодных условий за ряд лет. Соотношение между производительностью транспортного звена и агрегатов, выполняющих технологическую операцию, устанавливается уравнением, учитывающим среднюю скорость движения транспортного средства:

$$u n W_{ч} T = \frac{n_r T_r Q_n K_r}{\frac{2L}{v_{тех}} + T_{пр}}, \quad (2)$$

где  $u$  – сбор продукции с единицы площади;  $n$ ,  $n_r$  – соответственно число агрегатов или транспортных единиц;  $W_{ч}$  – часовая производительность агрегатов;  $T$ ,  $T_r$  – суточная производительность соответственно работы агрегата, транспортной единицы;  $Q_n$  – номинальная грузоподъемность транспорта;  $K_r$  – коэффициент использования грузоподъемности;  $L$  – среднее расстояние, на которое отвозится груз;  $v_{тех}$  –

средняя техническая скорость транспорта, км/ч;  
 $T_{пр}$  – средняя продолжительность простоя под погрузкой и разгрузкой.

Перевозка измельченной массы в процессе заготовки кормов для скормливания, приготовления сенажа, силоса, травяной муки и транспортирование грубых кормов (сено, солома) в среднем составляют 40–50 % от общего объема перевозок урожая сельскохозяйственных культур. Этим перевозкам свойственны следующие особенности: большой объем заготовок и разнообразие употребляемых на корм культур, различающихся способами уборки и условиями транспортирования; продолжительный период выполнения уборочно-транспортно-заготовительных работ, совпадающий с проведением уборки и перевозок других культур (зерновых, свеклы, картофеля); относительно короткие расстояния перевозок, поэтому в рабочем цикле транспортных средств значительны (35–50 %) простои под погрузкой, разгрузкой; необходимость соблюдения соответствия производительности уборочных, транспортных, заготовительных (траншей, башен) и перерабатывающих (сушильные агрегаты) средств и устройств. При перевозке силосной и сенажной массы движение транспортного средства связано с движением транспорта рядом с кормоуборочной машиной со скоростью 4–5 км/ч при погрузке по убираемому полю. Насыпная плотность сенажной и силосной масс соответственно 0,17–0,20 и 0,25–0,35 т/м<sup>3</sup>. Так как скорости движения при погрузке невелики, а сопротивление движению по полю высокое, при перевозках сенажа на небольшие расстояния экономически выгоднее использовать колесные тракторы с прицепами.

При хорошей организации труда и соответствующих условиях эффективен и автомобильный транспорт, который необходимо подготовить к выполнению этих перевозок. Лучший способ увеличения вместимости кузовов автомобилей – наращивание бортов. Высокий уровень организации труда и использования техники требует соответствующей подготовки полей и дорог к работе. С этой целью заблаговременно очищают поле от камней, засыпают ямы и канавы, подготавливают дороги. Осо-

бенностью работы транспортных средств является обеспечение выполнения транспортных работ в условиях бездорожья, особенно в осеннюю и весеннюю распутицу или зимой, когда средняя техническая скорость снижается. В настоящее время при самостоятельной перевозке автомобиля на труднопроходимых участках пути имеют недостаточную опорно-сцепную проходимость: для буксировки автомобилей до асфальтированных дорог используют гусеничные или колесные тракторы.

Показатели профильной проходимости характеризуют возможности автомобиля преодолевать неровности и препятствия на пути движения и вписываться в требуемую полосу движения по дороге. Профильная проходимость автомобиля в вертикальной плоскости оценивается следующими показателями: дорожным просветом (для стран СНГ находится в пределах для грузовых автомобилей – 170–350 мм); передним и задним свесами, их углами, продольным радиусом проходимости, поперечным радиусом проходимости, углом гибкости, углом перекаса мостов автомобиля и другими показателями.

Опорно-сцепная проходимость зависит от режима движения и тягово-сцепных качеств машины в целом [4]. Различают автомобили ограниченной, повышенной и высокой проходимости.

Автомобили ограниченной проходимости эксплуатируются на дорогах с твердым покрытием и грунтовых сухих дорогах с дополнительными приспособлениями, повышающими главным образом сцепные свойства движителей. Неровности сельскохозяйственных фондов состоят из случайной и периодической составляющих. Следует отметить значительную долю гармоничных составляющих в функции, отражающей закономерность воздействия неровностей почвы на движитель. Гармонические составляющие полевых неровностей различны по частоте и высоте ординат и определяются агротехникой возделывания культур. К характерным полевым неровностям относят: свальные гребни и борозды, создаваемые при основной обработке почвы (вспашке). Их высота (глубина) – 7,5–15,0 см, периодичность – 30–35 см;

гребни рядков образуются при посадке пропашных культур: их высота – 5–10 см, периодичность – чаще всего 60–70 см (в зависимости от ширины междурядий); гребни рядков колосовых культур: высота – 5–8 см, периодичность – 12–15 см.

Торфяно-болотные почвы характеризуются специфическими физико-механическими и технологическими свойствами, существенно отличающимися от минеральных (табл. 3). Торфяные почвы представляют собой продукты разложения органических веществ и других остатков животного и растительного происхождения в условиях избыточного увлажнения.

Таблица 3

**Характеристика торфяно-болотных почв**

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

Мелиорированные торфяно-болотные почвы имеют низкую несущую способность, повышенную влажность, большие упругие и остаточные деформации при работе на них машинно-тракторных агрегатов. При работе на переувлажненных участках чаще всего используют гусеничные тракторы болотных модификаций [5]. При использовании колесных тракторов в этих условиях на них сдвигают передние и задние колеса, снижают давление воздуха в шинах.

Наибольший тяговый КПД отмечается у гусеничных тракторов, а из колесных – у трактора Т-150 К, обеспечивающего давление воздуха в шинах 80–180 кПа и имеющего более совершенную трансмиссию.

При влажности песчаных почв более 16 %, супесчаных – 16–25 %, суглинистых и глинистых – 26–42 % на поверхности поля накапливается вода, колеса машины вдавливаются в почву, образуя глубокую колею [5]. С повышением 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" и с 0,05 до 0,09 м – с арочными шинами [5].

Эксплуатационные параметры гусеничных и колесных тракторов представлены в табл. 4.

Таблица 4

**Эксплуатационные параметры тракторов**

Марка трактора	Среднее удельное давление на почву, кПа	Давление воздуха в шинах, кПа	Масса трактора, кг	Наибольший тяговый КПД	
				на стерне	на поле, подготовленном под посев
Т-150	46		6975	0,775	0,715
Т-150 К	–	80–180	7535	0,717	0,615
К-700 А	–	80–125	1180	0,680	0,545
К-701	–	110–170	1250		
МТЗ-80	–	140–250	3160	0,570	0,555
ДТ-75 С	55		7400	0,743	0,66

Особенно уплотняется почва полей, бывших под пропашными культурами, из-за многократных проходов агрегатов при возделывании сельскохозяйственных культур, главным образом автомобильных прицепов, у которых давление воздуха в шинах поддерживается в пределах 0,35–0,50 МПа. Даже после прохода машин на стерне происходит чрезмерное уплотнение почвы, по колее груженого автомобиля 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 (0,08–0,10 МПа), передних – до 140 кПа (0,14 МПа).

Коэффициенты сопротивления качению и сцепления зависят от агрофона, конструкции шины, давления воздуха в ней, скорости движения, вертикальной нагрузки и других факторов [6, 7]. Значения этих параметров, по данным различных авторов, изменяются в большом диапазоне и приведены в табл. 5, 6.

Таблица 5

## Коэффициент сопротивления качению ходовых колес сельскохозяйственных машин и сцепок

Опорная поверхность	Условие 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 глуби- ну 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 взлущенная	–	–	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

Таблица 6

## Коэффициенты сцепления и сопротивления качению в различных условиях работы

Условие движения	Коэффициент			
	сцепления колес- ного трактора	сопротивления качению колесного трактора	сцепления гусеничного трактора	сопротивления качению гусенич- ного трактора
1	2	3	4	5
Сухая укатанная дорога: глинистый грунт	0,8–0,9	0,03–0,05	1,0	0,05–0,07
песчаный грунт	0,7–0,8	0,05	0,9–1,0	0,05–0,07
чернозем	0,6–0,7	–	0,9	0,05–0,07
Грунтовая дорога: после дождя	0,20–0,40	0,05–0,25	–	–
после распутицы	–	0,10–0,25	0,4–0,6	0,10–0,15
Грунтовая дорога: в период распутицы		0,10–0,25		
после дождя		0,05–0,15		
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		0,10–0,20		
Стерня: нормальной влажности	0,7–0,8	0,06–0,08	0,9–1,0	0,07–0,09
влажная	0,6–0,7	0,08–0,10	0,9	0,08–0,11
размягченная		0,12–0,14		
Слежавшаяся пашня	0,5–0,6	0,10–0,12	0,7	0,07–0,08

1	2	3	4	5
Вспаханное поле		0,16–0,18		
Поле: подготовленное под посев, вспаханное поле (суглинок), чистый пар, свежесубанное из-под картофеля	0,5–0,7	0,16–0,20	0,6–0,7	0,10–0,12
культивированное сухое	0,3–0,5	0,18–0,22		
свежевспаханное (супесь)	0,4–0,6	0,16–0,20		
подготовленное под посев	0,4–0,7	0,12–0,22	0,6	0,12–0,14
Влажный луг: скошенный		0,12–0,14		
нескошенный	0,7	0,08	0,8	0,09
Задернелый луг	0,5–0,6	0,10	0,6–0,7	0,11
Песок: влажный	0,20–0,40			
сухой	0,2–0,5	0,10–0,30	0,40–0,60	0,15–0,20
Глубокая грязь	0,4–0,5	0,06–0,30	0,5	–
Торфяно-болотная осушенная целина	0,20–0,75	0,06–0,30	0,4	0,10–0,12
Задернелое мокрое болото	0,30–0,50	0,15–0,25		
Заболоченная местность	–	–	0,4–0,6	0,11–0,14
Нетопкое болото	0,20–0,25	0,20–0,25	0,30–0,40	0,20–0,30
Снежная укатанная дорога	0,10–0,30	0,20–0,35		
Снежная целина	0,10–0,30			
Снег: глубокий	0,30	0,03–0,05	1	0,06–0,07
уплотненный	0,15–0,25	0,20–0,30	0,25–0,35	0,15–0,25
рыхлый	0,15–0,25	0,12–0,28	–	0,09–0,12
Лед (при скорости 50 км/ч)	0,15–0,20			
Обледенелая дорога	0,20–0,40	0,10–0,30		
	0,07–0,15			
	0,05–0,15			

Сравнение приведенных данных показывает, что на ряде характеристик опорной поверхности (рыхлый снег, сырой песок, влажная разбитая грунтовая дорога) нарушается проходимость машин, оборудованных шинами низкого давления.

В приводах колес обычно используют три вида энергии информационного сигнала: электрическую, гидравлическую, пневматическую и их комбинации. Скорость передачи информационного импульса составляет 300 мкм/с у электрического сигнала, 1000 м/с – у гидравлического и 300 м/с – у пневматического [8].

Силовая напряженность, т. е. предельно возможные усилия, развиваемые на единицу активной поверхности, составляет у электродвигателей 10–20 кг/см<sup>2</sup>, у гидродвигателей – 100–300 кг/см<sup>2</sup>, у пневмодвигателей – 50–300 кг/см<sup>2</sup> и более. Быстродействие различных приводов можно оценивать по величине предельных угловых ускоре-

ний при разгоне для вращающихся приводов: 1000 1/с<sup>2</sup> – у электроприводов, 10000 1/с<sup>2</sup> – у гидроприводов, а также по времени торможения: 0,1–0,3 с – у электроприводов, 0,0010–0,0001 с – у гидроприводов и 0,10–0,01 с – 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 привода.

В последние годы получили развитие полифункциональные электрические трансмиссии, которые базируются на использовании одноптипных, 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: меньшую массу на 20 %, дешевле до 50 %, выше КПД, меньшие габариты.

Для снижения динамических нагрузок в приводе механических передач (в 1,5 раза и более) предложены схемы приводов, содержащие упругий вал (торсион) и планетарную передачу (рис. 1), позволяющую разделить крутящий момент на полуось и размещенный внутри торсион [9].

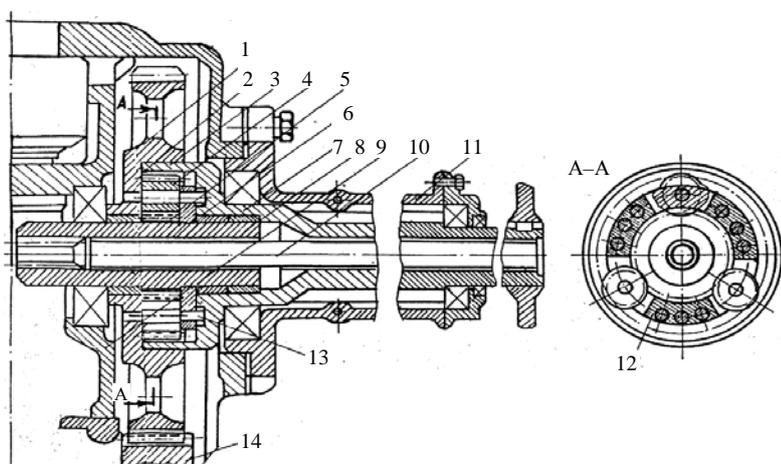


Рис. 1. Упруго-эластичный привод трактора МТЗ-80: 1 – колесо; 2 – планетарный механизм; 3, 5, 14 – шестерня; 4 – сателлит; 6 – водило; 7 – полуось; 8 – вал; 9 – корпус; 10 – торсионный вал; 11 – рукав; 12 – перемычка; 13 – ось

При использовании упруго-эластичного привода за счет снижения неравномерности момента сопротивления минимальная угловая скорость двигателя увеличивается на 2–8 %, путь и время разгона сокращаются на 10–20 %, а максимальные нагрузки на полуоси транспортного средства снижаются в 1,2–2 раза. Как самостоятельное направление в развитии трансмиссий для автомобильного транспорта гибридный электромеханический привод получил широкое распространение на карьерных самосвалах большой грузоподъемности, в тракторостроении. Основное преимущество электрических трансмиссий по сравнению с гидромеханической – плавность хода, отсутствие рывков, имеющих место при переключении передач механической трансмиссии, торможение достигается с минимальным износом деталей, современные системы управления просты в обслуживании, позволяют проводить полную

диагностику комплектующих изделий электропривода [10].

Гидравлический привод комбайна КЗ-14 «Полесье GSM» включает привод гидромотора 90М100, имеющего 3192 об/мин, который через коробку передач и карданные валы передаст крутящий момент на бортовые и планетарные продукты, расположенные в ведущих колесах. Давление в шинах при эксплуатации ведущих колес – 0,30 МПа, управляемых колес – 0,16 МПа, дорожный просвет – 380 мм [11]. Перспективное решение для автомобиля – система MAN HydroDrive, пока единственная в своем роде [12]. 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 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 при скорости не более 30 км/ч. 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.

Эффективным средством повышения проходимости автомобиля является применение пневматических гусениц (рис. 2), однако при этом сохраняются многие недостатки тради-

ционных гусеничных машин. Hover-Track-540 – вездеходный полугусеничный самосвальный транспортер с системой «мультилифт», предназначенный для перевозки грузов (в первую очередь сыпучих) на грунтах с низкой несущей способностью. Разработан и производится с 2008 г. нидерландской компанией Veldhuizen.



Рис. 2. Полугусеничный транспортер

Шасси модернизированного автомобиля может быть также использовано для установки специального технологического оборудования (для известкования почв, внесения минеральных удобрений, проведения химических обработок и т. д.). Из средств, повышающих проходимость автомобиля в сложных дорожных условиях, широкое распространение получили металлические цепи противоскольжения, которые по конструкции бывают: мелкозвенчатые, траковые, гусеничные.

Для сравнения тяговых возможностей полноприводных автомобилей и гусеничных машин в табл. 7 приведены значения коэффициентов сопротивления качению  $f$  и сцепления  $\varphi_x$  на некоторых типах грунтов, которые в определенной степени могут дать представление о тя-

гово-сцепных качествах этих транспортных средств [13].

Таблица 7

Коэффициенты сопротивления качению и сцепления полноприводных автомобилей и гусеничных машин при различных дорожных условиях

Дорожное условие	Полноприводной автомобиль		Гусеничная машина	
	$f$	$\varphi_x$	$f$	$\varphi_x$
Размокшая грунтовая дорога	0,10–0,25	0,25–0,40	0,10–0,15	0,40–0,60
Песок	0,10–0,30	0,20–0,50	0,15–0,20	0,40–0,70
Заболоченная местность	0,20–0,35	0,10–0,30	0,20–0,30	0,30–0,40
Снежная целина	0,20–0,30	0,15–0,25	0,15–0,25	0,25–0,35

Исходя из значений коэффициентов сопротивления качению  $f$  и сцепления составлена таблица ориентировочных данных  $f$  и  $\varphi_x$  с применением на автомобилях цепей противоскольжения, по которой можно проверить условие проходимости  $\varphi_x \lambda_k > \varphi$  (табл. 8).

Для дорожных условий, на которых не выполняется условие проходимости с цепями противоскольжения, требуются другие технические решения, увеличивающие значение коэффициента  $\varphi_x$ , обеспечение привода всех колес, т. е. коэффициент нагрузки колес  $\lambda_k$  равен единице. Ощутимый эффект повышения проходимости наблюдается лишь при глубине снега до  $0,5R_k$  ( $R_k$  – радиуса колеса), при этом происходят повышение тягово-сцепных свойств машины (сила тяги увеличивается в среднем на 30 %) и незначительный рост сопротивления движению (сила сопротивления возрастает на 10–15 %).

Таблица 8

Ориентировочные коэффициенты сопротивления качению и сцепления и условие проходимости

Дорожное условие	Без цепей противоскольжения			С цепями противоскольжения		
	$f$	$\varphi_x$	Условие проходимости	$f$	$\varphi_x$	Условие проходимости
Размокшая грунтовая дорога	0,10–0,25	0,25–0,40	Не выполняется	0,100–0,200	0,325–0,500	0,125–0,400
Песок	0,10–0,30	0,20–0,50	Не выполняется	0,125–0,250	0,300–0,600	0,050–0,475
Заболоченная местность	0,20–0,35	0,10–0,30	Не выполняется	0,200–0,325	0,200–0,350	Не выполняется
Снежная целина	0,20–0,30	0,15–0,25	Не выполняется	0,175–0,275	0,200–0,300	Не выполняется

Быстро устанавливаются на неподвижные колеса и также быстро могут быть демонтированы после преодоления сложного скользкого участка дороги или подъема аварийные сегментные цепи Pevag cervino (рис. 3). Модель цепи типа А универсальная и рассчитана на размеры шин: 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.



Рис. 3. Аварийные сегментные цепи Pevag cervino

## ВЫВОДЫ

1. Выполнение транспортных работ в сельскохозяйственном производстве связано с большим разнообразием перевозимых грузов в течение всего календарного периода, различными сроками выполнения сельскохозяйственных работ, 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 с буксировкой автомобилей тракторами на труднопроходимых участках.

2. По сгруппированным из различных источников значениям коэффициентов сцепления и сопротивления движению колесных и гусеничных машин установлено, что если их величины близки или равны между собой, то движение автомобиля со всеми ведущими колесами по условиям опорно-цепной проходимости невозможно. Это касается размокшей грунтовой дороги, заболоченной местности, снежной целины и т. д. Для автомобиля с колесной формулой 6×4 условием проходимости является величина суммарного коэффициента сопротив-

ления движению, не превышающая 0,7 коэффициента сцепления. Из средств, повышающих проходимость автомобиля в сложных дорожных условиях, широкое распространение получили металлические мелкозвенчатые, траковые, гусеничные цепи противоскольжения.

3. 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 приводы, базирующиеся на использовании однотипных, унифицированных узлов, смонтированных в передних направляющих колесах автомобиля. Полноприводные шасси при сдвигании колес задних мостов могут быть использованы для установки специального технологического оборудования: известкования почв, внесения минеральных удобрений, проведения химических обработок и т. д.

4. Предложен гидравлический привод передних управляемых колес, соединенный с гидравлической системой технологического оборудования автомобиля. Для повышения проходимости и курсовой устойчивости на обледенелых дорогах и на снежной целине предложено устанавливать цепи противоскольжения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Лабодаев, В. Д.** Автомобильные перевозки сельскохозяйственных грузов: справ. пособие / В. Д. Лабодаев, В. М. Удовенко. – Минск: Ураджай, 1987.
2. **Индустриальные** технологии на мелиорированных землях / Р. А. Мышко [и др.]. – Минск: Ураджай, 1987. – 200 с.
3. **Гуревич, А. М.** Эксплуатация гусеничных тракторов / А. М. Гуревич, А. К. Болотов, В. П. Фортуна. – М.: Колос, 1975. – 366 с.
4. **Кутьков, Г. М.** Тракторы и автомобили: теория и технологические свойства / Г. М. Кутьков. – М.: Колос, 2004. – 503 с.
5. **Кацыгин, В. В.** Скоростные энергонасыщенные тракторы / В. В. Кацыгин, М. С. Кринко, Е. С. Мельников. – Минск: Ураджай, 1979. – 175 с.
6. **Эксплуатация** сельскохозяйственной техники / под ред. И. Н. Шило. – Минск: Беларусь, 2008. – 251 с.
7. **Новиков, А. В.** Техническое обеспечение производства продукции растениеводства: практикум / под ред. А. В. Новикова. – Минск: БГАТУ, 2011. – 407 с.
8. **Ерофеев, А. А.** Автоматизированные системы управления строительными машинами / А. А. Ерофеев. – Л.: Машиностроение, 1977. – 224 с.
9. **Бобровник, А. И.** Повышение эксплуатационных качеств мобильных агрегатов для внесения удобрений / А. И. Бобровник. – Минск: МТЗ, 1997. – 160 с.
10. **Руководство** по эксплуатации трактора «Беларус 3022В». – Минск: МТЗ, 2008.

11. **Комбайн** зерноуборочный КЗ-14 «Полесье GSM»: инструкция по эксплуатации ПО «Гомсельмаш». – Гомель, 2007. – 122 с.

12. **Гидропривод** MAN TGL 10.180 [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа: <http://gruzovikin.ru/obzor-gruzovikov/man/gidroprivod-man-tgl-10.180.html>. – Дата доступа: 02.06.2014.

13. **Платонов, В. Ф.** Гусеничные транспортеры-тягачи / В. Ф. Платонов. – М., 1978.

#### REFERENCES

1. **Labodaev, V. D., & Udovenko, V. M.** (1987) *Automobile Transportation of Agricultural Cargo*. Minsk, Uradzhay (in Russian).

2. **Myshko, R. A., Dobysh, G. F., & Bud'ko, Iu. V.** (1987) *Industrial Technologies for Reclaimed Areas*. Minsk, Uradzhay (in Russian).

3. **Gurevich, A. M., Bolotov, A. K., & Fortuna, V. P.** (1975) *Exploitation of Caterpillar Tractor*. Moscow, Kolos (in Russian).

4. **Kutkov, G. M.** (2004) *Tractors and Automobiles. Theory and Technological Properties*. Moscow, Kolos (in Russian).

5. **Katsygin, V. V., Krinko, M. S., & Melnikov, E. S.** (1979) *High-Speed and High Power Tractors*. Minsk, Uradzhay (in Russian).

6. **Novikov, A. V., Shilo, I. N., Neparko, T. A., Timoshenko, V. Ia., & Labodaev, V. D.** (2008) *Exploitation of Agricultural Equipment*. Minsk, Belarus (in Russian).

7. **Novikov, A. V., Shilo, I. N., Neparko, T. A., Liakhov, A. P., & Timoshenko, V. Ia.** (2011) *Equipment Support of crop Production. Practical Course*. Minsk, BSATU (in Russian).

8. **Erofeev, A. A.** (1977) *Automated Control Systems of Construction Machines*. Leningrad, Mashinostroyeniye (in Russian).

9. **Bobrovnik, A. I.** (1997) *Improvement of Operational Characteristics of Mobile Fertilizer Units*. Minsk, Minskij Traktornyj Zavod (in Russian).

10. **Operation** Manual for Tractor "BELARUS 3022B". Minsk: Minskij Traktornyj Zavod, 2008 (in Russian).

11. **Combine** Harvester KZ-14 "Polesye GSM". PA "Gomselmash" Operation Manual. Gomel, 2007 (in Russian, unpublished).

12. **Hydraulic drive** MAN TGL 10.180. Available at: <http://gruzovikin.ru/obzor-gruzovikov/man/gidroprivod-man-tgl-10.180.html>. (accessed 2 June 2014).

13. **Platonov, V. F.** (1978) *Caterpillar Tractor Hauler*. Moscow, Mashinostroyeniye (in Russian).

Поступила 10.01.2014

УДК 629.113

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ПЕРЕДАЧ В КОМАНДНОМ РЕЖИМЕ УПРАВЛЕНИЯ СИЛОВЫМ АГРЕГАТОМ АВТОМОБИЛЯ

*Канд. техн. наук, доц. КУСЯК В. А.*

*Белорусский национальный технический университет*

E-mail: vkusyak@bntu.by

Приведена принципиальная схема автоматизированной системы управления силовым агрегатом на базе сухого фрикционного сцепления и механической коробки передач. Мехатронная система имеет модульную компоновку и позволяет осуществлять трогание автомобиля с места, маневрирование с низкими скоростями, переключение передач в командном и автоматическом режимах. Управление дизельным двигателем, сцеплением и десятиступенчатой коробкой передач на всех режимах движения осуществляется контроллерами при воздействии на селектор режимов движения, педаль акселератора, а по необходимости – и на педаль тормоза. Обмен данными между электронными блоками осуществляется по протоколу SAE-J1939 со скоростью передачи 250 кбит/с. Изменение топливоподачи дизельного двигателя, включение-выключение сцепления и переключение ступеней в коробке происходят автоматически в результате срабатывания пневматических силовых исполнительных механизмов при подаче сигнала от контроллера на соответствующий электромагнитный клапан или их комбинацию.

Показаны результаты полунатурного эксперимента по исследованию процесса переключения передач в командном режиме управления силовым агрегатом. Представлены осциллограммы переходного процесса с различной структурой алгоритма управления. Приведен их сравнительный анализ и дано заключение о целесообразности автоматизации процесса переключения. Графическое оформление результатов полунатурного эксперимента производили с помощью средств визуализации CoDeSys V2.3.

**Ключевые слова:** автоматизированный силовой агрегат, переключение передач, полунатурный эксперимент, алгоритм управления.

Ил. 4. Библиогр.: 10 назв.