

О ПРИМЕНЕНИИ АВТОМОБИЛЕЙ МАЗ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

А. И. Бобровник, докт. техн. наук, Ю. М. Жуковский, канд. техн. наук, В. В. Михалков, аспирант (БГАТУ)

Аннотация

Ходовые системы автомобилей МАЗ серии 5000, которые широко применяются в агропромышленном комплексе Республики Беларусь, в ряде случаев оказывают негативное влияние на почву. В качестве перспективного базового автомобиля выбран серийно производимый трехосный полноприводный автомобиль-самосвал. В данной статье предложены варианты улучшения агроэкологических и тяговых характеристик автомобилей путем их модернизации с учетом доступности для завода-изготовителя и предприятий агропромышленного комплекса. Рассмотрены варианты модернизации ходовой части передних мостов автомобилей серии 5000, позволяющие существенно уменьшить негативное влияние их движителей на почву.

The running systems of the dump trucks MAZ series "5000", which are widely used in the agro-industrial complex of Belarus Republic, in a number of cases have had negative impact on the soil. It has decided on the three-axle whole wheel driven dump truck serially manufactured by MAZ plant as the suitable perspective model of the truck for the agricultural purposes. It has proposed the alternatives of the improving the truck agro-ecological and traction characteristics by their modifications taking into account their availability for the manufacturer as well as for agricultural enterprises. It has examined the different ways of a modernization of the truck MAZ series "5000", front driving axle running parts which allow significantly reduce their negative impact on the soil.

Введение

Основным фактором развития агропромышленного комплекса Республики Беларусь является внедрение современных технологий производства сельскохозяйственной продукции. Такие технологии могут быть созданы только на базе высокопроизводительных, ресурсосберегающих и надежных комплексов машин, обеспечивающих высококачественное выполнение технологических операций при минимальных затратах материальных и трудовых ресурсов.

В связи с ростом объемов перевозимых в агропромышленном комплексе Республики Беларусь грузов (в настоящее время эти объемы достигают многих десятков миллионов тонн в год), существенным сокращением и даже прекращением по многим позициям поставок автомобильной техники из республик бывшего Советского Союза, возникла необходимость ориентироваться в основном на использование отечественных автомобилей семейства МАЗ, которые наиболее доступны по ценовому фактору и по возможностям существующей системы технического сервиса, имеют большую грузоподъемность. Причем, упор делается на применение автомобилей-самосвалов, как наиболее полно отвечающих по своим технологическим характеристикам специфическим требованиям сельскохозяйственного и сопутствующих ему производств.

Основная часть

В настоящее время среди автомобилей производства Минского автомобильного завода наиболее широ-

кое применение в агропромышленном комплексе нашей республики нашли автомобили-самосвалы МАЗ-5516 (трехосный, грузоподъемность – 19 т, колесная формула – 6×4), МАЗ-5551 (двухосный, грузоподъемность – 9 т, колесная формула – 4×2) и их модификации.

Автомобили МАЗ серии 5000 разрабатывались для перевозки грузов по дорогам с твердым покрытием и грунтовыми дорогам хорошего качества и изначально не предназначались для работы на сельскохозяйственных полях и угодьях вследствие их высоких осевых нагрузок (до 13 тонн). Эксплуатация этих автомобилей на агрофонах с низкой несущей способностью приводит либо к глубокому колеобразованию (особенно колёсами передних мостов), либо к существенному недоиспользованию полной грузоподъемности автомобилей. Часто движение автомобилей на полях и лугах возможно только при их буксировке тракторами больших тяговых классов, причем потеря проходимости наблюдается не только в полевых условиях, но и на дорогах и подъездных путях плохого качества. Такая буксировка требует больших материальных и трудовых затрат, часто сопровождается поломками техники. Глубокое колеобразование и переуплотнение почв сельскохозяйственных угодий на значительных глубинах нарушает их структуру, затрудняет проведение последующих технологических работ на полях, способствует застою воды, вызывает повышенный расход топлива на передвижение автомобилей. Продуктивность участков полей с переуплотненной почвой значительно снижается. Возрастает опасность водной и ветровой эрозии, которая проявляется в виде размывающих водных потоков от атмосфер-

ных осадков и в виде пыльных бурь, происходит деградация почвы [1- 3].

Ряд организаций и предприятий агропромышленного комплекса Республики Беларусь обратились на кафедру «Тракторы и автомобили» Белорусского государственного аграрного технического университета с просьбой оказать им содействие в разработке конструкции автомобиля МАЗ сельскохозяйственной модификации повышенной проходимости и модернизации уже эксплуатирующихся автомобилей моделей МАЗ-5516 и МАЗ-5551 с целью повышения эффективности использования этих автомобилей для внутрихозяйственных перевозок на грунтах с низкой несущей способностью и уменьшения негативного воздействия их движителей на почву.

Особенности компоновки автомобилей МАЗ обуславливают то обстоятельство, что, например, у самосвала МАЗ-5516 вертикальная нагрузка на колесо переднего моста при порожнем автомобиле лишь на 8% меньше, чем у полностью загруженного автомобиля (33,1 и 35,7 кН соответственно). Нагрузка на одно из колес задних мостов составляет 10,0 кН у порожнего автомобиля и 33,1 кН – у полностью загруженного. Аналогичная картина имеет место и в отношении автомобиля МАЗ-5551. Эти автомобили оснащаются в заводской комплектации дорожными шинами Бел-116 с относительно малой шириной профиля и высоким внутренним давлением воздуха. Опыт эксплуатации названных автомобилей свидетельствует о том, что вследствие высоких удельных давлений на опорную поверхность колес передних мостов, часто наблюдается потеря способности к самостоятельному передвижению на переувлажненных и слабонесущих грунтах даже у ненагруженных автомобилей. Таким образом, наиболее негативное воздействие на почву оказывают именно колеса передних мостов.

При изучении номенклатуры продукции, выпускаемой ОАО «МАЗ», было установлено, что для решения проблемы проходимости автомобилей МАЗ на грунтах с низкой несущей способностью, наиболее целесообразно использовать в качестве базового автомобиль-самосвал модели МАЗ-651705 (рис. 1), предназначенный для работы в тяжелых дорожных и климатических условиях, с последующей его модернизацией.

Этот автомобиль имеет колесную формулу 6×6, т. е. является полноприводным, его грузоподъемность – 19 тонн (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 мм. 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 снаряженной массы и в 1,29 – у полностью загруженного автомобиля).

Была также изучена номенклатура шинной продукции, выпускаемой в Республике Беларусь (ПО «Белшина», г. Бобруйск). Основные характеристики шин белорусского производства, которые в настоящее время применяются на серийных автомобилях-самосвалах семейства МАЗ, приведены в таблице.

На автомобилях МАЗ-5516 и МАЗ-5551 в серий-

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

ном исполнении заводом-изготовителем устанавливаются шины Бел-116. На автомобиле МАЗ-651705 в заводской комплектации установлены шины Бел-95.

При одинаковой 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:

Вариант 1. Использование самосвала МАЗ-651705 без каких-либо изменений и доработок в сравнении с автомобилем МАЗ-5516 приведет к уменьшению удельного давления под колесами переднего моста на 40 %, но вызовет увеличение давления под колесами задних мостов на 30 % (так как МАЗ-651705 имеет одинарные колеса задних мостов). Дорожный просвет составит 350 мм.

Вариант 2. Установка на передний мост автомобиля МАЗ-651705 колес с шинами модели Бел-66А, а



Рисунок 1. Общий вид автомобиля-самосвала МАЗ-651705

на задние мосты – одинарных колес с теми же шинами. Дорожный просвет снизится на 29 мм, удельное давление на грунт уменьшится на 68 % под колесами переднего моста, а под колесами задних мостов возрастёт на 16 %. С учетом допустимой нагрузки на шину Бел-66А максимальная грузоподъемность автомобиля снизится на 6,6 т.

Вариант 3. 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 % в сравнении с автомобилем МАЗ-5516. В этом варианте необходима проработка установки сдвоенных колес на задних мостах. Дорожный просвет автомобиля не изменяется.

Вариант 4. 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. Дорожный просвет автомобиля уменьшится на 29 мм по сравнению с базовым автомобилем, но будет на 80 мм больше, чем у автомобиля МАЗ-5516. Так же, как и в третьем варианте, потребуются проработка установки сдвоенных колёс на задние мосты. Кроме того, необходима структурная проработка установки шин Бел-66А на передний мост автомобиля.

Таким образом, при первом и втором вариантах исполнения снижается удельное давление под колесами переднего моста, но повышается удельное давление под колесами задних мостов при той же полезной нагрузке, что и у автомобиля МАЗ-5516.

Реализации третьего и четвертого вариантов исполнения без внесения существенных изменений в конструкции задних мостов и рамы базового автомобиля (а это уже, в принципе, создание нового автомобиля, разработка которого и постановка на производство занимает годы) приведёт к увеличению его ширины. Однако модернизированный автомобиль будет использоваться только на внутрихозяйственных перевозках. Уборочная техника (комбайны) и современные мощные тракторы (особенно при сдваивании их колес) также превышают по ширине регламентированные габаритные размеры для дорожных транспортных средств. Однако эти машины при соблюдении соответствующих мер (включенные проблесковые маячки, установка соответствующих временных дорожных знаков и т.п.) передвигаются и по дорогам общего пользования. В Правилах дорожного движения Республики Беларусь [4] в статье 186, пункт 3, касающийся ширины транспортных средств, в последние годы несколько раз изменялся и дополнялся. Учитывая то обстоятельство, что сельскохозяйственные земли в нашей стране являются общенациональным достоянием, и вывоз с полей и лугов сельскохозяйственных грузов должен производиться при любых погодных условиях, получение разрешений от соответствующих инстанций на осуществление модернизированными автомобилями-самосвалами внутрихозяйственных перевозок не должно стать непреодолимой проблемой. С другой стороны, увеличение

ширины автомобиля приведет к повышению его поперечной устойчивости (поперечная устойчивость базового автомобиля находится на пределе допустимой, вследствие его высокого центра тяжести).

Цена автомобиля МАЗ-651705 ориентировочно на 35% выше, чем у автомобиля МАЗ-5516. С учетом модернизации ходовой части базового автомобиля, а также при возможном уменьшении его стоимости за счёт применения «малой» кабины (типа КН – короткая с низкой крышей, без спальных мест), установки двигателя несколько меньшей мощности, отказа от автономного обогревателя и подогревателя двигателя, стоимость полноприводного автомобиля может быть снижена на 10-12%. На освободившееся место между кабиной типа КН и грузовой платформой (кузовом) можно установить необходимое технологическое оборудование, например лестницу для обеспечения работы водителя на высоте.

Наиболее доступным для завода-изготовителя и потребителей вариантом модернизации базового автомобиля является третий вариант (из рассмотренных выше). При этом варианте не требуется вносить изменения в конструкцию собственно автомобиля, и могут быть использованы без каких-либо изменений серийные колесные диски для шин Бел-95. При четвертом варианте необходимо либо использовать конструктивно новые колесные диски для шин Бел-66А, либо другие ведущие мосты.

На рис. 2 показана предлагаемая общая компоновочная схема модернизированного полноприводного автомобиля-самосвала. В БГАТУ разработана техническая документация на устройства для сдваивания колес задних мостов. По предварительной оценке стоимость комплекта деталей для такой модернизации при изготовлении оригинальных деталей в заводских условиях не превысит стоимости одной шины Бел-95. Время на переоборудование автомобиля в условиях мастерской при наличии соответствующих грузоподъемных приспособлений и механизированного слесарного инструмента (гайковёртов) будет составлять около двух часов. В зависимости от особенностей грунтов, на которых будет эксплуатироваться автомобиль со сдвоенными колёсами, расстояние между сдвоенными колесами может меняться путем изменения осевого размера наружной чашки (на рис. 2 расстояние между колесами равно 200 мм).

Использование на модернизированном автомобиле системы централизованного регулирования давления в шинах и шин Бел-95 позволит снизить удельное давление в пятнах контакта шин с грунтом до 2,5 – 3-х раз по сравнению с автомобилями МАЗ-5516 и МАЗ-5551 (у модернизированного автомобиля вертикальная нагрузка на самые тяжело нагруженные шины не превышает 62% их грузоподъемности, что является предпосылкой соответствующего снижения внутреннего давления в шинах).

Многие сельскохозяйственные грузы имеют относительно невысокую плотность (зерновые – 500-800 кг/м³; силос, сенаж – 400-800 кг/м³; корнеплоды – 600-650 кг/м³; торф – 500-600 кг/м³). Поэтому для более полного использования потенциально возможной

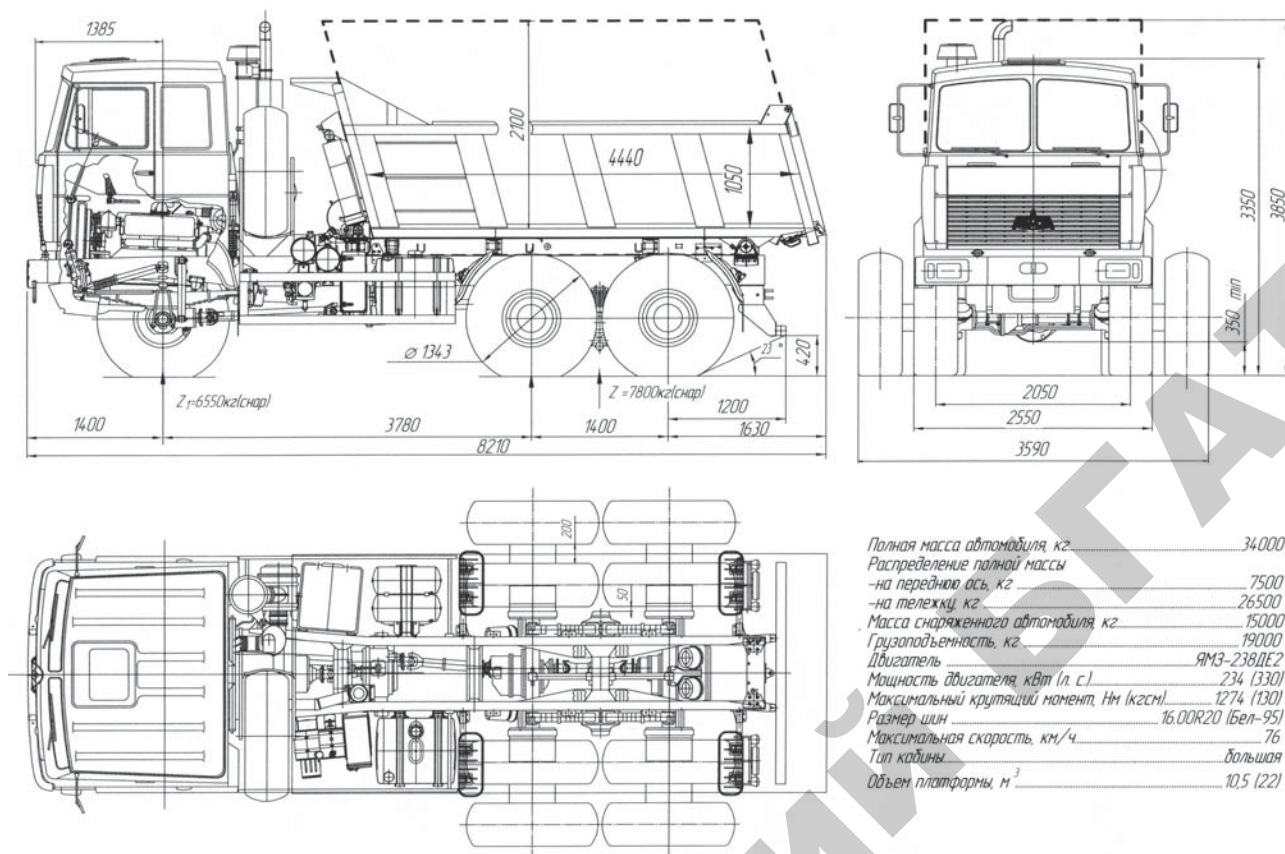


Рисунок 2. Общая компоновка модернизированного полноприводного автомобиля-самосвала и его параметры

грузоподъемности автомобиля его целесообразно оборудовать грузовой платформой большего объема (как вариант – применение надставных бортов, показанных на рис. 2 пунктирной линией, увеличит объем грузовой платформы до 22 м³). В этом случае увеличенная ширина (по колесам задних мостов) будет способствовать повышению поперечной устойчивости автомобиля.

Модернизированный автомобиль может быть загружен в почвенно-климатических условиях Республики Беларусь практически круглогодично. Летом – кормозаготовки и перевозки зерна от комбайнов, осенью – работы по уборке кукурузы, картофеля и корнеплодов, зимой и в ранневесенний период – вывозка на поля органических удобрений и т. д.

Шасси модернизированного автомобиля может быть также использовано для установки специального технологического оборудования (для известкования почв, внесения минеральных удобрений, проведения химических обработок и т.д.).

В настоящее время в агропромышленном комплексе Республики Беларусь эксплуатируются тысячи автомобилей МАЗ серии 5000 различных моделей и модификаций. Широкомасштабное приобретение новых полноприводных автомобилей в ближайшее время в силу изменившихся экономических условий не представляется реальным. Поэтому в БГАТУ была также проведена конструкторская проработка модернизации наиболее широко применяемых автомобилей

МАЗ-5516 и МАЗ-5551 с целью повышения их агротехнической проходимости в отношении передних мостов.

Сельскохозяйственные предприятия предложили сотрудникам кафедры «Тракторы и автомобили» БГАТУ изучить возможность применения на передних мостах, названных выше автомобилей, шин Бел-95 без внесения изменений в конструкции самих автомобилей. Анализ выполнялся при условии использования серийных колесных дисков, применяемых на автомобилях МАЗ для шин Бел-95.

Анализ проводился методами пространственного компьютерного моделирования с учетом поворота колес и хода подвески для левого переднего колеса автомобиля, так как лимитирующие компоновку элементы рулевого управления автомобиля расположены возле левой колёсной ниши его кабины.

Было определено, что при попытке установки на автомобиль МАЗ-5516 шины Бел-95 вместо серийной шины Бел-116, шина Бел-95 «входит» в ряд конструктивно важных элементов автомобиля, а зазоры между ней и некоторыми другими элементами существенно уменьшаются по сравнению с параметрами, заложенными в компоновку автомобиля при его комплектации серийными шинами Бел-116.

Таким образом, установка на передний мост автомобиля МАЗ-5516 шин модели Бел-95 без существенных конструктивных изменений в рулевом управле-

нии, в раме автомобиля, в тормозной системе и в колесных арках кабины невозможна. Такой же вывод можно сделать и в отношении автомобиля МАЗ-5551, который имеет аналогичные автомобилю МАЗ-5516 рулевое управление, переднюю часть рамы, тормозную систему и в значительной степени схожую кабину в отношении размеров колесных арок.

После того, как представители АПК были информированы о результатах проведенного анализа, они высказали пожелание продолжить поисковые работы и при этом не ограничиваться только шинами производства Республики Беларусь. При проведении дальнейших работ мы поставили перед собой ограничение – габаритная ширина модернизированного автомобиля не должна превысить величину в 2,75 м, т.е. максимальную величину для дорожных автомобилей, установленную правилами дорожного движения Республики Беларусь [4].

Анализ технических параметров шин и колесных дисков зарубежных производителей и их ценовых показателей показал, что, в принципе для установки на передние мосты автомобилей-самосвалов МАЗ серии 5000 могут быть использованы шины модели ИД-П284 производства ОАО «Омскшина» (г. Омск, Россия) и диски (ободы) 514-400 (400Г-508) также российского производства (ОАО «Челябинский кузнечно-прессовый завод», г. Челябинск).

Шина модели ИД-П284 имеет наружный диаметр – 1185 мм (на 63 мм больше, чем у серийной шины Бел-116), ширину профиля – 475 мм (на 162 мм больше), грузоподъемность – 40 кН (у серийной – 37,5 кН), допустимую скорость движения – 80 км/ч, максимальное внутреннее давление – 0,52 МПа. Применение таких 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 без изменений в конструкциях передних мостов автомобилей и кабин приведёт к увеличению габаритной ширины автомобилей МАЗ-5516 и МАЗ-5551 с 2,55 до 2,73 м.

Мы считаем, что такое увеличение ширины модернизированных автомобилей технически допустимо, тем более что эти автомобили будут использоваться на внутрихозяйственных перевозках. Соответствующие изменения в нормативные документы могли бы быть внесены в установленном порядке.

Было установлено, что применение на автомобилях МАЗ-5516 и МАЗ-5551 шин модели ИД-П284 возможно при некоторой доработке колесного обода. При этом изменения в самой конструкции автомобилей не потребуются.

Был разработан рабочий чертеж детали (диск-вставка), посредством которой доработанный обод 400Г-508 может быть установлен на серийный мост автомобиля МАЗ (рис. 3), и технологическая маршрутная карта по доработке обода. Эти материалы переданы представителям аграрно-промышленного комплекса нашей республики.

Следует отметить, что еще больший эффект дало бы применение шин Бел-66А (удельные давления

снизились бы на 68%, а дорожный просвет увеличился бы на 80 мм по сравнению с применяемыми шинами Бел-116). Однако установка этих шин приведет к увеличению ширины автомобиля до 2,80 м. Кроме того, шины Бел-66А монтируются на бездисковые ободы, и при установке этих шин на серийные передние мосты автомобилей МАЗ-5516 и МАЗ-5551 потребуется разработать конструкцию и организовать производство (или закупки) новых колесных дисков, или вносить существенные изменения в конструкции передних мостов автомобилей.

Заключение

Использование автомобилей-самосвалов МАЗ серии 5000 приводит на переувлажненных и слабонесущих грунтах к переуплотнению почв на значительных глубинах, глубокому колееобразованию и к потере проходимости, что обусловлено большими удельными давлениями в пятнах контакта шин с опорной поверхностью и недостаточными тяговыми качествами автомобилей с колесными формулами 6×4 и 4×2.

По этим причинам перспективный автомобиль для использования в агропромышленном комплексе должен быть полноприводным, иметь централизованную систему регулирования давления воздуха в шинах и ходовую систему с уменьшенным удельным давлением шин на почву. Объем грузовой платформы автомобиля-самосвала должен быть таким, чтобы реализовать его потенциально возможную грузоподъемность при плотности навалочного груза 500 – 600 кг/м³.

Для модернизации широко используемых в настоящее время в агропромышленном комплексе Республики Беларусь автомобилей МАЗ-5516 и МАЗ-5551, с целью улучшения агротехнических характеристик их ходовых систем, на передних мостах можно использовать шины ИД-П284 и колесные диски 514-400 (400Г-508), производимые в России, что уменьшит удельное давление под колесами на

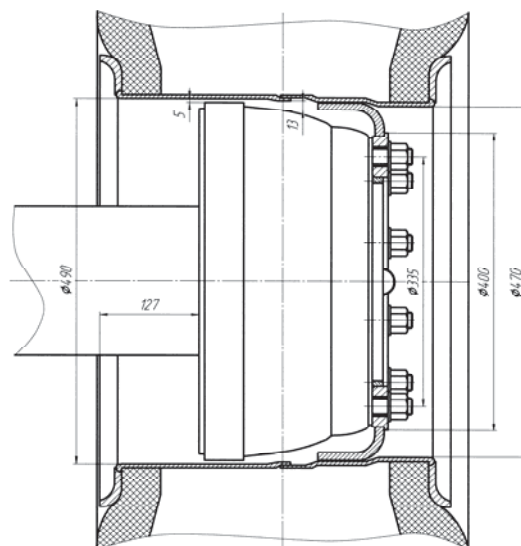


Рисунок 3. Установка шины ИД-П284 с доработанным ободом 400Г-508 на передний мост автомобилей МАЗ серии 5000

50...55%. При более глубокой модернизации в заводских условиях можно ориентироваться на использование шин Бел-66А белорусского производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инновационные технологии в мелиорации и сельскохозяйственном использовании мелиорированных земель: материалы Междунар. науч.-практич. конф., Минск, 15-17 сентября 2010 г. / Под ред. Н.К. Вахонина/ РУП «Институт мелиорации НАН Беларуси». – Минск, 2010. – 244 с.

2. Национальная программа действий Респ. Беларусь по борьбе с деградацией земель: «Устойчивое использование и восстановление деградированных торфяников». – Минск, 2008.

3. Бобровник, А.И. Повышение агроэкологических качеств движителей колесных тракторов / А.И. Бобровник, Ю.М. Жуковский, Т.А. Варфоломеева //Агропанорама. – 2011. – № 4. – С. 2-5.

4. Правила дорожного движения: утв. Указом Президента Респ. Беларусь 28. 11. 2005. Изменения и дополнения внесены в 2006-2010 гг.

УДК 631.431.73;629

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 2.05.2012

ВЛИЯНИЕ СОСТОЯНИЯ ПРОТЕКТОРА КОЛЕС ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НА УПЛОТНЕНИЕ ПОЧВ

Ю.В. Чигарев, докт. физ.-мат. наук, профессор (БГАТУ; Западнопоморский технологический ун-т, Респ. Польша); М. Снег, канд. техн. наук (Западнопоморский технологический ун-т, Респ. Польша); И.С. Крук, канд. техн. наук, доцент (БГАТУ; ИППК МЧС Респ. Беларусь); А.А. Новиков, нач. кафедры (ИППК МЧС Респ. Беларусь)

Аннотация

В статье приведены результаты лабораторных исследований характера проникновения деформаций в глубину слоя почвы в зависимости от состояния протектора шин колес и величины нагрузки на них.

The article views the results of laboratory studies the nature of the penetration depth of the strains in the soil depending on the tire tread of the wheels and the load on them.

Введение

В конструкциях современных энергетических средств и сельскохозяйственных машин используются различные шины, которые имеют конструктивные (радиальные и диагональные) и геометрические отличия. Рисунок протектора шин и состояние контактирующей с почвой поверхности обеспечивает необходимое сцепление и влияет на рабочую скорость агрегата, проходимость, затраты энергии и расход топлива на его передвижение [1]. В зависимости от технологического процесса, состояния обрабатываемой поверхности и типа почв на машинах устанавливаются шины с соответствующим рисунком, которые должны удовлетворять определенным параметрам – скольжению, липкости, износу и др.

Одним из важнейших показателей эксплуатации сельскохозяйственных машин и тракторов в поле является сохранение ими плодородия почв, которое во многом связано с их плотностью. Как известно, на плотность оказывает влияние вес машин, опорная поверхность колес, скорость передвижения и свойства почвы. Мало изученным является вопрос о влиянии рисунка и изношенности протектора шины на уплотнение почв.

Целью данной работы является оценка уплотнения легкой суглинистой почвы различными штампами

в зависимости от износа протектора шины, площади контактной поверхности и меры уплотняющих воздействий. Исследования проводились в лаборатории механики почв Западнопоморского технологического университета в городе Щецине (Республика Польша).

Основная часть

Объектом исследования была легкая суглинистая почва, гранулометрический состав которой представлен в табл. 1. Опыты проводились на лабораторной установке, схема которой приведена на рис. 1 [2-4].

Почва для исследований была помещена в ящик размером 580x400x277 мм, в котором передняя стенка была сделана прозрачной. Высота почвы составляла 25 см. С целью наблюдения за деформациями, объем почвы, находящийся в специальном ящике, с помощью мелового порошка был разделен на 5 одинаковых по высоте слоев (рис. 2).

Перед уплотнением в трех местах почвы брались образцы для определения влажности и начальной плотности (рис. 2). Уплотнение почвы проводилось с помощью трех штампов в три этапа: силой 3 кН, 6 кН, 9 кН. Штампы были изготовлены со следующими элементами шин (рис. 3): мало изношенной ведущего колеса (а), сильно изношенной ведущего колеса (б),