

УДК 62-253/-254

Экспериментальная оценка способности автомобильных безвоздушных шин самоочищаться от грязи

В.В. Мазур^a, М.А. Мазур^b

Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

^amazurvv@yandex.ru, ^bmarianne1973@yandex.ru

Статья поступила 24.06.2014, принята 25.08.2014

Достижения в области химии полимеров способствуют созданию принципиально новых конструкций автомобильных колес и шин, характеризующихся повышенной стойкостью к механическим повреждениям и при этом не уступающим по своим эксплуатационным свойствам традиционным пневматическим шинам. Применение колес с безвоздушными шинами из эластичных полиуретанов позволяет не только повысить безопасность гражданских автомобилей, но и живучесть военной автомобильной техники, а также снизить трудоемкость обслуживания ходовой части колесных машин. Однако существует мнение, что при эксплуатации на дорогах с размокшей грунтовой поверхностью и в условиях тяжелого бездорожья открытые полости, образованные гибкими спицами безвоздушных шин, будут забиваться грязью, вызывая дисбаланс и биение колес. На кафедре автомобильного транспорта Братского государственного университета проведены дорожные испытания способности безвоздушных шин с гибкими полиуретановыми спицами самоочищаться от глинистого грунта в процессе качения. По результатам испытаний установлено, что способность автомобильных безвоздушных шин самоочищаться от грязи не уступает пневматическим шинам традиционных конструкций, а открытые полости между гибкими спицами не являются фактором, ограничивающим применение безвоздушных шин на колесных машинах повышенной проходимости.

Ключевые слова: безвоздушные шины, гибкие полиуретановые спицы, глина, глинистый грунт, грязь, самоочищение автомобильных шин, испытания шин.

Experimental evaluation of the ability of automotive airless tyres to self-purify mud

V. V. Mazur^a, M. A. Mazur^b

Bratsk State University, 40 Makarenko St., Bratsk, Russia

^amazurvv@yandex.ru, ^bmarianne1973@yandex.ru

Received 06.24.2014, accepted 25.08.2014

Advances in polymer chemistry contribute to the creation of fundamentally new constructions of automotive wheels and tyres with increased resistance to mechanical damage and matching to traditional pneumatic tyres according to their performance characteristics. By using wheels with airless tyres made of elastic polyurethane, it allows not only improving the safety of civil vehicles, but also the persistence of military vehicles, as well as reducing the complexity of service of a running gear of wheeled vehicles. However, it is believed that by using them on the roads with the sodden ground surface and in hard off-road conditions, open cavities formed by flexible spokes of airless tyres will be clogged with mud and cause some disbalance and beating of the wheels. To test the ability of the airless tyres with flexible polyurethane spokes to self-purify from clayey ground in the process of the frictionless bearing some road tests have been taken at the Department of Motor Transport of Bratsk State University. According to the test results, it has been found out that the ability of automotive airless tyres to self-purify from mud is not inferior to pneumatic tyres of traditional designs, and open cavities between flexible spokes are not a limiting factor for using airless tyres on wheeled vehicles of off-road capacity.

Keywords: airless tyres, flexible polyurethane spokes, clay, clayey ground, mud, self-purifying tyres, tyre test.

Введение. Эксплуатация в условиях бездорожья и на дорогах без твердого покрытия, как правило, приводит к загрязнению наружных поверхностей машины и ее агрегатов, попаданию грязи внутрь открытых механизмов. Наиболее интенсивное накопление грязи происходит при движении машины по размокшим глинистым и суглинистым грунтовым поверхностям. Влажные глинистые и суглинистые грунты обладают высокими адгезионными свойствами, что вызывает их прилипание к элементам ходовой части колесной машины, и в первую очередь к взаимодействующим с опорной

поверхностью колесам и шинам. Несмотря на способность современных пневматических шин колесных машин высокой и повышенной проходимости самоочищаться при эксплуатации на вязких грунтах, которая обеспечивается более разряженным рисунком протектора, забивание канавок и ламелей беговой дорожки влажной глиной происходит быстро, что резко ухудшает тягово-сцепные свойства колесной машины, ее курсовую устойчивость и управляемость, может привести как к частичной, так и к полной потере проходимости. Попадание грязи на поверхность колес и шин может

вызвать их дисбаланс и биение, что также приведет к ухудшению управляемости и плавности хода машины, особенно при высоких скоростях движения. Кроме того, глинистые и суглинистые загрязнения значительно увеличивают трудоемкость ежедневного обслуживания, которая еще больше возрастает при пониженных температурах окружающего воздуха.

В начале XXI века для повышения безопасности автомобилей и «живучести» военной автомобильной техники по всему миру активно стали создаваться колеса с безвоздушными шинами, упругие свойства которых обеспечиваются физико-механическими свойствами полимерных материалов, как правило, эластичных полиуретанов. Наиболее известными разработчиками безвоздушных полиуретановых шин являются такие компании, как Michelin, Amerityre, Yokohama, Bridgestone, Hankook, Resilient Technologies и Polaris. Большой опыт создания автомобильных шин, работающих без избыточного давления воздуха, имеет отечественный НИИ шинной промышленности. В отличие от изобретенных еще в конце XIX века и в настоящее время широко применяемых на тихоходных колесных машинах массивных и полумассивных шин пониженное теплообразование и улучшенное тепловыделение позволяет эксплуатировать современные безвоздушные шины с высокими для автомобильного транспорта скоростями. Следует отметить, что для обеспечения этих свойств большинство известных конструкций современных безвоздушных шин имеют тонкие гибкие полиуретановые спицы, соединяющие посадочное и опорное кольца шины и образующие открытые полости.

Постановка задачи. Безвоздушные шины, как и пневматические, могут быть изготовлены с любым рисунком протектора, в зависимости от предполагаемых условий эксплуатации, в числе которых и эксплуатация на дорогах с грунтовым покрытием и в условиях тяжелого бездорожья. В этом случае способность протектора самоочищаться от грязи может быть обеспечена известными конструктивными решениями. Однако существует мнение, что в первую очередь забиваться грязью будет пространство между гибкими спицами безвоздушных шин, вызывая дисбаланс и биение колес. Имеет место и аналогичное мнение о том, что в зимний период пространство между гибкими спицами будет забиваться снегом, который будет таять при контакте с нагретой в процессе качения шиной и при остановке или стоянке колесной машины из-за низких температур окружающего воздуха превращаться в лед, что также вызовет дисбаланс и биение.

Информация о способности зарубежных колес с безвоздушными шинами самоочищаться от грязи отсутствует или недоступна из-за их, в первую очередь, военного предназначения. Однако известно, что квадроцикл Sportsman WV850 HO американской компании Polaris с безвоздушными шинами Terrain Armor, фотография которого представлена на рис. 1, способен преодолевать водные препятствия по переувлажненному грунтовому дну.

Испытания. Для проверки способности безвоздушных шин с гибкими полиуретановыми спицами

самоочищаться от грязи были проведены дорожные испытания одного из изготовленных на кафедре «Автомобильный транспорт» Братского государственного университета экспериментальных образцов колес. Экспериментальные образцы колес с безвоздушными шинами из эластичных полиуретанов [1 – 14] были изготовлены при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках государственного контракта № 14.740.11.0319 от 17 сентября 2010 года.



Рис. 1. Квадроцикл компании Polaris при преодолении водного препятствия по переувлажненному грунтовому дну

Испытуемый экспериментальный образец представляет собой неразборную конструкцию и состоит из безвоздушной полиуретановой шины с гибкими спицами и стандартного стального штампованного дискового колеса 5JX13H2 с глубоким ободом без закраин, предназначенного для легкового автомобиля малого класса. Требуемая жесткость безвоздушной шины, соответствующая весовым параметрам транспортного средства, обеспечивается несущим кольцом из эластичного полиуретана со сравнительно высоким значением модуля упругости ($E = 26,2$ МПа). Рисунок протектора, расположенного на опорном кольце, универсальный направленный. Под действием нормальной нагрузки в зоне контакта безвоздушной шины с опорной поверхностью полиуретановые спицы легко изгибаются в продольном направлении.

В табл. 1 приведены технические показатели экспериментального образца колеса с безвоздушной шиной, взятого для испытаний грязью.

До начала испытаний и установки экспериментального образца колеса на легковой автомобиль ВАЗ-2107 несколько открытых сквозных полостей, образованных гибкими спицами безвоздушной шины, полностью заполнились увлажненной жирной карьерной глиной. Установлено, что масса влажной глины при заполнении всего объема одной из таких полостей составляет 450 граммов. В реальных же условиях эксплуатации безвоздушных шин заполнение всего объема полостей между гибкими спицами связными грунтами невозможно даже при длительном движении колесной ма-

шины. В свою очередь, переувлажненный грунт обладает повышенной текучестью в сочетании с плохими адгезионными свойствами.

Оценка самоочищаемости безвоздушной шины от влажного глинистого грунта осуществлялась по расстоянию, пройденному катящимся в ведомом режиме колесом по дороге с ровным асфальтобетонным покрытием, и степени очистки полостей от загрязнения.

Таблица 1

Технические показатели экспериментального образца колеса с безвоздушной шиной

1. Форполимер посадочного кольца, гибких спиц и протектора	СУРЭЛ ТФ-228
2. Форполимер опорного кольца	СУРЭЛ ТФ-682
3. Количество гибких спиц	30
4. Толщина гибких спиц, мм	8
5. Длина гибких спиц, мм	55
6. Ширина профиля шины, мм	120
7. Высота профиля шины, мм	100
8. Свободный радиус колеса, мм	265
9. Высота протектора, мм, в том числе высота рисунка протектора, мм	25 10
10. Масса колеса, кг	14
11. Коэффициент нормальной жесткости шины, кН/м	112

Движение автомобиля осуществлялось с минимальной скоростью 10 км/ч, при которой действующие на вращающееся колесо центробежные силы оказывали минимальное влияние на процесс самоочищения безвоздушной шины. Следует отметить, что в реальных условиях тяжелого бездорожья скорость автомобилей также не превышает 10-15 км/ч. Кроме того, по соображениям безопасности дорожного движения автомобилю при выезде с размокшей грунтовой дороги на дорогу с твердым покрытием не рекомендуется двигаться с большой скоростью, пока протектор не очистится от налипшей грязи.

На рис. 2 представлены фотографии, полученные в процессе испытаний грязью экспериментального образца колеса с безвоздушной шиной. Установлено, что самоочищение безвоздушной шины при малых скоростях качения колеса осуществляется в основном из-за периодического изменения объема ее полостей, вызванного деформациями конструктивных элементов в зоне контакта с опорной поверхностью под действием нормальной нагрузки. В этом случае глинистый грунт выдавливается из полостей в боковом направлении, как показано на рис. 2 а. Тем не менее, на длине пути автомобиля 10-12 метров высокие вязкость, пластичность и адгезия влажной глины не позволяют грунту отделяться от колеса. При дальнейшем качении колеса с той же малой скоростью под действием центробежных сил и собственного веса грунт начинает вытекать из полостей, образованных гибкими спицами, как показано на рис. 2 б. Через 27-30 метров, при тех же условиях качения колеса глинистый грунт прекращает вытекать

из полостей безвоздушной шины, однако степень очистки составляет около 80-85 % от объема загрязненных полостей. На рис. 2 в отчетливо видно, что грязь остается не только внутри полостей, но и на торцевой поверхности опорного кольца (боковой поверхности безвоздушной шины, параллельной плоскости качения колеса). Для разрушения высоких адгезионных связей глинистого грунта с полиуретановой поверхностью безвоздушной шины скорость движения автомобиля была увеличена с 10 до 50 км/ч, и приблизительно через 100 метров испытания были прекращены. Значительные центробежные силы и движение автомобиля по неровному участку дороги с изношенным асфальтобетонным покрытием не обеспечили полной очистки поверхностей безвоздушной шины от влажного глинистого грунта, что показано на рис. 2 г. Этот же рисунок наглядно демонстрирует высокие адгезионные свойства влажной жирной глины, которая налипла на внутреннюю поверхность брызговика. Масса налипшей на брызговик глины за время испытания колеса составила 300-350 граммов.

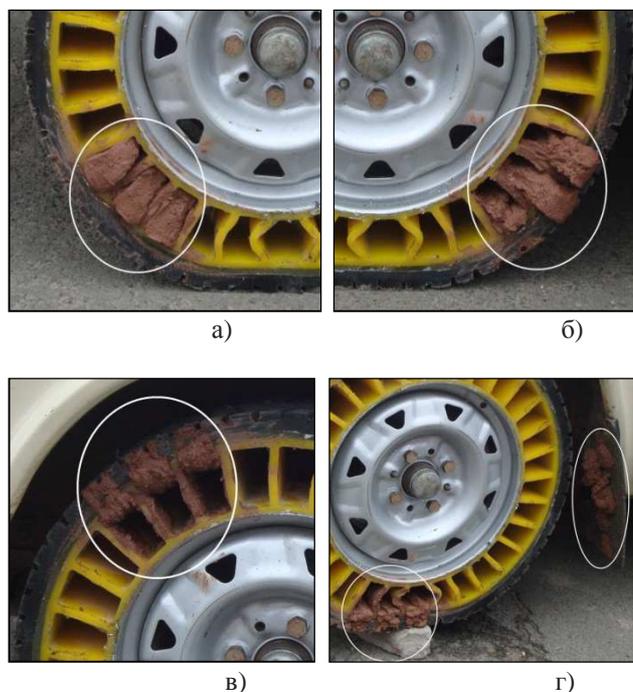


Рис. 2. Автомобильное колесо с безвоздушной шиной в процессе испытания способности самоочищаться от влажной глины: а) после 10 метров пробега со скоростью 10 км/ч, степень очистки 0 %; б) после 20 метров пробега со скоростью 10 км/ч, степень очистки 50 %; в) после 30 метров пробега со скоростью 10 км/ч, степень очистки 80-85 %; г) после 130 метров пробега, из которых 100 метров со скоростью 50 км/ч, степень очистки 90-95 %

В ходе подготовки ко второму этапу испытаний автомобильного колеса грязью безвоздушная шина не очищалась от влажной глины. Кроме того, еще несколько ее полостей, образованных гибкими полиуретановыми спицами, также были заполнены глинистым грунтом. В результате хранения экспериментального образца колеса в условиях лаборатории в течение трех суток глинистый грунт естественным образом высох и,

несмотря на заметное ухудшение адгезионных свойств и усадку, его прочность значительно возросла. В то же время известно, что сухая глина, обладая высокой прочностью (до 10 МПа), очень хрупкая и способна мгновенно разрушаться без видимой пластической деформации, особенно при ударных динамических нагрузках.

На рис. 3 приведены фотографии, полученные в процессе испытания способности экспериментального образца колеса с безвоздушной шиной самоочищаться от сухого глинистого грунта.

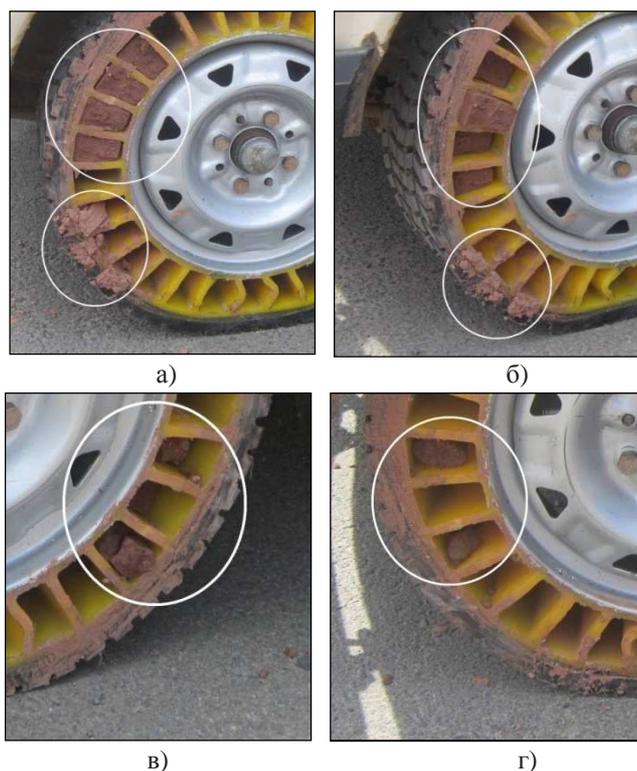


Рис. 3. Автомобильное колесо с безвоздушной шиной в процессе испытания способности самоочищаться от сухого глинистого грунта: а) после 20 метров пробега со скоростью 10 км/ч, степень очистки 8 %; б) после 50 метров пробега, из которых 30 метров со скоростью 30 км/ч, степень очистки 45 %; в) после 110 метров пробега, из которых 60 метров со скоростью 40 км/ч, степень очистки 80 %; г) после 170 метров пробега, из которых 60 метров со скоростью 50 км/ч, степень очистки 95 %

На втором этапе испытаний установлено, что при малой скорости качения колеса, равной 10 км/ч, самоочищения полостей экспериментального образца безвоздушной шины практически не происходит из-за высокой прочности сухой глины. На рис. 3 а видно, что из высушенного грунта образовались прочные глиняные стержни, способные перемещаться в полостях безвоздушной шины только в направлении, параллельном оси вращения колеса. Также наблюдается отслоение сухой глины, оставшейся на поверхностях безвоздушной шины от первого этапа ее испытаний размокшей грязью, и незначительное разрушение торцевых поверхностей глиняных стержней. Несмотря на дисбаланс и заметное биение загрязненного колеса, увеличение скорости автомобиля до 30 км/ч позволило в свою очередь увеличить центробежные силы, которые, благодаря появив-

шимся из-за усадки грунта зазорам, выдвинули глиняные стержни из полостей, а возросшие при этом ударные динамические нагрузки обеспечили больший процент их разрушения, что видно на рис. 3 б.

Дальнейшее увеличение скорости движения автомобиля до 40 и 50 км/ч в сочетании с воздействием неровностей дорожной поверхности полностью разрушило сухие глиняные стержни и очистило поверхности безвоздушной шины от глиняной корки, что можно видеть на рис. 3 в и г.

Более быстрое и эффективное удаление твердых частиц сухого грунта из полостей безвоздушной шины под действием центробежных сил в дальнейшем можно обеспечить наклоном поверхностей ее опорного кольца [15].

Испытаний способности экспериментального образца колеса с безвоздушной шиной самоочищаться от снега и льда не проводилось. Однако можно с большой уверенностью предположить, что снег так же, как и влажный глинистый грунт, будет выдавливаться и выбрасываться из полостей между спицами под действием центробежных сил и из-за периодического изменения объема этих полостей в процессе деформации элементов конструкции безвоздушной шины в зоне контакта с опорной поверхностью под действием нормальной нагрузки и подводимого к колесу крутящего момента. В свою очередь, для обеспечения эффективного таяния снега и заполнения льдом всего объема полостей между спицами безвоздушная шина должна иметь очень высокое теплообразование. Поэтому из-за нагрева в процессе качения колеса может появиться только хрупкий малопрочный ледяной слой между поверхностью спиц и находящимся в полостях безвоздушной шины снегом, который будет легко разрушаться при движении колесной машины.

Выводы

В конечном итоге по результатам дорожных испытаний экспериментального образца, проведенных, в сравнении с реальными, при более экстремальных условиях, установлено, что способность автомобильных безвоздушных шин с гибкими спицами из эластичных полиуретанов самоочищаться от грязи не уступает пневматическим шинам традиционных конструкций. Процесс самоочищения происходит в процессе качения колеса даже при малых скоростях под действием центробежных сил и нормальной нагрузки в зоне контакта безвоздушной шины с опорной поверхностью. Повышение скорости движения колесной машины и неровности дорожной поверхности ускоряют процесс самоочищения безвоздушных шин от грязи. Открытые полости между гибкими спицами не являются фактором, ограничивающим применение безвоздушных шин на колесных машинах повышенной проходимости. Кроме того, открытые гибкие спицы не только улучшают процесс тепловыделения, но и могут повысить проходимость колесной машины на размокших грунтах и при преодолении водных преград, работая как движители первых пароходов. Следовательно, колеса с безвоздушными шинами могут найти применение не только на шоссе, но и на транспортных средствах повышенной проходимости, строительно-дорожных машинах и колесной бронетехнике.

Литература

1. Енаев А.А., Мазур В.В. Колесо транспортного средства повышенной эластичности: пат. 2180290, Рос. Федерация. № заявки 2000111344/28; заявл. 06.05.00; опубл. 10.03.02, Бюл. № 7. 8 с.
2. Енаев А.А., Мазур В.В. Упругое колесо транспортного средства: пат. 2335409, Рос. Федерация. № 2006147016/11; заявл. 27.12.06; опубл. 10.10.08, Бюл. № 28. 5 с.
3. Енаев А.А., Мазур В.В. Колесо с внутренним подрессориванием транспортного средства повышенной проходимости: пат. 2228273, Рос. Федерация. № 2002113483/11; заявл. 23.05.2002; опубл. 10.05.2004, Бюл. № 13. 8 с.
4. Мазур В.В. Способ армирования колес с упругими деформируемыми спицами и пресс-форма для изготовления колес: пат. 2357861 Рос. Федерация. № заявки 2007145141/12; заявл. 04.12.07; опубл. 10.06.09, Бюл. № 16. 5 с.
5. Мазур В.В. Технология изготовления автомобильных шин с упругими деформируемыми спицами из эластичного полиуретана // Автотранспортное предприятие. 2010. № 5. С. 27-29.
6. Рыков С.П., Мазур В.В., Тарасюк В.Н., Коваль В.С., Хозяшев И.А., Камнев А.В., Гайлиш А.Н. От экспериментального оборудования к прикладным исследованиям и инновационным разработкам // Труды Братского государственного университета. Сер. Естественные и инженерные науки. 2012. Т. 3. С. 35-48.
7. Мазур В.В., Гайлиш А.В. Способ армирования автомобильных шин с упругими спицами и матрица для изготовления колес: пат. 2505398, Рос. Федерация. № 2011149925/05; заявл. 07.12.11; опубл. 27.01.14, Бюл. № 3. 9 с.
8. Мазур В.В. Колесные движители военной автомобильной техники с усиленной противоминной защитой // Военная мысль. 2014. № 2. С. 55-58.
9. Мазур В.В., Гайлиш А.В. Автомобильные колеса с безвоздушными шинами // Автотранспортное предприятие. 2011. № 12. С. 36-38.
10. Мазур В.В. Повышение живучести и безопасности автомобильных шин. Автомобильные шины с упругими деформируемыми спицами // Автотранспортное предприятие. 2008. № 8. С. 37-40.
11. Mazur V.V. Experimental determination of characteristics elasticity of car wheels with airless tyres // Наука и технологии. 2013. Т. 1. С. 40-46.
12. Мазур В.В. Динамическая модель колебательной системы, эквивалентной машине с боестойкими колесами, при движении по дорогам с неровными поверхностями // Вестник академии военных наук. 2013. № 4. С. 105-110.
13. Мазур В.В. Повышение живучести военной автомобильной техники применением боестойких колес с безвоздушными шинами из эластичных полиуретанов // Вестник академии военных наук. 2013. № 2. С. 137-142.
14. Мазур В.В. Повышение плавности хода автотранспортных средств внутренним подрессориванием колес: дис. ... канд. техн. наук. Братск, 2004. 151 с.

15. Мазур В.В., Гайлиш А.В. Матрица для изготовления колес: пат. 2506169, Рос. Федерация. № 2012105204/11; заявл. 14.02.12; опубл. 10.02.14, Бюл. № 4. 6 с.

References

1. Enaev A.A., Mazur V.V. The vehicle's wheel of high elasticity: pat. 2180290, Ros. Federatsiya. № заявки 2000111344/28; заявл. 06.05.00; opubl. 10.03.2002, Byul. № 7. 8 p.
2. Enaev A.A., Mazur V.V. Resilient wheel of the vehicle: pat. 2335409, Ros. Federatsiya. № 2006147016/11; заявл. 27.12.06; opubl. 10.10.08, Byul. № 28. 5 p.
3. Enaev A.A., Mazur V.V. Wheel with internal spring off-road vehicles: pat. 2228273, Ros. Federatsiya. № 2002113483/11; заявл. 23.05.2002; opubl. 10.05.2004, Byul. № 13. 8 p.
4. Mazur V.V. The way the reinforcement of wheels with flexible spokes and molds for the manufacture of wheels: pat. 2357861 Ros. Federatsiya. № заявки 2007145141/12; заявл. 04.12.07; opubl. 10.06.09, Byul. № 16. 5 p.
5. Mazur V.V. The technology of manufacture of tires with an elastically deformable spokes of elastic polyurethane // Avtotransportnoe predpriyatie. 2010. № 5. P. 27-29.
6. Rykov S.P., Mazur V.V., Tarasyuk V.N., Koval' V.S., Khozhashev I.A., Kamnev A.V., Gailish A.N. From the experimental equipment to applied research and innovative developments // Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Estestvennyye i inzhenernyye nauki. 2012. T. 3. P. 35-48.
7. Mazur V.V., Gajlish A.V. The way the reinforcement of automobile tires with flexible spokes and the matrix for the manufacture of wheels: pat. 2505398, Ros. Federatsiya. № 2011149925/05; заявл. 07.12.11; opubl. 27.01.14, Byul. № 3. 9 p.
8. Mazur V.V. Paddle wheels of military vehicles with enhanced mine-protected // Voennaya mysl'. 2014. № 2. P. 55-58.
9. Mazur V.V., Gailish A.V. Automobile wheel with airless tires // Avtotransportnoe predpriyatie. 2011. № 12. P. 36-38.
10. Mazur V.V. Povyshenie zhivuchesti i bezopasnosti avtomobil'nykh shin. Avtomobil'nye shiny s uprugimi deformiruemymi spitsami // Avtotransportnoe predpriyatie. 2008. № 8. P. 37-40.
11. Mazur V.V. Experimental determination of characteristics elasticity of car wheels with airless tyres // Nauka i tekhnologii. 2013. T. 1. P. 40-46.
12. Mazur V.V. Dynamic model of the oscillating system, the equivalent machine with figh tresistent wheels when driving on roads with uneven surfaces // Vestn. akad. voen. nauk. 2013. № 4. P. 105-110.
13. Mazur V.V. Increased survivability of military vehicles using figh tresistent wheels with airless tires from flexible polyurethane // Nauka i tekhnologii. 2013. № 2. P. 137-142.
14. Mazur V.V. Raising Ride vehicles internal cushioning wheels: dis. ... kand. tekhn. nauk. Bratsk, 2004. 151 p.
15. Mazur V.V., Gajlish A.V. The matrix for the manufacture of wheels: pat. 2506169, Ros. Federatsiya. № 2012105204/11; заявл. 14.02.12; opubl. 10.02.14, Byul. № 4. 6 p.