

УДК (UDC) 62-254

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ КОЛЁС С БЕЗВОЗДУШНЫМИ ШИНАМИ ИЗ ЭЛАСТИЧНЫХ ПОЛИУРЕТАНОВ

TECHNOLOGY OF MANUFACTURING EXPERIMENTAL AUTOMOBILE WHEELS WITH AIRLESS TIRES FROM ELASTIC POLYURETHANES

Мазур В.В.
Mazur V.V.Братский государственный университет (Братск, Россия)
Bratsk State University (Bratsk, Russia)

Аннотация. Известный недостаток пневматических шин, заключающийся в потере их работоспособности при сквозных механических повреждениях, определяет необходимость поиска принципиально новых конструктивных решений колёсных движителей для повышения безопасности гражданских автомобилей и живучести колёсной бронетехники, одним из которых является применение безвоздушных шин из эластичных полимерных материалов. В Братском государственном университете разработана технология и изготовлены натурные образцы колёс с безвоздушными шинами из эластичных полиуретанов отечественного производства для легкового автомобиля малого класса. Новая технология представляет собой совокупность способа изготовления колёсного движителя и оборудования, оснастки и инструмента для его осуществления в условиях мелкосерийного производства. Способ литья полиуретановой смеси и оригинальные конструкции литейных матриц отличаются тем, что обод колеса является одним из формовочных элементов литейной матрицы и образует прочную адгезионную связь с посадочным кольцом безвоздушной шины, а её гибкие спицы и опорное кольцо изготавливаются поэтапно с помощью наборов формовочных колец разных размеров. Разработанная технология может быть востребована изготовителями колёсных машин различного назначения.

Ключевые слова: непневматические шины, литейная матрица, полиуретановые эластомеры, полимеризационная камера, процесс отверждения.

Дата принятия к публикации: 22.04.2019
Дата публикации: 25.06.2019

Сведения об авторе:

Мазур Владимир Викторович – кандидат технических наук, доцент по кафедре автомобильного транспорта, доцент, кафедра машиностроения и транспорта, Братский государственный университет, e-mail: mazurvv@yandex.ru.

ORCID: 0000-0001-9487-3280

Abstract. A well-known disadvantage of pneumatic tires is the cessation of the ability to work with mechanical damage through and determines the need to search for fundamentally new design solutions for wheel movers to increase the safety of civilian automobiles and the survivability of wheeled armored vehicles. One such solution is the use of airless tires made of elastic polymeric materials. The Department of Mechanical Engineering and Transport of the Bratsk State University has developed a technology and made full-scale model of the wheel with airless tires made of elastic polyurethanes of domestic production for a car. The new technology is a combination of the method of manufacturing wheel mover and equipment, tooling and tools for its implementation in small-scale production. The method of casting the polyurethane mixture and the original design of the casting dies is characterized in that the wheel rim is one of the molding elements of the casting matrix and forms a strong adhesive bond with the airless tire seat ring. Flexible spokes and airless tire support ring are manufactured in stages using sets of molding rings of various sizes. Foundry matrix produced from moisture-resistant plywood, polyvinyl chloride and carbon steel. The created full-scale models have constructive and technological disadvantages, but are generally suitable for further bench and road tests, which are aimed at determining the output parameters and characteristics and evaluating their influence on the performance properties of the vehicle. The developed technology can be claimed by manufacturers of wheeled vehicles for various purposes.

Keywords: non-pneumatic tires, casting matrix, polyurethane elastomers, polymerization chamber, curing process

Date of acceptance for publication: 22.04.2019
Date of publication: 25.06.2019

Author information:

Vladimir V. Mazur– Candidate of Technical Sciences, Associate professor in the Department of Automobile transport, Associate professor, Department of Mechanical engineering and transport, Bratsk State University, e-mail: mazurvv@yandex.ru.

ORCID: 0000-0001-9487-3280

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (гос. контракт № 14.740.11.0319, 17 сентября 2010 г. - 26 ноября 2012 г.).

Acknowledgements

The work was carried out with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (state contract No. 14.740.11.0319, September 17, 2010 - November 26, 2012).

1. Введение

Потеря избыточного давления воздуха в пневматической шине традиционной конструкции неизбежно приводит к прекращению движения автотранспортного средства, а при высоких скоростях движения – к дорожно-транспортному происшествию с тяжёлыми последствиями. Для автомобильной техники военного назначения эта проблема особенно актуальна, так как в условиях боевых действий неподвижная машина наиболее уязвима для гранатомётов и прицельного огня стрелкового оружия.

Уровень современной химической промышленности позволяет создавать принципиально новые конструкции безвоздушных колёсных движителей, имеющих повышенную стойкость к механическим повреждениям и при этом не уступающих по своим эксплуатационным показателям традиционным пневматическим шинам. Безвоздушные шины из эластичных полиуретанов были впервые применены в 1991 г. на колёсной бронетехнике Южно-Африканской международной технологической компанией совместно с Южно-Африканским институтом оборонных исследований. Значительный вклад в создание и совершенствование безвоздушных шин внесли зарубежные компании, такие как «Юнироял» [1], «Мишлен» [2], «Ресилиент Технолоджис» [3] совместно с Центром полимерной инженерии США, «Поларис» [4], «Йокогама» [5], «Бриджстоун» [6], «Ханкук» [7], «Тойо» [8], «Боинг» [9], «Америтайр» [10], «Сумитомо» [11], «Гудьир» и «Брайтек» [12]. В России созданием и исследованиями безвоздушных колёсных движителей активно занимается ООО «Веском НИЦШП» [13].

2. Задачи технологии изготовления колёс с безвоздушными шинами

Появление высокоскоростных безвоздушных шин является революционным шагом в направлении повышения безопасности автомобилей и живучести военной автомобильной техники. Поэтому сравнительно недавний интерес шинных компаний к безвоздушным шинам не позволил накопить достаточного количества опубликованных научных работ, содержащих теоретические обобщения и позволяющих судить об оптимальности конструкций. Однако успехи зарубежных шинных компаний и накопленный опыт создания нетрадиционных колёсных движителей [14] и испытания пневматических шин [15-20] послужили толчком для проектирования и производства колёс с безвоздушными шинами новых конструкций из эластичных полиуретанов на кафедре машиностроения и транспорта Братского государственного университета (с 1974 г. по 2018 г. – кафедре автомобильного транспорта).

В рамках научно-исследовательской опытно-конструкторской работы были разработаны и изготовлены натурные образцы колёс с безвоздушными шинами из эластичных полиуретанов для легкового автомобиля малого класса (рис.1).

Новые научно обоснованные технические решения [21-24, 27, 28] потребовали новые способы изготовления [25-28] безвоздушных колёсных движителей и оригинальные технологические оборудование и оснастку [29-32].

Разработка технологии изготовления колёс с безвоздушными шинами включала в себя решение следующих задач:

- разработку способа изготовления колёс с безвоздушными шинами и конструкции матриц для их литья из эластичных полиуретанов;
- разработку конструкции полимеризационной камеры для осуществления процесса

полимеризации полиуретановых смесей при изготовлении безвоздушных шин;

– подбор и изготовление оборудования, оснастки и инструмента и организация мелкосерийного производства безвоздушных колёсных движителей в лабораторных условиях;

– подбор полиуретановых эластомеров и изготовление натуральных образцов колёс с безвоздушными шинами для конкретной модели автомобиля.

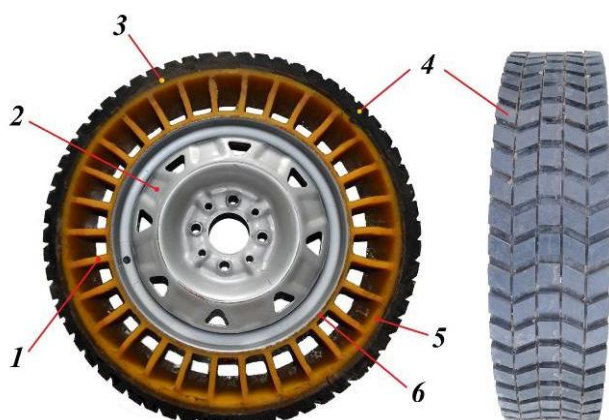


Рис.1. Автомобильное колесо с безвоздушной шиной из эластичных полиуретанов (образец № 4): 1 – гибкие спицы; 2 – стандартное дисковое колесо 5JX13H2 с глубоким ободом; 3 – опорное кольцо; 4 – протектор; 5 – соединительное кольцо; 6 – посадочное кольцо

3. Оборудование, оснастка и инструмент для изготовления безвоздушных колёс

Изготовление натуральных образцов колёс с безвоздушными шинами осуществлялось с использованием как приобретённых, так и вновь создаваемых оборудования, оснастки и инструмента: литейных матриц, полимеризационной камеры, тепловой пушки, одноконфорочной электрической плиты, электронных весов, дрели-миксера и др.

Для формования натуральных образцов безвоздушных шин были разработаны и изготовлены литейные матрицы из различных материалов, таких как влагостойкая фанера, поливинилхлорид и углеродистая сталь.

На рис. 2 приведен общий вид литейной матрицы, которая применялась для изготов-

ления первых натуральных образцов безвоздушных шин.

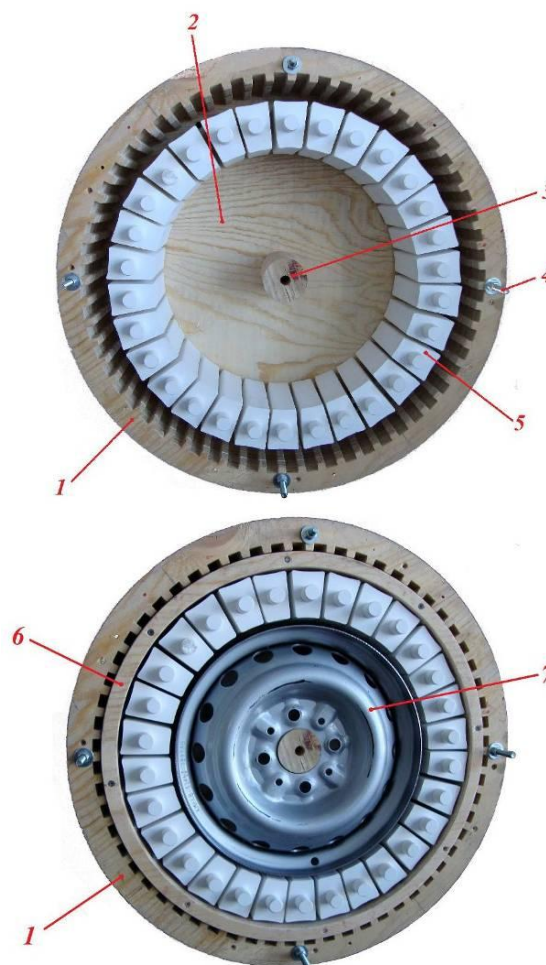


Рис.2. Литейная матрица: 1 – корпус; 2 – днище; 3 – центрирующий цилиндр; 4 – шпильки; 5 – призмы; 6 – кольцо; 7 – колесо дисковое

Конструктивные элементы матрицы были изготовлены на деревообрабатывающем станке с числовым программным управлением из листов влагостойкой фанеры толщиной 21 мм и поливинилхлорида. Днище матрицы 2, изготовленное из соединённых шурупами с потайной головкой двух листов фанеры, крепится шпильками 4 к корпусу 1, который выполнен разборным из шести концентрических фанерных колец суммарной высотой 126 мм. Наружный диаметр корпуса 590 мм и суммарная высота корпуса и днища 168 мм определяют габаритные размеры матрицы. Внутренняя поверхность корпуса предназначена для формования протектора безвоздушной шины.

Для формования гибких спиц служат 30 призматических элементов 5, изготовленных из поливинилхлорида и устанавливаемых в отверстия днища матрицы, которые для исключения проворачивания призм относительно своих осей имеют квадратную форму. В процессе изготовления безвоздушной шины предварительно подготовленное дисковое колесо 7 также является формующим элементом и центрируется в матрице с помощью фанерного цилиндра 3. Крепление колеса в матрице осуществляется шпилькой. Для возможности применения в качестве конструктивных материалов в процессе поэтапного изготовления безвоздушной шины эластичных полиуретанов с разными физико-механическими свойствами служит неразборное разделительное кольцо 6 с внутренним диаметром 205 мм, которое центрируется по внутренней поверхности корпуса матрицы при формовании гибких спиц и извлекается из матрицы при формовании протектора. Вертикальное положение призматических формующих элементов и постоянство толщины гибких спиц обеспечиваются фиксирующим кольцом (на рисунке не показано), которое устанавливается на цилиндрические шипы призм.

Подготовка фанерной матрицы к формованию безвоздушных шин представляет собой длительный и трудоёмкий процесс, связанный с необходимостью оборачивания её конструктивных элементов алюминиевой фольгой для исключения адгезии полиуретанов к формующим поверхностям. При многократном использовании матрицы перепады температуры и влажности вызывают коробление и расслоение её конструктивных элементов, а извлечение готового изделия – их сколы и обломы.

На рис.3 приведён общий вид литейной матрицы, изготовленной из конструкционной углеродистой стали.

Днище матрицы 2 крепится шпильками 3 к разборному корпусу 1, который состоит из девяти концентрических колец, каждое из которых разделено на три одинаковых сегмента, предназначенных для формования конструктивных элементов протектора безвоздушной шины. В частности, четыре сегмент-

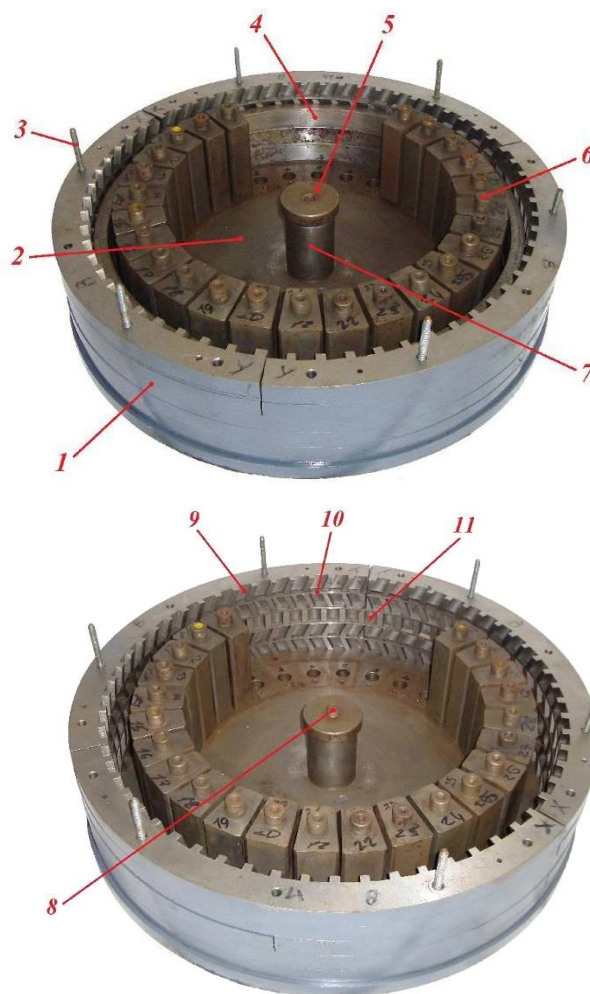


Рис.3. Стальная литейная матрица:
1 – корпус; 2 – днище; 3 – шпильки;
4 – разделительные кольца; 5 – центральная гайка; 6 – призмы; 7 – центрирующая втулка;
8 – центральный болт; 9 – сегменты колец корпуса для косых шашек протектора;
10 – сегменты среднего кольца корпуса для прямоугольных шашек протектора;
11 – сегменты колец корпуса для канавок протектора

ных кольца с косыми выступами 9 с углом наклона 24° и среднее кольцо с прямоугольными выступами 11 имеют высоту 20 мм и предназначены для формования шашек, а поочередно расположенные между ними четыре кольца высотой 5 мм – канавок протектора. Сегменты соседних колец смещены относительно друг друга на угол 60° . Формование гибких спиц осуществляется призматическими элементами 6, шипы которых устанавливаются в цилиндрические отверстия днища матрицы. Призматические элементы

фиксируются от проворачивания вокруг своей оси штифтами, установленными в днище матрицы. Было изготовлено два комплекта призматических элементов, позволяющих формировать гибкие спицы безвоздушных шин с толщинами 5 и 8 мм. Предварительно подготовленное дисковое колесо 5JX13H2 также является формирующим элементом и центрируется в матрице с помощью цилиндрической втулки 7, а его крепление осуществляется болтом 8 и гайкой 5 специальных конструкций. Для поэтапного изготовления гибких спиц, опорного кольца и протектора безвоздушной шины из эластичных полиуретанов с разными физико-механическими свойствами служат два набора концентрично расположенных разделительных колец 4, которые центрируются по внутренней поверхности корпуса матрицы. В частности, при формировании гибких спиц применяются четыре кольца с внутренним диаметром 214 мм, а при формировании опорного кольца безвоздушной шины – четыре кольца с внутренним диаметром 230 мм. В свою очередь, в процессе формирования протектора разделительные кольца извлекаются из матрицы. Крышка литейной матрицы (на рисунке не показана) была изготовлена, но в процессе изготовления безвоздушных шин не применялась, а вертикальное положение призматических формирующих элементов и постоянство толщины гибких спиц обеспечивалось фанерным фиксирующим кольцом. Габаритный диаметр матрицы определяется диаметром её днища и составляет 600 мм. Сборка и подготовка к формированию литейной матрицы осуществляется непосредственно на столе-импеллере полимеризационной камеры без применения грузоподъемных устройств. Конструкция матрицы также обеспечивает простоту извлечения готового колеса с безвоздушной шиной.

Полимеризационная камера представляет собой цилиндрический толстостенный короб из тонколистовой оцинкованной стали с фанерным каркасом. Требуемые техническими условиями температуры отверждения полиуретановых смесей обеспечиваются тепловой пушкой СФО-12, нагревающей воздух и подающей его в боковое отверстие полиме-

ризационной камеры, а также трёхфазным капиллярным терморегулятором, установленным на крышке камеры. Для снижения интенсивности процесса передачи тепла в атмосферу стенки и днище полимеризационной камеры изолированы негорючим стекловолокном.

Для предварительных плавления и разогрева преполимеров и отвердителей до жидкотекучего состояния применялась одноконфорочная электрическая плита.

Взвешивание компонентов эластичных полиуретанов при их дозировке, а также определение массы изготовленных натуральных образцов колёс осуществлялось с помощью электронных весов с наибольшим пределом взвешивания 15 кг.

Для ручного смешивания компонентов эластичных полиуретанов применялась дрель-миксер.

Высокоточный спиртовой термометр с диапазоном измерения от 0 до +150°C использовался для контроля температуры воды водяной бани при плавлении и разогреве компонентов эластичных полиуретанов.

4. Эластичные полиуретаны

Для изготовления натуральных образцов безвоздушных шин применялись двухкомпонентные литьевые эластичные полиуретаны горячего отверждения производства Научно-производственного предприятия ООО «Сурэл» (г. Санкт-Петербург) и Федерально-казенного предприятия «Пермский пороховой завод» на основе преполимеров СУРЭЛ ТФ-228, СУРЭЛ ТФ-235, СУРЭЛ ТФ-682, СКУ-ПФЛ-100 и СКУ-ПЛ-60.

Дозировка отвердителя в зависимости от фактического содержания NCO-групп в преполимере рассчитывалась по формуле:

$$M = \frac{\%NCO \cdot \text{ЭЭ} \cdot K}{42,02}, \quad (1)$$

где M – количество отвердителя, м.ч. на 100 массовых частей преполимера; %NCO – процентное содержание функциональных изоцианатных групп в преполимере; ЭЭ – эквивалентный вес отвердителя; K – коэффициент стехиометрии.

Для окраски безвоздушных шин использовалась колеровочная паста «ПалИж» ПОЛИМЕР «О».

При соблюдении условий переработки фактические значения показателей физико-механических свойств применяемых эластомерных материалов превосходят нормативные значения, установленные ТУ 2294-007-13175942-2007, ТУ 2294-003-46898377-2001 и ТУ 2253-201-07507802-2004.

В табл.1 приведены полученные в результате предпродажных испытаний предприятиями-изготовителями значения показателей физико-механических свойств эласто-

меров, приобретённых для изготовления безвоздушных шин.

5. Особенности технологического процесса изготовления натуральных образцов колёс

Изготовление натуральных образцов колёс с безвоздушными шинами осуществлялось методом литья полиуретановых смесей в матрицы с соблюдением условий их переработки, установленных предприятиями-изготовителями. Работы выполнялись в летний период вне помещения под навесом.

Таблица 1

Физико-механические свойства эластичных полиуретанов в результате предпродажных испытаний

Наименование показателя	Марка уретанового преполимера				
	СУРЭЛ ТФ-228	СУРЭЛ ТФ-235	СУРЭЛ ТФ-682	СКУ-ПФЛ-100, марка В	СКУ-ПЛ-60
1. Массовая доля изоцианатных групп, %	2,8	3,5	8,2	8,0	4,1
2. Динамическая вязкость при +30 °С, Па·с	19	14	7	12,5	–
3. Условное напряжение при 100% удлинении, МПа	5,0	6,2	28,1	12,8	1,7
4. Условное напряжение при 300% удлинении, МПа	10,3	13,9	–	26,0	–
5. Условная прочность при растяжении, МПа	47,3	52,3	55,8	58,7	53
6. Относительное удлинение при разрыве, %	505	465	250	235	528
7. Относительная остаточная деформация после разрыва, %	8	6	24	–	5
8. Твёрдость по Шору	80А	85А	60D	98А	57А

Плавление и разогрев преполимеров и отвердителей до жидкотекучего состояния осуществлялись с помощью одноконфорочной электрической плиты. При этом разогрев преполимеров выполнялся непосредственно в закрытой пластиковой таре предприятия-изготовителя в водяной бане в оцинкованном ведре ёмкостью 20 литров. Контроль температуры осуществлялся спиртовым термометром. В зависимости от марки эластичного полиуретана соотношение массовых частей

преполимера и отвердителя рассчитывалось по формуле (1), а для уретановой системы СКУ-ПЛ-60 выбиралось в соответствии с рекомендациями завода-изготовителя. При этом дозировка преполимеров, отвердителей и колеровочной пасты осуществлялась на электронных весах. Смешивание компонентов эластичных полиуретанов выполнялось в оцинкованном ведре ёмкостью 10 литров с помощью дрели-миксера.

Конструктивные элементы фанерной литейной матрицы обрачивались алюминиевой фольгой до сборки. В свою очередь, сборка металлической литейной матрицы осуществлялась непосредственно на столе-импеллере полимеризационной камеры. На формирующие металлические или обёрнутые алюминиевой фольгой поверхности матриц узкой малярной кистью наносилось разделительное средство Антиадгезив РС, ускоренная сушка которого осуществлялась в полимеризационной камере с помощью тепловой пушки. Кроме этого, во избежание попадания высокоадгезионной полиуретановой смеси при формировании наружные окрашенные поверхности дисковых колёс закрывались бумагой и строительным скотчем.

Внутренние поверхности ободьев дисковых колёс обрабатывались на токарном станке с целью снятия лакокрасочного покрытия и создания шероховатостей и задигов, обезжиривались бензином-растворителем и покрывались адгезивом Т406. Кроме этого, на токарном станке удалялись закраины ободьев и уменьшалась их ширина до 120 мм.

Литьё готовых полиуретановых смесей в полости формовочных матриц осуществлялось с помощью широкой воронки. При этом полиуретановая смесь на основе преполимера СУРЭЛ ТФ-682 с низкой жизнеспособно-

стью готовилась и заливалась в матрицу малыми порциями.

Формование конструктивных элементов натуральных образцов безвоздушных шин из полиуретановых смесей с разными физико-механическими свойствами и их горячая полимеризация осуществлялись в несколько этапов. На первом этапе формировались гибкие спицы и после отверждения полиуретановой смеси в полимеризационной камере набор разделительных колец извлекался из матрицы. На втором этапе с помощью второго набора разделительных колец, имеющих больший внутренний диаметр, формировалось опорное кольцо. После полимеризации материала опорного кольца и извлечения из матрицы разделительных колец на третьем этапе формировался и отверждался протектор. При этом на каждом этапе наружные цилиндрические поверхности готовых конструктивных элементов безвоздушной шины обезжиривались и покрывались адгезивом.

Извлечения готовых изделий осуществлялось после естественного охлаждения матриц на открытом воздухе.

6. Технические параметры созданных натуральных образцов колёс

Технические параметры изготовленных натуральных образцов автомобильных колёс с безвоздушными шинами приведены в табл. 2.

Таблица 2

Технические параметры натуральных образцов колёс с безвоздушными шинами

Наименование показателя	Образцы безвоздушных шин			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
1. Преполимер гибких спиц и посадочного кольца	СКУ-ПФЛ-100, марка В	СУРЭЛ ТФ-235	СУРЭЛ ТФ-228	СУРЭЛ ТФ-228
2. Преполимер опорного кольца			СУРЭЛ ТФ-682	СУРЭЛ ТФ-682
3. Преполимер протектора		СУРЭЛ ТФ-228		СУРЭЛ ТФ-228
4. Количество гибких спиц	30			
5. Толщина гибких спиц, мм	5			8
6. Длина гибких спиц, мм	60		55	
7. Ширина профиля шины, мм	120			
8. Высота профиля шины, мм	100			
9. Свободный радиус колеса, мм	265			
10. Толщина опорного кольца, мм	20			8
11. Высота протектора, мм	30		25	
в том числе, высота рисунка протектора, мм	10		5	
12. Масса, кг	12,5		13	14

Общий вид изготовленных колёс с безвоздушными шинами приведён: на рис. 1 –

образец № 4, на рис.4,а – образец № 1 и на рис.4,б – образец № 3.



Рис.4. Автомобильные колеса с безвоздушными шинами: а – образец № 1; б – образец № 3

7. Основные результаты и выводы

1. Разработан оригинальный способ изготовления безвоздушных шин и конструкции матриц для их литья из эластичных полиуретанов, отличающиеся тем, что обод колеса является одним из формовочных элементов литейной матрицы и образует прочную адгезионную связь с посадочным кольцом безвоздушной шины, а её гибкие спицы и опорное кольцо изготавливаются поэтапно с помощью наборов формовочных колец разных размеров.

2. Разработана оригинальная конструкция полимеризационной камеры, которая позволяет осуществлять процесс полимеризации полиуретановых смесей при изготовлении безвоздушных шин в соответствии с техническими условиями заводов-изготовителей эластичных полиуретанов.

3. Подобраны и изготовлены оборудование, оснастка и инструмент и организовано

мелкосерийное производство экспериментальных безвоздушных колёсных движителей в лабораторных условиях.

4. Изготовлены натурные образцы колёс с безвоздушными шинами из полиуретановых эластомеров отечественного производства для легковых автомобилей малого класса ВАЗ-2107 и ВАЗ-2115.

Несомненно, изготовленные автомобильные колёса как натурные образцы имеют конструктивные и технологические недостатки, связанные как с ограниченным финансированием проекта, так и с невозможностью применения более сложных и наукоемких технологий в лабораторных условиях Братского государственного университета, однако в целом пригодны для решения дальнейших научных задач.

Представленные результаты могут быть востребованы изготовителями колесных машин различного назначения.

Список литературы

1. Pat. US 522359, Int. Cl. C08G 18/00. *Polyurethane elastomer and non-pneumatic tire fabricated therefrom* / Gajewski V.J.; Uniroyal Chemical Company, Inc. – № 866636; filed 10.04.1992; publ. date 29.06.1993.

2. Pat. US 7201194, Int. Cl. B60C 9/26. *Non-pneumatic tire* / Rhyne T.B., Thompson R.H., Cron S.M., Demino K.W.; Michelin Re-

References

1. Patent US 522359. *Polyurethane elastomer and non-pneumatic tire fabricated therefrom*. Gajewski V.J. Declared 10.04.1992. Published 29.06.1993.

2. Patent US 7201194. *Non-pneumatic tire*. Rhyne T.B., Thompson R.H., Cron S.M., Demino K.W. Declared 20.02.2004. Published 10.04.2007.

cherche et Technique S. A. – № 10/782999; filed 20.02.2004; publ. date 10.04.2007.

3. Pat. US 2011/0079335, Int. Cl. B60C 7/00. *Tension-based non-pneumatic tire* / Manesh A., Tercha M.J., Meliska B., Geranski F., Howland G., Stark L., Hauch K., Petersen T.; Resilient Technologies, LLC. – № 12/839236; filed 19.07.2010; publ. date 07.04.2011.

4. Pat. US 9573422, Int. Cl. B60C 7/12, B60B 9/00. *Non-pneumatic tire* / Gass D.B., Bennett J.D., Brady L.J., Borud E.J., Koenig D.J., Peppel K.W.; Polaris Industries Inc. – № 13/802474; filed 13.05.2013; publ. date 21.02.2017.

5. Pat. US 8276628, Int. Cl. B60B 9/00, B60C 5/00. *Non-pneumatic tire* / Hanada R., Seto H., Hashimura Y., Matsuda J., Kitazaki T., Kuramochi I., Endo K.; The Yokohama Rubber Co., Ltd. – № 12/368025; filed 09.02.2009; publ. date 02.10.2012.

6. Pat. US 2015/0251492, Int. Cl. B60C 7/14, B60B 9/04, B60C 7/24. *Non-pneumatic tire* / Fudemoto H., Izumoto R., Kotsubo H.; Bridgestone Corporation. – № 14/431426; filed 11.12.2013; publ. date 10.09.2015.

7. Pat. US 9333799, Int. Cl. B60C 7/16, B60B 9/26, B60C 7/18. *Non-pneumatic tire with reinforcing member having plate wire structure* / Choi S.J., Kim H.J., Kim M.S., Ko K.J., Kang K.H.; Hankook Tire Co., Ltd. – № 13/954272; filed 30.07.2013; publ. date 10.05.2016.

8. Pat. US 2010/0132858, Int. Cl. B60B 9/12. *Non-pneumatic tire* / Arakawa K., Masanori I. Masahiro S.; Toyo Tire & Rubber Co., Ltd. – № 12/624533; filed 24.11.2009; publ. date 03.01.2010.

9. Pat. US 2014/0034219, Int. Cl. B29D 30/02. *Non-pneumatic survivable tire, cover and fabrication processes* / Chadwick D.R., Perron D.J., Rogers E.C., Storvick D.M., Williams T.L., Yee D.; The Boeing Company. – № 14/028129; filed 16.09.2013; publ. date 06.02.2014.

10. Pat. US 2007/0119531, Int. Cl. B60C 7/00. *Airless spare tire* / Steinke R.A., Love T.M., Moore J.G.; Amerityre. – № 11/286424; filed 25.11.2005; publ. date 31.05.2007.

11. Pat. EP 2801485, Int. Cl. B60C 17/18. *Airless tire* / Waco I.; Sumitomo Rubber In-

3. Patent US 79335. *Tension-based non-pneumatic tire*. Manesh A., Tercha M.J., Meliska B., Geranski F., Howland G., Stark L., Hauch K., Petersen T. Declared 19.07.2010. Published 07.04.2011.

4. Patent US 9573422. *Non-pneumatic tire*. Gass D.B., Bennett J.D., Brady L.J., Borud E.J., Koenig D.J., Peppel K.W. Declared 13.05.2013. Published 21.02.2017.

5. Patent US 8276628. *Non-pneumatic tire*. Hanada R., Seto H., Hashimura Y., Matsuda J., Kitazaki T., Kuramochi I., Endo K. Declared 09.02.2009. Published 02.10.2012.

6. Patent US 251492. *Non-pneumatic tire*. Fudemoto H., Izumoto R., Kotsubo H. Declared 11.12.2013. Published 10.09.2015.

7. Patent US 9333799. *Non-pneumatic tire with reinforcing member having plate wire structure*. Choi S.J., Kim H.J., Kim M.S., Ko K.J., Kang K.H. Declared 30.07.2013. Published 10.05.2016.

8. Patent US 132858. *Non-pneumatic tire*. Arakawa K., Masanori I. Masahiro S. Declared 24.11.2009. Published 03.01.2010.

9. Patent US 34219. *Non-pneumatic survivable tire, cover and fabrication processes*. Chadwick D.R., Perron D.J., Rogers E.C., Storvick D.M., Williams T.L., Yee D. Declared 16.09.2013. Published 06.02.2014.

10. Patent US 119531. *Airless spare tire*. Steinke R.A., Love T.M., Moore J.G. Declared 25.11.2005. Published 31.05.2007.

11. Patent EP 2801485. *Airless tire*. Waco I. Declared 31.03.2014. Published 12.11.2014.

12. Patent US 9004120, *Wheel system*. Russell B.A. Declared 02.11.2011. Published 14.04.2015.

13. Veselov I.V., Lyubartovich S.A. Constructive types and technological features of manufacturing self-supporting tires. *Problemy shin i rezinokordnykh kompozitov. Sbornik dokladov 19 simpoziuma (mezhdunarodnoj konferencii) [Problems of tires and rubber-composites. Collection of reports 19 symposiums (international conference)]*. Vol.1. Moscow, NIISHP, 2008. pp. 5–36. (In Russian).

14. Enaev A.A., Mazur V.V. Enhancement the smoothness of the movement of vehicles by internal springing wheels. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo*

dustries, Ltd. – № 14162593.9; filed 31.03.2014; publ. date 12.11.2014, Bull. № 46. – 17 p.

12. Pat. US 9004120, Int. Cl. B60B 9/10, B60B 9/26. *Wheel system* / Russell B.A. – № 13/287847; filed 02.11.2011; publ. date 14.04.2015.

13. Веселов И.В., Любартович С.А. Конструктивные разновидности и технологические особенности изготовления самонесущих шин / *Проблемы шин и резинотехнических композитов. Сборник докл. 19 симп. (международ. конф.)*. – Т.1. – М.: НТЦ «НИИШП», 2008, – С. 5–36.

14. Енаев А.А., Мазур В.В. Повышение плавности хода транспортного средства внутренним поддрессированием колёс / *Вестник Красноярского гос. техн. ун-та*. – 2005. – № 39. – С. 111–115.

15. Рыков С.П., Тарасюк В.Н. Исследования выходных характеристик пневматических шин. Поглощающая способность / *Системы. Методы. Технологии*. – 2010. – № 2 (6). – С. 19–30.

16. Рыков С.П., Тарасюк В.Н. Метод оценки сопротивления качению автомобильного колеса / *Автомобильная промышленность*. – 2011. – № 1. – С. 32–35.

17. Рыков С.П., Коваль В.С. Исследования выходных характеристик пневматических шин. Сглаживающая способность / *Системы. Методы. Технологии*. – 2010. – № 3 (7). – С. 22–30.

18. Рыков С.П., Тарасюк В.Н. Коэффициент сопротивления качению автомобильного колеса. Новый подход к моделированию и оценке / *Системы. Методы. Технологии*. – 2009. – № 4 (4). – С. 30–33.

19. Rykov S.P., Tarasyuk V.N., Koval V.S., Ovchinnikova N.I., Fedotov A.I., Fedotov K.V. Determination of rolling resistance coefficient based on normal tyre stiffness. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 11*. «International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems 2017 – Processing Equipment, Mechanical Engineering Processes and Metals Treatment». 2018, С. 042093.

20. Rykov S.P., Rykova O.A., Koval V.S., Makhno D.E., Fedotov K.V. Suspension sys-

tem, 2005, No. 39, pp. 111–115. (In Russian).

15. Rykov S.P., Tarasyuk V.N. Studies of the output characteristics of pneumatic tires. Absorption capacity. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*, 2010, No. 2 (6), pp. 19–30. (In Russian).

16. Rykov S.P., Tarasyuk V.N. Method for evaluating the rolling resistance of an automobile wheel. *Avtomobilnaya promyshlennost*, 2011, No. 1, pp. 32–35. (In Russian).

17. Rykov S.P., Koval V.S. Studies of the output characteristics of pneumatic tires. Smoothing ability. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*, 2010, No. 3 (7), pp. 22–30. (In Russian).

18. Rykov S.P., Tarasyuk V.N. The rolling resistance coefficient of the automobile wheel. New approach to modeling and evaluation. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*, 2009, No. 4 (4), pp. 30–33. (In Russian).

19. Rykov S.P., Tarasyuk V.N., Koval V.S., Ovchinnikova N.I., Fedotov A.I., Fedotov K.V. Determination of rolling resistance coefficient based on normal tyre stiffness. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 11*. «International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems 2017 – Processing Equipment, Mechanical Engineering Processes and Metals Treatment». 2018, p. 042093.

20. Rykov S.P., Rykova O.A., Koval V.S., Makhno D.E., Fedotov K.V. Suspension system vibration analysis with regard to variable type ability to smooth road irregularities. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 11*. «International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems 2017 – Processing Equipment, Mechanical Engineering Processes and Metals Treatment». 2018, p. 042094.

21. Patent RU 2336178. *Koleso transportnogo sredstva s uprugimi spicami* [Vehicle wheel with flexible spokes]. Mazur V.V. Declared 27.02.2007. Published 20.10.2008. (In Russian).

22. Patent RU 2397877. *Avtomobilnaya shina iz elastichnogo poliuretana s uprugimi deformiruemymi spitsami* [Car tyre of elastic polyurethane with elastic deformable spokes]. Mazur V.V. Declared 08.07.2009. Published 27.08.2010. (In Russian).

tem vibration analysis with regard to variable type ability to smooth road irregularities. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 11*. «International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems 2017 – Processing Equipment, Mechanical Engineering Processes and Metals Treatment». 2018, С. 042094.

21. Пат. 2336178 Российская Федерация, МПК В60В 9/00. *Колесо транспортного средства с упругими спицами* / Мазур В.В.; заявитель и патентообладатель Братский гос. ун-т. – № 2007107423/11; заявл. 27.02.2007; опубл. 20.10.2008, Бюл. № 29. – 8 с.

22. Пат. 2397877 Российская Федерация, МПК В60В 9/26. *Автомобильная шина из эластичного полиуретана с упругими деформируемыми спицами* / Мазур В.В.; заявитель и патентообладатель Братский гос. ун-т. – № 2009126282/11; заявл. 08.07.2009; опубл. 27.08.2010, Бюл. № 24. – 6 с.

23. Пат. 2483936 Российская Федерация, МПК В60В 9/26. *Автомобильная шина с упругими спицами* / Мазур В.В., Гайлиш А.В.; заявитель и патентообладатель Братский гос. ун-т. – № 2012100517/11; заявл. 10.01.2012; опубл. 10.06.2013, Бюл. № 16. – 4 с.

24. Пат. 2538472 Российская Федерация, МПК 60С 7/12, В60С 7/00, В60В 9/00 *Автомобильное колесо с безвоздушной шиной* / Мазур В.В.; заявитель и патентообладатель Братский гос. ун-т. – № 2013120165/11; заявл. 30.04.2013; опубл. 10.01.2015, Бюл. № 1. – 10 с.

25. Пат. 2495758 Российская Федерация, МПК В60С 7/22. *Способ армирования автомобильных безвоздушных шин* / Мазур В.В., Гайлиш А.В.; заявитель и патентообладатель Братский гос. ун-т. – № 2012111571/11; заявл. 26.03.2012; опубл. 20.10.2013, Бюл. № 29. – 6 с.

26. Пат. 2495759 Российская Федерация, МПК В60С 7/22. *Способ армирования автомобильных безвоздушных шин* / Мазур В.В., Гайлиш А.В.; заявитель и патентообладатель Братский гос. ун-т. – № 2012111574/11; заявл. 26.03.2012; опубл. 20.10.2013, Бюл. № 29. – 6 с.

23. Patent RU 2483936. *Avtomobilnaya shina s uprugimi spitsami* [Auto-tire with resilient spokes]. Mazur V.V., Gajlish A.V. Declared 10.01.2012. Published 10.06.2013. (In Russian).

24. Patent RU 2538472. *Avtomobilnoe koleso s bezvozdushnoy shinoy* [Airless tire]. Mazur V.V. Declared 30.04.2013. Published 10.01.2015. (In Russian).

25. Patent RU 2495758. *Sposob armirovaniya avtomobilnykh bezvozdushnykh shin* [Method of automotive airless tire reinforcement]. Mazur V.V., Gajlish A.V. Declared 26.03.2012. Published 20.10.2013. (In Russian).

26. Patent RU 2495759. *Sposob armirovaniya avtomobilnykh bezvozdushnykh shin* [Method of automotive airless tire reinforcement]. Mazur V.V., Gajlish A.V. Declared 26.03.2012. Published 20.10.2013. (In Russian).

27. Patent RU 2505398. *Sposob armirovaniya avtomobilnykh shin s uprugimi spitsami i matritsa dlya izgotovleniya kolyes* [Method of reinforcing automotive tires with resilient spokes and female die for wheel production]. Mazur V.V., Gajlish A.V. Declared 07.12.2011. Published 27.01.2014. (In Russian).

28. Patent RU 2357861. *Sposob armirovaniya kolyes s uprugimi deformiruemymi spitsami i press-forma dlya izgotovleniya kolyes* [Method for reinforcement of wheels with elastic deformable spokes and die mold for production of wheels]. Mazur V.V. Declared 04.12.2007. Published 10.06.2009. (In Russian).

29. Patent RU 2506169. *Matritsa dlya izgotovleniya kolyes* [Female die for making wheels]. Mazur V.V., Gajlish A.V. Declared 14.02.2012. Published 10.02.2014. (In Russian).

30. Patent RU 2413611. *Press-forma dlya izgotovleniya avtomobilnoy shiny iz elastichnogo poliuretana s uprugimi deformiruemymi spitsami* [Injection mould for production of automotive tire from elastic polyurethane with elastic deformable spokes]. Mazur V.V. Declared 08.07.2009. Published 10.03.2011. (In Russian).

27. Пат. 2505398 Российская Федерация, МПК В29С 43/28, В29D 30/34. *Способ армирования автомобильных шин с упругими спицами и матрица для изготовления колёс* / Мазур В.В., Гайлиш А.В.; заявитель и патентообладатель Братский гос. ун-т. – № 2011149925/05; заявл. 07.12.2011; опубл. 27.01.2014, Бюл. № 3. – 9 с.

28. Пат. 2357861 Российская Федерация, МПК В29С 43/00. *Способ армирования колёс с упругими деформируемыми спицами и пресс-форма для изготовления колёс* / Мазур В.В.; заявитель и патентообладатель Братский гос. ун-т. – № 2007145141/12; заявл. 04.12.2007; опубл. 10.06.2009, Бюл. № 16. – 5 с.

29. Пат. 2506169 Российская Федерация, МПК В60С 1/00, В29С 43/36, В60В 9/00. *Матрица для изготовления колёс* / Мазур В.В., Гайлиш А.В.; заявитель и патентообладатель Братский гос. ун-т. – № 2012105204/11; заявл. 14.02.2012; опубл. 10.02.2014, Бюл. № 4. – 6 с.

30. Пат. 2413611 Российская Федерация, МПК В29С 33/44, В29С 43/36, В29D 30/66, В22D 17/20. *Пресс-форма для изготовления автомобильной шины из эластичного полиуретана с упругими деформируемыми спицами* / Мазур В.В.; заявитель и патентообладатель Братский гос. ун-т. – № 2009126256/05; заявл. 08.07.2009; опубл. 10.03.2011, Бюл. № 7. – 6 с.

31. Пат. 2452625 Российская Федерация, МПК В29С 33/44, В29С 43/36, В29D 30/66, В22D 17/20, В60В 9/00. *Матрица для литья полиуретановой шины* / Мазур В.В.; заявитель и патентообладатель Братский гос. ун-т. – № 2010151266/11; заявл. 13.12.2010; опубл. 10.06.2012, Бюл. № 16. – 7 с.

32. Пат. 79490 Российская Федерация, МПК В29D 30/00, В29С 43/34, В60В 9/00, В22D 18/00. *Пресс-форма для изготовления колёс из полимерных композиционных материалов* / Мазур В.В., Енаев А.А.; заявитель и патентообладатель Братский гос. ун-т. – № 2007110255/22; заявл. 20.03.2007; опубл. 10.01.2009, Бюл. № 1. – 2 с.

31. Patent RU 2452625. *Matritsa dlya litya poliuretanovoy shiny* [Polyurethane tire moulding female die]. Mazur V.V. Declared 13.12.2010. Published 10.06.2012. (In Russian).

32. Patent RU 79490. *Press-forma dlya izgotovleniya kolyes iz polimernykh kompozitsionnykh materialov* [Press form for the production of wheels from polymer composite materials]. Mazur V.V., Enaev A.A. Declared 20.03.2007. Published 10.01.2009. (In Russian).