

ВЫЯВЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ФОРМЫ ЗУБЦА ПОЛИМЕРНЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ

*Долгин Д.С., Лаврентьев Ю.Б., Гуданов И.С., Лебедев А.Е., Ватагин А.А.
Ярославский государственный технический университет, Ярославль*

Ключевые слова: гусеничное полотно, полимерные материалы, усиленная зона контакта, зубец, осевой раздир, усилия раздира.

Аннотация. В статье приведены результаты исследования процесса соэкструзии многослойных полимерных изделий, с повышенным ресурсом ходимости. Для прочного совмещения слоёв в изделии был использован усиливающий элемент в виде зубца граничной поверхности. В ходе анализа результатов была определена рациональная форма зубца межматериальной поверхности. Решение данной задачи проводилось на примере элементов гусеничного полотна. Рассмотрены четыре вида поверхности контакта: без зубца, с зубцом в виде треугольника, полукруга и прямоугольника. Проведен эксперимент по разрыву образцов вдоль поверхности контакта (раздир). Эксперимент выполнен с применением машины для испытания на растяжение и сжатие ZD 10/90. Описана конструкция машины и приспособления для раздира образцов. Приведена последовательность действий при проведении эксперимента и последующей обработки полученных данных. Исходя из эксперимента, получены следующие результаты и выводы: доказана эффективность внедрения усиливающего элемента; выбрана оптимальная форма усиливающего элемента – треугольник.

IDENTIFICATION OF THE RATIONAL SHAPE OF THE TOOTH OF POLYMER MULTILAYER PRODUCTS

*Dolgin D.S., Lavrentiev Yu.B., Gubanov I.S., Lebedev A.E., Vatagin A.A.
Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl*

Keywords: trackbed, polymeric materials, reinforced contact zone, tooth, axial tearing, tearing forces.

Abstract. The article presents the results of a study of the process of coextrusion of multilayer polymer products with an increased walking life. For a strong combination of layers in the product, a reinforcing element in the form of a tooth of the boundary surface was used. During the analysis of the results, the rational shape of the tooth of the intermaterial surface was determined. The solution of this problem was carried out using the example of caterpillar track elements. Four types of contact surfaces are considered: without a tooth, with a tooth in the form of a triangle, a semicircle and a rectangle. An experiment was conducted on the rupture of samples along the contact surface (tearing). The experiment was carried out using a ZD 10/90 tensile and compression testing machine. The design of the machine and the device for tearing samples is described. The sequence of actions during the experiment and subsequent processing of the obtained data is given. Based on the experiment, the following results and conclusions were obtained: the effectiveness of the introduction of the reinforcing element was proved; the optimal shape of the reinforcing element was chosen – a triangle.

Введение

В последнее время всё чаще крупные мировые машиностроительные корпорации выпускают машины и комплексы с резиноармированными гусеничными движителями [1, 2]. Такие гусеницы в сравнении с металлической гусеницей очень универсальны. Они не вызывают повреждение поверхности дорожного полотна, менее шумные, снижают вибрации от двигателя и, как следствие, увеличивают срок службы элементов подвески, они более легкие, что упрощает их монтаж и обслуживание, делает машину более легкой и маневренной [3]. Другие конструктивные и технологические особенности гусениц рассмотрены в следующих работах [4-6].

При повышении спроса на резиновые гусеницы появляются новые требования к такому типу изделий, что приводит к необходимости применения новых технологий. Обеспечить комплекс требований к свойствам изделия с применением одного типа резины дорого, а в некоторых случаях и вообще невозможно, но возможно при организации многослойной

структуры изделий. При таком подходе гусеница будет состоять из сдублированных слоев разных марок резиновых смесей, отличающихся своими реологическими и механическими свойствами (рис. 1). Однако данное обстоятельство может вызывать и определенные трудности, главная из которых будет проявляться в ухудшении прочности прилегания слоёв друг к другу. Особенно это значимо для изделий, работающих при повышенных сдвиговых и изгибающих нагрузках.

Для каждого из слоёв присущи свои свойства. Так верхний беговой слой 5 должен быть прочными и износостойкими при любых погодных условиях. Внутренний слой 4 должны обладать эластичностью, чтобы гасить вибрации. Промежуточный слой 3 должен обладать высокой адгезией, поскольку он наносится на металлическую деталь.

На сегодняшний день резиноармированные гусеницы производят следующие мировые корпорации: Bridgestone, Yanmar, Murooka (Япония), Skega (Швеция), Foremost (Канада), Valmet (Финляндия), Caterpillar, Camoplast Solideal (США) и др. [3]. Однако в России эта отрасль не так развита, а имеющиеся производства работают на импортном оборудовании. Таким образом, развитие этой отрасли машиностроения является актуальной задачей с целью обеспечения импортозамещения.

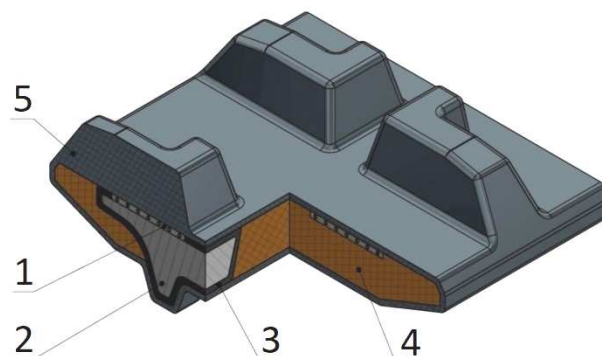


Рис. 1. Компоненты гусеничного полотна:
1 – металлокорд; 2 – закладной металлический элемент; 3 – промежуточный слой;
4 – внутренний слой; 5 – верхний слой

Постановка задачи и цели исследования

Чтобы изготовить многослойное изделие наиболее часто применяют процесс соэкструзии. Часть слоев будет изготавливаться этим методом, часть слоев – методом симплексной экструзии, а далее эти экструдаты собираются или приформовываются к металлическим профилям, получая готовое гусеничное полотно.

Соэкструзия – это процесс, в котором два или более полимерных материала совместно продавливаются через формообразующее отверстие (фильеру) для получения заданного профиля [7].

Несмотря на достаточный уровень развитости техники и технологии процесса соэкструзии, остаётся не до конца решённой проблема прочного соединения слоев. Эта проблема проявляется из-за разных реологических свойств полимеров. В материалах в процессе течения их по каналам соэкструзионной головки накапливаются различное количество упругого потенциала, релаксация которого может привести к расслоению в зоне контакта материалов, нежелательным процессам частичного или полного инкапсулирования одного материала в другом.

В результате проведенного анализа источников не удалось обнаружить теоретические способы оценки прочности соединения слоёв полимерных материалов. Однако очевидно, что при увеличении площади контакта увеличивается прочность связи слоев. Поэтому для решения вышеуказанной проблемы предложено увеличить площадь, формируя в зоне контакта материалов искусственное зацепление (зубцы) в виде локальных усиливающих элементов. Последние представляют собой систему взаимопроникающих выступов и впадин, что позволит увеличить площадь контакта.

Для подтверждения жизнеспособности этой идеи и оценке эффективности технического предложения был спланирован эксперимент. При этом конструкция экспериментальной установки должна имитировать реальные причины расслоения полимерных материалов. К такой причине относят большое количество знакопеременных нагрузок, направленных вдоль слоёв [8, 9]. Поэтому и экспериментальная установка для раздира (разрыва вдоль поверхности контакта) образцов должна эмитировать осевое смещение.

Таким образом, целями исследования являются доказательство эффективности внедрения усиливающего элемента, выбор формы зубца с наибольшим усилием при раздире и выявление, в какой резине должен находиться зубец с точки зрения прочности слоев.

Описание экспериментальной установки

Реализация процесса раздира образцов в настоящей работе проводилась с применением машины для испытания на растяжение и сжатие ZD 10/90 (рис. 2), которая состоит из приводного устройства и устройства для записи.

Приводное устройство включает в себя приспособление для раздира 8, которое смонтировано на верхнюю 10 и нижнюю 7 траверсы устройства для сжатия при помощи болтовых соединений. Верхняя 10 и нижняя 7 траверсы прикреплены к верхнему неподвижному 12 и нижнему подвижному 6 фланцу при помощи направляющих осей 9. Верхний неподвижный фланец 12 закреплен к опорной плите 13, на которой установлен преобразователь 14, позволяющий определять значения силы при испытании на раздир. Опорная плита 13 держится на двух направляющих столбах 5, смонтированных в основании 4. Так же в основании 4 установлен привод, обеспечивающий перемещение нижнему подвижному фланцу 6. На верхнем неподвижном 12 и нижнем подвижном 6 фланцах, а также на верхней траверсе 10 имеются направляющие ролики 11, которые необходимы для поддержания соосности всей конструкции.

Эксплуатация машины осуществляется благодаря панели управления 3, установленной на устройстве для записи. Результаты отображаются на индикаторе часового типа 1 и дублируются на самописец 2.

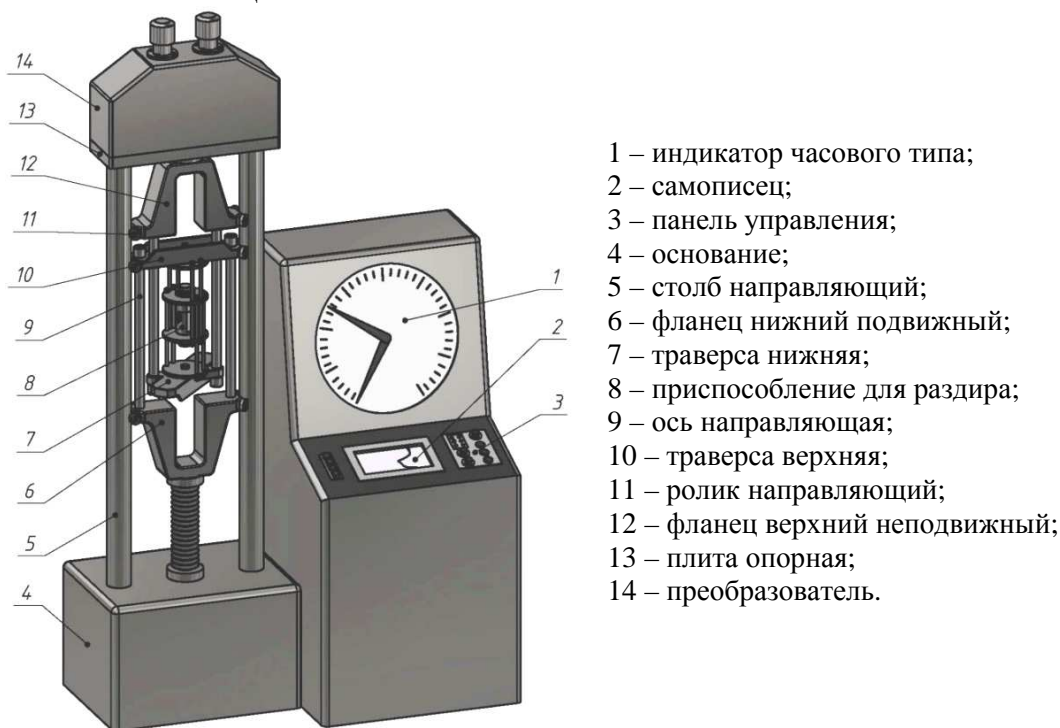


Рис. 2. Конструкция машины для испытания на растяжение и сжатие ZD 10/90

Приспособление для раздира (рис. 3), в свою очередь, состоит из набора дисков – два наружные 1 и два внутренние 3, связанные между собой восемью осями 2, закрепленными при помощи гаек. Такая конструкция позволяет соблюдать соосность при раздире. Наружные диски 1 крепятся к траверсам машины. А во внутренние диски 3 устанавливаются лапы для раздира 5, крепящиеся при помощи гаек. Лапы 5 образуют глухое призматическое отверстие, в которое устанавливается образец 4.

Соосность лап 5 обеспечивается конической посадочной поверхностью «лапа-диск». На лапах 5 выполнены лыски для возможности крепления их к внутренним дискам 3 в сборе. Для раздира образцов с усиленной зоной контакта материалов на лапах 5 предусмотрены

пазы, повторяющие форму зубцов, в месте их расположения (рис. 4). Для проведения опыта было изготовлено 4 комплекта лап с разными формами пазов (без паза, треугольной формы, полукруглой формы, прямоугольной формы).

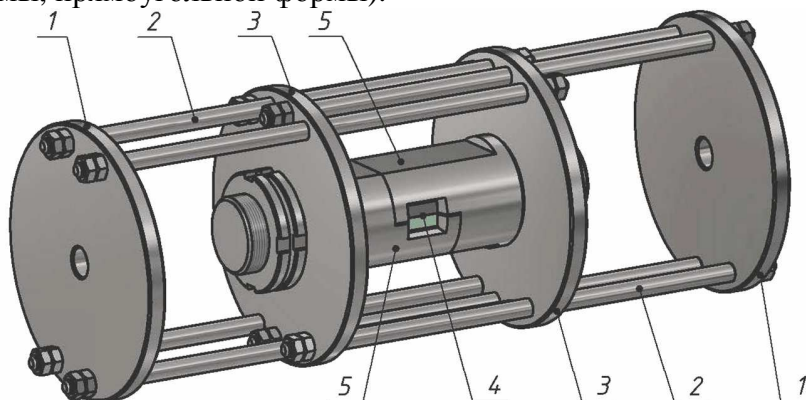


Рис. 3. Приспособление для раздира: 1 – диск наружный; 2 – ось направляющая; 3 – диск внутренний; 4 – образец; 5 – лапа для раздира

Сам образец для раздира должен иметь конкретные размеры (рис. 5). Образец выполнен симметричным относительно плоскости перпендикулярной к границе материалов с целью возможности проведения дополнительного опыта: оценка прочности слоев материала с усиливающим элементом в более или менее вязкой резине.

В результате опыта, описанного в [10], были получены экструдаты с разной формой усиленной поверхности контакта материалов: с зубцом в виде треугольника (б), с зубцом в виде полукруга (в), с зубцом в виде квадрата (г) и без зубца (а). Эти экструдаты показаны на рисунке 6.



Рис. 4. Лапа для раздира

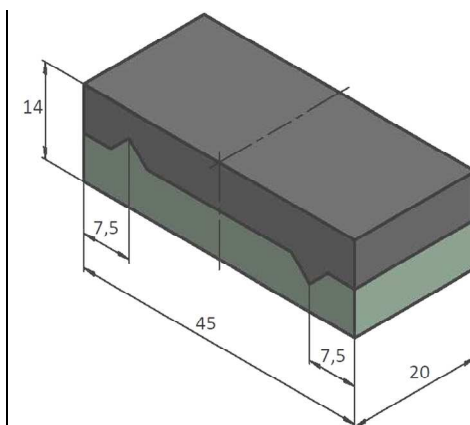


Рис. 5. Образец для раздира



Рис. 6. Заготовки образцов: а – без зубца; б – с зубцом треугольной формы; в – с зубцом полукруглой формы; г – с зубцом квадратной формы

Принцип работы и последовательность действий экспериментальной установки

Работа на установке по раздиру с применением машины ZD 10/90 осуществлялась в следующей последовательности.

1. Из экструдатов нарезаются образцы в размер.
 2. Образец устанавливается в глухое призматическое отверстие приспособления для раздира с совмещением соответствующих зубцов на образце и соответствующих пазов в лапах.
 3. Выставить ноль на индикаторе часового типа записывающего устройства, используя панель управления.
 4. Нажать кнопку «ВНИЗ» на панели управления, что приведет в поступательное движение вниз нижнего подвижного фланца, благодаря чему лапы приспособления для раздира раздирают образец в осевом направлении.
 5. Во время раздира на индикаторе часового типа фиксируются максимальное и фактическое значения силы, на самописце отображается график изменения усилия раздира от времени.
 6. Опыт заканчивается в момент окончательного раздира образцов нажатием клавиши «СТОП» на панели управления.
 7. Остатки резин из глухого призматического отверстия приспособления для раздира удаляются.
 8. Клавишей «ВВЕРХ» на панели управления приспособление для раздира возвращается в исходное положение.
 9. После выбирается следующий образец и п. 2-8 повторяются для других типов зубцов.
- С целью статистической обработки данных экспериментального исследования предлагаемая последовательность действий повторялась не менее 3 раз для каждого вида зуба.

Обработка результатов эксперимента

Исследования по раздиру образцов с разной поверхностью контакта материалов проводились с целью доказать эффективность внедрения усиливающего элемента, выбрать форму зубца с наибольшим усилием при раздире и выявить в какой резине должен находиться зубец с точки зрения прочности слоев. Для этого было проведено три опыта.

При проведении всех опытов обработка результатов велась в следующей последовательности.

1. Были получены максимальные значения силы при раздире для j образцов, F_i , Н;

2. Из этих значений было вычтено значение силы при холостом ходе $F_{x.x.}$, т.е. без образца, Н:

$$F_i - F_{x.x.} \quad (1)$$

3. По полученным значениям определялось среднее значение силы затраченной на раздир образцов, Н:

$$\frac{\sum_{i=1}^j (F_i - F_{x.x.})}{j} \quad (2)$$

4. Полученные средние значения силы делились на длину линии контакта l для получения приведенного значения усилия затраченного на раздир, Н/мм:

$$\frac{\sum_{i=1}^j (F_i - F_{x.x.})}{j \cdot l} \quad (3)$$

В первой серии экспериментов исследовались два вида образцов – без зубца (рис. 5,а) и с зубом в виде треугольника (рис. 5,б) и выявлялась целесообразность внедрения усиливающих элементов. Полученные результаты занесены в таблице 1.

Табл. 1. Результаты первого опыта на раздир

Параметр	Без зубца	С зубцом в форме треугольника
Среднее значение силы, F , Н	593,40	938,33
Длина линии контакта, l , мм	45,00	49,96
Приведенное значение усилия, F / l , Н/мм	13,19	18,78

Во втором опыте исследовались три вида образцов – с зубом в виде треугольника (рис. 5,б), с зубцом в виде полукруга (рис. 5,в), с зубцом в виде квадрата (рис. 5,г) и определялся наиболее рациональная форма зубца. Полученные результаты занесены в таблице 2.

В третьем опыте исследовались половины образцов с зубом в виде треугольника и определялось в каком материале должен располагаться усиливающий элемент. Полученные результаты занесены в таблице 3.

Табл. 2. Результаты второго опыта на раздир

Параметр	С зубцом в форме треугольника	С зубцом в форме полукруга	С зубцом в форме квадрата
Среднее значение силы, F , Н	843,52	840,25	884,65
Длина линии контакта, l , мм	49,96	51,85	57,00
Приведенное значение усилия, F / l , Н/мм	16,88	16,21	15,52

Табл. 3. Результаты третьего опыта на раздир

Параметр	Зубец из более вязкой резины	Менее вязкий зубец
Среднее значение силы, F , Н	418,49	415,50
Длина линии контакта, l , мм	24,98	
Приведенное значение усилия, F / l , Н/мм	16,75	16,63

Основные результаты и выводы

Таким образом, были проведены три опыта.

Первый опыт показал, что при внедрении треугольного зубца длина линии контакта увеличилась на 11,02%, что привело к увеличению среднего значения силы затраченной на раздир образцов на 58,13%, а приведенное значение усилия при этом увеличилось на 42,43%. Это свидетельствует о нелинейном характере зависимости между длиной линии контакта и прочности соединения слоев. А так же опыт доказывает эффективность внедрения усиливающего элемента.

Из второго опыта видно, что среднее значение силы при раздире образцов с зубцами в виде треугольника и полукруга меньше, чем для квадрата, однако приведенные значения усилий для этих образцов мало отличаются (<4,65%). Из этого следует, что форма зубца при раздире играет незначительную роль, а среднее значение силы зависит в основном от длины линии контакта материалов. Тогда выбор оптимального зубца будет зависеть от реологии полимерных материалов, а приоритет следует отдавать зубцу с формой, обеспечивающей лучшую гидродинамику процесса. Из [11] следует, что для зубца в форме треугольника характерно минимальное значение коэффициента неоднородности скорости, что свидетельствует о наилучшей динамике течения материалов при их соэкструзии.

Из третьего опыта видно, что среднее значение силы и приведенное значение усилия при раздире половины образца с более вязким и менее вязким зубцом одинаковые. А это значит, что предпочтение так же следует отдавать зубцу с формой, обеспечивающей лучшую гидродинамику процесса, т.е. зубец должен формироваться в более вязком материале.

Список литературы

1. Меденцев А.Ю., Кузнецов И.С. Обзор конструкции и технологии изготовления резиноармированной гусеницы // Агротехника и энергообеспечение. – 2020. – Т. 29, № 4. – С. 49-55.
2. Головкин С.М., Надеждин И.В. Повышение эксплуатационной надежности балансира подвески гусеничных транспортных машин // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2020. – №8. – С. 16-21.
3. Бейненсон В.Д., Федоткин Р.С., Крючков В.А., Аландеев Е.М., Купрюнин Д.Г. Пути повышения срока службы армированных гусениц // Каучук и резина. – 2015. – № 6. – С. 28-31.
4. Толстов, А.М. Расчет температурно-временной зависимости вулканизации в производстве резиноармированных гусениц // Вестник МИТХТ. – 2012. – Т. 7, № 6. – С. 83-87.

5. Лапик В.П., Дьяченко В.П. Определение радиуса кривизны слоя резиноармированной гусеницы и распределение нагрузки между опорными катками гусеничного движителя // Техника и оборудование для села. – 2015. – № 6. – С. 22-24.
6. Федоткин Р.С., Бейнenson В.Д., Крючков В.А., Шарипов В.М., Щетинин Ю.С. Резиноармированные гусеницы сельскохозяйственных тракторов. Жесткость при растяжении и изгибе // Известия МГТУ МАМИ. – 2016. – Т. 28, № 2. – С. 32-38.
7. Володин, В.П. Технологическая оснастка в производстве профильных изделий. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2021. – 520 с.
8. Шашок Ж.С., Касперович А.В., Усс Е.П. Технология производства шин и резинотехнических изделий. Лабораторный практикум: учеб.-метод. пособие. – Минск: БГТУ, 2020. – 104 с.
9. Горюнов С.В. Разработка методики прогнозирования долговечности крупногабаритных шин карьерных автосамосвалов: дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.06. – Кемерово, 2021. – 124 с.
10. Долгин Д.С., Лебедев А.Е., Гуданов И.С., Власов В.В. Лабораторное оформление исследования процесса соэкструзии профильных заготовок из резиновых смесей // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2022. – №2. – С. 41-44.
11. Долгин Д.С., Гуданов И.С., Лебедев А.Е., Екимов Я.В. Численное определение рациональных размеров формообразующего канала при соэкструзии изделий или профилей с усиленной зоной контакта материалов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2023. – №3. – С. 46-48.

References

1. Medentsev A.Yu., Kuznetsov I.S. Review of the design and manufacturing technology of a rubber-reinforced caterpillar // Agrotechnics and energy supply. 2020, vol. 29, no. 4, pp. 49-55.
2. Golovkin S.M., Nadezhdin I.V. Improving the operational reliability of the suspension balancer of tracked transport vehicles // Transport, mining and construction engineering: science and production. 2020, no. 8, pp. 16-21.
3. Beinenson V.D., Fedotkin R.S., Kryuchkov V.A., Alendeev E.M., Kupryunin D.G. Ways to increase the service life of reinforced tracks // Rubber and rubber. 2015, no. 6, pp. 28-31.
4. Tolstov A.M. Calculation of the temperature-time dependence of vulcanization in the production of rubber-reinforced tracks // Bulletin of MITKHT. 2012, vol. 7, no. 6, pp. 83-87.
5. Lapik V.P., Dyachenko V.P. Determination of the radius of curvature of the layer of rubber-reinforced tracks and load distribution between the support rollers of the caterpillar engine // Machinery and equipment for the village. 2015, no. 6, pp. 22-24.
6. Fedotkin R.S., Beinenson V.D., Kryuchkov V.A., Sharipov V.M., Shchetinin Yu.S. Rubber-reinforced tracks of agricultural tractors. Stiffness in tension and bending // News of MSTU MAMI. 2016, vol. 28, no. 2, pp. 32-38.
7. Volodin, V.P. Technological equipment in the production of profile products. – SPb.: PSC "Profession", 2021. – 520 p.
8. Shashok Zh.S., Kasperovich A.V., Uss E.P. Production technology of tires and rubber products. Laboratory practice: educational and methodical manual. – Minsk: BSTU, 2020. – 104 p.
9. Goryunov S.V. Development of a methodology for predicting the durability of large-sized tires of dump trucks: diss. ... cand. of tech. sc.: 05.05.06. – Kemerovo, 2021. – 124 p.
10. Dolgin D.S., Lebedev A.E., Gudanov I.S., Vlasov V.V. Laboratory design of the study of the process of co-extrusion of profile blanks from rubber mixtures // Chemical and oil and gas engineering. 2022, no. 2, pp. 41-44.
11. Dolgin D.S., Gudanov I.S., Lebedev A.E., Ekimov Ya.V. Numerical determination of the rational dimensions of the forming channel during co-extrusion of products or profiles with a reinforced contact zone of materials // Chemical and oil and gas engineering. 2023, no. 3, pp. 46-48.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Долгин Дмитрий Сергеевич – старший преподаватель кафедры технологических машин и оборудования	Dmitry Sergeevich Dolgin – senior lecturer of the Department of technological machines and equipment
Лаврентьев Юрий Борисович – кандидат технических наук, доцент кафедры начертательной геометрии и инженерной графики	Lavrentiev Yuri Borisovich – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of descriptive geometry and engineering graphics
Гуданов Илья Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологических машин и оборудования	Gudanov Ilya Sergeevich – candidate of technical sciences, associate professor, head of the Department of technological machines and equipment
Лебедев Антон Евгеньевич – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологических машин и оборудования	Lebedev Anton Evgenievich – doctor of technical sciences, associate professor, professor of the Department of technological machines and equipment
Ватагин Александр Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологических машин и оборудования	Alexander Alexandrovich Vatagin – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of technological machines and equipment
dim_dol.94@mail.ru	

Получена 23.01.2024