

**О. В. ВЕРЕТЕЛЬНИК**, мл. научн. сотр. НТУ «ХПИ»

## **НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ САЙЛЕНТБЛОКА**

В различных узлах и агрегатах транспортных средств применяются резинометаллические шарниры, которые являются важными элементами и повреждения или износ которых может привести к неблагоприятным последствиям во время движения транспортного средства. Один из таких объектов – сайлентблок, который является важным компонентом ходовой части транспортного средства. В данной работе представлены результаты исследования напряженно-деформированного состояния элементов сайлентблока, содержащие материалы с резко различающимися свойствами. Исследования проводились с помощью метода конечных элементов. В работе были рассмотрены различные конструкции сайлентблоков, при этом были показаны особенности напряженно-деформированного состояния сайлентблока. В данной работе свойства резины были описаны постоянными величинами, которые не учитывали специфические свойства материала.

**Ключевые слова:** резинометаллический шарнир, виброизолятор, напряженно-деформированное состояние, сайлентблок, резина, конечно-элементная модель, метод конечных элементов.

**Введение.** Современное транспортное средство представляет собой сложную механическую систему, состоящую из множества деталей, узлов и агрегатов. В конструкции транспортного средства достаточно много относительно небольших по размерам и простых по своему строению деталей, но пренебрежительное отношение к таким элементам может привести к самым неблагоприятным последствиям. Одними из таких элементов могут быть резинометаллические шарниры (их еще достаточно часто называют сайлентблоками).

Сайлентблок представляет собой две металлические втулки, вставленные одна в другую и промежуток между которыми заполнен резиновой вставкой. Использование сайлентблоков позволяет погасить колебания, возникающие между элементами подвески и корпусом транспортного средства. При этом сайлентблок может деформироваться в разных плоскостях и направлениях. Помимо этого, он обеспечивает угловую, осевую и радиальную податливость.

Изношенный сайлентблок может привести к потере устойчивости во время движения транспортного средства, а также появлению дополнительных вибраций корпуса кузова транспортного средства.

Во время эксплуатации резинометаллические шарниры подвергаются высоким нагрузкам, поэтому необходимо контролировать текущее состояние сайлентблоков. Также необходимо учитывать способность сайлентблоков противостоять различным климатическим условиям, в которых они работают, так как свойства резиновой вставки зависят от температурных перепадов окружающей среды.

**Анализ состояния проблемы и постановка задачи.** В публикациях достаточно много встречается статей, посвященных определению параметров

напряжено-деформированного состояния резиноталлических конструкций и резиноталлических изделий, например таких как резиновые виброизоляторы. В работах таких ученых, как В. Л. Бидерман, Н.А. Сухова [1, 2], С.И. Дымников [3], Э.Э. Лавендел [4] и др., также в публикациях [5-7] встречается множество исследований, посвященных резиноталлическим изделиям, кроме того, встречается достаточно много работ, посвященных рассмотрению самих резин и каучуков, используемых в изготовлении резиноталлических изделиях [8-12].

Однако в публикациях практически нет работ посвященных исследованиям по определению компонент напряженно-деформированного состояния полной параметрической модели, описывающей сайлентблок, как целостной механической системы с учетом специфических механических свойств резин, а также резко различающихся свойств материалов других элементов сайлентблоков.

Таким образом, с появлением новых материалов и технологий производства появляется необходимость, а также актуальность проведения исследований напряженно-деформированное состояние резиноталлических шарниров. Развитие специализированных программных комплексов дает возможность описать любую сложную геометрическую форму сайлентблоков, задать любые граничные и начальные условия, и с помощью численных методов найти компоненты напряженно-деформированного состояния элементов сайлентблока.

**Цель работы.** Данная работа открывает цикл исследований, посвященных исследованию напряженно-деформированного состояния резиноталлических шарниров, а именно сайлентблоков. В данной работе представлены результаты численных исследований сайлентблоков двух различных конструкций.

**Материал исследований.** Рассмотренные сайлентблоки состоят из металлической внешней оболочки и внутреннего металлического пальца – оси, заполненных между ними резиновой вставкой. Однако первая конструкция имела еще дополнительные торцевые шайбы, выполненные из металла. Внешний вид геометрической модели всего сайлентблока и отдельно взятой резиновой вставки представлены на рис. 1. Для уменьшения размерности задачи и уменьшения расчетного времени была добавлена симметрия. На рис. 2 представлены геометрические и конечно-элементные модели с симметрией, участвовавшие в расчетах. В моделях насчитывалось около 85 тыс. и 90 тыс. элементов для моделей без торцевых шайб и с ними соответственно.

На рис. 3 представлена модель с внешними нагрузками и закреплением, симметрией.

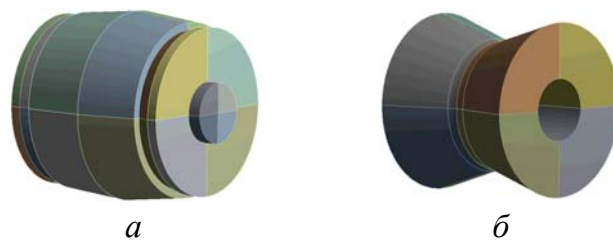


Рис. 1 – Геометрические модели всего сайлентблока и отдельно взятой резиновой вставки: *a* – полная геометрическая модель сайлентблока; *б* – геометрическая модель резиновой вставки.

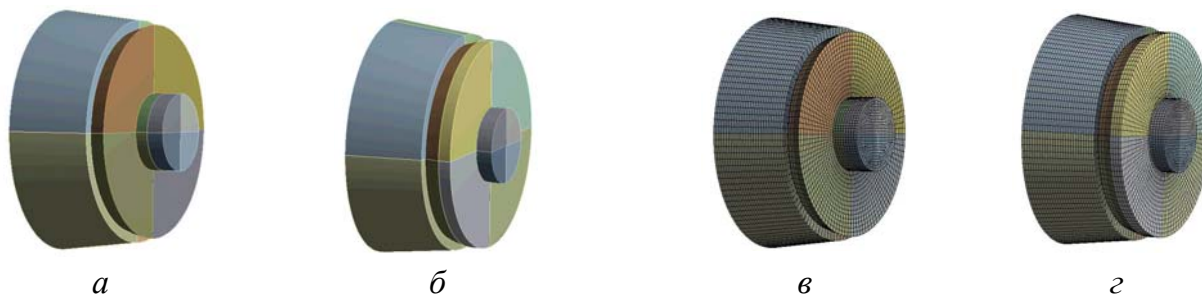


Рис. 2 – Геометрические и конечно-элементные модели сайлентблоков: *a* – геометрическая модель без шайбы; *б* – геометрическая модель с шайбой; *в* – конечно-элементная модель без шайбы; *г* – конечно-элементная модель с шайбой.

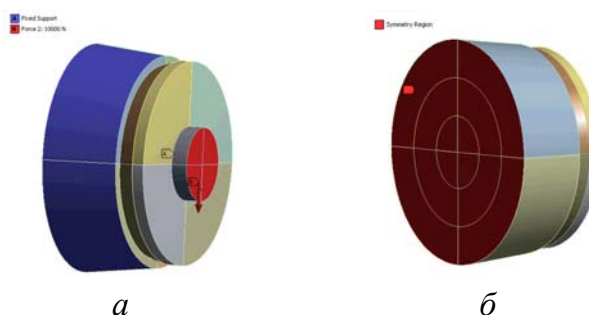


Рис. 3 – Модель с внешним нагружением и закреплением, а также симметрией: *a* – Нагрузка и закрепление; *б* – симметрия.

В ходе расчетов было проведено исследование трех моделей: первая и вторая модели, описывающие сайлентблок, имеют торцевые шайбы, в третьей модели их нет. При этом первая модель и вторая имели отличия лишь в различных условиях контактного взаимодействия пары "резиновая вставка – торцевая шайба": для первой постановки "frictionless" – без трения, для второй "bonded" – "соединение", т.е. элементы пары "резиновая вставка – торцевая шайба" определяются как единое целое.

В табл. 1 приведены физико-механические характеристики элементов сайлентблока. При этом нужно отметить, что на данном этапе исследования свойства резины были описаны константами, которые не учитывали специфические характеристики резины. В дальнейших исследованиях

напряженно-деформированного состояния элементов сайлентблоков предполагается описание свойств резины, которые бы учитывали специфическое ее поведение.

Таблица 1 – Физико-механические характеристики материалов

Материал	Модуль Юнга E, (Па)	Коэффициент Пуассона $\nu$
Резина	$1 \cdot 10^7$	0,49
Сталь	$2 \cdot 10^{11}$	0,3

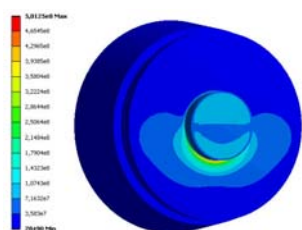
**Результаты исследований.** По результатам проведенных численных исследований были получены компоненты напряженно-деформированного состояния сайлентблоков. Были определены максимальные эквивалентные напряжения по von-Mises и полные перемещения для полной модели, описывающей весь сайлентблок, а также для резиновой вставки отдельно.

В табл.1 представлены числовые значения искомых величин.

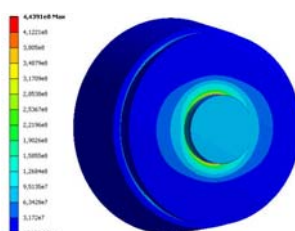
Таблица 2 – Определенные расчетным путем значения эквивалентных напряжений и перемещений

№ Расчетной схемы	Макс. эквив. напр. по von-Mises в сайлентблоке, Па	Макс. эквив. напр. по von-Mises в резиновой вставке, Па	Полные перемещения в резиновой вставке, м
1 ("frictionless")	$5,01 \cdot 10^8$	$3,52 \cdot 10^7$	$6,15 \cdot 10^{-5}$
2 ("bonded")	$4,43 \cdot 10^8$	$1,55 \cdot 10^7$	$2,9 \cdot 10^{-5}$
3 (без шайбы)	$2,05 \cdot 10^8$	$5,7 \cdot 10^7$	$6,039 \cdot 10^{-5}$

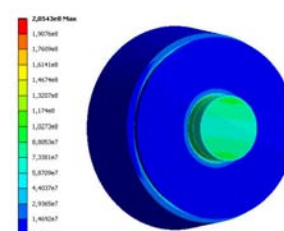
На рис. 4 и 5, приведены поля эквивалентных напряжений сайлентблоков и отдельно резиновой вставки для всех расчетных схем, соответственно. Полные перемещения в сайлентблоках представлены на рис. 6, на рис. 7 представлены полные перемещения для резиновой вставки (а также представлены с двукратным увеличением степени деформирования).



Расчетная схема 1 ("frictionless")



Расчетная схема 2 ("bonded")



Расчетная схема 3 (без шайбы)

Рис. 4 – Эквивалентные напряжения по von-Mises в сайлентблоке (Па)

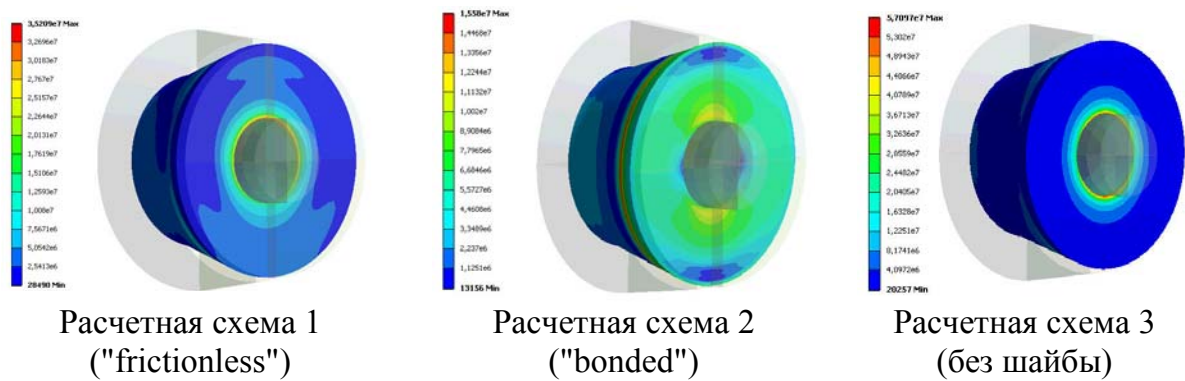


Рис. 5 – Эквивалентные напряжения по von-Mises в резиновой вставке (Па)

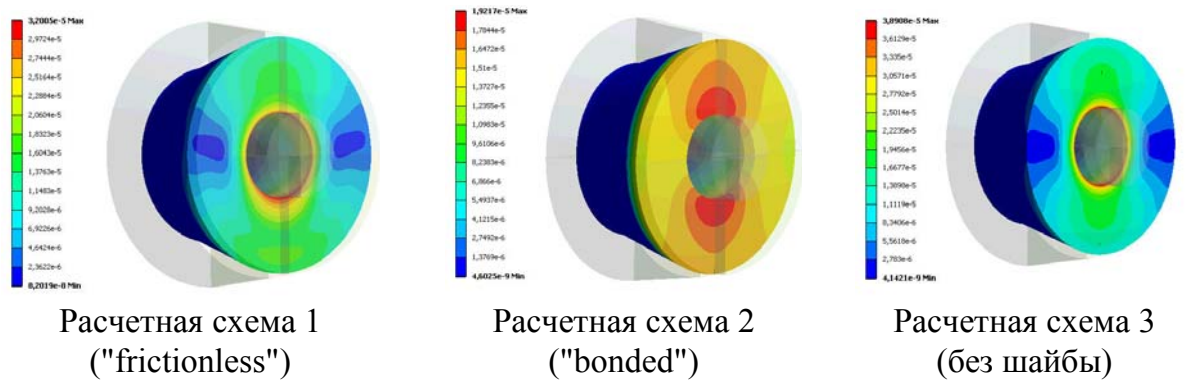


Рис. 6 – Полные перемещения в резиновой вставке (м)

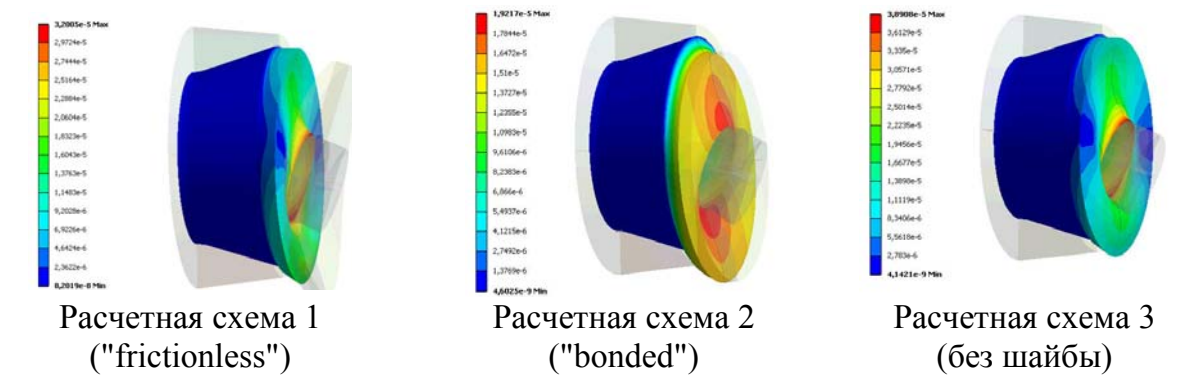


Рис. 7 – Полные перемещения в резиновой вставке с двукратным увеличением степени деформирования (м)

Анализ результатов показал, что наибольшие напряжения в резиновой вставке наблюдаются в третьей расчетной схеме (без шайбы), при этом для первой расчетной схемы ("frictionless") напряжения меньше в 1,6 раза по сравнению с третьей расчетной схемой. Наименьшие напряжения в резиновой вставке наблюдаются во второй расчетной схеме ("bonded") – в 3,7 раза меньше наибольших, возникших в третьей расчетной схеме. Из рассмотрения полных перемещений резиновой вставки картина складывается иная, чем для напряжений: для первой и третьей расчетных схем перемещения практически равны и являются

наибольшими среди трех моделей, во второй модели полные перемещения – наименьшие, и отличие составляет практически два раза.

**Выводы.** При проведении данных исследований был сделан вывод о том, что вторая конструкция сайлентблока, соответствующая второй расчетной схеме, является наиболее благоприятной к использованию.

В дальнейшем планируется провести исследования сайлентблоков, в которых материал, описывающий резиновую вставку, будет учитывать специфические свойства резины.

**Список литературы.** 1. Бидерман В. Л. Расчет цилиндрических и прямоугольных длинных резиновых амортизаторов сжатия / В. Л. Бидерман, Н. А. Сухова // Расчеты на прочность. – 1968. – № 13. – С. 55-72., 2. Сухова Н. А. К расчету резиновых амортизаторов, работающих на сжатие / Н. А. Сухова, В. Л. Бидерман // Расчеты на прочность. – 1962. – № 8. – С. 200-211. 3. Дымников С. И. Расчет резино-технических деталей при средних деформациях / С. И. Дымников // Механика полимеров. – 1968. – № 2. – С. 271-275. 4. Лавендел Э. Э. Расчет резинотехнических изделий / Э. Э. Лавендел. – М.: Машиностроение, 1976. – 232 с. 5. Мартынов В. И., Кракшин М. А. Морозостойкость эластомеров и резинотехнические изделия на их основе // Тезисы докладов семинара на ВДНХ 15-19 апреля 1981г.-М.,-с.20 6. Прогнозирование свойств резин и резино-технических изделий. / Тр. НИИРП.-М.:ЦНИИТЭнефтехим,1979.-вып.4(11).-207с 7. Бабицкий Б. Л. Морозостойкость эластомеров и резино-технических изделий на их основе / Тезисы докладов семинара на ВДНХ 15-19 апреля. М.Д981.-С.34-35 8. Резниченко С. В., Лысова Г. А., Морозов Ю. Л. // Каучук и резина. 1997. №6. 28-32 9. Морозов Ю. Л., Резниченко С. В. // Каучук и резина. 2000. №4. С26-28 10. Сазыкин В. В. // Каучук и резина. 2002. №2. С31-36 11. Синтетический каучук / Под ред. И.В. Гармонова. 2-е изд., перераб.-Л.: Химия, 1983. -580с 12. Мамедов Ш. М., Ядреев Ф. И., Ривин Э. М. Бутадиен-нитрильные каучуки и резины на их основе.-Баку: Элм, 1991.-204с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Biderman V. L. Raschet cilindricheskikh i prjamougol'nyh dlinnyh rezinovyh amortizatorov szhatija. V. L. Biderman, N. A. Suhova. Raschety na prochnost'. – 1968. – № 13. 2. Suhova N. A. K raschetu rezinovyh amortizatorov, rabotajushhh na szhatie. N. A. Suhova, V. L. Biderman. Raschety na prochnost'. – 1962. – № 8. 3. Dymnikov S. I. Raschet rezino-tehnicheskikh detalej pri srednih deformacijah. S. I. Dymnikov. Mehanika polimerov. – 1968. – № 2. 4. Lavendel Je. Je. Raschet rezinotehnicheskikh izdelij. Je. Je. Lavendel. – Moscow: Mashinostroenie, 1976. 5. Martynov V. I., Krakshin M. A. Morozostojkost' jelastomerov i rezinotehnicheskie izdelija na ih osnove. Tezisy dokladov seminar na VDNH 15-19 aprelja 1981g.-Moscow. 6. Prognozirovanie svojstv rezin i rezino-tehnicheskikh izdelij. Tr. NIIRP.-M.:CNIITJeneftehim,1979.-vyp.4(11). 7. Babickij B. L. Morozostojkost' jelastomerov i rezino-tehnicheskikh izdelij na ih osnove. Tezisy dokladov seminar na VDNH 15-19 aprelja. M.D981. 8. Reznichenko S. V., Lysova G. A., Morozov Ju. L. Kauchuk i rezina. 1997. №6. 9. Morozov Ju. L., Reznichenko S. V. Kauchuk i rezina. 2000. №4. 10. Sazykin V. V. Kauchuk i rezina. 2002. №2. 11. Sinteticheskij kauchuk. Pod red. I. V. Garmonova. 2-e izd., pererab.-Leningrad: Himija, 1983. 12. Mamedov Sh. M., Jadrejev F. I., Rivin Je. M. Butadien-nitri'l'nye kauchuki i reziny na ih osnove.-Baku: Jel'm, 1991.

Поступила (received) 16.05.2014