

Министерство образования Республики Беларусь  
*Учреждение образования*  
«Белорусский государственный педагогический университет  
имени Максима Танка»

*И. М. Елисеева*

# **СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ РЕЗИНЫ**

*Монография*

Минск 2007

УДК 539.3  
ББК 22.3  
Е515

Издается по решению редакционно-издательского совета БГПУ

*Рецензенты:*

доктор технических наук, профессор, академик  
НАН Беларуси *П. П. Прохоренко*;  
доктор технических наук, профессор *Л. С. Пинчук*

**Елисеева, И. М.**  
Е515 Структура и свойства материалов на основе резины : монография /  
И. М. Елисеева. – Минск: БГПУ, 2007. – 222 с.  
ISBN 978-985-501-406-6.

В монографии содержится новейшая информация о составах, технологиях, структуре, физических и механических свойствах, физико-химических характеристиках резины и резиноталлических материалов. Значительное внимание уделено вопросу выбора материала с учетом назначения резины, а также ее реологических, вулканизационных и ряда других технологических характеристик. Рассмотрен комплекс физических процессов, определяющих поведение резины при эксплуатации.

Предназначена для научных и инженерно-технических работников, занимающихся вопросами технологии и материаловедения эластомеров, преподавателей, студентов и аспирантов соответствующих специальностей.

УДК 539.3  
ББК 22.3

ISBN 978-985-501-406-6

© Елисеева И. М., 2007  
© БГПУ, 2007

## ВВЕДЕНИЕ

Резина – эластичный материал, образующийся в результате вулканизации каучуков, сочетает свойства твердых тел (упругость, стабильность формы), жидкостей (аморфность, высокая деформируемость при малом объемном сжатии) и газов (повышение упругости вулканизационных сеток с ростом температуры, энтропийная природа упругости). Благодаря уникальным свойствам резины одно из актуальных направлений физического материаловедения – создание комбинированных резинотехнических материалов и изделий на основе каучуков и резин. Такие материалы и изделия вошли практически во все области народного хозяйства. Эксплуатация воздушного, водного, автомобильного, железнодорожного транспорта и энергетических установок невозможна без их использования.

В настоящее время возникла острая потребность в новом поколении материалов на основе резины. В решении этой задачи большая роль принадлежит поиску путей физического и физико-химического модифицирования каучука, резины и материалов на ее основе, представляющих собой комбинированные композиции с новым комплексом свойств. Важность этой задачи определяется чрезвычайно широким спектром требований, предъявляемых к современным машиностроительным изделиям. Как известно, функциональная пригодность резинотехнических изделий обусловлена обширной совокупностью трудно контролируемых факторов: сочетанием материалов, конструкцией и в значительной степени зависит от технологии формирования и применяемого оборудования. В любом случае правильный выбор материала – залог успеха в создании высокоэффективного машиностроительного изделия. В конструкционных материалах на основе резины наиболее полно реализуются достоинства каучуков и резин: эластичность, способность противостоять химическому и эрозионному разрушению, выдерживать знакопеременные деформации и резкие колебания температур. В сочетании с другими материалами каучуки и резины используют обычно в виде покрытий (антикоррозионных, диэлектрических, антиадгезионных, антифрикционных и др.), фольгированных диэлектриков, клеев, а также матриц наполненных и армированных материалов.

Существующие представления о вулканизации, структуре вулканизационной сетки и ее влиянии на свойства эластомеров сформулированы в работах Б.А. Догадкина, Б.А. Долгоплюска, А.А. Донцова, Н.Д. Захарова, З.Н. Тарасовой, М.С. Фельдштейна, А.Г. Шварца, В.А. Шершнева,

А. Гиллера, Л. Бейтмена, В. Гофманна, А. Когана и др. Изучение механизма действия ускорителей, активаторов и целевых агентов, регулирующих вулканизацию каучуков, позволило создать теорию этого технологического процесса, установить закономерности образования вулканизационных структур и связи последних с физическими свойствами резины. Дальнейшее развитие этих представлений показало необходимость учета реакций формирования вулканизационных структур и физико-химического взаимодействия компонентов резиновой смеси не только с каучуком, но и между собой. Изучение взаимодействия эластомеров с молекулярным кислородом, озоном и рядом других агрессивных соединений привело к решению глобальной проблемы защиты каучуков и резин при старении и утомлении (Е. Фармер, Дж. Шелтон, Н.М. Эмануэль, А.С. Кузьминский, К.Б. Пиотровский, З.Н. Тарасова). Среди большого числа работ, посвященных изучению физических и механических свойств каучуков и резин, следует отметить фундаментальные исследования А.П. Александрова, Г.М. Бартенева, В.Е. Гуля, В.Ф. Каргина, В.Н. Кулезнева, Ю.С. Липатова, А.И. Лукомской, Г. Джемса, Д. Джи, В. Куна, Дж. Марка, Л. Трилора, П. Флори и др. Работы по адгезии каучуков к твердым подложкам, выполненные С.С. Воюцким, С. Вебером, явились основой последующих успешных исследований в области создания резинотехнических материалов.

Формирование резинотехнических изделий, осуществляемое, как правило, при повышенных температурах и на воздухе, сопровождается деструкцией и структурированием макромолекул каучука, перераспределением в резине низкомолекулярных веществ, окислением, химическими реакциями с участием макромолекул вулканизата и др. При формировании резинотехнических материалов кроме вышеуказанных происходят каталитические и диффузионные процессы, обусловленные физико-химическим взаимодействием эластомера с металлом.

Изменения структуры эластомеров, в конечном счете, приводят к изменению эксплуатационных характеристик резинотехнических изделий. Учет влияния этих превращений на физико-механические свойства композиционных материалов представляет собой актуальную задачу, которую решают специалисты в области физической химии, занимающиеся физическим модифицированием конденсированных сред, а также материаловеды и технологи в области машиностроительных материалов на основе резины. Это особенно актуально в настоящее время, когда запасы сырья и резервы улучшения физических свойств технических материалов практически исчерпаны.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Федюкин, Д.Л. Технические и технологические свойства резины / Д.Л. Федюкин, Ф.А. Махлис. – М.: Химия, 1985. – 240 с.
2. Догадкин, Б.А. Химия эластомеров / Б.А. Догадкин, А.А. Донцов, В.А. Шершнева. – М.: Химия, 1981. – 374 с.
3. Гуль, В.Е. Структура и механические свойства полимеров / В.Е. Гуль, В.Н. Кулезнев. – М.: Высш. шк., 1979. – 349 с.
4. Лукомская, А.И. Основы прогнозирования механического поведения каучуков и резины / А.И. Лукомская, В.Ф. Евстратов. – М.: Химия, 1975. – 360 с.
5. Кирпичников, П.А. Химия и технология синтетического каучука / П.А. Кирпичников, Л.А. Аверко-Антонович, Ю.О. Аверко-Антонович. – М.: Химия, 1987. – 423 с.
6. Мухутдинов, А.А. Модификация серных вулканизирующих систем и их компонентов / А.А. Мухутдинов. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1989. – 48 с. – (Обзорная информация / Центр, науч.-исслед. ин-т информации и техн.-эконом. исслед. нефтепер. и нефтехим. пром-сти).
7. Кузьминский, А.С. Физико-химические основы получения, переработки и применения эластомеров / А.С. Кузьминский, С.М. Кавун, В.П. Кирпичев. – М.: Химия, 1976. – 367 с.
8. Липатов, Ю.С. Физико-химические основы наполнения полимеров / Ю.С. Липатов. – М.: Химия, 1991. – 450 с.
9. Николина, В.Я. Минеральные наполнители: свойства, получение, применение / В.Я. Николина, А.М. Черкасова. – М.: Химия, 1991. – 313 с.
10. Лин, Д.Г. Окисление и вулканизация каучуков и резин в контакте с металлами / Д.Г. Лин, И.М. Елисева. – Гомель: Полеспечать, 1996. – 180 с.
11. Chowdhury, P. Влияние окислов металлов на вулканизацию блокированным диаминном акрилового каучука в присутствии и отсутствии наполнителей / P. Chowdhury, M.C. Chakravorti, C.K. Das // Kautsch. und Gummi. Kunstst. – 1993. – Vol. 46– № 10. – S. 781 – 784.
12. Лепетов, В.А. Расчеты и конструирование резиновых изделий / В.А. Лепетов, Л.Н. Юрцев. – Ленинград: Химия, 1987. – 405 с.
13. Красовский, В.Н. Примеры и задачи по технологии переработки эластомеров / В.Н. Красовский, А.М. Воскресенский, В.М. Харчевников. – Ленинград: Химия, 1984. – 240 с.
14. Басин, В.Е. Адгезионная прочность / В.Е. Басин. – М.: Химия, 1981. – 208 с.
15. Ивин, В.С. Основные процессы резинового производства / В.С. Ивин, Ю.Ф. Шутин, А.П. Гриб. – Л.: Химия, 1988. – 160 с.
16. Панкратов, В. А. Пластифицирующее действие ароматических мягчителей различного структурно-группового состава / В.А. Панкратов, Г.А. Майоров, Д.П. Емельянов, Е.Ф. Янсон // Каучук и резина. – 2000. – № 5. – С. 23 – 26.

17. Шмурак, И. Л. Взаимодействие между каучуками с функциональными группами в макромолекуле и техническим углеродом / И.Л. Шмурак // Каучук и резина. – 2000. – № 5. – С. 28 – 30.
18. Применение резиновых технических изделий в народном хозяйстве: справ. пособие / под общ. ред. Д.Л. Федюкина. – М.: Химия, 1986. – 240 с.
19. Brown, R.P. Physical testing of rubbers / R.P. Brown. – London: Appl. Sci. Publishers Ltd, 1979. – 327 p.
20. Бухина, М.Ф. Техническая физика эластомеров / М.Ф. Бухина. – М.: Химия, 1984. – 224 с.
21. Рудницкий, В.А. Испытание эластомерных материалов методами идентификации / В.А. Рудницкий, А.П. Крень; под ред. П.П. Прохоренко. – Минск: Белорусская наука, 2007. – 227 с.
22. Стереорегулярные каучуки: в 2 т. Т. 2 / под общ. ред. У. Солтмена. – М.: Мир, 1981.
23. Блох, Г.А. Органические ускорители вулканизации и вулканизующие системы для эластомеров / Г.А. Блох. – Л.: Химия, 1978. – 240 с.
24. Литвинова, Т.В. Пластификаторы для резинового производства / Т.В. Литвинова. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1981. – 85 с. – (Обзорная информация / Центр, науч.-исслед. ин-т информации и техн.-эконом. исслед. нефтепер. и нефтехим, пром-сти).
25. Титорский, И.А. Химическая модификация эластомеров / И.А. Титорский, Е.Э. Потапов, А.Г. Шварц. – М.: Химия, 1992. – 440 с.
26. Соболев, В.М. Промышленные синтетические каучуки / В.М. Соболев, И.В. Бородин. – М.: Химия, 1977. – 392 с.
27. Shvarts, A.G. Chemical modification of synthetic rubber / A.G. Shvarts // Tire Technology International. – UK: UK and International Press., 1996. – P. 89 – 96.
28. Наполнители для полимерных композиционных материалов / под общ. ред. П.Г. Бабаевского. – М.: Химия, 1981. – 736 с.
29. Elastomeric polymer networks / ed. by M.V.Ermar. – New York: Academic Press, 1992. – 256 p.
30. Барштейн, Р.С. Пластификаторы для полимеров / Р.С. Барштейн, В.И. Кирилович, Ю.Е. Носовский. – М.: Химия, 1982. – 200 с.
31. Захаров, Н.Д. Хлоропреновые каучуки и резины на их основе / Н.Д. Захаров. – М.: Химия, 1998. – 272 с.
32. Мальшев, А.И. Анализ резины / А.И. Мальшев, А.С. Помогайло. – М.: Химия, 2006. – 372 с.
33. Эммануэль, Н.М. Химическая физика старения и стабилизации полимеров / Н.М. Эммануэль, А.Л. Бучаченко. – М.: Наука, 1982. – 360 с.
34. Choi, Sung-Seen. Influence of rubber composition on change of crosslink density of rubber vulcanizates with EV cure system by thermal aging / Sung-Seen Choi // J. of Applied Polymer Science. – 2000. – Vol. 75, № 11. – P. 1378– 1384.
35. Паншин, Ю.А. Фторопласты / Ю.А. Паншин, С.Г. Малкевич, Ц.С. Дунаевская. – М.: Химия, 2005. – 256 с.
36. Бартнев, Г.М. Релаксационные свойства полимеров / Г.М. Бартнев, А.Г. Бартнева. – М.: Химия, 1993. – 360 с.

37. Горелик, Б.М. Эластомерные конструкции / Б.М. Горелик. – М.: Химия, 1993. – 660 с.
38. Денисов, Е.Т. Окисление и деструкция карбоцепных полимеров / Е.Т. Денисов. – Л.: Химия, 1990. – 287 с.
39. Крагельский, И.В. Трение и износ / И.В. Крагельский. – М.: Машиностроение, 1988. – 480 с.
40. Science and technology of rubber / ed. by F.R. Eirich. – New York: Academic Press., 1978. – 670 p.
41. Kar, K.K. High strain hysteresis loss of rubber vulcanizates under pure shear and constrained extension and influence of filler / K.K. Kar, A.K. Bhowmick // Rubber Chemistry and Technology. – 2000. – Vol. 73.– № 1. – P. 56 – 73.
42. Freakley, P.K. Theory and practice of engineering with rubber / P.K. Freakley, A.R. Payne. – London: Appl. Sci. Publishers Ltd, 1978. – 666 p.
43. Hamed, G.R. The mechanism of carbon black reinforcement of SBR and NR vulcanizates / G.R. Hamed, B.H. Park // Rubber Chemistry and Technology. – 1999. – Vol. 72.– № 5. – P. 946 – 959.
44. Донцов, А.А. Хлорированные полимеры / А.А. Донцов, Г.Я. Лозовик, С.П. Новицкая. – М.: Химия, 1999. – 232 с.
45. Кошелев, Ф.Ф. Общая технология резины / Ф.Ф. Кошелев, А.Е. Корнев, А.М. Буканов. – М.: Химия, 1978. – 528 с.
46. Kadir, S.A. Advances and developments in NR / S.A. Kadir // Rubber World. – 2000. – Vol. 222.– № 2. – P. 44 – 47.
47. Kundu, P. P. Improvement of filler-rubber interaction by the coupling action of vegetable oil in carbon black reinforced rubber / P. P. Kundu // J. of Applied Polymer Science. – 2000. – Vol. 75.– № 6. – P. 735 – 739.
48. White, L. Repeatable tests getting closer / L. White // European Rubber J. – 1998. – Vol. 180.– № 12. – С. 20 – 21.
49. Van de Ven, P.M. Design of EPDM for blends with NR/BR for tire sidewalls: influence of molecular structure and carbon black distribution on properties / P.M. Van de Ven, J.W. Noordermeer // Rubber World. – 2000. – Vol. 222.– № 6. – P. 55 – 58.
50. Радченко, И.И. Бутадиен-стирольные и бутадиен-метилстирольные каучуки / И.И. Радченко. – М.: ЦНИИТ Энефтехим, 1969. – 83 с. – (Обзорная информация / Центр, науч.-исслед. ин-т информации и техн.-эконом. исслед. нефтеперераб. и нефтехим, пром-сти).
51. Вострокнутов, Е.Г. Реологические основы переработки эластомеров / Е.Г. Вострокнутов, Г.В. Виноградов. – М.: Химия, 1988. – 232 с.
52. Донцов, А.А. Процессы структурирования эластомеров / А.А. Донцов. – М.: Химия, 1978. – 287 с.
53. Новиков, И.А. Методы оценки и регулирования пластозластических и вулканизационных свойств эластомеров и композиций на их основе / И.А. Новиков, О.М. Новопольцева, М.А. Кракшин. – М.: Химия, 2000. – 240 с.
54. Rubber as engineering material: guideline for users. / ed. by K.Nagdi. – Munchen: Carl Hanser Ltd., 1993. – 302 p.

55. Пиотровский, К.Б. Старение и стабилизация синтетических каучуков и вулканизатов / К.Б. Пиотровский, З.Н. Тарасова. – М.: Химия, 1980. – 263 с.
56. Smith, E.H. Comparative oxidation of organic compounds / E.H. Smith. – New-York: Academic Press., 1992. – 350 p.
57. Modrow, H. Исследование термоокисления серных сшивок в вулканизатах КСК с применением XANES-спектроскопии / H. Modrow, R. Zimmer, F. Visel, J. Hornes // *Kautsch. und Gummi. Kunstst.* – 2000. – № 6. – S. 328 – 337.
58. Ehrhardt, D. Стойкость резины к тепловому старению / D. Ehrhardt // *GAK: Gummi, Fasern, Kunstst.* – 1999. – № 9. – S. 683 – 689.
59. The science and practice of rubber mixing. /ed. by N. Nakajima. – Showbury: Rapra Technology Ltd., 2000. – 410 p.
60. Niziolek, A.W. Influence of compounding materials on tire durability / A.W. Niziolek, J.G. Nelsen, R.H. Jones // *Kautsch. und Gummi. Kunstst.* – 2000. – № 6. – S. 358 – 364.
61. Clough, R.L. Влияние диффузии кислорода на термическое старение эластомеров / R.L. Clough, K.T. Gillen // *Polymer Degradation and Stabilization.* – 1992. – Vol. 38. – № 1. – P. 47 – 56.
62. Wilkie, C.A. Деструкция и стабилизация полимеров / C.A. Wilkie // *Polymer News.* – 1992. – Vol. 17. – № 5. – P. 142 – 143.
63. Bryk, M.T. Degradation of filled polymers high-temperature and thermal-oxidative processes / M.T. Bryk. – New York: Academic Press, 1991. – 240 p.
64. Федюкин, Д.Л. Терминологический справочник по резине: справ. издание / Д.Л. Федюкин, Ф.А. Махлис. – М.: Химия, 1989. – 400 с.
65. Barakat, A.M. Влияние некоторых ускорителей вулканизации на физико-механические свойства резин, бензостойких и общего назначения / A.M. Barakat // *Polym. Plast. Technology and Engineering.* – 1992. – Vol. 31. – № 5 – 6. – P. 485 – 503.
66. Shehata, A.B. Стабилизация бутадиен-нитрильного каучука антиоксидантами на основе метакриламидов / A.B. Shehata, S.N. Lawandy, A.A. Wakeel // *Polym. Plast. Technology and Engineering.* – 2000. – Vol. 39. – № 1. – P. 1 – 21.
67. McGill, W.J. Влияние карбоновых кислот на серную вулканизацию, ускоренную 2-бисбензотиазол-2,2-дисульфидом и тетраметилтиурам-дисульфидом / W.J. McGill, S.R. Shelver // *J. of Applied Polymer Science.* – 1999. – Vol. 72. – № 8. – P. 1007 – 1030.
68. Reyneke-Barnard, C.P. Vulcanization of polyisoprene and 2,3-dimethyl-2-butene in the presence of ZnO / C.P. Reyneke-Barnard, M.H.S. Gradwell, W.J. McGill // *J. of Applied Polymer Science.* – 2000. – Vol. 78, № 9. – P. 1112 – 1120.
69. Заиков, Г.Е. Новые аспекты проблемы старения и стабилизации полимеров / Г.Е. Заиков, А.Я. Полищук // *Успехи химии.* – 1993. – Т. 62. – № 6. – С. 644 – 664.
70. Hamed, G.R. Изменение прочности после окислительного старения ненаполненных и саженаполненных вулканизатов бутадиен-стирольного и натурального каучуков / G.R. Hamed, J. Zhao // *Rubber Chemistry and Technology.* – 1999. – Vol. 72. – № 4. – С. 721 – 730.
71. Ehrhardt, D. Высокоэффективные защитные системы для вулканизатов диеновых каучуков / D. Ehrhardt // *GAK: Gummi, Fasern, Kunstst.* – 2001. – № 4. – S. 252 – 258.

72. Bender, H. Механизм старения резины на основе насыщенного каучука / H. Bender, E. Campomizzi // *Kautsch. und Gummi. Kunstst.* – 2001. – Vol. 54. – № 1. – С. 14 – 21.
73. Захаров, Н.Д. Хлоропреновые каучуки и резина на их основе / Н.Д. Захаров. – М.: Химия, 1978. – 272 с.
74. Носников, А.Ф. Резиновые смеси и вулканизаты на основе полихлоропрена с модифицированным техническим углеродом / А.Ф. Носников, Ю.Р. Эбич // *Производство и использование эластомеров.* – 1999. – № 5. – С. 10 – 14.
75. Печенова, Н.В. Микроструктура СКЭПТ и ее влияние на термомеханические параметры и свойства их вулканизатов и совулканизатов с СКМ-3 / Н.В. Печенова, Л.С. Шибряева, В.А. Шершнев, В.Д. Юловская // *Высокомолекулярные соединения.* – 2001. – Т. 43. – № 3. – С. 478 – 485.
76. Носников, А.Ф. Резиновые смеси и резина на основе хлорбутилкаучука с сульфидом цинка и меркаптановым ускорителем / А.Ф. Носников, Ю.Р. Эбич // *Производство и использование эластомеров.* – 2000. – № 2. – С. 19 – 23.
77. Нудельман, З.Н. Фторкаучуки: практические аспекты ионной вулканизации / З.Н. Нудельман // *Каучук и резина.* – 2001. – № 1. – С. 31 – 42.
78. White, L. More long-term data needed / L. White // *European Rubber J.* – 1998. – Vol. 180, № 12. – P. 22 – 23.
79. McCarthy, D.W. Preparations and characterization of the curing and aging processes / D.W. McCarthy, J.E. Maik // *Rubber Chemistry and Technology.* – 1998. – Vol. 71. – № 5. – P. 906 – 927.
80. Johansson, A. R. Processing promoters – keys to successful compounding / A.R. Johansson // *Rubber World.* – 2001. – V. 223. – № 6. – P. 35 – 40.
81. Боргоа, S. Применение масс-спектрометрии для исследования влияния технического углерода на вулканизацию натурального каучука / S. Borroa, E. Vidal, N. Agullo, W.J. Van Ooij // *Kautsch. und Gummi. Kunstst.* – 2000. – № 12. – С. 711 – 715.
82. Никитин, Ю.Н. О влиянии донорно-акцепторных взаимодействий в фазе тегулерода на усиление эластомеров / Ю.Н. Никитин, И.Ю. Никитин // *Каучук и резина.* – 2001. – № 3. – С. 14 – 18.
83. Chowdhury, R. Влияние окислов металлов на вулканизацию блокированным диаминном акрилового каучука в присутствии и отсутствии наполнителей / R. Chowdhury, M.C. Chakrovarti, C.K Das // *Kautsch. und Gummi.* – 1993. – Vol. 46. – № 10. – С. 781 – 784.
84. Рудобашта, С.П. Диффузия в химико-технологических процессах / С.П. Рудобашта, Э.М. Карташов. – М.: Химия, 1992. – 300 с.
85. Аврущенко, Б.Х. Резиновые уплотнители / Б.Х. Аврущенко. – Л.: Химия, 1978. – 136 с.
86. Пинчук, Л.С. Герметизирующие полимерные материалы / Л.С. Пинчук, А.С. Неверов. – М.: Машиностроение, 1995. – 160 с.
87. Соколов, В.З. Производство и использование ароматических углеводородов / В.З. Соколов, Г.Д. Харлампович. – М.: Химия, 2006. – 214 с.
88. Зуев, Б.С. Стойкость эластомеров в эксплуатационных условиях / Б.С. Зуев, Т.Г. Дегтева. – М.: Химия, 1986. – 264 с.

89. Karg, R.F. Нитрильный каучук с очень высоким содержанием акрилонитрила для изготовления резины, эксплуатирующейся в топливных системах / R.F. Karg, L.H. Connie, K. Dosch // SAE : Technical Paper Series. – 1990. – № 900196. – P. 1 – 111.
90. Nersasian, A. Влияние добавок бензина на топливостойкость резин / A. Nersasian // Elastomers. – 1990. – Vol. 112. – № 10. – P. 26 – 30.
91. Шевченко, Т.А. Повышение маслостойкости вулканизатов на основе нитрильного каучука / Т.А. Шевченко, Н.М. Шевченко // Каучук и резина. – 2000. – № 5. – С. 19 – 22.
92. Trexler, H.E. Топливостойкие резины / H.E. Trexler // Rubber Chemistry and Technology. – 1991. – Vol. 54. – № 1. – P. 155 – 169.
93. Rubber Processing Technology, Materials, Principles / ed. by J.L. White. – Munchen: Carl Hanser Ltd., 1995. – 586 p.
94. Елисеева, И.М. Структурные превращения в резине при старении в топливе / И.М. Елисеева, С.Н. Седярова // Весті Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2003. – № 1. – С. 5 – 7.
95. Abdel-Bary, E.M. Evaluation of the properties of some nitrile-butadiene rubber/polychloroprene mixes and vulcanizates / E.M. Abdel-Bary, W. Soden, F.M. Helaly // Polym. Adv. Technology. – 2000. – Vol. 11. – № 1. – P. 1 – 8.
96. Использование добавок эпихлоргидриновых и пропиленоксидных каучуков для расширения температурного интервала работоспособности резин на основе бутадиен-нитрильных каучуков / О.А. Говорова, Ю.Л. Морозов, Ю.П. Баженов, И.Ш. Насыров, Г.М. Хвостик, В.А. Васильев // Каучук и резина. – 2000. – № 4. – С. 18 – 20.
97. Azaar, K. Стойкость каучуков и эластомеров к воздействию жидкостей / K. Azaar, R. Granger, I.D. Rosca, J.M. Vergnaud // GAK: Gummi, Fasern, Kunstst. – 2001. – Vol. 54. – № 4. – S. 236 – 241.
98. Зуев, Ю.С. Стойкость резины к агрессивным воздействиям / Ю.С. Зуев // Каучук и резина. – 2000. – № 1. – С. 36 – 40.
99. Воробьева, Г.Я. Химическая стойкость полимерных материалов / Г.Я. Воробьева. – М.: Химия, 1981. – 296 с.
100. Колядина, Н.Г. Стойкость резины к фреонам и аммиаку / Н.Г. Колядина. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1980. – 55 с. – (Обзорная информация / Центр, науч.-исслед. ин-т информации и техн.-эконом. исслед. нефтепер. и нефтехим, пром-сти).
101. Морган, Г.Дж. Факторы, определяющие уплотнительную способность / Г.Дж. Морган // Каучук и резина. – 2000. – № 3. – С. 35 – 43.
102. Engineering with rubber / ed. by A.N. Gent. – Munchen: Carl Hanser Ltd., 1992. – 332 p.
103. Химическая модификация диеновых эластомеров: обзор и последние достижения / J.C. Brosse, I. Campistron, D. Derouet, A. Hamdaoui, S. Houdayer, D. Reyx, S. Ritoit-Giller // J. of Applied Polymer Science. – 2000. – Vol. 78. – № 8. – P. 1461 – 1477.
104. Елисеева, И.М. Влияние сшивающих агентов на физико-химические характеристики резиновых уплотнителей, эксплуатируемых в углеводородных средах / И.М. Елисеева, С.Н. Седярова // Каучук и резина. – 2002. – № 4. – С. 24 – 25.

105. Елисеева, И.М. Химическая стойкость резины в углеводородных средах / И.М. Елисеева, Д.Г. Лин, С.Н. Седярова // *Материалы, технологии, инструмент.* – 1997. – № 2. – С. 41 – 43.
106. Елисеева, И.М. Повышение химической стойкости резины на основе бутадиен-нитрильного каучука / И.М. Елисеева // *Материалы, технологии, инструмент.* – 1997. – № 3. – С. 30 – 31.
107. Елисеева, И.М. Поверхностное модифицирование резиновых уплотнителей, эксплуатируемых в углеводородных средах при высоких температурах / И.М. Елисеева // *Производство и использование эластомеров.* – 2005. – № 4. – С. 10 – 13.
108. Елисеева, И.М. Влияние сшивающих агентов и низкомолекулярных модификаторов на эксплуатационные свойства резиновых уплотнителей / И.М. Елисеева, С.Н. Седярова, Д.Г. Лин // *Материалы, технологии, инструмент.* – 2001. – № 2. – С. 49 – 52.
109. Елисеева, И.М. Влияние полимерных модификаторов на эксплуатационные свойства резиновых уплотнителей / И.М. Елисеева, С.Н. Седярова, Д.Г. Лин // *Материалы, технологии, инструмент.* – 2000. – № 4. – С. 46 – 48.
110. Касперович, А.В. Послойный анализ состава металлопокрытий на эластомере методом резерфордского обратного рассеяния ионов гелия / А.В. Касперович, В.С. Куликаускас, И.С. Ташлыков, М.Г. Шадрухин // *Поверхность: физика, химия, механика.* – 1995. – № 9. – С. 57 – 58.
111. Касперович, А.В. Композиционный состав Ti и Mo покрытий, осажденных на эластомер в условиях облучения собственными ионами / А.В. Касперович, И.С. Ташлыков // *Физика и химия обработки материалов.* – 1999. – № 5. – С. 53 – 55.
112. Ташлыков, И.С. Поверхностная модификация резины осаждением покрытий / И.С. Ташлыков, А.В. Касперович, В.И. Касперович, М.Г. Шадрухин // *Каучук и резина.* – 1999. – № 1. – С. 25 – 27.
113. Манин, В.Н. Физико-химическая стойкость полимерных материалов в условиях эксплуатации / В.Н. Манин, А.Н. Громов. – Л.: Химия, 1980. – 246 с.
114. Вакула, В.Л. Физическая химия адгезии полимеров / В.Л. Вакула, Л.М. Притыкина. – М.: Химия, 1984. – 224 с.
115. Переработка каучуков и резиновых смесей / Е.Г. Вострокнутов, М.И. Новиков, В.И. Новиков, Н.В. Прозоровская; под общ. ред. Е.Г. Вострокнутова. – М.: Химия, 2004. – 232 с.
116. Лин, Д.Г. Высокотемпературное контактное окисление и адгезия к металлам бутадиен-нитрильного каучука / Д.Г. Лин, И.М. Елисеева, Н.И. Егоренков // *Каучук и резина.* – 1986. – № 1. – С. 13 – 16.
117. Lin, D. Effect of elastomer vulcanization on adhesion to metals / D. Lin, I. Eliseeva // *Composites materials.* – London and New York: Elsevier Applied Science, 1990. – P. 1221 – 1225.
118. Энциклопедия полимеров: в 3 т. – М.: Советская энциклопедия, 1972. – Т. 1. – 1224 с.; 1974. – Т. 2. – 1032 с.; 1977. – Т. 3. – 1151 с.

119. Елисеева, И.М. Влияние условий формирования и эксплуатации на адгезионно-механические характеристики системы резина-металлокорд / И.М. Елисеева // *Материалы, технологии, инструмент.* – 1998. – № 2. – С. 90 – 91.
120. Eliseeva, I. On vulcanization of elastomers in contact with metals when in composite materials / I. Eliseeva, D. Lin // *Fiber Composites in Infrastructure.* – Tucson: University of Arizona, 1998. – P.740 – 747.
121. Лин, Д.Г. Исследование переноса металлов при контактном термоокислении ингибированных каучуков / Д.Г. Лин, И.М. Елисеева // *Производство и использование эластомеров.* – 1993. – № 5. – С. 6 – 10.
122. Lin, D. Контактное окисление ингибированных каучуков на металлах / D. Lin, I. Eliseeva // *Plaste und Kautschuk.* – 1994. – № 5. – S. 234 – 236.
123. Бартенев, Г.М. Физика полимеров / Г.М. Бартенев, С.Я. Френкель. – Л.: Химия, 1990. – 486 с.
124. Принципы создания композиционных полимерных материалов / А.А. Берлин, С.А. Вольфсон, В.Г. Ошмян [и др.] – М.: Химия, 1990. – 464 с.
125. Елисеева, И.М. Исследование окислительного структурирования бутадиенового каучука на металлах / И.М. Елисеева, Д.Г. Лин // *Промышленность СК, шин и РТИ.* – 1987. – № 8. – С. 11 – 14.
126. Фрейдин, А.С. Свойства и расчет адгезионных соединений / А.С. Фрейдин, Р.А. Турусов. – М.: Химия, 1990. – 364 с.
127. Гинзбург, Л.В. Адгезионные соединения эластомеров / Л.В. Гинзбург, Е.С. Деркачева, В.М. Беззубова // *Каучук и резина.* – 1990. – № 3. – С. 28 – 33.
128. Blow, С.М. Крепление резины к металлу с помощью латуни / С.М. Blow // *India Rubber J.* – 1986. – Vol. 38, № 11. – P. 47 – 53.
129. Шмурак, И.Л. Технология крепления шинного корда к резине / И.Л. Шмурак, С.А. Мостюхин, Л.И. Дашевский. – М.: Химия, 1993. – 200 с.
130. Шмурак, И.Л. Прочность связи в системе латунированный металлокорд-резина и пути ее повышения модификацией поверхности металлокорда / И.Л. Шмурак, С.А. Матюхин. – М.: ЦНИИТ Энефтехим, 1989 – 92 с. (Обзорная информация / Центр. науч.-исслед. ин-т информации и техн.-эконом. исслед. нефтепер. и нефтехим. пром-сти).
131. Совершенствование качества резинеметаллокордных изделий путем применения промоторов адгезии / Г.Г. Сальч, Е.В. Сахарова, А.Г. Шварц, Е.Э. Потапов. – М.: ЦНИИТ Энефтехим, 1988 – 70 с. (Обзорная информация / Центр, науч.-исслед. ин-т информации и техн.-эконом. исслед. нефтепер. и нефтехим. пром-сти).
132. Электрохимические аспекты механизма формирования адгезионных связей в системе резина-латунь / Е.И. Овчинников, Г.Г. Сальч, А.А. Серов, Е.Э. Потапов // *Каучук и резина.* – 1993. – № 3. – С. 13 – 16.
133. Влияние тиоколов и соединений кобальта на степень сшивания граничных с латунью и переходных слоев резины в адгезионном соединении резина-латунь / Я.Д. Прокофьев, Е.Э. Потапов, Е.В. Сахарова, Г. Г. Сальч // *Каучук и резина.* – 1999. – № 3. – С. 9 – 11.

134. Комплексные модифицирующие добавки к резине для резинометаллических деталей / Т.Ю. Струнина, Ю.Н. Ващенко, Г.А. Соколова, З.В. Онищенко // *Каучук и резина*. – 1993. – № 2. – С. 35 – 36.
135. Okel, T.A. Mechanism and optimization of precipitated silica to improve brass-to-rubber adhesion / T.A. Okel, W.H. Waddell, L.R. Evans // *Tire Technology International*. – UK: UK and International Press., 1996. – P. 104 – 118.
136. Van Ooij, W.J. Adhesion of rubber to metals and tire cords / W.J. Van Ooij, A. Sabata, R.J. Koch // *J. Adhesion Science Technology*. – 1993. – Vol. 7. – P. 1153 – 1176.
137. Кузнецов, Э.А. Исследование процесса вулканизации полимерной серой, находящейся в метастабильном состоянии / Э.А. Кузнецов, Е.В. Логинова, С.В. Орлова // *Каучук и резина*. – 1999. – № 4. – С. 29 – 30.
138. Costin, R. Техника крепления резины к металлу с применением соединений металлов / R. Costin, W. Nagel // *Kautsch. und Gummi. Kunstst.* – 1999. – Vol. 52, № 3. – S. 188 – 192.
139. Ташлыков, И.С. Влияние состава межфазной области на адгезионную устойчивость покрытий, осажденных на резину в условиях радиационного ассистирования / И.С. Ташлыков, А.В. Касперович, А.А. Ситнов // *Физика и химия обработки материалов*. – 2000. – № 5. – С. 50 – 53.
140. Кузьминский, А.С. Химические превращения эластомеров / А.С. Кузьминский, В.В. Седов. – М.: Химия, 1984. – 192 с.
141. Lin, D.G. Effect of test temperature on adhesion strength of rubber blends-metal joints / D.G. Lin, I.M. Eliseeva / *Advances in Materials and Processing Technologies*. – Guimaraes: University of Minho, 1997. – P. 254 – 260.
142. Елисеева, И.М. Влияние условий формирования и эксплуатации на адгезионно-механические характеристики системы резина-металлокорд / И.М. Елисеева // *Материалы, технологии, инструмент*. – 2000. – № 2. – С. 81 – 83.
143. Лин, Д.Г. Влияние вулканизации на адгезию бутадиен-нитрильного каучука / Д.Г. Лин, И.М. Елисеева // *Известия АН Беларуси. Сер. хим. наук*. – 1992. – № 3–4. – С. 116 – 119.
144. Вахненко, В. В. Взаимосвязь термодинамических и адгезионных свойств модифицированных бинарных смесей эластомеров / В. В. Вахненко, И. А. Пинчук, Г. А. Соколова, Ю. Н. Ващенко, З. В. Онищенко // *Производство и использование эластомеров*. – 1999. – № 4. – С. 22 – 24.
145. Lin, D.G. Влияние состава вулканизирующей системы резиновой смеси на адгезию эластомера к металлу / D.G. Lin, I.M. Eliseeva // *Plaste und Kautschuk*. – 1989. – № 6. – S. 197 – 200.
146. Lin, D.G. Control of adhesion strength in metal-elastomer joints / D.G. Lin, I.M. Eliseeva // *Wear*. – 1996. – Vol. 192. – P. 46 – 48.
147. Лин, Д.Г. Особенности влияния активаторов на процесс серной вулканизации бутадиен-нитрильного каучука / Д.Г. Лин, В.Е. Четвериков, И.М. Елисеева // *Производство и использование эластомеров*. – 1992. – № 5. – С. 2 – 5.
148. Елисеева, И.М. Накопление металлов в пленках каучуков, окисленных на латуни / И.М. Елисеева, В.Г. Свириденко, Д.Г. Лин // *Каучук и резина*. – 1988. – № 2. – С. 7 – 10.

149. Елисеева, И.М. Исследование процессов накопления меди в бутадиеновом каучуке и его сополимерах / И.М. Елисеева, В.А. Филиппова, Д.Г. Лин, В.Г. Свириденко // Каучук и резина. – 1989. – № 11. – С. 42 – 43.
150. Свириденко, В.Г. Полярографическое определение меди и цинка в высокомолекулярных соединениях / В.Г. Свириденко, И.М. Елисеева, Д.Г. Лин // Высокомолекулярные соединения. – 1989. – Т. 31А, № 4. – С. 885 – 887.
151. Елисеева, И.М. Прилипание резины на основе СКН при длительном контактировании с металлами / И.М. Елисеева // Производство и использование эластомеров. – 2001. – № 3. – С. 22 – 25.
152. Lin, D.G. Transfer of copper and zinc in polymeric materials oxidized in contact with brass / D.G. Lin, I.M. Eliseeva // J. of Applied Polymer Science. – 1995. – Vol. 57. – P. 1269 – 1276.
153. Morris, R.H. Стеараты металлов в качестве антиадгезивов для резиновых смесей / R.H. Morris, S.E. O'Rourke // GAK: Gummi, Fasern, Kunstst. – 1999. – Vol. 52. – № 12. – С. 897 – 899.
154. Mori, K. Прилипание вулканизатов бутадиен-нитрильного каучука к металлам и его предупреждение / K. Mori, A. Watanabe, M. Saito // Rubber Chemistry and Technology. – 1989. – № 2. – P. 721 – 730.

# Содержание

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	<b>3</b>
<b>Глава 1. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА</b> .....	<b>5</b>
1.1. Процесс вулканизации .....	6
1.2. Изменения структуры и свойств вулканизатов .....	13
1.3. Прочностные и релаксационные характеристики .....	26
1.3.1. Концепции прочности резины .....	26
1.3.2. Методы оценки прочности .....	29
1.3.3. Влияние вулканизирующей системы .....	33
1.3.4. Влияние наполнителей .....	35
1.3.5. Влияние мягчителей .....	37
1.3.6. Влияние типа каучука .....	39
1.4. Гистерезис механических свойств .....	55
1.4.1. Методы динамических испытаний .....	55
1.4.2. Механический гистерезис в резинах .....	57
1.4.3. Влияние типа каучука .....	60
1.4.4. Степень вулканизации и состав вулканизирующей системы .....	63
1.4.5. Наполнение .....	65
1.4.6. Влияние мягчителей .....	67
1.5. Усталость .....	69
1.5.1. Методология .....	69
1.5.2. Влияние типа каучука .....	70
1.5.3. Влияние вулканизации .....	73
1.5.4. Влияние наполнителей и мягчителей .....	75
1.6. Износостойкость резины .....	76
<b>Глава 2. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ</b> .....	<b>82</b>
2.1. Термостойкость резины .....	82
2.1.1. Физико-химические механизмы термостойкости .....	83
2.1.2. Методика испытаний на термостойкость .....	87

2.2. Изменение физико-механических свойств резины . . . . .	91
2.2.1. Резина на основе натурального и изопренового каучуков . . . . .	92
2.2.2. Резина на основе бутадиен-стирольного каучука . . . . .	94
2.2.3. Резина на основе бутадиен-нитрильного каучука . . . . .	95
2.2.4. Резина на основе хлоропренового каучука . . . . .	98
2.2.5. Резина на основе этиленпропиленовых каучуков . . . . .	99
2.2.6. Резина на основе бутилового каучука . . . . .	101
2.2.7. Резина на основе фторсодержащих каучуков. . . . .	104
2.2.8. Резина на основе кремнийорганических каучуков . . . . .	105
2.3. Свойства резины при сжатии . . . . .	108
2.3.1. Резина на основе ненасыщенных каучуков. . . . .	110
2.3.2. Прочая резина. . . . .	117
Резина на основе этиленпропиленовых каучуков . . . . .	117
Резина на основе бутилового каучука . . . . .	119
Резина на основе акрилатных каучуков . . . . .	120
Резина на основе фторсодержащего каучука . . . . .	121
Резина на основе кремнийорганических каучуков. . . . .	124
<b>Глава 3. ВЛИЯНИЕ СРЕД . . . . .</b>	<b>126</b>
3.1. Набухание резины . . . . .	126
3.1.1. Основные закономерности . . . . .	126
3.1.2. Методика . . . . .	132
3.1.3. Стойкость в растворителях . . . . .	135
3.1.4. Стойкость в топливах . . . . .	138
3.1.5. Стойкость в минеральных маслах . . . . .	144
3.1.6. Стойкость в синтетических маслах. . . . .	146
3.1.7. Влияние присадок к органическим жидкостям. . . . .	149
3.1.8. Водостойкость резины . . . . .	150
3.1.9. Стойкость в агрессивных средах. . . . .	153
3.2. Выбор резины для эксплуатации в средах . . . . .	156
3.3. Модифицирование резины . . . . .	161
3.3.1. Физико-химические предпосылки . . . . .	161
3.3.2. Поверхностное модифицирование . . . . .	163
3.3.3. Нанесение покрытий . . . . .	167
3.3.4. Модифицирование сред . . . . .	170
3.3.5. Технологические методы. . . . .	172

3.3.6. Модифицирование полимерами . . . . .	174
3.3.7. Металлические покрытия . . . . .	175
3.4. Коррозионная агрессивность резины . . . . .	177
<b>Глава 4. АДГЕЗИОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ РЕЗИНА – МЕТАЛЛ . . . .</b>	<b>183</b>
4.1. Свойства каучуковых покрытий . . . . .	183
4.2. Вулканизация каучуков в контакте с металлами. . . . .	190
4.2.1. Подложки из латуни . . . . .	190
4.2.2. Металлы переменной валентности . . . . .	194
4.2.3. Влияние металлов на вулканизацию серой. . . . .	197
4.3. Прилипание резины к металлу . . . . .	201
4.3.1. Физико-химические механизмы . . . . .	202
4.3.2. Регулирование прилипания. . . . .	205
<b>ЛИТЕРАТУРА. . . . .</b>	<b>210</b>