

УДК 662.8.053.33

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ БРИКЕТИРОВАННОГО ТОПЛИВА ИЗ ОТХОДОВ ПИРОЛИЗА АВТОШИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЯЗУЮЩЕГО – ВТОРИЧНОГО ПОЛИМЕРА**ANALYSIS OF POSSIBILITIES OF PRODUCING A WASTE FUEL PYROLYSIS AUTOTYRES WITH USING OF COMMUNICATION – SECONDARY POLYMERS****Попов Василий Сергеевич,**студент, e-mail: vasiliywinter@gmail.com**Popov Vasilii S., student****Папин Андрей Владимирович,**канд. техн. наук, доцент, e-mail: papinandrey@rambler.ru**Papin Andrey V., C. Sc. in Engineering, assistant professor****Игнатова Алла Юрьевна,**канд. биолог. наук, доцент, e-mail: allaignatova@rambler.ru**Ignatova Alla Y., C. Sc. in Biology, assistant professor**

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачёва, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Аннотация: В данной статье раскрываются эколого-экономические проблемы утилизации изношенных шин в России методом низкотемпературного пиролиза. Предлагается получение композитного топлива на основе твердого остатка пиролиза автошин с применением вторичного полимера как связующего.

Abstract: In this article the ecological and economic problem of recycling waste tires in Russia by low-temperature pyrolysis. It proposes to obtain a composite of fuel-based solid pyrolysis of tires to-Application-tion of the secondary polymer as a binder.

Ключевые слова: Утилизация шин, переработка, пиролиз, углеродный остаток, композитное топливо, связующее, вторичные полимеры.

Keywords: Tire Recycling Processing, pyrolysis carbon residue, a composite fuel, a binder, a secondary polymers.

В настоящее время одним из главных факторов, загрязняющих окружающую среду в мире является рост количества отработанных шин. С каждым годом количество пневмоколесного транспорта на душу населения увеличивается, что приводит к появлению огромного количества отработанных шин.

В России данная проблема имеет высокий уровень актуальности. Например, исходя из исследований научно-исследовательского института шинной промышленности (НИИШП), в нашей стране ежегодно выходит из эксплуатации около 1 млн. тонн шин, а учитывая, что в одну тонну шин входит около 600-650 кг резины, 130-150 кг текстиля, 130-200 кг металла, амортизированную шину можно считать важным источником вторичного сырья. В среднестатистический состав шины легкового автомобиля входит 65-70 % резины (каучук), 15-25 % технического углерода, 10-15 %

высококачественного металла [1-2].

Отработанные шины являются бытовым отходом четвертого класса опасности, вследствие чего требуется их сертификация. Предприятия сдают шины на переработку специализированным заводам, имеющим лицензию на право обращения с опасными видами отходов. Документы, подтверждающие сдачу шин на утилизацию, требуются предприятиям для сдачи соответствующих форм экологической отчетности [3]. Отработанные шины крайне огнеопасны, и в случае возгорания температура их горения близка температуре горения каменного угля. При горении шин, в атмосферу выбрасываются вредные продукты сгорания, в том числе канцерогены [4-5].

Данные отходы очень специфичны, не поддаются гниению, саморазрушению, занимают земельные площади, загрязняя населенные пункты, водоёмы и воздух.

Таблица 1. Результаты анализа углеродосодержащего остатка пиролиза автошин
Table 1. Results of the analysis of the carbon-containing residue of pyrolysis of tires

Объект испытания	Определяемый компонент	Содержание компонента, % мас.
Низкокачественный технический углерод	Содержание влаги (W^a , % мас.)	0,68-2,2
	Зольность (A^d , % мас.)	9,8-12,7
	Выход летучих веществ (V^{daf} , % мас.)	4,8-8,8

В тоже время отработанные шины являются ценным источником вторичного сырья и могут быть использованы для производства альтернативного топлива. Основной составляющей шины является резина, представляющая собой комплекс ценных компонентов, извлечение и дальнейшее использование которых позволило бы существенно снизить потребление некоторых дефицитных природных ресурсов. Поэтому материал шин целесообразно утилизировать, а использованные покрышки являются экономически выгодным продуктом, имеющим высокий потенциал переработки.

В мире используется значительное количество различных технологий по переработке изношенных покрышек: восстановление, захоронение, использование цельных шин, сжигание в цементных печах для получения энергии, переработка в крошку (любым способом – криогенным, с помощью озона, механическим), пиролиз [6-8]. Методам утилизации шин посвящено множество научных трудов [8-19].

Наиболее перспективным из ныне известных методов является термическое разложение углеводородного сырья или так называемый пиролиз [8]. В реакторе сырьё подвергается разложению при температуре около 450°C, в процессе которого получают полупродукты: газ, жидкотопливная фракция, углеродосодержащий остаток и металлокорд. С помощью пиролиза можно перерабатывать целые шины.

Главным преимуществом пиролиза является его экологическая безопасность, в следствии протекания процесса в отсутствие амфотерного воздуха, в результате чего в пиролизных газах в малых концентрациях содержится диоксид серы, оксиды азота и оксид углерода. Газ частично возвращается в топку реактора для поддержания процесса. Оставшаяся часть газа сжигается на сече или поступает на котёл утилизатор.

Углеродный остаток после гашения и охлаждения подвергается магнитной сепарации (или просеивается через сито) с целью отделения проволоки металлокорда.

Жидкое топливо и металлокорд отправляются на склад для дальнейшей отправки потребителю. Жидкие продукты, состоящие из смеси бензина, дизельного топлива, и мазута могут перерабатываться котельными без изменений технологического режима. Твердый остаток пиролиза практически не может найти себе применения из-за низ-

кого качества и поэтому его складывают на промышленной площадке предприятия. Жидкие и газообразные продукты пиролиза можно использовать не только как топливо, но и в качестве пленкообразующих растворителей, пластификаторов, смягчителей для регенерации резин. Пек пиролизной смолы является хорошим смяг-

ителем. Тяжелая фракция пиролизата используется как добавка к битуму в дорожном строительстве. Из газообразной фракции пиролиза получают ароматические масла, которые можно применять в производстве резиновых смесей. Низкомолекулярные углеводороды можно использовать как сырьё для органического синтеза, а также как топливо.

В печатных работах Яцун А.В. и др. приводятся данные проведения пиролиза автошин в электромагнитном поле микроволнового диапазона на опытной СВЧ установке [20]. Ими доказана ценность продуктов пиролиза. Макитра Р.Г., Мидяна Г.Г. и др. предлагают совместный пиролиз изношенных шин в смеси с углём для получения жидкого топлива [21].

Наибольший интерес из продуктов пиролиза представляет твердый остаток – низкокачественный углерод. Пиролизная сажа характеризуется высокой зольностью, низким усиливающим действием и загрязнена серой. В работах Папина А.В. и др. предлагается получение композиционного топлива на основе технического углерода пиролиза автошин.

Доказано, что твердый остаток пиролиза после специализированных методов очистки можно использовать для получения брикетированного топлива [22]. Технический углерод имеет не приемлемые для прямого использования характеристики, представленные в табл. 1.

Также, из-за присадок в резине может быть весьма токсичен, напрямую он не применяется ни как сорбент, ни как топливо, но в работе доказано, что его можно применить для производства композиционного топлива.

В наших исследованиях было произведено окусковывание твердого углеродного остатка и получены топливные гранулы.

Твердый остаток пиролиза автошин измельчался до крупности частиц 0,3 мм, обогащался на установке методом масляной агломерации для получения глубоко обогащённых концентратов.

Далее концентраты смешивались с жидкой фракцией пиролиза автошин в соотношении 95:5.

Зольность полученных концентратов не превышала – 5,5 % мас., из чего следует, что полученный концентрат можно использовать в энергетике, характеристики концентрата представлены в табл. 2.

Таблица 2. Характеристики концентрата на основе твердого остатка пиролиза автошин
Table 2. Characteristics of the concentrate based solid pyrolysis of tires

A^d , % мас.	4,0-5,5
W^a , % мас.	8,5-10,5
V^{daf} , % мас.	6,0-8,0
Q_s^r , ккал/кг (теплота сгорания)	7600-7800
S_t^d , % мас. (сернистость)	0,5

Обогащенный концентрат подходит для производства композитного топлива, которое можно применять в промышленности и энергетике. В

водства и широте областей применения [25-33].

Полиэтилентерефталат представляет собой сложный термопластичный полиэфир терефталевой кислоты и этиленгликоля. Его основные преимущества – это прочность и жёсткость [34-35]. В настоящее время применяется для производства различной упаковки. Является одним из самых распространённых полимеров в мире. На данный момент переработка ПЭТФ недостаточно развита и требует инноваций.

В табл. 3-4 приведены свойства данных полимеров.

В настоящее время использование полиолефинов в качестве связующих – перспективное направление. Например, в работе М.В. Базуновой и др. предлагается получение полифункциональных композитов на основе ультрадисперстных углеродных материалов с полиэтиленом в качестве связующего [24].

Нами планируется совместная утилизация

Таблица 3. Физико-механические свойства полиолефинов и ПЭТФ

Table 3. Physical and mechanical properties of polyolefins and PET

Показатели	ПЭВД	ПЭНД	ПП	ПЭТФ
Плотность, г/см ³	0,918-0,920	0,949-0,955	0,90-0,91	1,38
Разрушающее напряжение, кгс/см ²	100-170	200-350	250-400	1000-1800
Твердость по Бринеллю, кгс/мм ²	1,4-2,5	4,5-5,8	6,0-6,5	100-120

Таблица 4. Теплофизические свойства полиолефинов и ПЭТФ

Table 4. Thermal properties of polyolefins and PET

Показатели	ПЭВД	ПЭНД	ПП	ПЭТФ
Температура плавления, °С	105-108	120-125	160-170	260-265
Удельная теплоёмкость, кал/(г*°С)	0,45-0,60	0,45-0,50	0,46	0,315 0,476
Теплостойкость по Вика, °С	80-90	120-125	95-110	135-145
Термический коэффициент расширения в интервале от 0 до 100 °С, 1/°С линейного объёмного	$2,2 \cdot 10^{-4}$ - $5,5 \cdot 10^{-4}$ $6 \cdot 10^{-4}$ - $16 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$ - $5,5 \cdot 10^{-4}$ $6,7 \cdot 10^{-4}$ - $16 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$27 \cdot 10^{-6}$
Температура хрупкости, °С	От -80 до -120	От -100 до -150	От -5 до -15	Ниже -60

качестве связующего при брикетировании нами предлагается использовать вторичные полимеры.

По нашему мнению, наиболее подходящим связующим для композитного топлива из твердого остатка пиролиза автошин являются отходы вторполимеров –полиолефинов (ПЭВД, ПЭНД, ПП) и полиэтилентерефталат.

Полиолефины – это высокомолекулярные соединения, легко подвергающиеся всем видам переработки, по масштабу промышленного произ-

вторполимеров с концентратом из отходов пиролиза автошин. На выходе будет получено рентабельное и экологичное брикетированное топливо, позволяющее вывести использование твердых углеродсодержащих отходов на новый уровень.

Использование твердого остатка пиролиза автошин со связующим вторичным полимером имеет существенные перспективы, а также решает экологические и экономические задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сапронов, В.А. Экономическое и экологическое значение проблемы переработки изношенных

шин // Сборник «Переработка изношенных шин». – М.: ЦНИИТЭНЕФТЕХИМ, 1982.

2. Тарасова, Т.Ф. Экологическое значение и решение проблемы переработки изношенных автошин / Т.Ф. Тарасова, Д.И. Чапалда // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2006. – № 2-2. – С. 130-135.

3. Демина, Л.А. Вулкан на обочине // Энергия: экономика, техника, экология, 2002. – № 2. – С. 42-45.

4. C.A. Nau, G.Neal, V.A. Stembridge, Arch. Indust. Health, 1998, 17, 21.

5. Rapra Review Report. №99, 1997, Rapra Technology Ltd.

6. Максимов, М.А. Создание системы сбора, переработки и утилизации изношенных шин и других резинотехнических изделий в Российской Федерации // Автотранспортное предприятие, 2003. – № 12. – С. 39-41.

7. Лисовский В.А. Переработка утилизированных шин – энергоэффективное мероприятие // Проблемы сбора, переработки и утилизация отходов: Сб. научн.статей. – Одесса: ОЦНТЭИ, 2001. – С.150–154.

8. Вольфсон С.И. Методы утилизации шин и резинотехнических изделий / С.И. Вольфсон, Е.А. Фафурина, А.В. Фафурин // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – № 1. – С. 74-79.

9. Пат. № 2111859 Россия МПК: 6В 29В 17/00 А, 6С 08J 11/10 В Способ переработки резинотехнических изделий / Е.В. Даньшиков, И.Н. Лучник, А.В. Рязанов, С.В. Чуйко // Троицкая технологическая лаборатория. Заяв. 16.03.1995, опубл. 27.05.1998.

10. Валуева, А.В. Перспективы переработки автомобильных покрышек в Кузбассе // Сборник научных трудов SWORLD. – 2012. – Т.7. - № 1. – С. 19-20.

11. Хизов, А.В. Сбор, переработка и утилизация автомобильных шин / А.В. Хизов, К.Е. Панкин // Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции «Развитие технических наук в современном мире» г. Воронеж, 08 декабря 2014 г. Изд-во: Инновационный центр развития образования и науки. – Воронеж, 2014. – С. 57-79.

12. Боравский, Б.В. Изношенные автопокрышки: методы переработки // твердые бытовые отходы. – 2007. - № 4. – С. 4-5.

13. Демьянова, В.С. Перспективы рециклинга автомобильных шин / В.С. Демьянова, А.Д. Гусев // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2011. – № 4. – С. 74-79.

14. Мальцев В.М. Актуальные проблемы переработки изношенных шин / В.М. Мальцев, Н.М. Сухорутченко, В.С. Четвертикова // Химическая промышленность Украины. – 1995. – № 3. – С. 57-58.

15. Волюнкина, Е.П. Использование отработанных автомобильных покрышек / Е.П. Волюнкина, С.А. Кудашкина, А.В. Незамаев // Экология и промышленность России. – 2004. – № 1. – С. 40-44.

16. Страхов, В.М. Кокс из отходов резины // Кокс и химия. – 2005. – № 2. – С. 35-43.

17. Кузнецова, Л.П. Утилизация отработанных автомобильных шин / Л.П. Кузнецова, И.Н. Павловский // Молодой учёный. – 2009. - № 7. – С. 57-60.

18. Андрейков, Е.И. Утилизация отработанных автомобильных шин с использованием термического сольволиза / Е.И. Андрейков, И.С. Амосова, Н.А. Гриневиц // Химия в интересах устойчивого развития. - 2005. – Т. 13. – № 6. – С. 725-729.

19. Беляев В.П., Утилизация резиновой крошки из изношенных шин в контексте решения проблемы повышения качества дорожных покрытий / В.П. Беляев, А.С. Клинков, П.С. Беляев, Д.Л. Полушкин // Глобальный научный потенциал. -2012. - № 19. – С.169-171.

20. Яцун, А.В. Жидкие продукты пиролиза отработанных автомобильных шин под воздействием СВЧ / А.В. Яцун, Н.П. Коновалов, И.С. Ефименко // Химия твердого топлива. – 2013. – № 4. – С. 60.

21. Макитра Р.Г., Процессы переработки углей в смеси с резиносодержащими отходами в жидкое топливо / Р.Г. Макитра, Г.Г. Мидяна, Д.В. Брык, М.В. Семенюк // Химия твердого топлива. – 2013. – № 3. – С. 43.

22. Папин А.В., Получение композиционного топлива на основе технического углерода пиролиза автошин / А.В. Папин, А.Ю. Игнатова, Е.А. Макаревич, А.В. Неведров // Вестник КузГТУ. – № 2. – 2015. – С. 107-113.

23. Алентьев А.Ю. Связующие для полимерных композиционных материалов / А.Ю. Алентьев, М.Ю. Яблокова // Учебное пособие для студентов по специальности «Композиционные наноматериалы». – 2010. – С. 48-51.

24. Базунова М.В., Полифункциональные композиты на основе ультрадисперстных углеродных материалов с полиэтиленом в качестве связующего / М.В. Базунова, Р.М. Ахметханов, Д.Р. Валиев // Химия. – 2012. – С. 57-59.

25. Полиэтилен и другие полиолефины. Сборник статей. М., «Мир» –1964. – С. 214.

26. Шифрина, В.С. Полиэтилен / В.С. Шифрина, Н.Н. Самосатский. Москва: Госхимиздат. –1961. – С. 176.

27. Егоров Н.М., Полиэтилен низкого давления. – 1961 – С. 186

28. Щуцкий С.В., Полиэтилен высокого давления // Химия – 1965 – С. 202.
29. Сажин Б.И., Высокомолекулярные соединения / Б.И. Сажин, В.С. Скурихина. 1960 – Т. 2. – № 10. – С. 29.
30. Николаев А.Ф. Синтетические полимеры и пластические массы на их основе / А.Ф. Николаев // «Химия» – 1964. – С. 576.
31. Коршак В.В. Технология пластических масс / В.В. Коршак // «Химия» – 1972. – С. 615.
32. Молчанов Ю.М. Физические и механические свойства полиэтилена, полипропилена и полиизобутилена. Справочник / Ю.М. Молчанов // «Зинатне» – 1966. – С. 314.
33. Крессер Г., Полипропилен // Издательство. – 1963. – С. 196.
34. Коршак В.В. Гетероцепные полиэфиры / В.В. Коршак, С.В. Виноградова // издательство АН СССР. – 1958.
35. Медведева Ф.М. Пластические массы / Ф.М. Медведева, Е.Д. Похомова, А.И. Уварова, В.И. Пухова, Н.В. Андрианова. – 1973. – № 4. – С. 39.

REFERENCES

1. Sapronov, V.A. Jekonomicheskoe i jekologicheskoe znachenie problemy pe-rerabotki iznoshennyh shin // Sbornik «Pererabotka iznoshennyh shin». – М.: СНИИТJeNEFTEHIM, 1982.
2. Tarasova, T.F. Jekologicheskoe znachenie i reshenie problemy pererabotki iznoshennyh avtoshin / T.F. Tarasova, D.I. Chapalda // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2006. – № 2-2. – С. 130-135.
3. Demina, L.A. Vulkan na obochine // Jenergiya: jekonomika, tehnika, jekologija, 2002. – № 2. – С. 42-45.
4. C.A. Nau, G.Neal, V.A. Stembridge, Arch. Indust. Health, 1998, 17, 21.
5. Rapra Review Report. №99, 1997, Rapra Technology Ltd.
6. Maksimov, M.A. Sozdanie sistemy sbora, pererabotki i utilizacii iz-noshennyh shin i drugih rezinotekhnicheskikh izdelij v Rossijskoj Federacii // Av-totransportnoe predpriyatje, 2003. – № 12. – С. 39-41.
7. Lisovskij V.A. Pererabotka utilizirovannyh shin – jenergojefektivnoe meroprijatje // Problemy sbora, pererabotka i utilizacija othodov: Sb. nauchn.statej. – Odessa: OCNTJeI, 2001. – С.150–154.
8. Vol'fson S.I. Metody utilizacii shin i rezinotekhnicheskikh izdelij / S.I. Vol'fson, E.A. Fafurina, A.V. Fafurin // Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta. – 2011. – № 1. – С. 74-79.
9. Pat. № 2111859 Rossiya MPK: 6B 29B 17/00 A, 6C 08J 11/10 B Sposob pe-rerabotki rezinotekhnicheskikh izdelij / E.V. Dan'shhikov, I.N. Luchnik, A.V. Rjazanov, S.V. Chujko // Troickaja tehnologicheskaja laboratorija. Zajav. 16.03.1995, opubl. 27.05.1998.
10. Valueva, A.V. Perspektivy pererabotki avtomobil'nyh pokryshek v kuzbasse // Sbornik nauchnyh trudov SWORLD. – 2012. – Т.7. - № 1. – С. 19-20.
11. Hizov, A.V. Sbor, pererabotka i utilizacija avtomobil'nyh shin / A.V. Hizov, K.E. Pankin // Sbornik nauchnyh trudov po itogam mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Razvitie tehniceskikh nauk v sovremennom mire» g. Voronezh, 08 dekabrya 2014 g. Izd-vo: Innovacionnyj centr razvitija obrazovanija i nauki. – Voronezh, 2014. – С. 57-79.
12. Boravskij, B.V. Iznoshennye avtopokryshki: metody pererabotki // tverdye bytovye othody. – 2007. - № 4. – С. 4-5.
13. Dem'janova, V.S. Perspektivy reciklinga avtomobil'nyh shin / V.S. Dem'janova, A.D. Guseev // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitek-turno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. – 2011. – № 4. – С. 74-79.
14. Mal'cev V.M. Aktual'nye problemy pererabotki iznoshennyh shin / V.M. Mal'cev, N.M. Suhorutchenko, V.S. Chetvertikova // Himicheskaja promyshlennost' Ukrainy. – 1995. – № 3. – С. 57-58.
15. Volynkina, E.P. Ispol'zovanie otrabotannyh avtomobil'nyh pokryshek / E.P. Volynkina, S.A. Kudashkina, A.V. Nezamaev // Jekologija i promyshlennost' Rossii. – 2004. – № 1. – С. 40-44.
16. Strahov, V.M. Koks iz othodov reziny // Koks i himija. – 2005. – № 2. – С. 35-43.
17. Kuznecova, L.P. Utilizacija otrabotannyh avtomobil'nyh shin / L.P. Kuznecova, I.N. Pavlovskij // Molodoj uchjonyj. – 2009. - № 7. – С. 57-60.
18. Andrejkov, E.I. Utilizacija otrabotannyh avtomobil'nyh shin s is-pol'zovaniem termicheskogo sol'voliza / E.I. Andrejkov, I.S. Amosova, N.A. Grine-vich // Himija v interesah ustojchivogo razvitija. -2005. – Т. 13. – № 6. – С. 725-729.
19. Beljaev V.P., Utilizacija rezinovej kroszki iz iznoshennyh shin v kon-tekste reshenija problemy povyshenija kachestva dorozhnyh pokrytij / V.P. Beljaev, A.S. Klinkov, P.S. Beljaev, D.L. Polushkin // Global'nyj nauchnyj potencial. -2012. - № 19. – С.169-171.
20. Jacun, A.V. Zhidkie produkty piroliza otrabotannyh avtomobil'nyh shin pod vozdejstviem SVCh / A.V. Jacun, N.P. Konovalov, I.S. Efimenko // Himija tverdogo topliva. – 2013. – № 4. – С. 60.

21. Makitra R.G., Processy pererabotki uglej v smesi s rezinosoderzhashhi-mi othodami v zhidkoe toplivo / R.G. Makitra, G.G. Midjana, D.V. Bryk, M.V. Semenjuk // Himija tverdogo topliva. – 2013. – № 3. – S. 43.
22. Papin A.V., Poluchenie kompozicionnogo topliva na osnove tehniche-skogo ugleroda piroliza avtoshin / A.V. Papin, A.Ju. Ignatova, E.A. Makarevich, A.V. Nevedrov // Vestnik KuzGTU. – № 2. – 2015. – S. 107-113.
23. Alent'ev A.Ju. Svjazujushhie dlja polimernyh kompozicionnyh materia-lov / A.Ju. Alent'ev, M.Ju. Jablokova // Uchebnoe posobie dlja studentov po special'no-sti «Kompozicionnye nanomaterialy». – 2010. – S. 48-51.
24. Bazunova M.V., Polifunkcional'nye kompozity na osnove ul'tradis-perstnyh uglerodnyh materialov s polijetilenom v kachestve svjazujushhego / M.V. Bazu-nova, R.M. Ahmethanov, D.R. Valiev // Himija. – 2012. – S. 57-59.
25. Polijetilen i drugie poliolefiny. Sbornik statej. M., «Mir» –1964. – S. 214.
26. Shifrina, V.S. Polijetilen / V.S. Shifrina, N.N. Samosatskij // Goshi-mizdat. –1961. – S 176.
27. Egorov N.M., Polijetilen nizkogo davlenija. – 1961 – S. 186
28. Shhuckij S.V., Polijetilen vysokogo davlenija // «Himija» – 1965 – S. 202.
29. Sazhin B.I., Vysokomolekuljarnye soedinenija / B.I. Sazhin, V.S. Skuri-hina. 1960 – T. 2. – № 10. – S. 29.
30. Nikolaev A.F. Sinteticheskie polimery i plasticheskie massy na ih osnove / A.F. Nikolaev // «Himija» – 1964. – S. 576.
31. Korshak V.V. Tehnologija plasticheskikh mass / V.V. Korshak // «Himija» – 1972. – S. 615.
32. Molchanov Ju.M. Fizicheskie i mehanicheskie svojstva polijetilena, po-lipropilena i poliizobutilena. Spravochnik / Ju.M. Molchanov // «Zinatne» – 1966. – S. 314.
33. Kresser G., Polipropilen // Izdatinlit. – 1963. – S. 196.
34. Korshak V.V. Geterocepnye polijefiry / V.V. Korshak, S.V. Vinogradova // izdatel'stvo AN SSSR. – 1958.
35. Medvedeva F.M. Plasticheskie massy / F.M. Medvedeva, E.D. Pohomova, A.I. Uvarova, V.I. Puhova, N.V. Andrianova. – 1973. – № 4. – S. 39.

Поступило в редакцию 04.02.2016
Received 4 February 2016

УДК 535.36

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И АКУСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ВЯЗКИХ РАСТВОРОВ****INVESTIGATION OF STRUCTURE AND ACOUSTIC PROPERTIES
OF A VISCOUS SOLUTION****Зайцев Геннадий Иванович**кандидат физ.-мат. наук, доцент, e-mail: geniz2039@gmail.com**Zaitsev Gennady I.**

Ph. D., Associate Professor

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия,
г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000,
Russian Federation

Аннотация

В растворе глицерина с водой четырех концентраций исследовался характер распространения гиперзвука частотой 5-12 ГГц при сильном изменении вязкости. Экспериментальные результаты скорости и поглощения гиперзвука сопоставлялись с расчетом по формулам нелокальной теории вязкой жидкости. Показано, что эта теория, в которой вязкая жидкость подобна эмульсии, хорошо согласуется с опытом и в смесях сильновязкой жидкости с маловязкой.

Abstract

The glycerol solution with water four concentrations investigated the nature of the propagation-lence hypersonic frequency 5-12 GHz, with a strong change in viscosity. The experimental results of velocity and absorption of hypersound were compared with the calculation formulas nonlocal theory of viscous fluid. It is shown that this theory, which is similar to the viscous liquid emulsion, is in good agreement with experiment, and in mixtures of high-viscosity liquids with low viscosity.

Ключевые слова: вязкая жидкость, гиперзвук, нанонеоднородности, раствор, нелокальная теория.

Keywords: viscous liquid, hypersound, nanoinhomogeneities solution, nonlocal theory

*Светлой памяти Ирмы Аркадьевны Чабан и
Михаила Александровича Исаковича посвящается*

1. Введение

В работе И.Л. Фабелинского и С. В. Кривохижа [1] было исследовано распространение ультразвука в двух вязких жидкостях при сильном изменении их вязкости. Анализ полученных результатов позволил найти эмпирические формулы, связывающие скорость и коэффициент поглощения звука с его частотой и временем релаксации. Также были сформулированы условия, которым удовлетворяла бы будущая теория распространения звука в вязкой среде. Опираясь на эти опытные результаты, М. А. Исакович и И. А. Чабан разработали теорию распространения звуковых и электромагнитных волн в сильновязких средах [2].

По их предположению, вязкая жидкость представляет собой неоднородную двухкомпонентную среду типа эмульсии. В одной из таких компонент молекулы, располагаясь упорядоченно, образуют неоднородности размером порядка нанометра. Такие нанонеоднородности (НН) распределены в

другой, неупорядоченной компоненте. При прохождении звуковой волны НН внутренне перестраиваются, и число дырок в них изменяется иначе, чем в неупорядоченной компоненте. Нарушенное равновесие количества дырок восстанавливается за счет диффузии между компонентами, а запаздывание выравнивания относительно возмущающей волны приводит к своеобразному характеру ее распространения. Сами авторы [2], выполнив расчет скорости и поглощения ультразвука для четырех вязких жидкостей и сравнив их с опытными данными, показали обнадеживающее согласие теории и эксперимента.

Выводы теории неоднократно проверялись на жидкостях различной природы в условиях изменения в огромных пределах, как вязкости среды, так и частоты волны [3,4,5]. При этом объекты исследования представляли собой либо химически чистые вещества, либо смеси чрезвычайно сложного состава (например, масла органического происхождения). Как правило, авторы этих работ