

ISSN 2713-220X



НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ: ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

2020 № 2 (Том 1)

**SCIENTIFIC RESEARCHES:
RESULTS AND PROSPECTS**

2020 № 2 (Том 1)

СОДЕРЖАНИЕ

РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ <i>Зербалиев А.М., Гаджиев М.К.</i> Мониторинг органических веществ в водных объектах бассейна реки Терек	3
ТЕХНОЛОГИИ НЕФТЕГАЗОДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ <i>Ахмадова Х.Х., Махмудова Л.Ш., Хадисова Ж.Т., Абдулмежидова З.А.</i> Модифицирование битумных вяжущих резиновой крошкой: аналитический обзор	10
ТЕХНОЛОГИИ, ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ <i>Ибрагимова Л.Р., Исламов М.Н., Гунаева Х.С.</i> Условия закатывания самоэкспастируемого затвора	29
РАДИОТЕХНИКА, МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКА <i>Эфендиев К.А.</i> Особенности импульсного пробоя воздуха в магнитном поле <i>Гусейнов М.К.</i> Исследование электрических свойств пленок твердых растворов $(SiC)_{1-x}(AlN)_x$	34
ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ <i>Султанов Ю.М.-А.</i> Изучение кинетики сорбции меди азотсодержащими полимерными сорбентами <i>Магомедова Д.Ш.</i> Очистка воды от тяжелых металлов синтезированным магнетитом	44
ТРАНСПОРТ <i>Агаханов Э.К., Агаханова Р.Э.</i> Моделирование процесса столкновения двух автомобилей и анализ последствий удара <i>Султанова Л.М.</i> Метод определения скорости движения транспортных средств при проведении экспертизы дорожно-транспортного происшествия	52
Правила оформления и представления статей	75

Учредитель и издатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дагестанский государственный технический университет»

Редакционная коллегия:

Н.С. Суракатов, к.э.н., доцент, главный редактор (Махачкала)
Г.Х. Ирзаев, к.т.н., доцент, зам. главного редактора (Махачкала)
А.Д. Абакаров, д.т.н., профессор (Махачкала)
Г.М. Абакаров, д.х.н., доцент (Махачкала)
Э.К. Агаханов, д.т.н., профессор (Махачкала)
А.П. Адамов, д.т.н., профессор (Махачкала)
Р.М. Алиев, д.т.н., профессор (Махачкала)
Х.Х. Ахмадова, д.т.н., профессор (Грозный)
М.Э. Ахмедов, д.т.н., доцент (Махачкала)
М.У. Ахмедпашаев, д.т.н., доцент (Махачкала)
Р.В. Гусейнов, д.т.н., профессор (Махачкала)
Т.А. Исмаилов, д.т.н., профессор (Махачкала)
М.Ю. Карелина, д.т.н., профессор (Москва)
Д.А. Магомедов, д.т.н., профессор (Махачкала)
К.П. Манжула, д.т.н., профессор (С-Петербург)
А.Н. Остриков, д.т.н., профессор (Воронеж)
Г.К. Сафаралиев, д.ф.-м.н., профессор, чл.-корр. РАН (Москва)
А.Р. Тагилаев, д.т.н., профессор (Махачкала)
С.У. Увайсов, д.т.н., профессор (Москва)
О.М. Устарханов, д.т.н., профессор (Махачкала)
Н.К. Юрков, д.т.н., профессор (Пенза)

При перепечатке ссылка на журнал «Научные исследования: итоги и перспективы» обязательна.

Все поступившие в редакцию материалы подлежат рецензированию.

Мнения авторов могут не совпадать с точкой зрения редакции.

Редакция в своей деятельности руководствуется рекомендациями Комитета по этике научных публикаций (Committee on Publication Ethics).

Условия публикации статей размещены на сайте: <http://dstu.ru>.

Журнал включен в базы данных eLIBRARY и индексируется в национальной информационно-аналитической системе – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Адрес редакции: 367026, Республика Дагестан, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70
Телефон: +7 (8722) 62 37 15
E-mail: naukajournal@mail.ru.

ISSN 2713-220X

2020 № 2 (Vol.1)

C O N T E N T S

RATIONAL NATURE MANAGEMENT	
<i>Zerbaliev A.M., Gadzhiev M.K.</i> Monitoring of organic matter in water bodies of the Terek river basin	3
OIL AND GAS PRODUCTION AND PROCESSING TECHNOLOGIES	
<i>Akhmadova Kh.Kh., Makhmudova L.Sh., Khadisova Zh.T., Abdulmezhidova Z.A.</i> Modification of bituminous binders with rubber crumb: an analytical review	10
TECHNOLOGIES, PROCESSES AND DEVICES OF FOOD PRODUCTION	
<i>Ibragimova L.R., Islamov M.N., Gunaeva Kh.S.</i> Self-Exposure Shutter Rolling Conditions	29
RADIO ENGINEERING, MICRO- AND NANOELECTRONICS	
<i>Efendiev K.A.</i> Features of pulsed breakdown of air in a magnetic field	34
<i>Guseynov M.K.</i> Study of the electrical properties of solid solution films (SiC) 1-x (AlN) x	39
CHEMICAL TECHNOLOGIES	
<i>Sultanov Yu.M.-A.</i> Studying the kinetics of copper sorption by nitrogen-containing polymer sorbents	44
<i>Magomedova D.Sh.</i> Purification of water from heavy metals by synthesized magnetite	52
TRANSPORT	
<i>Agakhanov E.K., Agakhanova R.E.</i> Simulation of a collision process of two cars and impact analysis	58
<i>Sultanova L.M.</i> Method for determining the speed of vehicles during the examination of a traffic accident	71
Rules for writing and submitting articles	75

Founder and Publisher: federal state budgetary educational institution of higher education «Daghestan State Technical University»

Editorial team:

N.S. Surakatov, Ph.D., Associate Prof., Chief editor (Makhachkala)
G.Kh. Irzaev, Ph.D., Associate Prof., Deputy Chief Editor (Makhachkala)
A.D. Abakarov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)
G.M. Abakarov, Doctor of Science, Associate Prof. (Makhachkala)
E.K. Agakhanov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)
A.P. Adamov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)
R.M. Aliev, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)
H.H. Akhmadova, Doctor of Science, Prof. (Grozny)
M.E. Akhmedov, Doctor of Science, Associate Prof. (Makhachkala)
M.U. Akhmedpashaev, Doctor of Science, Associate Prof. (Makhachkala)
R.V. Huseynov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)
T.A. Ismailov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)
M.Yu. Karelina, Doctor of Science, Prof. (Moscow)
D.A. Magomedov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)
K.P. Manzhula, Doctor of Science, Prof. (St. Petersburg)
A.N. Ostrikov, Doctor of Science, Prof. (Voronezh)
G.K. Safaraliev, Doctor of Science, Prof. (Moscow)
A.R. Tagilayev, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)
O.M. Ustarkhanov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)
S.U. Uvaisov, Doctor of Science, Prof. (Moscow)
N.K. Yurkov, Doctor of Science, Prof. (Penza)

When reprinting a link to the journal «Scientific researches: results and prospects» required.
All materials received by the editors subject to review.
The opinions of the authors may not coincide with the views of the publisher.
The editors in their activities guided by the recommendations of the Committee on Publication Ethics.
The conditions for publishing articles are available on the website: <http://dstu.ru>.
The journal is included in the eLIBRARY databases and indexed in the national information and analytical system - Russian Science Citation Index (RSCI).
Editorial office: 70 I. Shamily Ave., Makhachkala, Republic of Daghestan, 367026, Russia.
Tel.: +7 (8722) 62 37 15
E-mail: naukajournal@mail.ru.

ISSN 2713-220X

МОНИТОРИНГ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ БАСЕЙНА РЕКИ ТЕРЕК

А.М. Зербалиев¹, М.К. Гаджиев²

¹ Дагестанский государственный технический университет

² Западно-Каспийское бассейновое водное управление

Махачкала

alihan_zerbaliev@mail.ru

Аннотация. Проведен анализ источников поступления и количественная оценка содержания органических веществ в водных объектах бассейна реки Терек по результатам мониторинга. В исследуемых пробах определены основные группы органических веществ. Для объективной оценки загрязнения водных объектов бассейна реки Терек органическими веществами с учетом сезонных изменений и влияния атмосферных осадков рекомендуется ведение комплексного мониторинга водных объектов на регулярной основе.

Abstract. An analysis of the sources of input and a quantitative assessment of the content of organic substances in the water bodies of the Terek River basin was carried out according to the monitoring results. In the studied samples, the main groups of organic substances were determined. For an objective assessment of the pollution of water bodies of the Terek River basin with organic substances, taking into account seasonal changes and the influence of precipitation, it is recommended that comprehensive monitoring of water bodies is carried out on a regular basis.

Ключевые слова: мониторинг, органические вещества, водный объект, бассейн реки, Терек

Keywords: monitoring, organic matter, water body, river basin, Terek.

Введение

Органические вещества относятся к числу наиболее опасных веществ загрязняющих водоемы, почвы, воздух и отравляющих биоту [1].

К числу важнейших факторов формирования состава органических веществ в природных водах относятся внутриводоемные биохимические про-

цессы продуцирования и трансформации, поступления из других водных объектов с поверхностными и подземными стоками, атмосферными осадками, промышленными и хозяйственно-бытовыми сточными водами. Образующиеся в водоеме и поступающие в него извне органические вещества весьма разнообразны по своей природе и хи-

мическим свойствам. В поверхностных водах органические вещества находятся в растворенном, взвешенном и коллоидном состояниях. Основное количество органических соединений из-за малой растворимости ассоциировано со взвесью, в составе которой они транспортируются течениями, попадают в донные отложения или включаются в пищевую цепь.

Результаты мониторинга водных объектов

В целях получения информации об источниках поступления органических веществ в водные объекты и количественной оценки анализируемых проб на содержание органических веществ производился отбор проб воды на основных створах реки Терек и устьевых створах притоков I-II порядка. Определение органических веществ производилось в лаборатории ФГУ «Центрводресурсы» г. Владикавказ на газовом хроматографе «Agilent» 6850 с масс-селективным детектором MSD5973 фирмы «Agilent Technologies».

В исследуемых пробах определены основные группы органических веществ: группа спиртов, фенолов, углеводородов, эфиры, группа ароматических углеводородов, альдегидов и карбонатов [2, 3].

В верховье реки Терек в створах выше селения Ларс и Балтинского водозабора периодически обнаруживаются компоненты нефтепродуктов в концентрациях ниже уровня ПДК.

Наибольшее количество органических загрязнителей в верхнем течении обнаруживается в створах наблюдения: Алханчуртский гидроузел, ниже г. Беслан, Терско-Кумский гидроузел.

На участке реки Терек от Алханчуртского гидроузла до селения Эльхотово в воде обнаружены компоненты группы: спиртов (фенилэтиловый спирт, фурилметанол, этилгеканоат, 3-этанолиндол, этиловый эфир гексадекановой кислоты) в количестве 0,67-92,88 мг/л; фенолов (П-крезол и 2,4,6-Трихлорфенол) – 0,80-27,15 мг/л; углеводородов (декан, додекан, тетрадекан) – 1,4-4,54 мг/л; эфиров – 1,17-25,04 мг/л; ароматических углеводородов (П-ксилол, М-ксилол, О-ксилол) – 0,39-2,3 мг/л; альдегидов и кетонов (диэтилацеталь, ацетальдегид) – 0,20-0,60 мг/л, которые являются в основном компонентами нефтепродуктов, отходов спиртовых производств, горючесмазочных материалов (ГСМ), поверхностно-активных веществ (ПАВ).

Данные показывают постоянное наличие в районе г. Беслан фенилэтилового спирта (компонент отходов спиртового производства). Уровень загрязнения в данном пункте варьирует от 4,69 до 160,8 мкг/дм³. Концентрация нефтепродуктов по декану, гексадекану, ксилолам – в пределах 9,1-4,9 мкг/дм³.

Ацетальдегид – CH_3CHO , жидкость с резким неприятным запахом, пары вызывают раздражение слизистых оболочек, удушье, головную боль. Является сырьем при производстве уксусной кислоты, уксусного ангидрида, этилового спирта, этилацетата и т.д., входит в состав синтетических смол.

Фенилэтиловый спирт и прочие представители группы спиртов являются компонентами многих эфирных и сивушных масел. Этиловый эфир гексадекановой кислоты является одним из компонентов сивушных масел.

Декан, додекан, тетрадекан являются основными компонентами керосиновых и легких соляровых фракций продуктов нефтепереработки, входят в состав растворителей лакокрасочных материалов, источники поступления – бытовые канализационные и ливневые сбросы, разливы нефтепродуктов, сбросы промышленных предприятий, гаражей и автобаз. Являются малотоксичными соединениями, но в больших концентрациях оказывают отрицательное воздействие на окружающую среду.

Ксилол является широко используемым компонентом растворителей лакокрасочных материалов, входит в состав высокооктановых бензинов. Источники поступления – бытовые канализационные сбросы, сбросы нефтепродуктов предприятий, гаражей, нефтеперегонных установок и автозаправочных станций (АЗС). Является среднетоксичным соединением (ПДК 50 мг/м³), но сильно загрязняет почву и грунтовые воды. В высоких концентрациях нарушает экологию и оказывает токсичное действие на организм.

В створе Терско-Кумского гидроузла, ниже г. Моздок и на территории Республики Дагестан (мост Бабаюрт-Кизляр) в воде присутствуют только компоненты нефтепродуктов и ПАВ. Максимальные концентрации (группа углеводородов - 3,74-4,22 мг/л, Оксилол -5,06 мг/л) зафиксированы в створе мост Бабаюрт-Кизляр (рисунок 1).

В донных отложениях р. Терек максимальное количество органических веществ обнаружено на территории Чеченской Республики в створе селения Степное. Здесь присутствуют компоненты углеводородов (фенилундекан,

фенилдодекан, тетрадекан в количестве 16,88-146,51 мкг/дм³), альдегиды и кетоны (октаналь, нонаналь - 4,46-7,46 мкг/дм³), 1486,9 мкг/дм³ S₈. В устьевом створе (Аликазган) присутствует 23,3-79,27 мкг/дм³ компонентов группы углеводородов, 104,39 мкг/дм³ S₈.

Фенилундекан – компонент тяжелых ДТ, керосиногазойлевых фракций.

5-Фенилдодекан – входит в состав продуктов нефтепереработки (содержится во фракциях тяжелых дизельных топлив и нефтяных остатков – гудронов). Источник поступления – сбросы в водные объекты продуктов нефтепереработки, АЗС, котельных на мазутном топливе. Продукты неполного сгорания дизельных топлив в выхлопах. Является среднетоксичным углеводородом, но сильно загрязняет поверхностные и грунтовые воды. В больших концентрациях загрязняет окружающую среду и оказывает негативное влияние на организм.

Нониловый альдегид (нонаналь) – основной компонент некоторых эфирных масел, входит в состав отдушек (запах апельсина) синтетических моющих средств, шампуней, парфюмерных композиций. Источник поступления – бытовые канализационные сбросы прачечных, банных предприятий, предприятий химчистки и др. Является малотоксичным соединением и в малых концентрациях не оказывает отрицательное экологическое воздействие, и не представляет опасности для здоровья.

Сера октаэдрическая (S₈) – возможно содержание в продуктах вулканизации, пестицидах. Малотоксичное соединение (ПДК – 2 мг/л). В больших концентрациях нарушает экологию и может оказать вредное воздействие на окружающую среду и т. д.

Одной из причин наличия специфических органических веществ в реке Те-

рек является их поступление с водами основных притоков.

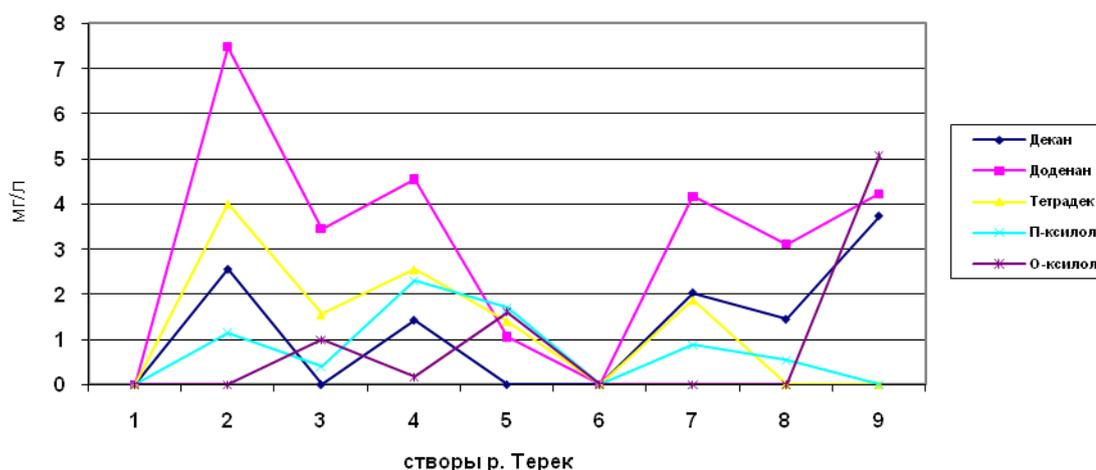


Рисунок 1 – Концентрация органических веществ – компонентов нефтепродуктов по стволу реки Терек

Створы: 1. Селение Верхний Ларс, 2. Балтинский водозабор. 3. Алханчуртский водозабор. 4. Ниже г. Беслан. 5. Выше селения Эльхотово. 6. Селение Сухотское. 7. Терско-Кумский гидроузел. 8. Ниже г. Моздок. 9. Мост Бабаюрт-Кизляр.

Исследование поверхностных вод реки Ардон (Республика Северная Осетия-Алания) показало сезонность изменения концентраций органическими загрязнителями. Основное количество органических загрязнителей (отходы спиртовых производств) наблюдается ниже ОСК г. Алагир и в устье реки (селение Карджин). В зимний период при небольших расходах в устьевом створе обнаружено 79,68 мкг/дм³ фенилэтилового спирта, 1,94 мкг/дм³ п-крезола, 27,21 мкг/дм³ 2,4,6-трихлорфенола, 7,4 мкг/дм³ этилового эфира гексадекановой кислоты, 0,52 мкг/дм³ п-ксилдола, 0,98-1,87 мкг/дм³ декана и ундекана. В летне-осенний период с увеличением потока транспорта через южные границы России наблюдается возрастание доли тяжелых углеводородов моторных топлив в пределах 0,001-0,0015 мг/дм³.

В реке Фиагдон ниже селения Дзуарикау и в устье реки обнаруживаются продукты отходов спиртового производства и нефтепродукты. Концентрация выявленных органических загрязнителей ниже ПДК и лежит в пределах 0,17 – 1,69 мкг/дм³ (по тяжелым углеводородам).

В устье реки Гизельдон концентрация компонентов нефтепродуктов колеблется по сезонам и имеет максимум в осенне-зимний период, хотя в среднем значения не превышают уровня ПДК для этого класса углеводородов и находятся на уровне 0,25 мкг/дм³ для этилбензола и 1,01 мкг/дм³ для ксилолов (ПДК 0,2 мг/дм³ и 0,03 мг/дм³ соответственно).

В реке Урсдон наблюдается периодическое появление загрязнителей органического происхождения в основном компонентов нефтепродуктов в концен-

трациях ниже уровня ПДК. Концентрация органических загрязнителей максимальная в осенне-зимний период и падает в период увеличения уровня воды в реке. В это период концентрация органических загрязнителей снижается примерно в 1,2 -1,5 раза.

В реке Урух периодически появляются компоненты нефтепродуктов особенно в осенне-зимний период (ксилолы, ундекан, декан, мезитилен и др.), средняя концентрация которых лежит на уровне 0,1-0,5 ПДК, по тяжелым углеводородам и на уровне 0,05-0,2 ПДК для ароматических углеводородов.

В реке Змейка обнаруживаются продукты отходов спиртового производства, а также компоненты синтетических моющих средств и ПАВ в концентрациях ниже уровня ПДК. Причиной тому является негативное влияние

сточных вод спиртового завода «Казар».

В водных объектах Кабардино-Балкарской Республики органические вещества группы спиртов обнаружены в реке Урвань ниже сброса сточных вод с ОСК г. Нарткалы; группа углеводородов (декан, 2,3,5-фенилдодекан, додекан, гексадекан, тетрадекан) присутствует в устьевых створах рек Чегем, Урвань, Черек, Малка, Нальчик, Белая.

В водных объектах Чеченской Республики в осенний период обнаружены компоненты группы углеводородов, максимальные концентрации – в реке Белка. Обследования показали невысокую загрязненность проб воды в водных объектах и значительные концентрации органических веществ в донных отложениях (рисунок 2).

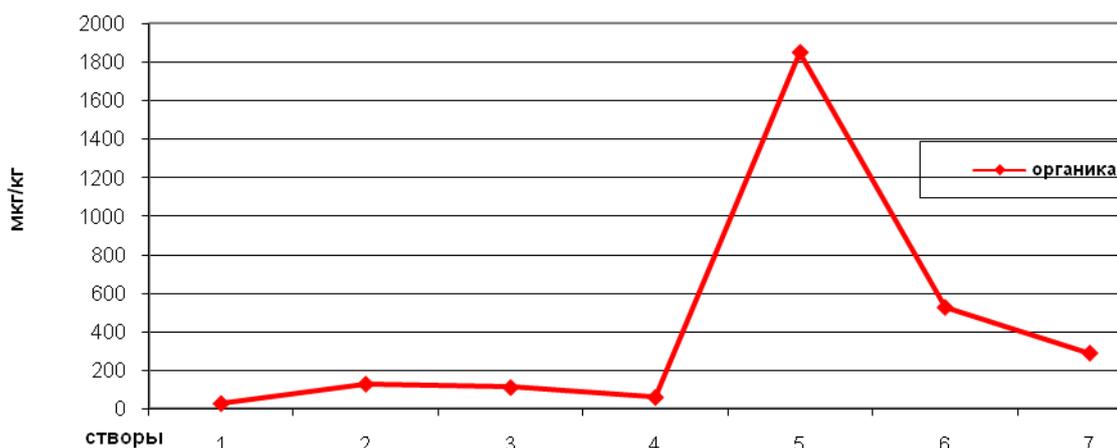


Рисунок 2 - Общее содержание органических веществ в донных отложениях водных объектов Чеченской Республики

Створы: 1. Река Аргун, селение Чирю-Юрт. 2. Река Аргун, г. Аргун. 3. Река Сунжа, станция Петропавловская. 4. Река. Сунжа, селение Брагуны. 5. Река Нефтянка, устье; река Белка, г. Гудермес; река Терек, селение Виноградное.

В донных отложениях проб, отобранных в сентябре 2005 г. обнаружены [4]: в реке Аргун – фенилэтиловый спирт, 3-метилпентанол, 2,6,10-

триметилдекан; бутилацетат; ундекан; декан; тетрадекан; гексадекановая кислота; сера (S₈); фенилдодекан; в реке Сунжа – 1-метилциклопентанол, 3-

метилпентанол, хлорбензол, 2,6,8, -
триметилдекан, 3-Метилпентанол-2; 1-
Метилциклопентанол-2; 3-Гексанол,
2,6,8-триметилдекан; 3-Гептен-
1,2,3,5,5,6,6-гептаметил; 2,3-
диметилдекагидронафталин; 1,5- диме-
тилдекагидронафталин; 2,6,10- триме-
тилгексадекан; бутилацетат; этиленгли-
коль; ундекан; фенилдодекан; фенилу-
ндекан; сера (S₈); в реке Нефтянка – 3-
гексанол; 3-метилциклопентанол; 2,6,8-
триметилдекан; сера октаэдрическая
(S₈); 2-пентанол-4метил; циклогексан
1,2-диметил-3-амил; дипентаметиллен-
тиурам; гексасульфид; и т. д.

Заключение

Необходимо отметить, что для всей основной массы органических веществ, обнаруженных в водных объектах зоны деятельности Западно-Каспийского Бассейнового водного управления, предельно допустимые концентрации не установлены. Кроме того, возможно проявление синергического эффекта, поскольку в водных объектах бассейна

реки Терек присутствуют металлы в высоких концентрациях.

Накопление органических соединений в депонирующих объектах экосистем (почвах, донных отложениях, тканях растений и животных) объясняется их гидрофобностью и липофильностью. В результате проявления этих свойств устойчивые органические соединения, включившиеся в глобальный атмосферный перенос, адсорбируются на аэрозольных частицах органической и минеральной природы и поступают, таким образом, в депонирующие среды и пищевую трофическую сеть.

Необходимо ведение комплексного (вода, донные отложения, ткани растений и животных и т.д.) мониторинга водных объектов бассейна реки Терек на регулярной основе, что позволит дать объективную оценку их загрязнения органическими веществами с учетом сезонных изменений, влияния атмосферных осадков и т.д.

Библиографический список

1. Майстренко В.Н., Хамитов Р.З., Будников Г.К. Экологический мониторинг супертоксиантов. - М., Химия, 1996. – 319 с.
2. Вредные химические вещества. Углеводороды. Галогенопроизводные углеводородов: справ. издание / Под ред. В.А. Филова и др. – Л.: Химия, 1990. – 732 с.
3. Белоусова М.Я., Авгуль Г.В., Сафронова Н.С. и др. Основные свойства нормируемых в водах органических соединений. – М.: Наука, 1987. – 104 с.
4. Гаджиев М.К., Осипова Н.Ф., Попова Л.В. Органические вещества в водных объектах бассейна реки Терек // Минимизация вредного воздействия вод в период половодий и паводков, повышение эффективности ведения мониторинга водных объектов, водохозяйственных систем и сооружений: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. - Махачкала: РИО ДГТУ, 2006. С. 177-181.

References

1. Majstrenko V.N., Hamitov R.Z., Budnikov G.K. Ekologicheskij monitoring supertoksikantov. - M., Himiya, 1996. – 319 s.
2. Vrednye himicheskie veshchestva. Uglevodorody. Galogenoproizvodnye uglevodorodov: sprav. izdanie / Pod red. V.A. Filova i dr. – L.: Himiya, 1990. – 732 s.

3. Belousova M.YA., Avgul' G.V., Safronova N.S. i dr. Osnovnye svoystva normirue-myh v vodah organicheskikh soedinenij. – M.: Nauka, 1987. – 104 s.

4. Gadzhiev M.K., Osipova N.F., Popova L.V. Organicheskie veshchestva v vodnyh ob"ektah bassejna reki Terek // Minimizaciya vrednogo vozdejstviya vod v period polovodij i pavodkov, povyshenie effektivnosti vedeniya monitoringa vodnyh ob"ektov, vodohozyaj-stvennyh sistem i sooruzhenij: sbornik statej Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj kon-ferencii. - Mahachkala: RIO DGTU, 2006. S. 177-181.

Статья поступила 12.04.2020 г.

© А.М. Зербалиев. М.К. Гаджиев, 2020

Сведения об авторах
List of Authors

Зербалиев А.М. – кандидат технических наук, доцент кафедры мелиорации, землепользования и кадастров Дагестанского государственного технического университета.

Zerbaliev A.M. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Land Reclamation, Land Use and Cadastres, Daghestan State Technical University.

Гаджиев М.К. – кандидат сельскохозяйственных наук, начальник отдела Западно-Каспийского бассейнового водного управления.

Gadzhiev M.K. – Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Department of the West Caspian Basin Water Administration.

ТЕХНОЛОГИИ НЕФТЕГАЗОДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ

УДК 625.7.06

doi: 10.21822/2713-220X-2020-1-2-10-28

МОДИФИЦИРОВАНИЕ БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ РЕЗИНОВОЙ КРОШКОЙ: АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

Х.Х. Ахмадова, Л.Ш. Махмудова, Ж.Т. Хадисова, З.А. Абдулмежидова

Грозненский государственный нефтяной технический университет
имени академика М.Д. Миллионщикова

Грозный
hava99502@mail.ru

Аннотация. В статье приведен краткий аналитический обзор по состоянию проблемы модифицирования битумов резиновой крошкой. Показано, что в настоящее время это направление является актуальным и перспективным в рамках решения проблемы утилизации резинотехнических отходов и улучшения качества нефтяных битумных вяжущих. Выполнен сопоставительный анализ методов переработки изношенных резиновых шин и способов приготовления асфальтобетонных смесей на основе резинобитумных вяжущих.

Abstract. The article provides a brief analytical review on the state of the problem of bitumen modification with rubber crumb. It is shown that at present this direction is relevant and promising in terms of solving the problem of recycling rubber wastes and improving the quality of oil bitumen binders. A comparative analysis of the processing methods of worn-out rubber tires and methods for the preparation of asphalt mixtures based on rubber-bitumen binders is performed.

Ключевые слова: гудрон, битум, резинобитумные вяжущие, резиновая крошка, модифицирование.

Keywords: tar, bitumen, rubber-bitumen binders, rubber crumb, modification.

Введение

Проблема улучшения качества нефтяных битумов являлась актуальной во все времена, но особенно остро стоит в последние десятилетия в связи с увеличением объема их потребления

и повышением требований к качеству битумов.

Нефтяные битумы, благодаря ряду ценных свойств, являются самым крупнотоннажным органическим вяжущим, находящим широкое применение в раз-

личных отраслях: в первую очередь, в строительстве – в дорожных асфальтобетонах, а также в кровельных и гидроизоляционных покрытиях, в виде горячих и холодных мастик, рулонных материалов и т.д. Большие масштабы производства и низкая стоимость делают нефтяные битумы незаменимыми при сооружении автомобильных дорог.

Однако при всех несомненных достоинствах битума – хорошей адгезии, водонепроницаемости, химической стойкости, доступности и относительно низкой стоимости – значительная часть нефтяных битумов обладает недостаточными эксплуатационными свойствами: низкой эластичностью, высокой температурной чувствительностью механических свойств, что проявляется в ограниченном температурном интервале сохранения пластичности [1].

Получение нефтяных битумов улучшенного качества особенно важно для дорожного строительства, которое в связи с увеличением транспортной нагрузки на автомобильные дороги требует нефтяные битумы, обладающие высокими прочностными характеристиками, способными обеспечить длительную эксплуатацию дорожных покрытий в жестких и разнообразных климатических условиях.

Для нашей страны особенно важной является проблема повышения теплоустойкости и морозостойкости битума, так как именно эти показатели определяют долговечность асфальтобетонных покрытий в суровых климатических условиях России.

Однако возросшая в настоящее время интенсивность дорожного движения и повысившиеся требования к качеству дорожного полотна привели к тому,

что асфальтобетоны на основе немодифицированного битума уже не в состоянии удовлетворять современным требованиям. Срок службы асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог определяется не только технологическими особенностями приготовления и укладки асфальтобетона, но и свойствами составляющих его компонентов, особенно основной его части – вяжущего материала [2].

Неудовлетворительные характеристики вяжущего материала, в качестве которых повсеместно на практике отечественного строительства автомобильных дорог применяются битумы дорожные марки БНД по ГОСТ 22245-90, не обеспечивают нужные эксплуатационные характеристики и долговечность асфальтобетонных покрытий, которые только на 40-50% соответствуют требованиям стандартов [2]. С 2014 года на битумы дорожные марки БНД введен ГОСТ 33133 -2014. Причем улучшение качества и эксплуатационных характеристик нефтяного битума не может быть достигнуто только изменением технологии процесса, введением каких-то технологических приемов и выбором нового сырья [3].

Решение этой проблемы достигается применением модифицирующих добавок различной природы и назначения. Их применение на практике приводит к повышению прочностных характеристик асфальтобетонов, их тепло- и морозостойкости, что, в свою очередь, позволяет увеличить межремонтный срок службы дорожного покрытия, а следовательно, снизить стоимость его эксплуатации [4].

На важность проблемы улучшения качества нефтяных битумов указывает

принятие на государственном уровне нормативных документов по производству модифицированных битумных дорожных вяжущих [3].

Краткий обзор по проблеме модифицирования битумов

В последние десятилетия в качестве модифицирующих добавок применяются материалы как органического, так и неорганического происхождения, среди которых особенно широкое применение получили полимерные компоненты или отходы из производства, поверхностно-активные вещества (ПАВ), различные резинотехнические изделия (РТИ).

Модифицирование нефтяных битумов добавками на основе полимеров, РТИ, ПАВ и других даже в небольших количествах способствует резкому улучшению характеристик вяжущего материала: повышению температуры размягчения, снижению пенетрации и температуры хрупкости, придания вяжущим эластичности, а, следовательно, и способности к большим эластичным деформациям и улучшению адгезионных свойств [2-5]; повышению прочностных характеристик асфальтобетонных на их основе, их тепло- и морозостойкости, водостойкости, износостойкости [4].

В результате применения модифицированных битумов значительно улучшаются технико-экономические показатели асфальтобетонных – увеличивается срок службы дорожного покрытия и снижается стоимость его эксплуатации [4].

В практике модифицирования битумных вяжущих в зависимости от вводимого в их состав высокомолекулярно-

го соединения можно выделить два основных направления [4]:

- применение стирол-бутадиен-стирольных блоксополимеров (СБС) или их аналогов, действие которых направлено на повышение деформационно-прочностных свойств асфальтобетонных [6, 7];

- применение резиновой крошки или резинового порошка [8].

В мировой практике наиболее широко применяются следующие группы полимерно-битумных вяжущих [9]: битум-стирол-бутадиен-стирольные вяжущие; резинобитумные дорожные вяжущие; битум-этиленвинилацетат; битум-латекс; битум-полиолефин (синтетический каучук); битум-сера; битум-каменноугольная смола/эпоксидные смолы.

Наибольшее применение для модифицирования нефтяного вяжущего получили модификаторы первой группы или отходы их производства. Широкое применение этих групп модифицирующих добавок для улучшения качества и создания композиционных вяжущих на основе битумов объясняется большим объемом их производства и доступностью.

Однако при использовании дорогостоящих термопластичных термоэластопластов в качестве полимерных модифицирующих добавок появляется проблема значительного увеличения стоимости полимерно-битумных вяжущих (ПБВ) [2]. Эта высокая стоимость и дефицитность синтетических термоэластопластов сдерживает их широкое применение в столь крупнотоннажных отраслях, как дорожное, промышленное и гражданское строительство.

Модифицирование битума поли-

мерными добавками приводит к получению полимернобитумных вяжущих, которые при деформации начинают работать как материал с некоторым внутренним армированием [5, 10, 11].

Полимерные модификаторы являются структурирующими добавками, распределяющимися в дисперсной среде или создающими собственную структурную сетку в битуме. Полимерный каркас обеспечивает с одной стороны прочность, отсутствие текучести при повышении температуры и, с другой стороны – деформационные свойства при понижении температуры, расширяя диапазон работоспособности битумных материалов [5].

Применение модифицирования полимерными добавками позволяет увеличить межремонтные сроки эксплуатации дорожных покрытий с 3-4 лет до 7-10 лет, т. е. в 2,5-3,5 раза, в том числе и за счет повышения устойчивости полимерного асфальтобетона против колееобразования летом и трещинообразования зимой.

В последнее время значительное внимание исследователей направлено на модификацию нефтяных битумов применением резиновой крошки или резинового порошка. Этому перспективному направлению посвящено значительное количество исследований [2-5, 12-21].

Перспективность модификации битумов резинотехническими изделиями

Анализ многочисленных исследований, посвященных проблеме модификация битумов с использованием крошки из РТИ, показывает, что направление модифицирования битум-

ных вяжущих в РФ по сравнению с другими странами имеет большие перспективы по следующим основным причинам [22]:

- во-первых, проблема утилизации изношенных автомобильных шин, успешно решаемая еще в 1970-е годы в большинстве развитых стран мира, в России находится на стадии раннего развития [23];

- во-вторых, стоимость резинобитумных вяжущих, произведенных с использованием отходов резинотехнической промышленности, ниже чем при использовании других модифицированных битумных вяжущих;

- в-третьих, решаются экологические проблемы.

Исследования с применением резиновой крошки при производстве битумных вяжущих не являются совершенными новыми, они проводились еще в середине XX века [24, 25] и несколько активизировались в 1990-2000-е годы [15, 26, 27].

Как подчеркнуто выше, регулирование свойств битумного вяжущего введением в него модификатора на основе резиновой крошки от переработки изношенных автомобильных шин, является в настоящее время наиболее перспективным и успешно развивающимся направлением модифицирования битумов [28-30].

Основной модифицирующий эффект от применения модификатора на основе резиновой крошки заключается в расширении температурного интервала эксплуатации битумных вяжущих [29].

За счет частиц резины, связанных в структурную сетку между собой и с компонентами модифицированного битум-

ного вяжущего, у резиноподобных битумных вяжущих наблюдается более высокая температура размягчения, что, в свою очередь, снижает колееобразование в асфальтобетонах [28, 29].

Модификация битумного вяжущего резиновой крошкой и комплексным модификатором приводит также к существенному увеличению его эластичности, а это особенно важно при эксплуатации асфальтобетонных покрытий в условиях отрицательных температур [29].

При использовании резинотехнических изделий, кроме улучшения качественных характеристик битумных вяжущих, также частично решается вопрос утилизации изношенных автомобильных шин. Эта проблема в современном мире является одной из серьезнейших, весьма актуальной и требует принятия срочных мер для ее решения.

В мире только в 2019 г. произведено 90864533 автомобилей, эксплуатация которых требует не только качественных автомобильных дорог на основе асфальтобетона из битумных вяжущих с высокими эксплуатационными показателями, но также связана с решением проблемы утилизации огромного количества изношенных шин, которая обязательно возникает на определенной стадии использования автомобильных средств.

Изношенные шины являются одним из самых многотоннажных полимерных отходов: только в странах Европы образуется более 300 млн. штук автомобильных шин в год [15], в России, по разным оценкам, от 720 тыс. до 1 млн. т., что приводит к серьезному загрязнению окружающей среды [17, 31, 32]. Наблюдавшийся в России на протяже-

нии двух последних десятилетия быстрый рост парка автомобилей стал закономерной причиной обострения проблемы утилизации использованных шин. И если в большинстве наиболее развитых стран Европы и в США с подобной проблемой знакомы еще с 70-х годов прошлого века, то в России в полной мере она стала ощущаться только к середине 2000-х, когда уровень автомобилизации населения достиг в стране достаточно заметных объемов [23].

Ежегодно во всем мире общий объем изношенных шин увеличивается на 10-15 млн. тонн, из них в среднем перерабатывается всего около 20 %, остальное идет на захоронение, хотя по отдельным странам ситуация различается [31, 33].

Количество хранящихся на свалках по всей планете шин превышает 1 млрд. штук. В Японии перерабатывается 80 % отработанных в стране автошин, в США - 87 %, а в странах ЕЭС - 76 % [33].

Автомобильные покрышки и другие резиновые изделия обладают стойкостью к действию кислорода, озона, солнечной радиации, не подвергаются биологическому разрушению и при возгорании выделяют токсичные соединения. Для их разрушения требуется длительный период в многие десятки лет. Таким образом, отработанные и вышедшие из эксплуатации автошины являются серьезными загрязнителями окружающей среды, так как при длительном хранении выделяют вещества, негативно влияющие на экологию [15, 17, 34].

Основная часть изношенных шин складывается на свалках – законных и

незаконных захоронениях шин, сбрасывается в водоемы или просто выбрасывается вдоль автодорог, часть закапывается в землю. Несовершенство методов захоронения часто приводит к пожарам, в том числе и подземным, ухудшает окружающую среду [34]. Возгорание шин имеет крайне негативные последствия, что связано с тем, что температура горения резиновой шины равна температуре горения каменного угля. Поэтому потушить такое возгорание, которое сопровождается выделением значительного количества токсичных веществ, крайне сложно [33].

Засыпанная землей резиновая шина разлагается в течение весьма длительного срока, продолжительностью более 150 лет. Места скопления отработанных шин, особенно в регионах с жарким климатом, служат благоприятной средой обитания и размножения для грызунов – переносчиков целого букета страшных заболеваний. Известны случаи, когда свалки изношенных автошин, являлись основными причинами эпидемий в городах [33].

Проблема переработки изношенных шин и вышедших из эксплуатации резинотехнических изделий имеет большое экономическое и экологическое значение для всех развитых стран мира [15].

Потребности стран в природных ресурсах непрерывно растут, и стоимость их большей частью повышается. В итоге переработка изношенных шин, содержащих помимо резины, армирующие, текстильные и металлические материалы, крайне выгодна [31]. И использованные автошины содержат в себе такое ценное вторичное сырье, как каучук (50%), металл (18%) и текстильный корд (29%) [31], которые в процессе

эксплуатации практически не меняют первоначальных свойств [34].

Поэтому процесс их переработки – рециклинг является выгодным процессом [31]. Такая работа проводится в США, странах Западной Европы при активном содействии Всемирной ассоциации переработчиков шин (ITRA) и ETRA.

Методы переработки изношенных шин

В настоящее время существует более десятка методов переработки изношенных шин. Наиболее широко применяемыми в мировой практике методами переработки изношенных шин в резиновую крошку являются следующие: механическое измельчение, криогенное дробление, бародеструкционные способы, озонные технологии, разрушение взрывом и др. [34].

Из перечисленных методов наибольшее промышленное распространение получили механическое дробление (измельчение) и криогенные технологии [31, 35].

В России наиболее широко применяемым методом является *механическое дробление*, которое осуществляют 19 компаний [31].

Этим методом сначала из резиновой шины удаляют бортовые кольца, затем ее разрезают на 4 части, которые пропускают через вальцы для ее дальнейшего измельчения на более мелкие куски. Далее из измельченной массы резины отделяют наиболее крупные куски, подвергают их дроблению, после чего из измельченной резины отделяется металлический корд. Далее отделенная от корда резина подвергается дальнейшему измельчению с получе-

нием резиновой крошки.

Недостатками данного метода являются:

- получение частиц, имеющих «лохматую» форму, которая усиливает процесс их окисления [36];

- отделение металлического корда осуществляется не полностью.

Несмотря на эти недостатки, этот метод получения резиновой крошки из-за низкого энергопотребления и невысокой себестоимости продукции, является наиболее широко применяемым.

Наиболее экологически чистым процессом получения резиновой крошки является *водоструйный метод*, суть которого заключается в обработке изношенной шины струями воды под высоким давлением [37].

Вырванные водой куски резины, отделяются в сепараторе и далее измельчаются до крошки. Осуществление этой технологии для производства резиновой крошки не требует больших площадей и получают продукт высокого качества [31].

Низкотемпературный пиролиз – процесс, при котором резиновые шины подвергают термическому разложению при высоких температурах от 500 до 600°C с выделением газовой, жидкой и твердой фаз [31, 38].

Процесс сопровождается выбросом вредных веществ в виде дымовых газов. Продуктами переработки являются – электроэнергия, тепло, металлом, пирогаз, печное топливо, углеродистый остаток. Процесс протекает при автономном энергоснабжении и не требует высоких капитальных вложений.

Получение резиновой крошки методом *низкотемпературной (криогенной) технологии* требует создания низких

отрицательных температур от - 69 до - 100°C, что достигается применением жидкого азота [39].

При охлаждении резина подвергается растрескиванию и отделению от металлического корда. Затем ее измельчают до резиновой крошки. Основным сдерживающим фактором в широком применении данной технологии являются сложности организации доставки, хранения и высокой стоимости жидкого азота [36].

При бародеструкционном способе измельчения изношенных шин одновременно получают резиновую крошку размерами от 0,1 до 3 мм, текстильный и металлические корды, которые затем разделяют на специальном оборудовании [36]. На первой стадии процесса осуществляют резку резины на крупные куски, которые на второй стадии загружают в специальную камеру, где на третьей стадии осуществляют псевдооживление действием высокого гидростатического давления, и далее измельченная резина в виде крошки стекает через отверстия камеры в специальную емкость для ее сбора. Отделенные корды направляют на дальнейшую переработку [40].

Для получения высокодисперсной резины применяют *метод высокотемпературного сдвигового измельчения*, разработанный в Институте химической физики имени Н.Н. Семенова РАН. Этот метод менее энергозатратен по сравнению с другими и позволяет получать частицы, которые легко смешиваются с битумом [41]. Добавка высокодисперсной резины в асфальт повышает его прочность, стойкость к образованию колеи, снижает шум и увеличивает срок службы покрытия как минимум в 1,5 ра-

за.

Взрывоциркуляционная технология основана на применение взрывной силы взрывчатки [42]. На первой стадии процесса изношенные шины предварительно разрезают и укладывают в пакеты, на второй стадии их подвергают охлаждению, а затем разрушению и измельчению за счет подрыва взрывчатки в кольцевой камере. Измельченная смесь далее направляется на сепарацию с отделением резиновой крошки. Процесс этот является экологически безопасным, так как осуществляется в замкнутом производственном цикле без образования вторичных загрязнителей. Недостатком процесса является многочисленность подготовительных операций к осуществлению основной стадии.

На предприятии ОАО «Красмаш» для выполнения исследовательских испытаний получения резинобитумных модификаторов *методом высокотемпературной деструкции* отходов резинотехнических изделий (РТИ) разработан лабораторный технологический регламент, который предусматривает проведение испытаний на экспериментальном образце установки и отработку технологии получения резинобитумных модификаторов, включая стадию отделения металлических включений отходов РТИ в экспериментальном образце [33].

На такой установке возможно проведение испытания модификаторов на основе резиновой крошки, полученных по любому из перечисленных методов утилизации изношенных шин, и каждый из перечисленных методов их утилизации является экологически безопасным по сравнению с захоронением шин.

Однако в России при достаточно

высоком объеме образования отходов резиновых изделий и изношенных шин, уровень их регенерации и переработки остается достаточно низким [17].

Способы приготовления асфальтобетонных смесей с использованием резиновой крошки

В настоящее время в мировой практике применяется три способа введения резиновой крошки в асфальтобетонные: «сухой», «мокрый» и введение резиновой крошки в дорожное покрытие смеси [43].

Приготовление асфальтобетонных смесей с использованием резиновой крошки в качестве модификатора «сухим» способом подразумевает использование резиновой крошки в качестве добавки к минеральному наполнителю, т.е. в асфальтобетонную смесь в процессе ее приготовления [44]. В этом случае для исключения возможности получения гетерогенных асфальтовых покрытий после укладки, когда резиновая крошка диффундирует к поверхности, необходимо использовать резиновую крошку диаметром менее 1 мм, и частицы резины должны иметь развитую поверхность для лучшего взаимодействия с битумом [43]: сухой, мокрый и введение резиновой крошки в дорожное покрытие.

По второму способу – «мокрому» - процесс модифицирования осуществляется введением резиновой крошки в битум, т. е за счет смешения битума и резиновой крошки с получением резинобитумного вяжущего. Полученное в результате смешения резинобитумное вяжущее направляется на производство асфальтобетонного дорожного покрытия.

По «сухому» способу резиновая крошка смешивается с битумом в смесителе, в «мокром» предварительно вводится в битум [31, 45].

В этих двух методах резиновая крошка не смешивается с битумом до однородного состояния, так как не растворяется в смеси при обычных условиях переработки и не образует непрерывную сетку полимера. Отмечено, что в этом случае физико-механические показатели асфальтобетонного покрытия на дороге могут изменяться [43].

Данные явления могут быть исключены путем стабилизации резиновой крошки в массе битума. Это достигается либо добавлением специальных химических веществ для модификации поверхности частиц резиновой крошки, а затем ее сшивки с битумом, либо диспергированием ее до размеров, не приводящих к расслоению системы резина-битум, сохраняя при этом все эластические свойства частиц резины.

Третий способ введения резиновой крошки в дорожное покрытие заключается в добавлении и полном ее растворении в среде битума. *Способ растворения шинной резины в битуме*, вероятно, потребует больших энергозатрат, так как для растворения резиновой крошки в битуме необходима деструкция частицы вулканизата во всем объеме.

Покрытия, устроенные из асфальтобетонных смесей, в которых резиновый модификатор вводили «мокрым» способом, отличались более продолжительными сроком эксплуатации. В связи с этим в США в 1994 г. отказались от введения резиновой крошки в асфальтобетонную смесь «сухим» способом [46].

При применении «мокрого» способа образуется связь резиновой крошки с битумом, приводящая к образованию гетерогенной пространственной структуры, и за счет этого у битумного вяжущего материала появляется достаточная для большинства эксплуатационных целей степень эластичности. Такая структура может удерживать в своем объеме большое количество мелкодисперсных наполнителей без заметной сегрегации [47].

В настоящее время за рубежом активизировалось проведение модификации низкокачественных битумов резиновой крошкой для улучшения его физико-механических и эксплуатационных показателей уже на НПЗ и полученное битумное вяжущее сразу используется в укладке поверхностных слоев дорожного покрытия [43].

В России положительными примерами использования «сухого» и «мокрого» методов получения битумнорезиновых вяжущих являются битумнорезиновый экологически чистый композиционный материал «БИТРЭК» [48], модификатор «УНИРЕМ» [49], резинобитумное вяжущее «БРК – ИГУ» [4], Bitumen-rubber composite [50].

В 1997 и 2012 годах различные технологии с использованием резиновой крошки были опробованы на автомобильной дороге «Новосибирск-Ленинск-Кузнецкий-Кемерово-Юрга», причем в последнем случае с использованием американской технологии и оборудования из США, но в не одном из случаев положительного результата не было достигнуто [44].

Это еще раз доказывает необходимость проведения дополнительных исследований с разработкой для каждого

конкретного региона РФ своей технологии с учетом погодных-климатических условий.

В России реальное использование резинобитумных вяжущих марки «БИТРЭК» с проложением десятков километров асфальтобетонных покрытий имело место только в Московском регионе [44, 51].

Методы девулканизации резиновой крошки

При производстве резино-битумных вяжущих на их качество, естественно, влияют технология приготовления, подбор рационального состава смеси, марка используемого битума, химической структуры и фракции резины, а также температурно-временные режимы приготовления резинобитумного вяжущего [45].

Соответственно, разработки эффективной технологии приготовления резино-битумных вяжущих включают многие вопросы, в том числе и рационального содержания компонентов, качества резиновых модификаторов, методов их введения в битумы.

Прямое введение в битумы резиновых модификаторов, даже переработанных в крошку, малоэффективно, так как они лишь набухают в битуме, оставаясь дискретными наполнителями, не растворяясь и не образуя эластичной трехмерной сетки. Поэтому для эффективной реализации *свойств резин, как модификаторов битума*, их необходимо девулканизовать, превратив *из сетчатых полимеров в линейные*, способные растворяться в битуме [52].

Эта идея впервые была запатентована проф. Б.А. Розенбергом и экспериментально подтверждена им сов-

местно с Хозиным В.Г. и Мурафа А.В. на примере модификации дорожных битумов [53-54].

Девулканизация резиновой крошки при приготовлении резино-битумно вяжущих является важным этапом при получении качественного модифицирующего агента.

Девулканизация по своей сути является процессом, обратным вулканизации, однако на практике не удаётся напрямую получить из резины исходный линейный каучук. Деструкция поперечных связей в резине сопровождается разрывом и основных молекулярных цепей каучука, что объясняется близостью энергий разных связей в трёхмерной сетке вулканизата.

Существует два подхода к девулканизации резиновой крошки с последующим использованием для дорожных целей: девулканизация методом термонабухания и термомеханическая девулканизация.

Первый метод девулканизации (термонабухание) заключается в предварительной термообработке смеси резиновой крошки и пластификатора при температурах до 260°C в течение четырех часов. Этот способ предварительной девулканизации позволяет получать однородный раствор эластомера в битуме. Однако, наличие пластификатора в битуме будет проводить к нарушению его коллоидной структуры, а, следовательно, к расслоению системы [43, 55].

Второй способ девулканизации (термомеханический) является более эффективным, так как позволяет осуществить набухание, диспергирование и растворение резины непосредственно в битуме. Однако, на используемом в

настоящее время в промышленности оборудовании для модификации нефтяных битумов (различной конструкции мешалок, лопастных смесителях, циркуляционных насосах и т. д.) данный способ не эффективен, так как требует больших затрат времени для его осуществления, т.е. является весьма продолжительным по времени.

В исследовании [1] был развит химический метод девулканизации резин, предложенный Розенбергом Б.А.

Автором указанного исследования [1] впервые была проведена эффективная девулканизация резиновой крошки из автомобильных шин в расплаве дорожного битума в присутствии катализаторов девулканизации основного типа, в частности, неозоном Д и наноструктурированным кремнеземом. При этом была достигнута основная цель, заключающаяся в растворение образующегося линейного каучука в битуме с высокой степенью девулканизации резины: остаток гель-фракции составлял 9% при сохранении молекулярной массы исходного каучука до 64%.

Автором [1] было установлено, что при девулканизации резины в среде битума существенно увеличивалось содержание бензольных и спиртобензольных смол, ответственных за эластичность битумов и образовывалась устойчивая к силовым воздействиям коагуляционная структура полученных вяжущих. Последние отличались повы-

шенными тепло-, морозостойкостью, эластичностью, деформативностью при пониженных температурах, твердостью и адгезионной прочностью.

Влияние резиновой крошки на процесс окисления гудрона

Для эффективного совмещения битума с резиновой крошкой необходимо учитывать и использовать не только опыт модификации готового битума различными добавками (пластификаторами, полимерами и т. д.), качество и размер резиновой крошки, но также совершенствовать процесс окисления нефтяных остатков [56-59]. Исследователями доказано модифицирующее действие добавок, вводимых перед окислением в гудрон, которое обеспечивает интенсификацию самого процесса окисления, вызывая перераспределение в ней компонентов дисперсной фазы и дисперсионной среды [56, 57, 59]. Поэтому подбор модифицирующих добавок и полимерных компонентов является весьма важным для интенсификации процесса окисления гудронов [56, 58]. При получении дорожных битумов очень большую роль играет качество сырья, даже небольшие колебания его состава влияют на качество получаемых дорожных битумов. Соответственно, на практике в технологическую схему получения битумов включаются блоки подготовки сырья к окислению [56, 59].

Библиографический список

1. Аюпов Д.А. Модификация нефтяных битумов деструктатами сетчатых эластомеров: автореф. дис. на соиск. учён. степ. канд. техн. наук (05.23.05). КазГАСУ. – Казань, 2011. – 18 с.

2. Алексеенко В.В., Балабанов В.Б. Асфальтобетоны на основе битумно-резиновых композиционных вяжущих для дорожного строительства // Вестник Иркутского государ-

ственного технического университета. 2011. № 12 (59). С. 112-114.

3. Прокопий А.М., Абдуллин А.И., Емельянычева Е.А. Улучшенное битумно-полимерное вяжущее // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 12. С.182-184.

4. Маркова М.А., Машкова А.А., Олихова Ю.В., Осипчик В.С. Влияние модификаторов на свойства дорожных битумных вяжущих // Успехи в химии и химической технологии. 2017. Т. XXXI. № 11. С. 70-72.

5. Сербин С.А., Кутукова Е.К., Костромина Н.В., Ивашкина В.Н., Осипчик В.С., Аристов В.М. Модифицированное резино-битумное связующее для дорожных покрытий // Успехи в химии и химической технологии. 2017. Т. XXXI. № 11. С.108-110.

6. Гохман Л.М. Битумы, полимерно-битумные вяжущие, асфальтобетон, полимерасфальтобетон: учебно-методическое пособие. – М.: «ЭКОНИНФОРМ», 2008. – 117 с.

7. Полимерно-битумные вяжущие материалы на основе СБС для дорожного строительства: обзорная информация. – М.: СОЮЗДОРНИИ, 2002. Вып. 4. - 48 с.

8. Руденский А.В., Никонова О.Н. Резинобитумные вяжущие. Различные варианты технологии приготовления // Дороги и мосты: сб. научн. трудов. – М.: РОСДОРНИИ, 2008. Вып.19/1. С. 215-223.

9. Варенько В.А. Новые материалы в дорожном строительстве: учебное пособие. – Мн.: УП «Технопринт», 2004. - 170 с.

10. Абдуллин А.И., Емельянычева Е.А., Марков В.Ю. Изучение влияния полимерных добавок на свойства битума // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 9. С. 199-201.

11. Абдуллин А.И. Емельянычева Е.А., Прокопий А.М. Изучение влияния полимерной добавки на свойства битумно-полимерного вяжущего // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 9. С. 205-207.

12. Осипчик В.С., Костромина Н.Д., Олихова Ю.В., Ивашкина В.Н., Аристов В.М., Сербин С.А. Повышение эксплуатационных свойств резинонаполненных битумных вяжущих // Вестник технологического университета. 2016. Т.19. № 8. С.50-53.

13. Иванов С.А., Шабаетов С.Н. Исследование влияния стадийности технологического процесса получения композиционных резинобитумных вяжущих на их свойства // Вестник ТГАСУ. 2016. № 4. С.153-158.

14. Покладий Я.Н. Панин А.В., Иванов С. А. Химизм процесса улучшения физико-химических параметров полимерно-битумного вяжущего на основе резиновой крошки // Строительные материалы и изделия. 2015. № 6. С.147-151.

15. Оксак С.В. Влияние дробленной резиновой крошки на свойства битума и асфальтобетона // Вестник ХНАДУ. Вып.79. 2017. С.133-137.

16. Исследование процессов старения резинонаполненных битумных вяжущих// Успехи в химии и химической технологии. Том XXX. 2016. № 10. С.40-42.

17. Аюпов Д.А., Мурафа А.В., Хакимуллин Ю.Н., Хозин В.Г. Современные способы регенерации резин и возможности использования их в строительной отрасли // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2010. № 1 (13). С. 260-263.

18. Беляев П.С., Маликов О.Г., Меркулов С.А., Фролов В.А. Решение проблемы утилизации отходов резинотехнических изделий путем модификации дорожных вяжущих // Вестник ФГУИТ. 2014. № 2. С. 129-131.

19. Осипчик В.С., Костромина Н.Д., Олихова Ю.В., Сербин С.А., Ивашкина В.Н., Ари-

стов В.М. Резинонаполненный дорожный битумный материал с улучшенными эксплуатационными свойствами // Вестник технологического университета. 2016. Т.19. № 22. С. 57-60.

20. Шабаев С.Н., Иванов С.А. Развитие технологии получения и эффективного использования в Кузбассе композиционных полимерно-битумных вяжущих на основе резиновой крошки // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2014. № 3 (8). С. 63-71.

21. Новые высококачественное вяжущее для асфальтобетонных дорожных покрытий с эффективным использованием резины шинных отходов // Вестник инженерной школы ДВФУ. 2015. № 4 (25). С. 22-28.

22. Лукьянова М.А., Вахьянов Е.М. Обоснование рационального состава битумных вяжущих модифицированных резиновой крошкой // Вестник КузГТУ. 2015. № 4. С. 143-146.

23. «Сибур» проанализировал проблему утилизации шин в России [Электронный ресурс] //sibur.colesa.ru. Режим доступа <http://sibur.colesa.ru/news/10449.html>.-загл. с экрана.).

24. Сюньи Г.К., Егоров С.В. Опыт применения резиновых отходов в асфальтобетонных покрытиях на дорогах Украины // Автомобильные дороги. 1956. № 4. С.11-12.

25. Лысихина А.И, Применение резины для улучшения эксплуатационных качеств асфальтобетонных покрытий // Автомобильные дороги. 1956. № 8. С.10-11.

26. Руденская И.М., Руденский А.В. Использование отходов потребления и производства технической резины в дорожном строительстве // ОИ ЦБНТИ Росавтодора. 1992. Вып. 2. 59 с.

27. Худякова Т.С. Шаповалова Н.В., Колеров Л.В., Попов С.М. Резиновая крошка в деле. Влияние комплексного модификатора на физико-механические свойства дорожного битума // Автомобильные дороги. 2010. № 7. С. 56-61.

28. Осипчик В.С., Костромина Н.Д., Олихова Ю.В., Ивашкина В.Н., Аристов В.М., Сербин С.А. Повышение эксплуатационных свойств резинонаполненных битумных вяжущих // Вестник технологического университета. 2016. Т.19. № 8. С. 50-55.

29. Костромина Н.В., Сербин С.А., Сабинин Викт. А., Сабинин Вяч. А. Исследование процессов старения резинонаполненных битумных вяжущих // Успехи в химии и химической технологии. Т. XXX. 2016. № 10. С.40-42.

30. Лихтерова Н.М., Дуров О.В., Накипова И.Г., Васильев Г.Г., Гаврилов Н.Г. Повышение термостабильности дорожных битумов // Химия и технология топлив и масел. 2008. № 3. С.7-16.

31. Аюпов Д.А., Мурафа А.В., Хакимуллин Ю.Н., Хозин В.Г. Современные способы регенерации резин и возможности использования их в строительной отрасли // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2010. № 1 (13). С. 260-263.

32. Азарова С.В., Перегудина Е.В., Мельникович Е.А. Рециклинг отработанных автомобильных шин //Молодой ученый. 2015. № 11(91). С.532-534.

33. Информационно-аналитическое агентство Cleandex [Электронный ресурс]. Режим доступа:<http://www.cleandex.ru/>.

34. Богданов С.Г., Дроздов С.П. Лабораторный технологический регламент для выполнения исследовательских испытаний получения резинобитумных модификаторов методом высокотемпературной деструкции отходов РТИ // Решетневские чтения, 2013. С.

400-403.

35. Фролов А.А., Фролов С.А. Анализ конкурентных преимуществ технологий переработки изношенных автомобильных шин // Инновации и инвестиции. 2010. № 41(176). С. 18-23.

36. Перельштейн Г.Б. Схема сбора, транспортировки и переработки изношенных автопокрышек в г. Москве. URL: <http://www.council.gov.ru/files/journalsf/item>.

37. Москвин А.А. Переработка изношенных автомобильных покрышек в России // Рециклинг отходов. 2009. № 3. С. 2-5.

38. Недодаева Л.Л., Майдуков Г.Л. Эколого-экономические проблемы угольной промышленности: метан и другие отходы основного производства угольных шахт Донбасса, как объект маркетинга // Инженерная геология. 2007. № 3. С.27-47

39. Твердые бытовые отходы [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.solidwaste.ru/>

40. Патент 2399488 РФ. МПК В29В17/00. Устройство низкотемпературного пиролиза изношенных шин непрерывным методом без предварительной подготовки. Рожин В.В.: заявитель и патентообладатель. Заявл. 20.01.2010., опубл. 20.09.2010.

41. Патент 2299804 РФ. МПК В29В17/00. Комплексная технологическая линия утилизации шин. Заявитель и патентообладатель Куцемелов Б.А. Заявл. 22.07.05, опубл. 27.05.07.

42. Патент 2348524 РФ. МПК В29В17/00. Матрица для установок бародеструкционной переработки изношенных автомобильных шин. / Смирнов А.Д., Шардин В.П., Штейнберг Ю.М. Заявитель и патентообладатель Штейнберг Ю.М.. Заявл. 02.03.07, опубл. 10.03.09.

43. Джумаева О., Солодова Н.Л., Емельянычева Е.А. Основные тенденции производства битумов в России // Вестник технологического университета. 2015. Т.18. № 20. С.132-134.

42. Патент 2057014 РФ. МПК В29В17/00. Способ разрушения изношенных покрышек и устройство для его осуществления. Заявитель и патентообладатель Набок А.А. Заявл. 15.02.1994, опубл. 27.003.1994.

43. Беляев П.С., Забавников М.В., Маликов О.Г., Волков Д.С. Исследование влияния резиновой крошки на физико-механические показатели нефтяного битума в процессе его модификации // Вестник ТГТУ. 2005. Т.11. № 4. С.923- 930.

44. Шабаев С.Н., Иванов С.А., Вахьянов Е.М., Влияние размера резиновой крошки на технологические параметры получения резинобитумного вяжущего // Молодой ученый. 2013. № 2 (49). С.75-77.

45. Лукьянова М.А., Вахьянов Е.М. Обоснование рационального состава битумных вяжущих модифицированных резиновой крошкой // КузГТУ. -2015. -№4. – С.143-146.

46. «Унирем» другие модификаторы [Электронный ресурс] //www.nk-group.ru. Режим доступа: http://www.nk-group.ru/PUBLIKACII/A_dorogi_N_04-2010_Unirem.pdf. Загл. с экрана.

47. Новая жизнь «выжатых» битумов [Электронный ресурс] // i-srtoy.ru. Режим доступа: http://www.i-stroy.ru/docu/jkh/novaya_zhizn_vyihatyih_bitumov/3153.html.

48. Битумнорезиновые экологически чистые композиционные материалы БИТРЭК [Электронный ресурс] //bitrack.ru. Режим доступа: <http://www.bitrack.ru>. Загл. с экрана.]

49. УНИКОМ – универсальные композиционные материалы [Электронный ресурс] //nk-group.ru/unirem.html. Загл. с экрана./.

50. Bitumen-rubber composite [Электронный ресурс] // bitumen-rubber.com. Режим до-

ступа: <http://www.bitumen-rubber.com/?brc=17>. Загл. с экрана.

51. Смирнов Н.В. Обзор проведенной работы по применению битумно-резиновых композиционных вяжущих материалов БИТРЭК в дорожном строительстве. 2004 // www.bitrek.ru.

52. Аюпов Д.А., Мурафа А.В., Макаров Д.Б., Хакимуллин Ю.Н., Хозин В.Г. Девулканизация резиновой крошки в среде битума // Структура и динамика молекулярных систем: сб. трудов международной НТК. Яльчик. 2010. С. 14.

53. Аюпов Д.А., Мурафа А.В., Хакимуллин Ю.Н., Хозин В.Г. Битум-полимерные композиции, модифицированные девулканизатами резин // Достижения и проблемы материаловедения и модернизации строительной индустрии: сб. научных трудов. Казань. Т. 1. 2010. С. 478-482.

54. Аюпов Д.А., Мурафа А.В., Хакимуллин Ю.Н., Хозин В.Г. Современные способы регенерации резин и возможности использования их в строительной отрасли // Известия КазГАСУ. 2010. № 1 (13). С. 260-263.

55. Унгер Ф.Г., Эфа А.К., Цыро Л.В. Пиллюля от раковой опухоли битума // Автомобильные дороги. 1998. № 11. С. 22-23.

56. Куис О.И., Грушова Е.И., Пахомчик А.С., Юсевич А.И., Дикуть М.В., Шруббок А.О. Модификация свойств дорожных вяжущих полимерными отходами // Труды БГТУ. Сер. 2. 2017. № 2. С. 64-69.

57. Беляев П.С., Забавников М.В., Маликов О.Г. К вопросу получения резино-битумного концентрата для асфальтобетонных дорожных покрытий из изношенных автомобильных шин // Вестник ТГТУ. 2008. Т. 14. № 2. С. 346-352.

58. Сибгатуллина Р.Н., Абдуллин А.И., Емельянычева Е.А., Идрисов М.Р., Бикмухаметова Г.К., Мустафина А.М. Изучение свойств нефтяных дорожных битумов, модифицированных резиновой крошкой // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20. № 1. С. 76-79.

59. Евдокимова Н.Г. Разработка научно-технологических основ производства современных битумных материалов как нефтяных дисперсных систем: дис. доктора техн. наук: 05.17.07: защищена 24.09.2015. – М., 2015. – 417 с.

References

1. Ayupov D.A. Modifikaciya neftyanyh bitumov destruktatami setchatyh elastome-rov: avtoref. dis. na soisk. uchyon. step. kand. tekhn. nauk (05.23.05). KazGASU. – Kazan', 2011. – 18 s.

2. Alekseenko V.V., Balabanov V.B. Asfal'tobetonny na osnove bitumno-rezinovykh kompozitsionnyh vyazhushchih dlya dorozhnogo stroitel'stva // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2011. № 12 (59). S. 112-114.

3. Prokopij A.M., Abdullin A.I., Emel'yanycheva E.A. Uluchshennoe bitumno-polimernoe vyazhushchee // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2012. Т. 15. № 12. S.182-184.

4. Markova M.A., Mashkova A.A., Olihova YU.V., Osipchik V.S. Vliyanie modifikatorov na svoystva dorozhnyh bitumnyh vyazhushchih // Uspekhi v himii i himicheskoy tekhnologii. 2017. Т. XXXI. № 11. S. 70-72.

5. Serbin S.A., Kutukova E.K., Kostromina N.V., Ivashkina V.N., Osipchik V.S., Aristov V.M. Modificirovannoe rezino-bitumnoe svyazuyushchee dlya dorozhnyh pokrytij // Uspekhi v himii i himicheskoy tekhnologii. 2017. Т. НКНХИ. № 11. S.108-110.

6. Gohman L.M. Bitумы, полимерно-битумные вязхущие, асфальтобетон, полимерасфальтобетон: учебно-методическое пособие. – М.: «EKONINFORM», 2008. – 117 с.
7. Полимерно-битумные вязхущие материалы на основе SBS для дорожного строительства: обзорная информация. – М.: SOYUZDORNII, 2002. Вып. 4. - 48 с.
8. Rudenskij A.V., Nikonova O.N. Резинобитумные вязхущие. Различные варианты технологии приготовления // Дороги и мосты: сб. научн. трудов. – М.: ROSDORNII, 2008. Вып.19/1. С. 215-223.
9. Varen'ko V.A. Новые материалы в дорожном строительстве: учебное пособие. – Мн.: UP «Технопринт», 2004. - 170 с.
10. Abdullin A.I., Emel'yanycheva E.A., Markov V.YU. Изучение влияния полимерных добавок на свойства битума // Вестник Kazanskogo технологического университета. 2012. Т. 15. № 9. С. 199-201.
11. Abdullin A.I. Emel'yanycheva E.A., Prokopij A.M. Изучение влияния полимерной добавки на свойства битумно-полимерного вязхущего // Вестник Kazanskogo технологического университета. 2011. № 9. С. 205-207.
12. Osipchik V.S., Kostromina N.D., Olihova YU.V., Ivashkina V.N., Aristov V.M., Serbin S.A. Повышение эксплуатационных свойств резинополненных битумных вязхущих // Вестник технологического университета. 2016. Т.19. № 8. С. 50-53.
13. Ivanov S.A., SHabaev S.N. Исследование влияния стадийности технологического процесса получения композиционных резинобитумных вязхущих на их свойства // Вестник TGASU. 2016. № 4. С.153-158.
14. Pokladij YA.N. Panin A.V., Ivanov S. A. Химизм процесса улучшения физико-химических параметров полимерно-битумного вязхущего на основе резиновой крошки // Строительные материалы и изделия. 2015. № 6. С.147-151.
15. Oksak S.V. Влияние дробленой резиновой крошки на свойства битума и асфальтобетона // Вестник HNADU. Вып.79. 2017. С. 133-137.
16. Исследование процессов старения резинополненных битумных вязхущих // Успехи в химии и химической технологии. Том НКНKH. 2016. № 10. С. 40-42.
17. Ayupov D.A., Murafa A.V., Hakimullin YU.N., Hozin V.G. Современные способы регенерации резин и возможности использования их в строительной отрасли // Известия Kazanskogo государственного архитектурно-строительного университета. 2010. № 1 (13). С. 260-263.
18. Belyaev P.S., Malikov O.G., Merkulov S.A., Frolov V.A. Решение проблемы утилизации отходов резинотехнических изделий путем модификации дорожных вязхущих // Вестник FGUIT. 2014. № 2. С. 129-131.
19. Osipchik V.S., Kostromina N.D., Olihova YU.V., Serbin S.A., Ivashkina V.N., Aristov V.M. Резинополненный дорожный битумный материал с улучшенными эксплуатационными свойствами // Вестник технологического университета. 2016. Т.19. № 22. С. 57- 60.
20. SHabaev S.N., Ivanov S.A. Развитие технологии получения и эффективного использования в Кузбассе композиционных полимерно-битумных вязхущих на основе резиновой крошки // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2014. № 3 (8). С. 63-71.
21. Новые высококачественные вязхущие для асфальтобетонных дорожных покрытий с эффективным использованием резины шинных отходов // Вестник инженерной школы DVFU. 2015. № 4 (25). С. 22-28.
22. Luk'yanova M.A., Vah'yanov E.M. Обоснование рационального состава битумных вязхущих модифицированных резиновой крошкой // Вестник KuzGTU. 2015. № 4. С. 143-146.
23. «Сибур» проанализировал проблему утилизации шин в России [Электронный ресурс]

//sibur.colesa.ru. Rezhim dostupa <http://sibur.colesa.ru/news/10449.html>.-zagl. s ekrana.).

24. Syun'i G.K., Egorov S.V. Opyt primeneniya rezinovykh othodov v asfal'tobeton-nykh pokrytiyakh na dorogah Ukrainy // Avtomobil'nye dorogi. 1956. № 4. S.11-12.

25. Lysihina A.I., Primenenie reziny dlya uluchsheniya ekspluatatsionnykh kachestv asfal'tobetonnykh pokrytij // Avtomobil'nye dorogi. 1956. № 8. S.10-11.

26. Rudenskaya I.M., Rudenskij A.V. Ispol'zovanie othodov potrebleniya i proizvodstva tekhnicheskoy reziny v dorozhnom stroitel'stve // OI CBNTI Rosavtodora. 1992. Vyp. 2. 59 s.

27. Hudyakova T.S. SHapovalova N.V., Kolerov L.V., Popov S.M. Rezinovaya kroschka v dele. Vliyanie kompleksnogo modifikatora na fiziko-mekhanicheskie svoystva dorozhnogo bituma // Avtomobil'nye dorogi. 2010. № 7. S. 56-61.

28. Osipchik V.S., Kostromina N.D., Olihova YU.V., Ivashkina V.N., Aristov V.M., Serbin S.A. Povyslenie ekspluatatsionnykh svoystv rezinonapolnennykh bitumnykh vyazhu-shchih // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. 2016. T.19. № 8. S. 50-55.

29. Kostromina N.V., Serbin S.A., Sabinin Vikt. A., Sabinin Vyach. A. Issledovanie processov stareniya rezinonapolnennykh bitumnykh vyazhushchih // Uspekhi v himii i himicheskoy tekhnologii. T. HKHKH. 2016. № 10. S. 40-42.

30. Lihterova N.M., Durov O.V., Nakipova I.G., Vasil'ev G.G., Gavrilov N.G. Povyslenie termostabil'nosti dorozhnykh bitumov // Himiya i tekhnologiya topliv i masel. 2008. № 3. S.7-16.

31. Ayupov D.A., Murafa A.V., Hakimullin YU.N., Hozin V.G. Sovremennye sposoby regeneratsii rezin i vozmozhnosti ispol'zovaniya ih v stroitel'noj otrasli // Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2010. № 1 (13). S. 260-263.

32. Azarova S.V., Peregudina E.V., Mel'nikovich E.A. Recikling otrabotannykh avtomobil'nykh shin // Molodoj uchenyj. 2015. № 11(91). S. 532-534.

33. Informacionno-analiticheskoe agentstvo Cleandex [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.cleandex.ru/>.

34. Bogdanov S.G., Drozdov S.P. Laboratornyj tekhnologicheskij reglament dlya vypolneniya issledovatel'skih ispytaniy polucheniya rezinobitumnykh modifikatorov me-todom vysokotemperaturnoj destrukcii othodov RTI // Reshetnevskie chteniya, 2013. S. 400-403.

35. Frolov A.A., Frolov S.A. Analiz konkurentnykh preimushchestv tekhnologij pererabotki iznoshennykh avtomobil'nykh shin // Innovatsii i investitsii. 2010. № 41(176). S. 18-23.

36. Perel'shtejn G.B. Skhema sbora, transportirovki i pererabotki iznoshennykh avtopokryshek v g. Moskve. URL: <http://www.council.gov.ru/files/journalsf/item>.

37. Moskvina A.A. Pererabotka iznoshennykh avtomobil'nykh pokryshek v Rossii // Re-cikling othodov. 2009. № 3. S. 2-5.

38. Nedodaeva L.L., Majdukov G.L. Ekologo-ekonomicheskie problemy ugol'noj promyshlennosti: metan i drugie othody osnovnogo proizvodstva ugol'nykh shaht Donbassa, kak ob'ekt marketinga // Inzhenernaya geologiya. 2007. № 3. S.27-47

39. Tverdye bytovye othody [elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.solidwaste.ru/>

40. Patent 2399488 RF. MPK V29V17/00. Ustrojstvo nizkotemperaturnogo piroliza iznoshennykh shin nepreryvnym metodom bez predvaritel'noj podgotovki. Rozhin V.V.: zayavitel' i patentoobladatel'. Zayavl. 20.01.2010., opubl. 20.09.2010.

41. Patent 2299804 RF. MPK V29V17/00. Kompleksnaya tekhnologicheskaya liniya utilizatsii shin. Zayavitel' i patentoobladatel' Kucemelov B.A. Zayavl. 22.07.05, opubl. 27.05.07.

42. Patent 2348524 RF. MPK V29V17/00. Matrica dlya ustanovok barodestrukcionnoj pererabotki iznoshennykh avtomobil'nykh shin. / Smirnov A.D., SHardin V.P., SHtejnberg YU.M. Zayavitel' i patentoobladatel' SHtejnberg YU.M.. Zayavl. 02.03.07, opubl. 10.03.09.

43. Dzhumaeva O., Solodova N.L., Emel'yanycheva E.A. Osnovnye tendencii proizvodstva bitumov v Rossii // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. 2015. T.18. № 20. S.132-134.
42. Patent 2057014 RF. MPK V29V17/00. Sposob razrusheniya iznoshennykh pokryshek i ustrojstvo dlya ego osushchestvleniya. Zayavitel' i patentoobladatel' Nabok A.A. Zayavl. 15.02.1994, opubl. 27.003.1994.
43. Belyaev P.S., Zabavnikov M.V., Malikov O.G., Volkov D.S. Issledovanie vliyaniya rezinovoj kroszki na fiziko-mekhanicheskie pokazateli neftyanogo bituma v processe ego modifikacii // Vestnik TGTU. 2005. T.11. № 4. S. 923- 930.
44. Shabaev S.N., Ivanov S.A., Vah'yanov E.M., Vliyanie razmera rezinovoj kroszki na tekhnologicheskie parametry polucheniya rezinobitumnogo vyazhushchego // Molodoj uchenyj. 2013. № 2 (49). S.75-77.
45. Luk'yanova M.A., Vah'yanov E.M. Obosnovanie racional'nogo sostava bitumnykh vyazhushchih modifitsirovannykh rezinovoj kroszkoy // KuzGTU. -2015. -№ 4. – S.143-146.
46. «Unirem» drugie modifikatory [Elektronnyj resurs] //www.nk-group.ru. Rezhim dostupa: http://www.nk-group.ru/PUBLIKACII/A_dorogi_N_04-2010_Unirem.pdf. Zagl. s ekrana.
47. Novaya zhizn' «vyzhatyh» bitumov [Elektronnyj resurs] // i-srtoy.ru. Rezhim dostupa: http://www.i-sroy.ru/docu/jkh/novaya_zhizn_vyihatyih_bitumov/3153.html.
48. Bitumnorezinovye ekologicheski chistye kompozicionnye materialy BITREK [Elektronnyj resurs] //bitrack.ru. Rezhim dostupa: <http://www.bitrack.ru>. Zagl. s ekrana.]
49. UNIKOM – universal'nye kompozicionnye materialy [Elektronnyj resurs] //nk-group.ru/unirem.html. Zagl. s ekrana./.
50. Bitumen-rubber composite [Elektronnyj resurs] // bitumen-rubber.com. Rezhim dostupa: <http://www.bitumen-rubber.com/?brc=17>. Zagl. s ekrana.
51. Smirnov N.V. Obzor provedennoj raboty po primeneniyu bitumno-rezinovykh kompozicionnykh vyazhushchih materialov BITREK v dorozhnom stroitel'stve. 2004 //www.bitrek.ru.
52. Ayupov D.A., Murafa A.V., Makarov D.B., Hakimullin YU.N., Hozin V.G. Devulkanizatsiya rezinovoj kroszki v srede bituma // Struktura i dinamika molekulyarnykh sistem: sb. trudov mezhdunarodnoj NTK. YAl'chik. 2010. S. 14.
53. Ayupov D.A., Murafa A.V., Hakimullin YU.N., Hozin V.G. Bitum-polimernye kompozicii, modifitsirovannye devulkanizatami rezin // Dostizheniya i problemy materialovedeniya i modernizacii stroitel'noj industrii: sb. nauchnykh trudov. Kazan'. T. 1. 2010. S. 478- 482.
54. Ayupov D.A., Murafa A.V., Hakimullin YU.N., Hozin V.G. Sovremennyye sposoby regeneracii rezin i vozmozhnosti ispol'zovaniya ih v stroitel'noj otrasli // Izvestiya KazGASU. 2010. № 1 (13). S. 260-263.
55. Unger F.G., Efa A.K., Cyro L.V. Pilyulya ot rakovoj opuholi bituma // Avtomobil'nye dorogi. 1998. № 11. S. 22-23.
56. Kuis O.I., Grushova E.I., Pahomchik A.S., YUsevich A.I., Dikut' M.V., SHrubok A.O. Modifikatsiya svojstv dorozhnykh vyazhushchih polimernymi otdodami // Trudy BGTU. Ser. 2. 2017. № 2. S. 64-69.
57. Belyaev P.S., Zabavnikov M.V., Malikov O.G. K voprosu polucheniya rezino-bitumnogo koncentrata dlya asfal'tobetonnykh dorozhnykh pokrytij iz iznoshennykh avto-mobil'nykh shin // Vestnik TGTU. 2008. T. 14. № 2. S. 346-352.
58. Sibgatullina R.N., Abdullin A.I., Emel'yanycheva E.A., Idrisov M.R., Bikmuha-metova G.K., Mustafina A.M. Izuchenie svojstv neftyanykh dorozhnykh bitumov, modifitsirovannykh rezinovoj kroszkoy // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. 2017. T. 20. № 1. S. 76- 79.
59. Evdokimova N.G. Razrabotka nauchno-tekhnologicheskikh osnov proizvodstva svore-

mennyh bitumnyh materialov kak neftyanyh dispersnyh sistem: dis. doktora tekhn. nauk: 05.17.07: zashchishchena 24.09.2015. – M., 2015. – 417 s.

Статья поступила 7.06.2020 г.

© X.X. Ахмадова, Л.Ш. Махмудова, Ж.Т. Хадисова, З.А. Абдулмежидова, 2020

Сведения об авторах
List of Authors

Ахмадова X.X. – доктор технических наук, профессор кафедры химической технологии нефти и газа Грозненского государственного нефтяного технического университета.

Akhmadova Kh.Kh. – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Chemical Technology of Oil and Gas, Grozny State Oil Technical University.

Махмудова Л.Ш. – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой химической технологии нефти и газа» Грозненского государственного нефтяного технического университета.

Makhmudova L.Sh. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Chemical Technology of Oil and Gas, Grozny State Oil Technical University.

Хадисова Ж.Т. – кандидат химических наук, доцент кафедры химической технологии нефти и газа Грозненского государственного нефтяного технического университета.

Khadisova Zh.T. – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemical Technology of Oil and Gas, Grozny State Oil Technical University.

Абдулмежидова З.А. – кандидат технических наук, доцент кафедры химической технологии нефти и газа Грозненского государственного нефтяного технического университета.

Abdulmezhidova Z.A. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemical Technology of Oil and Gas, Grozny State Oil Technical University.

ТЕХНОЛОГИИ, ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

.....
.....
.....

УДК 664.8.038

doi: 10.21822/2713-220X-2020-1-2-29-33

УСЛОВИЯ ЗАКАТЫВАНИЯ САМОЭКСКАУСТИРУЕМОГО ЗАТВОРА

Л.Р. Ибрагимова, М.Н. Исламов, Х.С. Гунаева

Дагестанский государственный технический университет
Махачкала
astrahvino@rambler.ru

Аннотация. Надежность работы «дышащего» затвора зависит как от его геометрических параметров, так и от условий закатывания. При обкатывании жестяной крышки закаточным роликом происходит сжатие резинового кольца, что может рассматриваться как предварительная затяжка пружины обратного клапана. На консервных заводах для обкатывания жестяной крышки СКО используются ролики различных профилей. В данной работе представлены исследования условий закатывания самоэксаустируемого затвора роликами характерных профилей, распространенных на заводах.

Abstract. The reliability of the «breathing» shutter depends both on its geometric parameters and on the rolling conditions. When the tin cover is rolled in by a seaming roller, the rubber ring is compressed, which can be considered as a preliminary tightening of the check valve spring. In canneries, rollers of various profiles are used to break in the SKO tin cover. This paper presents a study of the conditions for rolling a self-exhausting shutter with rollers of characteristic profiles common in factories.

Ключевые слова: «дышащий» затвор, стерилизация, консервы, обкаточный ролик, обратный клапан, давление, профиль, укупорка, венец, упругая деформация, крышка СКО.

Keywords: «breathing» valve, sterilization, canned food, break-in roller, non-return valve, pressure, profile, capping, crown, elastic deformation, DIS cover.

Введение

Как известно, при обкатывании жестяной крышки закаточным роликом происходит сжатие резинового кольца,

что может рассматриваться как предварительная затяжка пружины обратного клапана. От степени обжатия резинового кольца зависит надежность закры-

вания просечек и величины P_1 и P_2 . Сжатое кольцо при подъеме крышки под действием внутреннего давления несколько распрямляется. Если это распрямление чрезмерно – кольцо теряет потенциальную энергию упругой деформации, приобретенную во время закатывания, и не может обеспечить достаточно высокого упругого давления P_2 . Если распрямление кольца недостаточно, затрудняется открывание клапана, повышаются давления P_1 и P_2 .

Отработку закатывания проводили следующим образом: самоэксаугируемую тару укупоривали с различной степенью нажима роликами разного профиля и определяли величины P_1 и P_2 , а также давление срыва $P_{ср}$ при нагревании и на холоде.

Экспериментальные испытания и определение критерия оценки работы затвора

Испытывались ролики характерных профилей, распространенные на заводах: цилиндрический, конический и с профильной канавкой [1]. Наибольшее распространение из них имеет ролик с цилиндрическим профилем (рисунок 1а). При закатывании крышки таким роликом венец ее не получает точной цилиндрической формы, а приобретает форму усеченного конуса уширением книзу, так как сжатая резина внизу стремится вернуть крышку в первоначальное состояние (рисунок 1б). Резиновое кольцо при этом недостаточно сильно прижато к верхнему полю крышки (в месте просечек), но вместе с тем, при нагревании кольцо не имеет возможности в достаточной степени развернуться. В результате для надежной герметизации необходимо увеличивать

степень обкатки, что приводит к увеличению P_1 и P_2 .

Крышки, закатанные коническим роликом (рисунок 2), дают значительно лучшие результаты. Обжатый венец принимает форму усеченного конуса уширением вверх (рисунок 2б). Слои резины оказываются сжатыми больше всего в нижней части венца и поджатыми снизу вверх к крышке, надежно прикрывая просечки. Венец приобретает при этом большую жесткость. Однако, несмотря на лучшие результаты, эти ролики имеют существенный недостаток: для проведения закатывания они нуждаются в большем приближении к горлу банки, чем цилиндрический, что создает угрозу боя стеклбанок. Этого недостатка лишен ролик с профильной канавкой, показавший наилучшие результаты.

Испытывалось несколько вариантов таких роликов (по углу наклона и высоте h). Угол наклона j варьировался от 70 до 40 е. По каждому профилю находилась зависимость P_1 и P_2 от e . Значения P_1 и P_2 , удовлетворяющие принятым требованиям, дал ролик, приведенный на рисунке 3. Увеличение угла наклона α приводило к тому, что уменьшалась упругость резинового кольца, так как оно оказывалось недостаточно поджатым и соответственно падали значения P_1 и P_2 . Увеличение h приводило к росту P_1 и P_2 . Размер H решающего значения не имеет, так как ролики регулируются по высоте при установке. Одновременно определялось давление срыва $P_{ср}$. Значения P_1 и P_2 , удовлетворяющие установленным требованиям, находятся в допустимых пределах, то есть прочность укупорки не ослаблена.

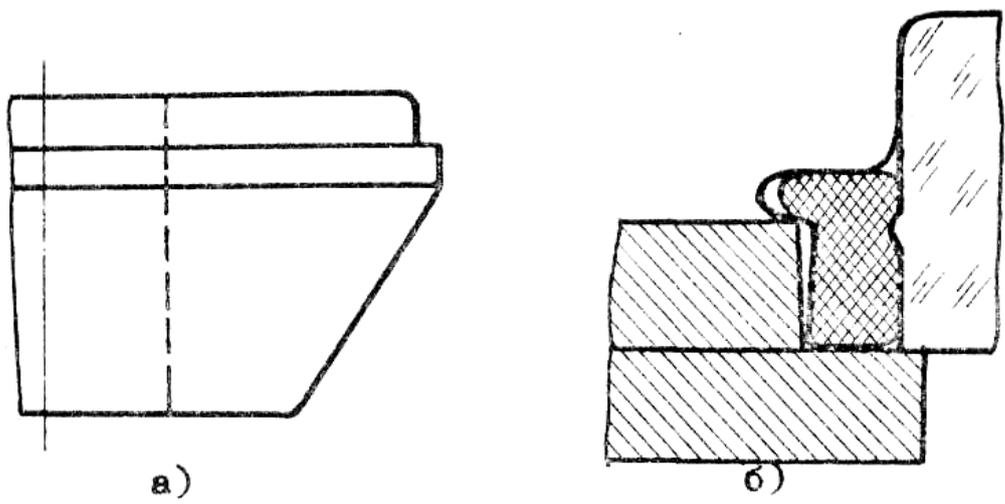


Рисунок 1 – Закаточный ролик цилиндрического профиля

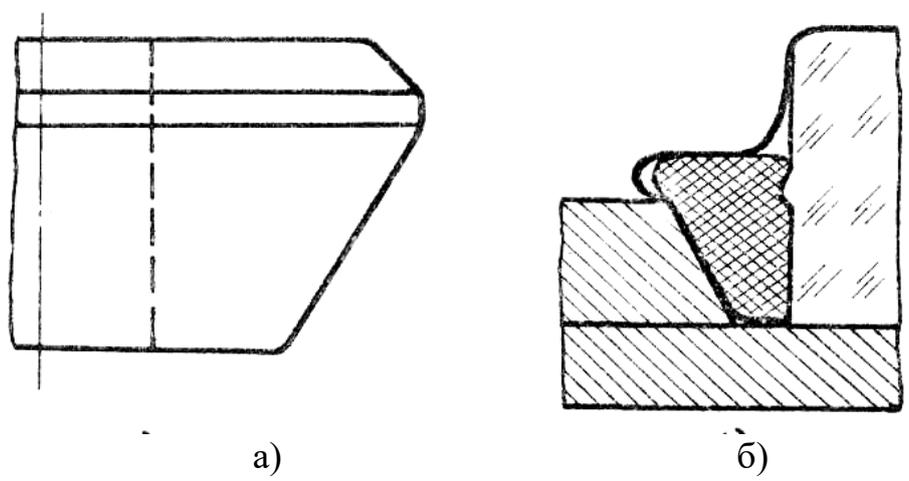


Рисунок 2 – Закаточный ролик конического профиля

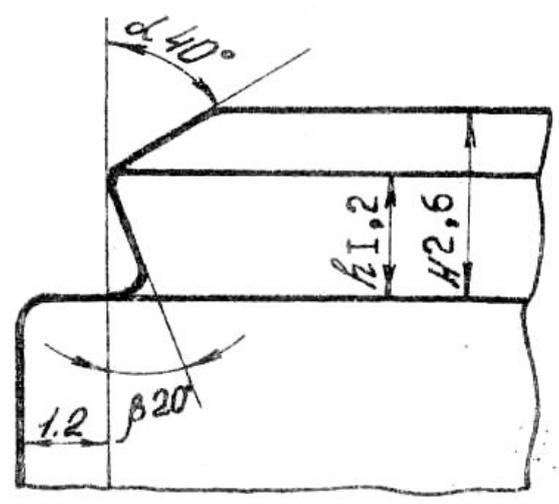


Рисунок 3 – Новый профиль закаточного ролика

Для количественной оценки опасности срыва крышек с горловины банок можно использовать отношение

$$n = P_{\text{ср}} / P_1,$$

где n – коэффициент запаса прочности укупорки.

При работе затвора в установленных пределах клапан срабатывает при температуре продукта в банке 55-58°C. Давление в банке при этом 0,03-0,06 МПа. Величина критического давления срыва крышек $P_{\text{ср}}$, соответствующая этим температурам, по литературным данным $P_{\text{ср}} = 0,11-0,125$ МПа.

Исходя из этого, минимальная величина коэффициента запаса прочности укупорки принята равной $n \geq 2$.

Количественная оценка работоспособности затвора в лабораторных условиях оценивалась по величинам P_1 и P_2 и запасу прочности укупорки n . Однако в производственных условиях в качестве рабочего критерия настройки закаточной машины удобнее использовать одну какую-либо величину, которая должна легко и быстро определяться. Такой величиной из трех приведенных является P_1 . Для установления правомерности выбора этой величины в качестве рабочего критерия была изучена взаимосвязь между P_1 и P_2 при темпе-

ратурах пастеризации до 100°C. Определив величины давления открытия и закрытия клапанов затворов различных банок, обработали полученные данные методом наименьших квадратов. Полученная зависимость имеет вид:

$$P_2 = 0,54P_1^{1,17}$$

Полученные данные позволяют утверждать, что давление открытия клапанов затвора P_1 может служить единым критерием оценки работы затвора при наладке закаточной машины.

Выводы

В результате экспериментального поиска для укупорки самоэкспастируемых банок были отработаны следующие условия закатывания:

1. Профили закаточных роликов – в соответствии с рисунком 3.

2. Настройка закаточных машин – по давлению открытия клапанов затвора P_1 , которое при контрольных испытаниях должно находиться в пределах установленного интервала 0,03-0,06 МПа.

В остальном настройка закаточной машины такая же, как для обычной тары [2]. Эти параметры полностью оправдали себя при производственных испытаниях.

Библиографический список

1. Котельников А.Ф., Авраменко Е.П., Колесник Е.И. *Современные закаточные машины для металлической и стеклянной тары*. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 152 с.
2. Дубчинский А.В., Провоторов Д.А. Совершенствование устройства автоматической выдачи крышек для роторных закаточных машин // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2013. Вып. 7. Ч. 1. С. 53-59.

References

1. Kotel'nikov A.F., Avramenko E.P., Kolesnik E.I. *Sovremennye zakatochnye mashiny dlya metallicheskoj i steklyannoj tary*. – M.: Legkaya i pishchevaya promyshlennost', 1984. – 152 s.
2. Dubchinskij A.V., Provotorov D.A. *Sovershenstvovanie ustrojstva avtoma-ticheskoj vydachi kryshek dlya rotornyh zakatochnyh mashin // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 2013. Vyp. 7. CH. 1. S. 53-59.

Статья поступила 19.05.2020 г.

© Л.Р. Ибрагимова, М.Н. Исламов, Х.С. Гунаева, 2020

Сведения об авторах List of Authors

Ибрагимова Л.Р. – кандидат технических наук, доцент кафедры пищевых производств, организации питания и товароведения Дагестанского государственного технического университета.

Ibragimova L.R. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Production, Organization of Nutrition and Commodity Science, Daghestan State Technical University.

Исламов М.Н. – кандидат технических наук, доцент кафедры пищевых производств, организации питания и товароведения Дагестанского государственного технического университета.

Islamov M.N. – Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Department of Food Production, Organization of Nutrition and Commodity Science, Daghestan State Technical University.

Гунаева Х.С. – студентка Дагестанского государственного технического университета.
Gunaeva Kh. S. – Student, Daghestan State Technical University.

ОСОБЕННОСТИ ИМПУЛЬСНОГО ПРОБОЯ ВОЗДУХА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

К.А. Эфендиев

Дагестанский государственный технический университет
Махачкала

Аннотация. Приведены результаты экспериментального исследования разряда, возникающего в воздухе в однородном электрическом и магнитном полях, когда напряжение на газовом промежутке больше напряжения статического пробоя. Установлены закономерности формирования искровых каналов в воздухе. Дан обзор работ по каналированию газовых разрядов.

Abstract. The results of an experimental study of a discharge arising in air in uniform electric and magnetic fields when the voltage in the gas gap is greater than the static breakdown voltage are presented. The regularities of the formation of spark channels in the air are established. A review of gas discharge channeling is given.

Ключевые слова: импульсный пробой, воздух, магнитное поле, стримерная теория, отрицательный стример, положительный стример, напряжение, время, давление, стримерный канал, искровой канал

Keywords: pulse breakdown, air, magnetic field, streamer theory, negative streamer, positive streamer, voltage, time, pressure, streamer channel, spark channel

Введение

Исследование искрового пробоя в магнитном поле может дать много ценных сведений о механизме пробоя. Известно, что для изучения влияния магнитного поля на искровой разряд, необходимо иметь сильные магнитные поля. Такие магнитные поля получают с помощью соленоидов, изготовленных из

прочного металла (бериллиевая бронза). При движении в однородном электрическом поле \vec{E} электрон испытывает столкновения с атомами и молекулами, что характеризуется средней длиной свободного пробега $\lambda \sim \frac{1}{P}$ (длина свободного пробега обратно пропорциональна давлению).

Энергия, которую накапливает электрон на длине свободного пробега:

$$W = e\lambda E$$

Электрон за счет этой энергии производит возбуждение и ионизацию частиц газа, что и приводит к возникновению газового разряда.

Постоянное магнитное поле, приложенное к газовому промежутку, приводит к увеличению числа столкновений электрона с частицами газа из-за спиральности движения, что равносильно увеличению давления. Таким образом, длина свободного пробега λ становится зависимой от величины магнитного поля, что влияет на все процессы, происходящие при формировании разряда. Наложение магнитного поля также приводит к анизотропии плазмы, т.е. зависимости свойств плазмы от направления. По стримерной теории пробой начинается – ми с развития электронной лавины, которая при достижении критического усиления переходит сначала в отрицательный стример, а потом из головки лавины выходит положительный стример. При наложении магнитного поля увеличивается напряженность поля пространственного заряда в головке лавины, из-за уменьшения радиуса r головки лавины в магнитном поле $r = \sqrt{3Dt}$ (в результате уменьшения коэффициента диффузии D поперек магнитного поля), что ускоряет переход лавины в стример. Но, с другой стороны, для развития положительного стримера в головку лавины должны вливаться дочерние лавины. Те дочерние лавины, которые двигаются под углом к магнитному полю, будут задерживаться полем, что замедлит развитие стримера. Магнитное поле ограничивает диффузию элект-

тронов поперек магнитного поля согласно формуле:

$$D_H = \frac{D_0}{1 + \omega^2 \tau^2}$$

где D_0 – коэффициент диффузии электронов без магнитного поля, а D_H – коэффициент диффузии в магнитном поле, τ – среднее время свободного пробега, $\omega = \frac{eH}{mc}$ – ларморова (циклотронная) частота, e – заряд электрона, H – напряженность магнитного поля, m – масса электрона, c – скорость света.

Результаты исследований и обсуждение

Нами исследован импульсный пробой воздуха в продольном магнитном поле ($\vec{E} \uparrow \uparrow \vec{H}$) при атмосферном давлении P и длине промежутка $d = 1 \cdot 10^{-3} \div 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$. Полученные экспериментальные данные приведены в таблице.

Из данных таблицы мы видим, что время формирования пробоя τ_ϕ слабо зависит от магнитного поля при $d = 1 \cdot 10^{-3} \div 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; время формирования пробоя τ_ϕ растет с ростом длины промежутка d при других одинаковых условиях ($E = \text{const}$, $H = \text{const}$).

Было установлено, что напряжение пробоя возрастает с ростом напряженности магнитного поля при прочих одинаковых условиях. Так, например, газовый промежуток длиной $d = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ при атмосферном давлении пробивается при напряжении пробоя равном 5,99 кВ, но в тех же условиях наложение магнитного поля с напряженностью в

Таблица – Экспериментальные данные исследования импульсного пробоя

Длина газового промежутка $d \cdot 10^{-3} \text{ м}$	Напряжение пробоя $U \text{ (В)}$	Напряженность поля $E \cdot 10^5 \left(\frac{\text{В}}{\text{м}}\right)$	Среднее время формирования $\tau_{\phi} \cdot 10^{-9} \text{ с}$	Средняя сила тока $I \text{ (А)}$	Напряженность магнитного поля $H \cdot 10^6 \frac{\text{А}}{\text{м}}$
1	2200	22,0	14	-	0
1	2195	21,95	11	-	52,8
2	4748	23,74	32	2158	0
2	4717	23,59	26	2216	52,8
3	5990	19,97	54	2400	0
3	6836	22,79	122	2542	76,5

$H = 76,5 \cdot 10^6 \frac{\text{А}}{\text{м}}$ приводит к повышению напряжения пробоя до 6,84 кВ.

Сравнение времени t_1 резкого спада от напряжения пробоя U до напряжения перехода искры в искродуговую стадию U_c (рисунок) при напряженности магнитного поля $H = 76,5 \cdot 10^6 \frac{\text{А}}{\text{м}}$ (при $d = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $P = 101,3 \cdot 10^3 \text{ Па}$) с той же величиной, но без магнитного поля (при тех же прочих условиях) показыва-

ет, что время резкого спада t_1 уменьшается в магнитном поле на 38%. Во время пробоя газового промежутка длиной $d = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ при атмосферном давлении напряжения горения U_c меняется в пределах 150 ÷ 300 вольт, а наложение магнитного поля напряженностью в $H = 76,50 \cdot 10^6 \frac{\text{А}}{\text{м}}$ вызывает рост U_c до 450 ÷ 800 вольт.

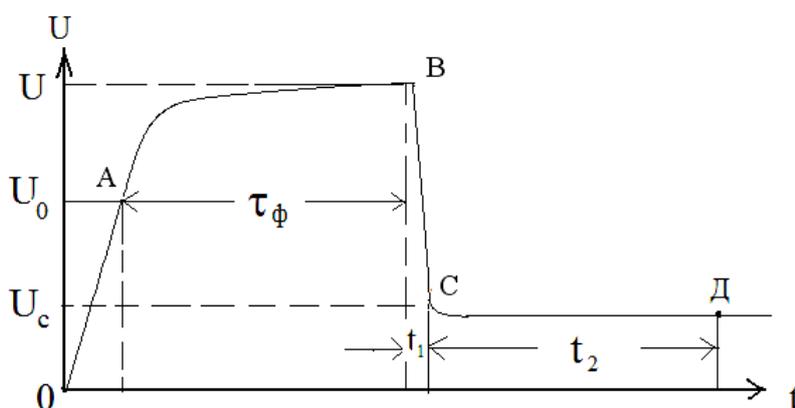


Рисунок – Схематическое изображение осциллограммы импульсного пробоя воздуха. U_0 - напряжение статического пробоя, U - напряжение пробоя, U_c - напряжение перехода искры в искродуговую стадию, τ_{ϕ} - время развития электронной лавины или электронных лавин. t_1 - время резкого провала напряжения от напряжения пробоя U до напряжения перехода искры в искродуговую стадию U_c , в течении которого распространяются стримеры, замыкающие электроды. t_2 - время провала напряжения от напряжения U_c перехода искры в искродуговую стадию до напряжения горения дуги (точка D).

Иногда, в области резкого спада напряжения образуется ступень, связанная с возникновением объемного (тлеющего) разряда. Наши экспериментальные результаты показали, что напряжение ступени растет с повышением напряженности магнитного поля, как и напряжение U_c .

По нашему мнению уменьшение времени резкого спада напряжения от напряжения пробоя U до напряжения перехода искры в искродуговую стадию U_c вызвано эффектом кажущегося увеличения давления. На самом деле, при увеличении давления время резкого спада напряжения уменьшается, как это было доказано в работе [1].

Нами показано, что магнитное поле оказывает заметное влияние на формирование газового разряда при выполнении условия $H \gg H_{кр}$:

$$\lambda = R = \frac{mcv_1}{eH_{кр}} \quad (1)$$

где R – радиус ларморовой окружности, v_1 – перпендикулярная к магнитному полю составляющая скорости электрона.

Из выражения (1) получим:

$$H \gg H_{кр} = \frac{mcv_1}{e\lambda}$$

Кроме того, магнитное поле влияет на распределение зарядов, создаваемых электронными лавинами, что может существенно повлиять на формирование газового разряда.

Г. Ретер [2] делит формирование искрового разряда на две стадии: в начальной стадии происходит развитие лавины или лавин, переход лавины в

стримеры, создание стримерного канала; в конечной стадии стримерный канал превращается в искровой канал путем образования катодного пятна в усиленном поле между головкой положительного стримера и поверхностью катода. Из катодного пятна выходит рой термоэлектронов, который проходя через стримерный канал, превращает его в искровой канал с высокой проводимостью, низким сопротивлением, ярким свечением.

Установленное нами повышение напряжения перехода искры в искродуговую стадию U_c отчасти объясняется тем, что термоэлектроны, выходящие из катодного пятна в магнитном поле из-за циклотронного вращения возвращается на катод, что резко уменьшает число электронов, проходящих через формирующий канал. С другой стороны из-за магнитного поля уменьшается длина свободного пробега λ , следовательно уменьшается энергия, которая накапливается электроном на длине свободного пробега, что ведет к уменьшению первого коэффициента Таунсенда α , а это означает ослабление ионизационных процессов, приводящих к созданию катодного пятна. Для преодоления этих задерживающих факторов, требуется повышение напряжения U_c .

Выводы

Полученные нами экспериментальные данные можно использовать для создания генераторов импульсного напряжения и токов, конструирования лазеров, импульсных источников света, плазмохимии и т.д.

Библиографический список

1. Стекольников И.С., Межуева В.В., Эфендиев А.З. // Журнал теоретической физики. 1950. № 20. С. 308-326.
2. Ретер Г. Электронные лавины и пробой в газах. – М.: Мир, 1968. - 390 с.

References

1. Stekol'nikov I.S., Mezhueva V.V., Efendiev A.Z. // Zhurnal teoreticheskoy fiziki. 1950. № 20. S. 308-326.
2. Reter G. Elektronnye laviny i proboj v gazah. – M.: Mir, 1968. - 390 s.

Статья поступила 13.03.2020 г.

© К.А. Эфендиев, 2020

Сведения об авторе

List of Author

Эфендиев К.А. – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики Дагестанского государственного технического университета.

Efendiev K.A. – Candidate of Physics and Mathematics Sciences, Associate Professor of the Department of Physics, Daghestan State Technical University.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЛЕНОК ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ (SiC)_{1-x}(AlN)_x

М.К. Гусейнов

Дагестанский государственный технический университет

Махачкала

m_guseynov@mail.ru

Аннотация. Исследованы электрические свойства тонких пленок твердых растворов карбида кремния с нитридом алюминия (SiC)_{1-x}(AlN)_x, полученные методом магнетронного распыления при различных технологических параметрах. Установлено влияние температуры осаждения на удельную электропроводность пленок. Показано, что их удельная электропроводность при температурах от 800 до 1300 К, увеличивается на 5-6 порядков. При этом энергия активации электропроводности пленок снижается от 0,49 до 0,18 эВ.

Abstract. The electrical properties of thin films of solid solutions of silicon carbide with aluminum nitride (SiC)_{1-x}(AlN)_x, obtained by magnetron sputtering at various process parameters, were studied. The influence of the deposition temperature on the electrical conductivity of the films is established. It is shown that their conductivity at temperatures from 800 to 1300 K increases by 5-6 orders of magnitude. The activation energy of the electrical conductivity of the films decreases from 0.49 to 0.18 eV.

Ключевые слова: карбид кремния, нитрид алюминия, твердые растворы, удельная электропроводность, температура, пленка (SiC)_{1-x}(AlN)_x.

Keywords: silicon carbide, aluminum nitride, solid solutions, electrical conductivity, temperature, (SiC)_{1-x}(AlN)_x film.

Введение

В настоящее время наиболее перспективными материалами для создания новых приборов твердотельной электроники, устойчивых к высокотемпературным, радиационным и механическим воздействиям, являются широкозонные полупроводники на основе карбида кремния (SiC) и нитрида алюминия (AlN), благодаря удачному соче-

танию полупроводниковых и физико-химических свойств (SiC)_{1-x}(AlN)_x [1 - 4].

Анализ научной литературы и собственные исследования автора, показали, что в отличие от методов сублимации и жидкофазной эпитаксии, метод магнетронного распыления поликристаллических мишеней позволяет выращивать более однородные тонкие пленки (SiC)₁₋

$x(\text{AlN})_x$. Точный контроль технологических параметров при выращивании пленок $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ обеспечивает воспроизводимость технологического процесса и свойств получаемых пленок.

Электропроводность пленок твердых растворов $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$

Удельная электропроводность полупроводниковых материалов является важнейшей характеристикой. Её определяют экспериментально из температурной зависимости электропроводности $\sigma(T)$.

Известно, что при невысоких температурах преобладает примесная проводимость, а собственная проводимость начинается при высоких темпе-

ратурах. Собственная электропроводность в SiC наблюдается, начиная от температуры примерно 1700 К [5]. Поэтому электропроводность пленок $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ была исследована в диапазоне температур от 300 К до 800 К.

Для измерения $\sigma(T)$ были применены четырех- и двухзондовые методы. Четырехзондовый метод является самым распространенным, так как имеет высокие метрологические показатели. Его использование не требует дополнительных затрат на изготовление омических контактов к образцу и создания образцов специальной геометрической формы. Электрическая схема, собранная для реализации четырехзондового метода представлена на рисунке 1.

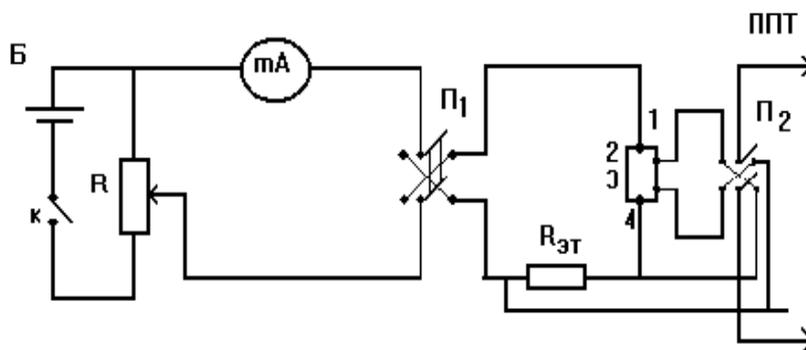


Рисунок 1 – Схема четырехзондового метода измерения удельного сопротивления

Для проведения измерений четырехзондовую головку опускали с помощью манипулятора на поверхность образца и прижимали к поверхности с силой до 2 Н. Измерения разности потенциалов между зондами 2 и 3 (рисунок 1) проводили при различных направлениях тока, чтобы уменьшить погрешность измерений. Также для уменьшения погрешности измерений образцы промывали в плавиковой кислоте и деионизованной воде, потом

сушили. При тщательной подготовке образцов и соблюдении необходимых условий измерений погрешность не превышала 10%.

Исследуемые образцы пленок $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ устанавливали над электрическим нагревательным элементом, который позволял провести измерения до температуры 800 К. Измерительная ячейка помещалась в вакуумную камеру, в которую после откачки воздуха напускался аргон до нормальной атмо-

сферы. Температура образца измерялась с помощью платина-платинородиевой термопары.

Результаты исследований и обсуждение

Полученные результаты температурной зависимости удельной электропроводности $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ для 2-

x пленок, выращенных на подложках карбида кремния при $T \sim 800$ К, представлены на рисунке 2. Учитывая, что собственная электропроводность в SiC наблюдается, начиная от температуры примерно 1700 К [5], измеренная электропроводность является однозначно примесной.

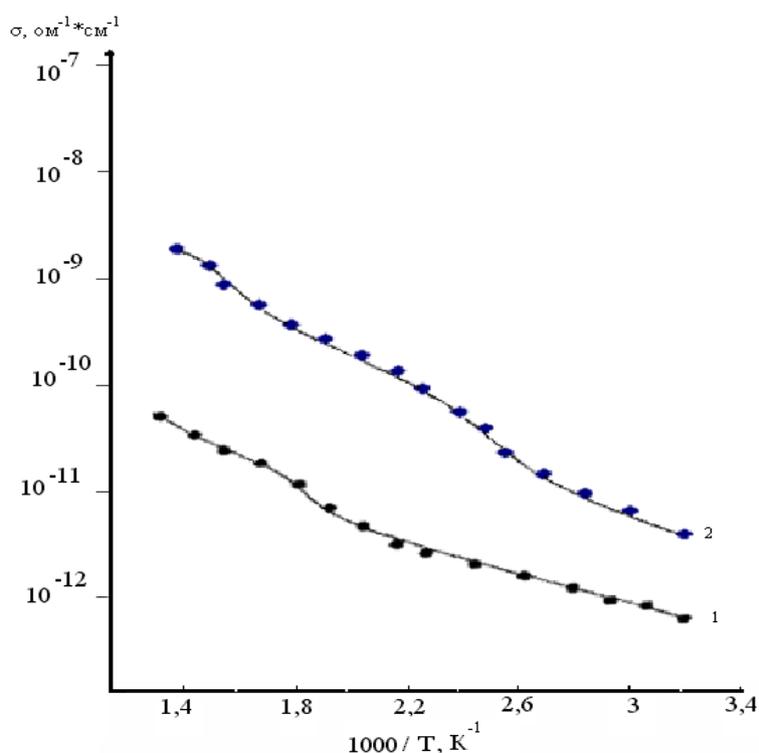


Рисунок 2 – Температурная зависимость удельной электропроводности пленок $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ для $(\text{SiC})_{0,53}(\text{AlN})_{0,47}$ (1) и $(\text{SiC})_{0,7}(\text{AlN})_{0,3}$ (2)

Расчеты показали, что энергия активации примесей для пленок $(\text{SiC})_{0,53}(\text{AlN})_{0,47}$ равна 0,29 эВ, а для $(\text{SiC})_{0,7}(\text{AlN})_{0,3}$ 0,48 эВ. С увеличением температуры подложки энергия активации уменьшается, а электропроводность пленок увеличивается,

Для исследования влияния структуры пленок на электропроводность были выращены пленки $(\text{SiC})_{0,7}(\text{AlN})_{0,3}$ при различных температурах подложки от 800 К до 1300 К. На рисунке 3 пред-

ставлены температурные зависимости удельной электропроводности для образцов, выращенных при температурах: 1) $T_p \sim 800$ К; 2) $T_p \sim 1100$ К; 3) $T_p \sim 1300$ К.

Как видно из графиков, изменение температуры подложки от $T \sim 800$ К до 1300 К приводит к существенному увеличению электропроводности на 5-6 порядков. Такое сильное влияние температуры подложки на электропроводность, видимо, связано с изменением кристаллической структуры пленок.

Если в структуре пленок имеется много мелких кристаллических образований, то влияние уровней Тамма на электропроводность может быть существенным. На поверхностях кристаллитов образуются своеобразные дефекты. Согласно [6] на поверхностях кристалла могут образоваться локальные дополнительные энергетические уровни в количестве $2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Этим можно объяснить увеличение проводимости в поликристаллических пленках.

В поликристаллических пленках на межкристаллитных границах образуются энергетические барьеры, которые могут препятствовать движению электронов. Чем крупнее кристаллиты, тем меньше потенциальных барьеров встречают свободные электроны при своем движении, при этом сопротивление в таких пленках будет меньше, чем в пленках с мелкими кристаллитами.

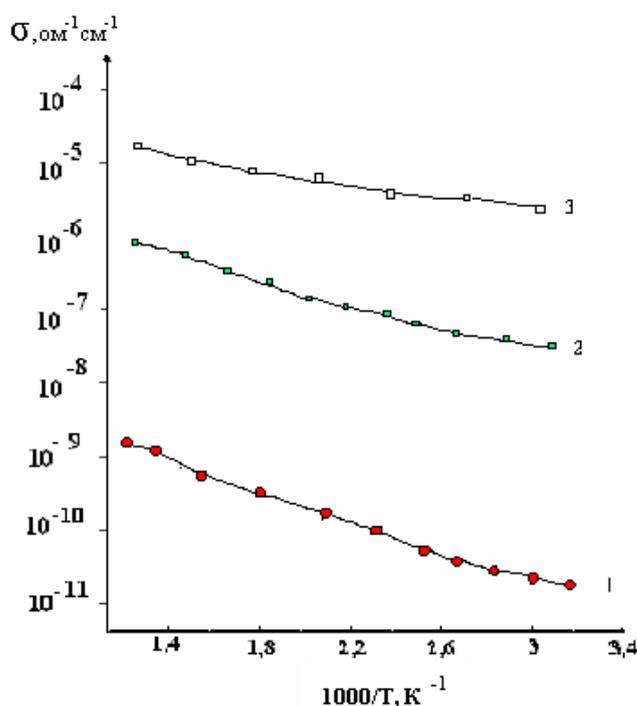


Рисунок 3 – Температурная зависимость электропроводности пленок $(\text{SiC})_{0.7}(\text{AlN})_{0.3}$, выращенных при $T \sim 800 \text{ K}$ (1), $T \sim 1100 \text{ K}$ (2), $T \sim 1300 \text{ K}$ (3)

Выводы

С повышением температуры выращивания, размеры кристаллитов увеличиваются, следовательно, электропроводность должна расти. Полученные нами зависимости удельной электро-

проводности от температуры осаждения пленок наглядно демонстрируют такой рост электропроводности. В диапазоне изменения температур от 800 до 1300K удельная электропроводность пленок увеличивается на 5-6 порядков.

Библиографический список

1. Гусейнов М.К., Билалов Б.А., Сафаралиев Г.К. Исследование структуры и состава пленок твердого раствора $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$, полученных методом магнетронного осаждения

// Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2015. Т. 38. № 3. С.15-20.

2. Курбанов М.К., Билалов Б.А. Сафаралиев Г.К., Нурмагомедов Ш.А. Исследование гетероструктур $\text{SiC}/(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ методом вольт-фарадных характеристик // Физика и техника полупроводников. 2001. Т. 35. № 2. С. 216-218.

3. Гусейнов М.К., Курбанов М.К., Билалов Б.А., Сафаралиев Г.К. Магнетронное осаждение тонких пленок твердого раствора $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ // Физика и техника полупроводников. 2010. Т. 44. № 6. С. 841-844.

4. Таиров Ю.М. Прогресс в технологии карбида кремния: современное состояние разработок и направления дальнейших исследований // Широкозонные полупроводники: межвуз. науч. тематический сборник статей. – Махачкала: ДГУ, 1988. С.4 -13.

5. Справочник по электротехническим материалам. Под ред. Корицкого Ю.В., Пасынкова В.В., Тареева Б.М.. Т.3. - Л.: Энергоатомиздат, 1988. - 726 с.

6. Tamm I. E. Uber eine Moglich Art der Elektronenbindungen an Kristalloberflächen // Physikal Zeitschrift der Sowjetunion. 1932. B.1. H.6. S. 733-746.

References

1. Gusejnov M.K., Bilalov B.A., Safaraliev G.K. Issledovanie struktury i sostava plenok tverdogo rastvora $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$, poluchennyh metodom magnetronnogo osazhdeniya // Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2015. T.38. № 3. S.15-20.

2. Kurbanov M.K., Bilalov B.A. Safaraliev G.K., Nurmagomedov SH.A. Issledovanie geterostruktur $\text{SiC}/(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ metodom vol't-faradnyh harakteristik // Fizika i tekhnika poluprovodnikov. 2001. T. 35. V 2. S. 216-218.

3. Gusejnov M.K., Kurbanov M.K., Bilalov B.A., Safaraliev G.K. Magnetronnoe osa-zhdenie tonkih plenok tverdogo rastvora $(\text{SiC})_{1-x}(\text{AlN})_x$ // Fizika i tekhnika poluprovodnikov. 2010. T. 44. № 6. S. 841-844.

4. Tairov YU.M. Progress v tekhnologii karbida kremniya: sovremennoe sostoyanie razrabotok i napravleniya dal'nejshih issledovaniy // SHirokozonnnye poluprovodniki: mezhvuz. nauch. tematicheskij sbornik statej. – Mahachkala: DGU, 1988. S. 4 -13.

5. Spravochnik po elektrotekhnicheskim materialam. Pod red. Korickogo Yu.V., Pasynkova V.V., Tareeva B.M.. T.3. - L.: Energoatomizdat, 1988. - 726 s.

6. Tamm I. E. Uber eine Moglich Art der Elektronenbindungen an Kristalloberflächen // Physikal Zeitschrift der Sowjetunion. 1932. B.1. H.6. S. 733-746.

Статья поступила 2.06.2020 г.

© М.К. Гусейнов, 2020

Сведения об авторе

List of Author

Гусейнов М.К. – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики Дагестанского государственного технического университета.

Guseynov M.K. – Candidate of Physics and Mathematics Sciences, Associate Professor of the Department of Physics, Dagestan State Technical University.

ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ СОРБЦИИ МЕДИ АЗОТСОДЕРЖАЩИМИ ПОЛИМЕРНЫМИ СОРБЕНТАМИ

Ю.М-А. Султанов

Дагестанский государственный технический университет
Махачкала
yusultanov@mail.ru

Аннотация. Исследована кинетика сорбции ионов меди азотсодержащими полимерными сорбентами на основе полиэтиленполиаминов. Показано, что кинетика сорбции ионов меди полимерными сорбентами на основе полиэтиленполиаминов не описывается уравнениями диффузионной и химической кинетики. Это говорит о несовершенстве рассмотренных моделей переноса, которые не учитывают специфический механизм, обусловленный образованием комплексов в фазе комплексообразующих сорбентов.

Abstract. The kinetics of sorption of copper ions by nitrogen-containing polymer sorbents based on polyethylene polyamines was studied. It was shown that the kinetics of sorption of copper ions by polymer sorbents based on polyethylene polyamines is not described by the equations of diffusion and chemical kinetics. This indicates the imperfection of the considered transfer models, which do not take into account the specific mechanism due to the formation of complexes in the phase of complexing sorbents.

Ключевые слова: азотсодержащие полимерные сорбенты, полиэтиленполиамины, медь, комплексообразование, внешняя и внутренняя диффузия.

Keywords: nitrogen-containing polymer sorbents, polyethylene polyamines, copper, complexation, external and internal diffusion.

Введение

Исследования скоростей процессов, проходящих с участием полимерных сорбентов и ионов металла, позволяют установить скорость достижения равновесия, максимальную сорбционную емкость сорбента для данной концентрации и температуры раствора, механизм

взаимодействия ионов с сорбентом, а также рассчитать коэффициенты диффузии внешнего и внутреннего массопереноса [1].

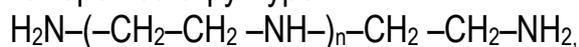
В данной работе с использованием метода ограниченного объема изучена кинетика сорбции ионов меди (II) азот-

содержащими полимерными сорбентами из водных растворов.

Изучение механизма кинетики сорбции ионов меди

В качестве объектов исследования были выбраны сшитые полимерные сорбенты на основе полиэтиленполиаминов (ПЭПА) и олигомера эпихлоргидрина и аммиака (ЭХГА).

Полиэтиленполиамины дистиллированные, средняя молекулярная масса 275, содержание титруемого азота 21,5%, представляют собой смесь олигомеров со структурой:

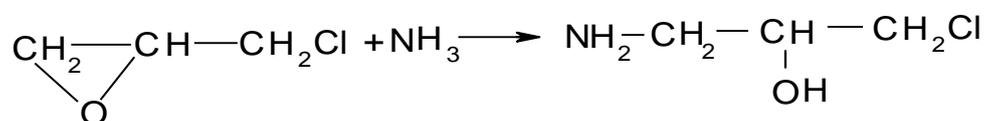


где n составляет 4-6.

Эпихлоргидрин подвергали очистке по методике [2] и получили продукт с температурой кипения 116 °С, n_D^{20} 1,4380. Литературные данные температуры кипения 116,1, n_D^{20} 1,4381 [3].

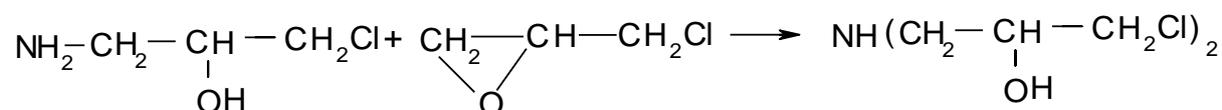
ЭХГА получали прибавлением по каплям при перемешивании 1 моля аммиака (12,5 %-й водный раствор) к 2 молям эпихлоргидрина при температуре 338-343 К в течение часа и выдерживанием при этой температуре реакционной смеси в течение 2 часов.

Реакция может протекать по следующей схеме:



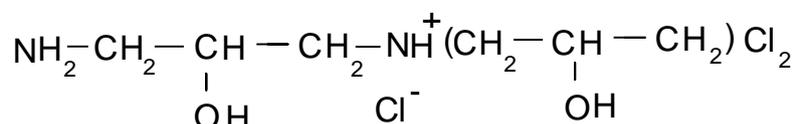
Продукт реакции обладает молекулярной массой 109,5. Дальнейшее взаимодействие этого продукта (I) с

эпихлоргидрином приводит к образованию продукта (II) с молекулярной массой 202.



Энергия активации эпоксигруппы (7,7 ккаль/моль) ниже по сравнению с хлоргидриной (9,0 ккаль/моль) [4]. Поэтому реакция по эпоксигруппе более вероятна. Об этом же свидетельствуют результаты анализа олигомера на содержание эпоксигрупп, которое составило 0 - 0,8% при определении по методу [5].

Молекулярная масса олигомера, определенная нами криоскопическим методом [5], составила 220. Более высокие значения молекулярной массы, найденные нами, свидетельствуют, что реакция идет дальше при возможном взаимодействии иминных и хлоргидринных групп с образованием тримеров:



шается механическая прочность. При низкой набухаемости сорбентов увеличивается механическая прочность, но создаются препятствия для диффузии ионов металла в фазе сорбентов. По результатам исследований сорбционной емкости и набухаемости сорбентов для изучения кинетических свойств были выбраны образцы сорбентов с соотношением

ПЭПА:ЭХГА равном 1:1,5, обладающие наилучшими сорбционными свойствами и оптимальными характеристиками набухаемости.

Кинетические кривые сорбции ионов меди образцами полимерного сорбента на основе ПЭПА при соотношении ПЭПА:ЭХГА равном 1:1,5 приведены на рисунке.

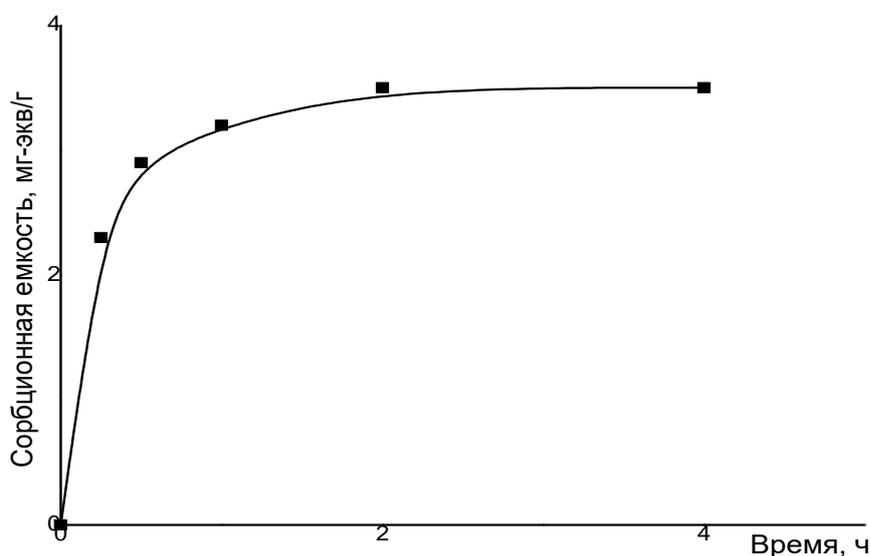


Рисунок – Кинетические кривые сорбции ионов меди полимерным сорбентом на основе ПЭПА

Изучение кинетики сорбции ионов меди методом ограниченного объема проводили следующим образом. Сорбцию ионов меди осуществляли в идентичных сосудах с термостатируемыми рубашками при непрерывном интенсивном перемешивании. Температуру в сосудах поддерживали $40 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$. В каждый сосуд помещали по 50 мл 0,1 н CuSO_4 и после достижения заданной температуры добавляли навеску сорбента приблизительно 0,4 г (в пересчете на массу в сухом состоянии) предварительно набухших и центрифугированных образцов. По истечении определенного времени отбирали пробы,

определяли количество ионов меди в них и рассчитывали сорбционную емкость сорбентов [6].

Содержание меди в отобранных пробах определяли комплексометрическим титрованием динатриевой солью этилендиаминтетрауксусной кислоты в присутствии ацетатного буфера и индикатора – мурексида [7,8]. Для исключения влияния изменения концентрации раствора на процесс сорбции объем проб, которые отбирались в ходе опыта, составлял не более 2% от общего объема.

Определение механизма кинетики сорбции ионов металла является слож-

ной задачей, для решения которой необходимо установить и учесть все факторы, влияющие на скорость обмена, например, размер зерен сорбента, скорость перемешивания, температура и т.д.

Отсутствие влияния изменения скорости перемешивания на скорость сорбции ионов меди указывает на внутридиффузионный характер кинетики. Время, необходимое для протекания процесса сорбции ионов металла, пропорционально квадрату радиуса зерна сорбента. Это является признаком, который характерен внутридиффузионной кинетике. С увеличением кристаллографических радиусов катионов величины коэффициентов диффузии уменьшаются [9].

Таким образом, скорость диффузии зависит от формы зерен сорбента и величин кристаллографических радиусов [10], соответственно, при диффузии внутрь зерна сорбента большое значение имеет размер катиона в водном растворе, из которого осуществляется сорбция. Образованию комплекса в фазе сорбента предшествуют две стадии. Первая стадия это диффузия ионов меди к грануле через гидродинамическую пленку (диффузия в пленке). Вторая стадия это диффузия ионов металла в грануле к комплексообразующим группам (диффузия в геле).

Исследования показали отсутствие влияния изменения скорости перемешивания на скорость сорбции ионов меди, что говорит о том, что лимитирующей стадией в данном случае является диффузия ионов меди во внутрь зерна.

Предполагая, что кинетика сорбции определяется внутренней диффузией ионов в частицу сорбента, была прове-

дена обработка экспериментальных данных по уравнению для диффузии в шар [11, 12]:

$$F = 1 - \frac{6}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp(-Btn^2)$$

где F – степень поглощения ионов сорбентом, r – радиус частицы сорбента, $B = \frac{\pi D^2}{r^2}$ – константа скорости диффузии, D – коэффициент внутренней диффузии сорбируемого иона в частицу сорбента. Это уравнение разработано для изотопного обмена при постоянстве концентрации раствора [13], однако, его можно применять и для ионного обмена, если изменение концентрации незначительно [14].

Если концентрация изменяется, то уравнение диффузии принимает вид [15]:

$$F = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2\alpha(1+\alpha)}{1+\alpha+\alpha^2 q_n^2} \cdot e^{-q_n^2 B}$$

где: α – поправочный коэффициент, учитывающий изменение концентрации, q_n – определяется по наклону графика зависимости $[\ln(1-F), t]$.

Этими уравнениями обычно пользуются в виде диаграммы в координатах $Bt - t$. Значение для каждой экспериментально найденной величины F приводится на номограмме, учитывающей форму сорбента, изменение концентрации раствора [12].

Обработку экспериментальных данных проводили для случая диффузии из хорошо перемешиваемого раствора в плоский слой сорбента. Значения B должны оставаться постоянными на протяжении всего процесса в случае внутридиффузионного механизма сорбции.

Вычисленные значения B для по-

лимерных сорбентов на основе ПЭПА при сорбции меди меняются от $1,4 \cdot 10^{-4}$ до $2,4 \cdot 10^{-4}$. Таким образом, вычисленные значения B для полимерных сорбентов на основе ПЭПА не остаются постоянными на протяжении сорбции. Следовательно, в случае сорбции ионов меди полимерными сорбентами на основе ПЭПА механизм сорбции не является внутридиффузионным.

При внешнедиффузионном лимитировании кинетическое уравнение имеет вид:

$$\lg(1 - F) = - \frac{Rt}{2,303}$$

где R – константа, зависящая от параметров пленки раствора, окружающего сорбент и коэффициента диффузии ионов через эту пленку.

Значение R определяется по уравнению:

$$R = \frac{3D_0}{r\delta k}$$

где D_0 – коэффициент диффузии ионов через пленку раствора, окружающую частицу сорбента; δ – толщина этой пленки; k – коэффициент распределения сорбируемых ионов между раствором и сорбентом.

В случае внешнедиффузионного лимитирования значения константы R , зависящей от параметров пленки раствора, должны оставаться постоянными на всем протяжении процесса сорбции. Вычисленные значения R для полимерных сорбентов на основе ПЭПА при сорбции меди меняются от $0,40 \cdot 10^{-3}$ сек. $^{-1}$ до $1,29 \cdot 10^{-3}$ сек. $^{-1}$. Таким образом,

значения R также изменяются по ходу сорбции и это говорит о том, что в случае сорбции ионов меди полимерными сорбентами на основе ПЭПА внешнедиффузионный механизм сорбции не реализуется.

Если лимитирующей стадией является химическая реакция, то кинетическое уравнение в этом случае по своему аналитическому выражению имеет тот же вид, что и уравнение внешнедиффузионного механизма кинетики. Следовательно, значения S , численно равные R , также изменяются по ходу сорбции. Отсюда следует, что в случае сорбции ионов меди полимерными сорбентами на основе ПЭПА химическая реакция не является лимитирующей стадией.

Заключение

Таким образом, кинетика сорбции меди полимерными сорбентами на основе ПЭПА не описывается уравнениями диффузионной и химической кинетики. Это говорит о несовершенстве рассмотренных моделей переноса, которые не учитывают специфический механизм, обусловленный образованием комплексов в фазе комплексообразующих сорбентов. Необходима разработка моделей переноса, которые учитывали бы специфику механизма комплексообразования в фазе сорбента, а именно, поворот фрагментов полимерной цепи в выгодное для комплексообразования положение.

Библиографический список

1. Салдадзе К. М., Копылова-Валова В. Д. Комплексообразующие иониты. - М.: Химия, 1980. - 336 с.

2. Липатова Т.Э., Бакало Л.А., Ищенко С.С. Исследование каталитической полимеризации эпихлоргидрина. // Высокомолекулярные соединения. 1967. Т. 9А. № 6. С. 1238-1242.
3. Химический энциклопедический словарь. / Под ред. И.Л.Кнунянца. - М.: Сов. энциклопедия, 1983. - 792 с.
4. Тарасова Т.И. Синтез и исследование фосфор-азотсодержащих ионитов: автореф. дис. на соиск. учён. степ. хим. техн. наук. МГУ. – М., 1976. – 17 с.
5. Торопцева А.М., Белгородская К.В., Бондаренко В.М. Лабораторный практикум по химии и технологии высокомолекулярных соединений. - Л.: Химия, 1972. – 416 с.
6. Полянский Н.Г., Горбунов Г.В., Полянская Н.Л. Методы исследования ионитов. - М.: Химия, 1976. - 286 с.
7. Пршибл Р. Комплексоны в химическом анализе. - М.: Иностранная литература, 1960. - 420 с.
8. Шварценбах Г., Флашка Г. Комплексонометрическое титрование. - М.: Химия, 1970. – 360 с.
9. Елькин Т.Э., Пасечник В.А., Самсонов Т.В. Термодинамика ионного обмена. - Минск, 1968. -135 с.
10. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии, - М.: Химия, 1979. - 480 с.
11. Бойд И., Адамсон А., Майерс Л.В. Хроматографический метод разделения ионов. - М.: Иностранная литература, 1969. - 333 с.
12. Кокотов Ю.А., Пасечник В.А. Равновесие и кинетика ионного обмена. - Л.: Химия, 1960. – 336 с.
13. Boyd G.E., Adamson A.W., Myers L.S. The exchange adsorption on of ion from aqueous solution by organic zeolites II. Kinetics. // J.Amer.Chem.Soc., 1947, v. 69, № 11, p. 2836-2848.
14. Dickel G., Meyer A. Zur Kinetik des ionenauschers an harzaustauschern. // Z. Electrochem., 1953, B.57, № 10, s. 901-908.
15. Berthier G. Theoretical problems related to the determination of the coefficients of self-diffusion in solids by the method of heterogeneous isotope exchange. // J. Chem.Phys., 1952, v. 49, p. 527-536.

References

1. Saldadze K. M., Kopylova-Valova V. D. Kompleksoobrazuyushchie ionity. - М.: Hi-miya, 1980. - 336 s.
2. Lipatova T.E., Bakalo L.A., Ishchenko S.S. Issledovanie kataliticheskoy polimerizatsii epihlorgidrina. // Vysokomolekulyarnye soedineniya. 1967. T. 9A. № 6. S. 1238-1242.
3. Himicheskij enciklopedicheskij slovar'. / Pod red. I.L.Knunyanc. - М.: Sov. enciklopediya, 1983. - 792 s.
4. Tarasova T.I. Sintez i issledovanie fosfor-azotsoderzhashchih ionitov: avtoref. dis. na soisk. uchyon. step. him. tekhn. nauk. MGU. – М., 1976. – 17 s.
5. Toropceva A.M., Belogorodskaya K.V., Bondarenko V.M. Laboratornyj praktikum po himii i tekhnologii vysokomolekulyarnyh soedinenij. - L.: Himiya, 1972. – 416 s.
6. Polyanskij N.G., Gorbunov G.V., Polyanskaya N.L. Metody issledovaniya ionitov. - М.: Himiya, 1976. - 286 s.
7. Prshibl R. Kompleksony v himicheskom analize. - М.: Inostrannaya literatura, 1960. - 420 s.

8. Shvarcenbah G., Flashka G. Kompleksonometricheskoe titrovanie. - M.: Himiya, 1970. – 360 s.
9. El'kin T.E., Pasechnik V.A., Samsonov T.V. Termodinamika ionnogo obmena. - Minsk, 1968. -135 s.
10. Lur'e YU.YU. Spravochnik po analiticheskoj himii, - M.: Himiya, 1979. - 480 s.
11. Bojd I., Adamson A., Majers L.V. Hromatograficheskij metod razdeleniya ionov. - M.: Inostrannaya literatura, 1969. - 333 s.
12. Kokotov YU.A., Pasechnik V.A. Ravnovesie i kinetika ionnogo obmena. - L.: Himiya, 1960. – 336 s.
13. Boyd G.E., Adamson A.W., Myers L.S. The exchange adsorption on of ion from aqueous solution by organic zeolites II. Kinetics. // J.Amer.Chem.Soc., 1947, v. 69, № 11, p. 2836-2848.
14. Dickel G., Meyer A. Zur Kinetik des ionenauschers an harzaustauschern. // Z. Electrochem., 1953, B.57, № 10, s. 901-908.
15. Berthier G. Theoretical problems related to the determination of the coefficients of self-diffusion in solids by the method of heterogeneous isotope exchange. // J. Chem.Phys., 1952, v. 49, p. 527-536.

Статья поступила 28.05.2020 г.

© Ю.М.-А. Султанов, 2020

Сведения об авторе
List of Author

Султанов Ю.М.-А. – доктор химических наук, доцент кафедры химии Дагестанского государственного технического университета.

Sultanov Yu.M.-A. - Doctor of Chemistry, Associate Professor of the Department of Chemistry, Daghestan State Technical University.

ОЧИСТКА ВОДЫ ОТ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ СИНТЕЗИРОВАННЫМ МАГНЕТИТОМ

Д.Ш. Магомедова

*Дагестанский государственный университет
Махачкала
djam-74@mail.ru*

Аннотация. Полученный с использованием электрохимического способа магнетит (Fe_3O_4) был исследован с использованием различных физико-химических методов. Размеры частиц магнетита составляют порядка 50-100 нм. Были исследованы морфология и элементный состав полученных образцов на электронном микроскопе.

Оптимальные значения извлечения из модельных растворов ионов тяжелых металлов магнетитом: $pH=7,5$ и 20 мг магнетита на суммарное содержание ионов металлов $\Sigma Me^{n+} = 50$ мг/л. А в случае сточной воды - $pH=7,5$ и 25 мг магнетита на суммарное содержание ионов металлов $\Sigma Me^{n+} = 50$ мг/л.

Abstract. Magnetite (Fe_3O_4) obtained using the electrochemical method was investigated using various physicochemical methods. The particle size of magnetite is about 50-100 nm. The morphology and elemental composition of the obtained samples were examined using an electron microscope.

Optimum values of the extraction of heavy metal ions from magnetite from model solutions with magnetite: $pH = 7.5$ and 20 mg of magnetite per total content of metal ions $\Sigma Men + = 50$ mg / l. And in the case of wastewater - $pH = 7.5$ and 25 mg of magnetite per total metal ion content $\Sigma Men + = 50$ mg / l.

Ключевые слова: электролиз, сточная вода, тяжелые металлы, адсорбция, магнетит.

Keywords: electrolysis, waste water, heavy metals, adsorption, magnetite.

Введение

Экономический ущерб от заболеваемости населения при употреблении некачественной воды практически не может быть измерен в полной мере ввиду специфики проблемы и неполноты исходных данных. Тем не менее, можно с уверенностью говорить о преобладании этой составляющей в общей сумме ущерба от загрязнения водных

источников. Одной из самых острых и неотложных проблем устойчивого развития в наступившем столетии может стать обеспечение населения качественной питьевой водой. Специфика этой проблемы для России заключается не в дефиците водных ресурсов, а в их загрязнении, в продолжающейся деградации водных объектов, в необходимости осуществления в первоочередном

порядке комплекса мер по обеспечению технической надежности и экологической безопасности водоснабжения в целом.

Наиболее часто превышают предельно допустимые концентрации в питьевой воде железо, марганец, остаточный алюминий, регистрируются мышьяк и свинец.

Во многих отраслях промышленности, таких как машиностроение, приборостроение, горно-металлургическая и др., в больших масштабах образуются и используются технологические растворы с высоким содержанием металлов – токсикантов. Металлы в водоемы поступают как из природных, так и из техногенных источников.

В результате неэффективной очистки гальванических стоков возникает ряд экологических проблем:

- теряется природная способность водоемов к самоочищению;
- нарушается функционирование активного ила на станциях очистки городских стоков.

Наносят ущерб экономике России ежегодные потери десятков тысяч тонн тяжелых металлов, сбрасываемых со сточными водами промышленных предприятий [1-3].

Для повышения эффективности работы фильтров, в последнее время, стали применять загрузку из различных искусственных и природных сорбентов: активированные угли, глинистые минералы, алюмосиликаты, природные цеолиты, оксиды и другие. Из-за меньшей стоимости исходного сырья, доступности добычи в местах потребления и появления новых сорбентов природные минералы более перспективны [4].

В области низких равновесных концентраций процесс адсорбции для всех систем происходит по механизму объемного заполнения пористого пространства ферритов сорбционными растворами, а адсорбционные равновесия укладываются в рамки теории объемного заполнения микропор. При более высоких концентрациях протекает процесс конденсации растворов адсорбата в мезопорах и на внешней поверхности частиц ферритов железа, марганца и меди.

Наночастицы магнетита выступают в качестве магнитного агента, который формирует магнитоактивные хлопья с другими взвешенными частицами (взвешенные вещества, бактерии, планктон) [5]. Метод магнитной сепарации наночастицами магнетита включает в себя магнитную сепарацию взвешенных частиц, и одним из очевидных применений этой технологии является использование в коагуляционных очистных сооружениях. Магнетит (как и практически все ферриты), используемый в качестве дисперсной фазы в магнитных жидкостях, в отличие от многих других металлов и их соединений для человеческого организма практически безвреден.

Экспериментальная часть

Эксперименты по электрохимическому синтезу магнетита были проведены в растворе хлорида натрия (20%) в трехэлектродной ячейке (рисунок 1) с двумя анодами при атмосферном давлении и при избыточном давлении кислорода 0,5 МПа.

Электролизер представляет собой автоклав с титановым корпусом (1) со встроенными анодами (Fe, Pt) и като-

дом (Ti). В автоклав наливали электролит в объеме 250 мл. (3). В качестве электролита в работе использовали 1М хлорида натрия.

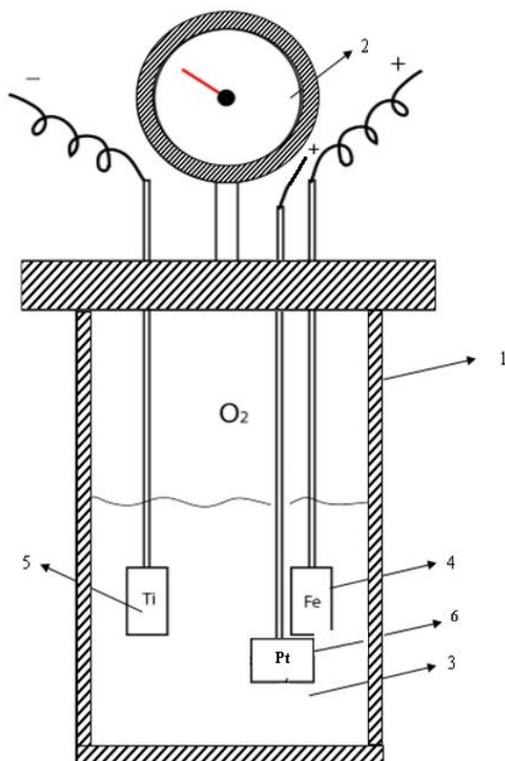
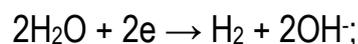


Рисунок 1 - Схема электролизера: 1- титановый корпус; 2 - манометр; 3 - емкость для электролита; 4, 5, 6 - электроды из железа, титана, платины соответственно.

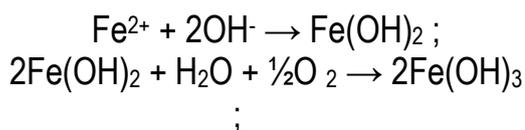
Аноды в электролизере расположены таким образом, чтобы выделяющийся на платиновом аноде кислород поступал к железному аноду, для облегчения частичного окисления образующихся ионов Fe^{2+} до Fe^{3+} . При проведении процесса при избыточном давлении кислорода в автоклав закачивали кислород из баллона высокого давления до необходимого значения. Измеряли давление при помощи манометра (2).

Суть способа заключалась в анодном растворении железа в растворе NaCl и окислении промежуточных продуктов электрохимического процесса кислородом при избыточном давлении. При этом основным процессом на аноде из железа является реакция растворения железа: $Fe^0 \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$.

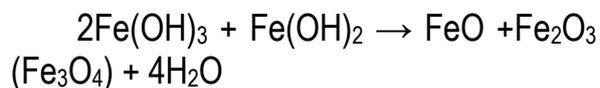
На аноде из диоксида свинца (платины) протекает преимущественно выделение кислорода по реакции: $2H_2O - 2e^- \rightarrow O_2 + 4H^+$; на катоде – выделение водорода, приводящее к подщелачиванию раствора:



При взаимодействии продуктов анодной и катодной реакции происходит образование гидроксида железа (II), который частично окисляется кислородом до гидроксида железа (III):



Образующиеся гидроксиды двух и трехвалентного железа взаимодействуют с образованием магнетита:



После электролиза полученный магнетит отделяли с помощью магнита как показано на рисунке 2. В результате экспериментов был получен высокодисперсный магнетит, представленный на рисунке 3.



Рисунок 2 – Отделение магнетита от электролита



Рисунок 3 – Высокодисперсный магнетит

Результаты и обсуждение

Были исследованы морфология и элементный состав полученных образцов на электронном микроскопе. Данные представлены на рисунке 4.

На эффективность очистки сточных вод влияет ряд факторов: соотношение масс катионов металлов, содержащихся в сточных водах, и массы сорбента, доза сорбента, время обработки стоков, значение pH, устанавливаемое после введения сорбента в стоки. Магнетит обладает щелочным резервом, при его введении в очищаемые от ионов тяжелых металлов стоки наблюдается изменение исходного значения

pH среды. Наиболее полное удаление всех металлов наблюдается при pH = 7,5–8,5. Для проведения исследований приготовили модельные растворы. В 5 колб отбирали по 50 мл модельного раствора и в каждую колбу добавляли соответственно 5; 10; 15; 20; 25 мг взвешенного на аналитических весах магнетита. Растворы перемешивали интенсивно в течении 15 минут, оставляли на 5 часов. Затем отфильтровывали, осадок высушивали, а фильтрат анализировали на содержание в этом растворе ионов тяжелых металлов: железа, меди и никеля.

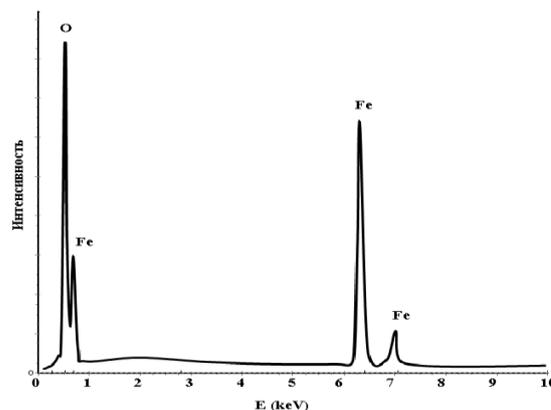
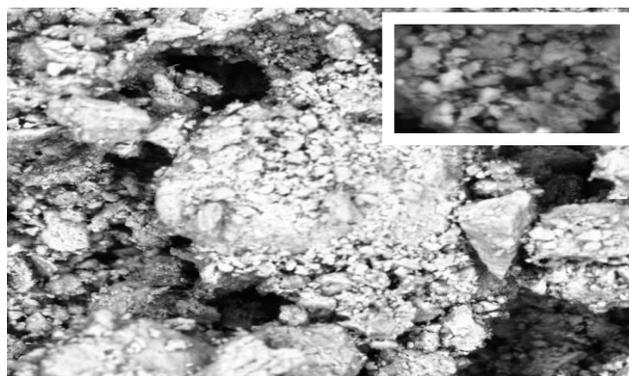


Рисунок 4 – Поверхностная морфология и элементный состав магнетита

В таблице 1 приведены значения зависимости степени очистки модельного раствора от дозы сорбента для суммарного содержания ионов металлов 50 мг/л (в случае $\Sigma Me^{n+} = 50$ мг/л: железо – 15, медь – 20, никель – 15). Как видно из таблицы 1 магнетит эф-

фективно можно использовать для очистки сточных вод от тяжелых металлов. При добавлении в модельный раствор 20 мг магнетита концентрации ионов металлов снижается до нормы ПДК.

Таблица 1 – Зависимость степени очистки модельных растворов от массы магнетита

Масса магнетита, мг	Степень очистки (Fe^{2+}), %	Степень очистки (Cu^{2+}), %	Степень очистки (Ni^{2+}), %	Степень очистки от суммарного содержания ионов металлов, %
5,0	50,0	45,0	53,0	49,0
10,0	65,0	60,0	68,0	64,0
15,0	78,0	74,0	80,0	77,0
20,0	97,0	95,0	97,0	96,0
25,0	98,0	96,0	98,0	97,0

Магнетит был использован также для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов гальванического цеха Завода им. М. Гаджиева. Для сравни-

тельного анализа сточную воду разбавляли до концентраций ионов металлов в соответствии с данными таблицы 2 и рН доводили до 7,5.

Таблица 2 - Зависимость степени очистки сточных вод гальванического цеха от массы магнетита

Масса магнетита, мг	Степень очистки (Fe^{2+}), %	Степень очистки (Cu^{2+}), %	Степень очистки (Ni^{2+}), %	Степень очистки от суммарного содержания ионов металлов, %
5,0	40,0	35,0	45,0	40,0
10,0	55,0	50,0	60,0	55,0
15,0	70,0	65,0	72,0	69,0
20,0	92,0	88,0	94,0	91,3
25,0	98,0	96,0	98,0	97,0

Как видно из таблицы 2, с увеличением массы магнетита степень очистки воды от ионов тяжелых металлов возрастает. До ПДК доходит только при

добавлении 25 мг магнетита, что связано с загрязненностью сточных вод гальванического цеха.

Библиографический список

1. Порядин А.Ф. Развитие водоснабжения в России XX век. - М.: Издательский дом НП, 2003. - С. 18-25.

2. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества: СанПиН 2.1.4.559-96.-Вед. 01.01.98-М., 1996. - 624 с.

3. Глушко Е.В., Радовенчик В.М., Радовенчик Я.В. Малоотходная ионообменная технология очистки гальваностокотков от ионов цинка // Экотехнологии и ресурсосбережение. 2006. № 5. С. 60–63.

4. Нещадин С.В., Кривошеин Д.А., Зволинский В.П. Исследование химического состава сточных вод гальванических цехов и участков машиностроительных производств // Актуальные проблемы экологии и природопользования. 2004. № 5. С. 142-147.

5. Lloyd J.R., Pearce C.I., Coker V.S., Patrick R.A., van der Laan G., Cutting R., Vaughan D.J., Paterson-Beedle M., Mikheenko I.P., Yong P., Macaskie L.E. Biomineralization: linking the fossil record to the production of high value functional materials. // Geobiology. 2008. № 6. P. 285-97.

References

1. Poryadin A.F. Razvitie vodosnabzheniya v Rossii XX vek. - M.: Izdatel'skij dom NP, 2003. - S. 18-25.

2. Pit'evaya voda. Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody centralizovannyh sistem pit'evogo vodosnabzheniya. Kontrol' kachestva: SanPiN 2.1.4.559-96.-Ved. 01.01.98-М., 1996. - 624 s.

3. Glushko E.V., Radovenchik V.M., Radovenchik YA.V. Maloethodnaya ionoobmennaya tekhnologiya ochistki gal'vanostokotkov ot ionov cinka // Ekotekhnologii i resursosberezhenie. 2006. № 5. S. 60–63.

4. Neshchadin S.V., Krivoshein D.A., Zvolinskij V.P. Issledovanie himicheskogo so-stava stochnyh vod gal'vanicheskikh cekhov i uchastkov mashinostroitel'nyh proizvodstv // Aktual'nye problemy ekologii i prirodnopol'zovaniya. 2004. № 5. S. 142-147.

5. Lloyd J.R., Pearce C.I., Coker V.S., Patrick R.A., van der Laan G., Cutting R., Vaughan D.J., Paterson-Beedle M., Mikheenko I.P., Yong P., Macaskie L.E. Biomineralization: linking the fossil record to the production of high value functional materials. // Geobiology. 2008. № 6. P. 285-97.

Статья поступила 7.05.2020 г.

© Л.Ш. Магомедова, 2020

Сведения об авторе List of Author

Магомедова Л.Ш. – кандидат химических наук, доцент кафедры экологической химии и технологии Дагестанского государственного университета.

Magomedova L.Sh. – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Environmental Chemistry and Technology, Daghestan State University.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СТОЛКНОВЕНИЯ ДВУХ АВТОМОБИЛЕЙ И АНАЛИЗ ПОСЛЕДСТВИЙ УДАРА

Э.К. Агаханов, Р.Э. Агаханова

Дагестанский государственный технический университет

Махачкала

elifhan@bk.ru

Аннотация. С применением методов элементарной теории удара выполнено математическое моделирование процесса столкновения двух автомобилей по модели прямого центрального удара. Исследовано две фазы удара – деформирования и восстановления форм за счет упругих свойств автомобилей. Рассмотрены частные случаи удара – абсолютно неупругий и упругий удар. Выполнен анализ множества ситуационных вариантов послеударного движения автомобилей.

Abstract. Using the methods of the elementary theory of impact, a mathematical simulation of the collision process of two cars using the model of direct central impact is performed. Two phases of impact - deformation and restoration of forms due to the elastic properties of automobiles - are investigated. Special cases of impact - absolutely inelastic and elastic impact - are considered. The analysis of many situational options for the impact of cars.

Ключевые слова: столкновение двух автомобилей, математическое моделирование, фаза деформирования автомобилей, фаза восстановления форм автомобилей, послеударное движение автомобилей, скорости автомобилей после удара, модуль ударного импульса.

Keywords: collisions of two cars, mathematical modeling, the phase of deformation of cars, the phase of restoration of the forms of cars, the shock of cars, the speed of cars after impact, the module of the shock pulse.

Введение

С годами автомобильный транспорт играет все большую роль в развитии экономики страны, всех других отраслей промышленности. Однако процесс автомобилизации наряду с положи-

тельной ролью имеет и негативные последствия, в том числе рост дорожно-транспортных происшествий, приводящий к увеличению числа погибших и травмированных людей, а также материального ущерба. В современном ми-

ре вопрос о безопасности выпускаемых легковых автомобилей становится все актуальнее [1].

Рассмотрим моделирование процесса столкновения двух автомобилей по модели прямого центрального удара методами элементарной теории удара. В качестве основных данных принимаем отношение масс соударяемых автомобилей, их скорости в момент удара и коэффициент восстановления при ударе, отражающий упругие свойства автомобилей. Неизвестными величинами будут являться скорости после удара и модуль ударного импульса. При расчете прямого центрального удара учитываются только две взаимные ориентации скоростей автомобилей до удара – попутно-догоняющая и встречно-лобовая. За основу направления общей нормали к соприкасающимся поверхностям автомобилей примем направление того автомобиля, скорость которого по модулю больше скорости другого автомобиля. Тогда возникает возможность анализа множества ситуационных вариантов послеударного движения автомобилей с общей позиции.

Теоретические исследования

При исследовании удара выделяются две фазы процесса. В некоторый момент времени t_0 автомобили соударяются и скорости центров масс поступательно движущихся автомобилей равны соответственно \bar{v}_1 , \bar{v}_2 и направлены по линии удара x в одну сторону ($v_1 > v_2$).

Первая фаза удара. Время протекания от момента t_0 до некоторого момента t' . За время этого периода удара автомобили деформируются так, что

потенциальная энергия упругих внутренних сил увеличится от нуля до максимального значения. При этом работы этих сил будет отрицательна. Момент времени t' характеризуется завершением фазы удара, когда скорости автомобилей сравниваются по величине и приобретают общую скорость, т.е.

$$v_1(t_0 + t') = v_2(t_0 + t') = v.$$

Согласно закону сохранения количества движения, имеем следующее уравнение [2]:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v,$$

где m_1 , m_2 - значения масс соответственно первого и второго автомобиля.

Отсюда следует выражение скорости автомобилей в конце первой фазы удара

$$v = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}.$$

Определим значение ударного импульса за время t' . Для этого применим теорему об изменении количества движения [3] для отдельного автомобиля, например, для второго. В проекции на ось x уравнение теоремы запишется в виде

$$m_2 (v - v_2) = S'_2 = S'.$$

С учетом выражения скорости v в конце первой фазы удара, получим

$$S' = m_2 \left(\frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} - v_2 \right).$$

Отсюда следует формула ударного импульса за время протекания первой фазы удара

$$S' = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} v_{1,2},$$

где $v_{1,2} = v_1 - v_2$ - относительная скорость первого автомобиля к второму автомобилю.

Вторая фаза удара. Время протекания удара от времени t' до конца удара t_1 . Этот этап удара характеризуется восстановлением форм автомобилей за счет их упругих свойств. Теперь потенциальная энергия уменьшается, а работа внутренних сил положительна. Так как удар не абсолютно упругий в автомобилях сохраняются остаточные деформации. Поэтому скорости автомобилей не полностью восстанавливают свои значения до удара.

Уравнение закона сохранения количества движения в течении второй фазы удара в скалярной форме

$$(m_1 + m_2)v = m_1v'_1 + m_2v'_2.$$

где v'_1, v'_2 - значения скоростей центров масс соударяемых автомобилей после удара.

Запишем формулу для коэффициента восстановления при ударе [4]

$$k = \frac{v'_2 - v'_1}{v_1 - v_2}.$$

Из этих двух выражений составим

$$S'' = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \{ (k+1)m_1v_1 + (m_2 - km_1)v_2 - (m_1v_1 + m_2v_2) \}.$$

После преобразования этого выражения, получим

$$S'' = k \frac{m_1m_2}{m_1 + m_2} v_{1,2}.$$

Тогда за все время удара $\tau = t_1 - t_0$ модуль ударного импульса будет равен сумме ударных импульсов S', S'' в соответственно первой и второй фазах удара. Следовательно, получим

$$S = S' + S'' = (k+1) \frac{m_1m_2}{m_1 + m_2} v_{1,2}. \quad (3)$$

Формулы ударных импульсов S', S'' в первой и второй фаз удара таковы, что их отношение определяет коэффициент восстановления при ударе. Действи-

тельно, имеем систему уравнений относительно скоростей автомобилей после удара, она имеет вид

$$\begin{cases} v'_1 + \frac{m_2}{m_1} v'_2 = \frac{m_1 + m_2}{m_1} v, \\ -v'_1 + v'_2 = k(v_1 - v_2). \end{cases}$$

Разрешим эту систему относительно после ударных скоростей автомобилей, в результате получим

$$v'_1 = \frac{1}{m_1 + m_2} \{ (m_1 - km_2)v_1 + (k+1)m_2v_2 \}, \quad (1)$$

$$v'_2 = \frac{1}{m_1 + m_2} \{ (k+1)m_1v_1 + (m_2 - km_1)v_2 \}. \quad (2)$$

Определим ударный импульс S'' в этой фазе удара. Для второго автомобиля составим уравнение теоремы об изменении количества движения во второй фазе удара, в проекции на ось x оно запишется в виде

$$m_2(v'_2 - v) = S''.$$

С учетом выражений скоростей v'_2, v , получим

относительно, имеем

$$k = \frac{S''}{S'}. \quad (4)$$

Частные случаи прямого центрального удара.

1. Абсолютно неупругий удар ($k = 0$). Из формул (1) и (2) следует, что

$$v'_1 = v'_2 = \frac{m_1v_1 + m_2v_2}{m_1 + m_2} = v. \quad (5)$$

Ударный импульс абсолютно неупругого удара равен импульсу первой фазы удара, т.е.

$$S = \frac{m_1m_2}{m_1 + m_2} v_{1,2}. \quad (6)$$

2. Абсолютно упругий удар ($k = 1$).

Из формул (1) и (2) следует, что

$$v'_1 = \frac{1}{m_1 + m_2} \{ (m_1 - m_2)v_1 + 2m_2v_2 \}, \quad (7)$$

$$v'_2 = \frac{1}{m_1 + m_2} \{ 2m_1v_1 + (m_2 - m_1)v_2 \}. \quad (8)$$

При $m_1 = m_2 = m$ после ударные скорости автомобилей равны

$$v'_1 = v_2, \quad v'_2 = v_1,$$

т.е. в этом случае после удара автомобили обмениваются своими доударными скоростями.

Все рассуждения и формулы расчета были основаны на предположении $v_1 > v_2 > 0$, т.е. догоняющего удара. Однако они остаются справедливыми и для встречного удара. Но теперь $v_{1,2} = v_1 + v_2$.

Обобщим результаты прямого центрального удара двух автомобилей, скорости которых до и после удара однонаправлены, на все возможные случаи направления скоростей. Будем исходить из закона сохранения количества движения при прямом центральном ударе и определения коэффициента восстановления при ударе. В векторной форме они запишутся в виде

$$m_1\bar{v}_1 + m_2\bar{v}_2 = m_1\bar{v}'_1 + m_2\bar{v}'_2, \quad (9)$$

$$k = -\frac{(\bar{v}'_2 - \bar{v}'_1) \cdot \bar{n}}{(\bar{v}_2 - \bar{v}_1) \cdot \bar{n}}, \quad (10)$$

где \bar{n} - орт общей нормали x .

Спроецируем (9) на ось x , получим

$$m_1v_{1x} + m_2v_{2x} = m_1v'_{1x} + m_2v'_{2x}, \quad (11)$$

где v_{1x}, v_{2x} - проекции скоростей первого и второго автомобилей до удара на ось x , v'_{1x}, v'_{2x} - проекции скоростей первого и второго автомобилей после удара на эту же ось x .

Эти проекции могут принимать как положительные, так и отрицательные значения, а также и нулевые. Распишем

скалярные произведения в (10), получим

$$v'_{1x} - v'_{2x} = k(v_{2x} - v_{1x}). \quad (12)$$

Совместно решая уравнения (11), (12), получим выражения проекций скоростей автомобилей после удара

$$v'_{1x} = \frac{1}{m_1 + m_2} \{ (m_1 - km_2)v_{1x} + (k+1)m_2v_{2x} \}, \quad (13)$$

$$v'_{2x} = \frac{1}{m_1 + m_2} \{ (k+1)m_1v_{1x} + (m_2 - km_1)v_{2x} \}. \quad (14)$$

Теперь в отличие от аналогичных формул (1), (2), формулы скоростей в проекциях позволяют безошибочно ориентироваться в направлениях послеударных скоростей, зависящих как от масс соударяемых автомобилей, так и направлений, величин скоростей до удара.

Выясним условие прямого центрального удара, при котором первый автомобиль, догоняющий второй автомобиль, после удара остановится. Очевидно должно быть справедливым равенство $v'_{1x} = 0$. Но тогда из (13) следует условие

$$(km_2 - m_1)v_{1x} = (k+1)m_2v_{2x},$$

где $v_{1x} = v_1 > 0$, $v_{2x} = v_2 > 0$ и $v_1 > v_2$.

Отношение масс соударяемых автомобилей обозначим через $\mu = \frac{m_1}{m_2}$. Тогда

скорость второго автомобиля является линейной функцией скорости первого автомобиля и определяется по формуле

$$v_2 = \frac{k - \mu}{k + 1} v_1. \quad (15)$$

При этом должно быть выполнено условие на отношения масс автомобилей

$$k > \frac{m_1}{m_2} = \mu > 0.$$

Определим скорость второго авто-

$$v'_{2x} = \frac{1}{m_1 + m_2} \left\{ (k+1)m_1 v_1 + (m_2 - km_1) \frac{km_2 - m_1}{m_2(k+1)} v_1 \right\}.$$

После преобразований получим искомую формулу

$$v'_{2x} = (\mu + 1) \frac{k}{k+1} v_1 = \frac{m_1 + m_2}{m_2} \frac{k}{k+1} v_1. \quad (16)$$

Ударный импульс при прямом центральном ударе равен

$$S = \frac{(k+1)m_1(v_1 - v_2)}{\mu + 1}.$$

Подставим в эту формулу (15), получим

$$S = \frac{(k+1)m_1}{1 + \mu} \left[v_1 - \frac{k - \mu}{1 + k} v_1 \right].$$

Произведя простые преобразования, получим расчетную формулу ударного импульса при прямом центральном ударе для случая мгновенной остановки первого автомобиля

$$S = m_1 v_1. \quad (17)$$

В зависимости от соотношения масс автомобилей μ , отношения величин их скоростей и направлений находятся модули и направления скоростей автомобилей после удара. Теоретическая модель прямо-центрального удара дает возможность рассчитать все комбинации послеударного движения автомобилей. Ниже рассмотрим возможности расчета скоростей после удара. В ряде случаев эти возможности реализуются, в других - нет.

Случай 1. Первый автомобиль ударяет неподвижный второй автомобиль, $v_1 > 0$ и $v_2 = 0$, после удара автомобили движутся в одну сторону.

Вариант 1. Отношение масс авто-

мобиля после такого удара. Поставив (15) в выражение (14), получим

мобилей $\mu = \frac{m_1}{m_2} < 1 \rightarrow m_1 < m_2$, т.е. уда-

ряющий автомобиль по массе меньше ударяемого.

Скорости автомобилей после удара:

$$v'_{1x} = \frac{\mu - k}{\mu + 1} v_1 > 0, \quad v'_{2x} = \frac{\mu(k+1)}{\mu + 1} v_1 > 0. \quad (18)$$

Отсюда следует условие

$$k < \mu < 1. \quad (19)$$

Вариант 2. Отношение масс автомобилей $\mu = \frac{m_1}{m_2} > 1 \rightarrow m_1 > m_2$, т.е. уда-

ряющий автомобиль по массе больше ударяемого. Исследуется выполнение условия (18). Так как для $\mu > 1$ всегда выполняется условие $\mu > k < 1$, то (18) выполняется в варианте 2.

Вариант 3. Отношение масс автомобилей $\mu = \frac{m_1}{m_2} = 1 \rightarrow m_1 = m_2$, т.е. уда-ряющий автомобиль по массе равен ударяемому. Условия (18) в этом случае переписется в виде

$$v'_{1x} = \frac{1-k}{2} v_1 > 0, \quad v'_{2x} = \frac{k+1}{2} v_1 > 0, \quad (20)$$

т.е. при равенстве масс всегда после удара автомобили перемещаются в сторону ударяемого автомобиля.

Случай 2. Первый автомобиль ударяет неподвижный второй автомобиль, $v_1 > 0$ и $v_2 = 0$, после удара автомобили движутся в разные стороны.

Вариант 1. Отношение масс автомобилей $\mu = \frac{m_1}{m_2} < 1 \rightarrow m_1 < m_2$.

Скорости автомобилей после удара:

$$v'_{1x} = \frac{\mu - k}{\mu + 1} v_1 < 0, \quad v'_{2x} = \frac{\mu(k+1)}{\mu + 1} v_1 > 0. \quad (21)$$

Отсюда следует условие

$$\mu < k < 1. \quad (22)$$

Вариант 2. Отношение масс автомобилей $\mu = \frac{m_1}{m_2} > 1 \rightarrow m_1 > m_2$.

Для выполнения условия (21) требуется выполнение условия $\mu < k < 1$, но оно не выполняется, так как $\mu > 1$. Так что случай $v'_{1x} < 0, v'_{2x} > 0$ не реализуется при $m_1 > m_2$.

Вариант 3. Отношение масс автомобилей $\mu = \frac{m_1}{m_2} = 1 \rightarrow m_1 = m_2$.

Скорости тел после удара:

$$v'_{1x} = \frac{1-k}{2} v_1 < 0, \quad v'_{2x} = \frac{k+1}{2} v_1 > 0.$$

Так как $k < 1$, то первое неравенство не выполняется. Следовательно, и этот вариант не реализуется.

Случай 3. Первый автомобиль ударяет неподвижный второй автомобиль, $v_1 > 0$ и $v_2 = 0$, после удара $v'_{1x} = 0, v'_{2x} > 0$, т.е. ударяющий автомобиль обездвижился.

Скорости тел после удара:

$$v'_{1x} = \frac{\mu - k}{\mu + 1} v_1 = 0, \quad v'_{2x} = \frac{\mu(k+1)}{\mu + 1} v_1 > 0. \quad (23)$$

Вариант 1. Отношение масс авто-

мобилей $\mu = \frac{m_1}{m_2} < 1 \rightarrow m_1 < m_2$.

При условии $\mu = k < 1$ неравенства (23) выполняются. При этом $v'_{1x} = 0, v'_{2x} = kv_1 > 0$.

Вариант 2. Отношение масс автомобилей $\mu = \frac{m_1}{m_2} > 1 \rightarrow m_1 > m_2$.

Этот вариант не выполняется, т.е. после удара более массивного автомобиля по неподвижному автомобилю, автомобили будут перемещаться в одну сторону.

Вариант 3. Отношение масс автомобилей $\mu = \frac{m_1}{m_2} = 1 \rightarrow m_1 = m_2$.

Этот вариант реализуется, если будет выполнено условие $k = 1$, т.е. если в этом варианте соударяемые автомобили абсолютно упругие.

Случай 4. Первый автомобиль ударяет подвижный второй автомобиль, $v_1 > 0$ и $v_2 > 0$, после удара автомобили движутся в одну сторону.

Это случай догоняющего удара, при котором $v_1 > v_2$.

Отношение скоростей до удара обозначим через $\lambda = \frac{v_2}{v_1}$

Отсюда следует, что $v_2 = \lambda v_1, \lambda < 1$.

Скорости автомобилей после удара:

$$v'_{1x} = \frac{v_1}{\mu + 1} \{ \mu - k + (k+1)\lambda \} > 0, \quad v'_{2x} = \frac{v_1}{\mu + 1} \{ \mu(k+1) + (1 - \mu k)\lambda \} > 0. \quad (24)$$

Вариант 1. Отношение масс автомобилей $\mu = \frac{m_1}{m_2} < 1 \rightarrow m_1 < m_2$.

Из (24) следует система неравенств

$$\begin{cases} \mu - k + (1+k)\lambda > 0, \\ \mu(1+k) + (1 - \mu k)\lambda > 0. \end{cases} \quad (25)$$

Второе неравенство системы (25) выполняется для любого μ , действительно, его левая часть $\mu\{1+k(1-\lambda)\} + \lambda$ всегда положительна. Из первого неравенства следует условие на параметр μ , при выполнении

которого реализуется условие варианта 1, оно представляется в виде

$$1 > \mu > \{k - (1+k)\lambda\}. \quad (26)$$

Так как $\mu > 0$, то должно быть выполнено неравенство

$$k > \frac{\lambda}{1-\lambda}. \quad (27)$$

Учитывая, что $k < 1$ из (27) следует неравенство $\frac{\lambda}{1-\lambda} < 1$. Следовательно, для параметра λ в этом варианте должно быть выполнено условие $\lambda < \frac{1}{2}$.

С другой стороны, для варианта 1 $\mu < 1$. Тогда из (26) сразу же вытекает неравенство $k < \frac{1+\lambda}{1-\lambda}$. Следовательно, при заданном $\lambda < 0,5$ коэффициент восстановления при ударе выбирается из диапазона

$$\frac{\lambda}{1-\lambda} < k < \frac{1+\lambda}{1-\lambda}. \quad (28)$$

Чтобы выполнялся случай 4 варианта 1, ($\mu < 1$) фиксируем параметр $\lambda < 0,5$ и из (28) выбирает значение коэффициента восстановления при ударе k из диапазона (28). А затем из нера-

$$v'_{1x} = \frac{v_1}{2} \{1 - k + \lambda(1+k)\} > 0, v'_{2x} = \frac{v_1}{2} \{1 + k + \lambda(1-k)\} > 0.$$

Случай 5. Прямой центральный догоняющий удар. Анализируем возможность реализации условия $v'_1 < 0$ и $v'_2 > 0$.

Вариант 1. Отношение масс автомобилей $\mu = \frac{m_1}{m_2} < 1 \rightarrow m_1 < m_2$.

Для реализации этого случая необходимо выполнение неравенства $\mu - k + (k+1)\lambda < 0$.

Это означает, что

венства (26) задает параметр $\mu < 1$. Выбранные параметры записываем в (24) и вычисляем проекции послеударных скоростей соударяемых автомобилей.

Вариант 2. Отношение масс автомобилей $\mu = \frac{m_1}{m_2} > 1 \rightarrow m_1 > m_2$.

Из (24) следует

$$\begin{aligned} (\mu - k) + \lambda(1+k) &> 0, \\ \lambda + \mu\{1+k(1-\lambda)\} &> 0. \end{aligned} \quad (29)$$

Эти неравенства справедливы для любого $\mu > 1$ и $\lambda < 1$. Следовательно, условие положительности скоростей автомобилей после удара для варианта 2 выполняются при любых коэффициентах восстановления k .

Вариант 3. Отношение масс автомобилей $\mu = \frac{m_1}{m_2} = 1 \rightarrow m_1 = m_2$.

Из (29) следуют неравенства

$$(1-k) + \lambda(1+k) > 0, \quad \lambda + \{1+k(1-\lambda)\} > 0,$$

которые, очевидно, выполняются для любого коэффициента восстановления и любого коэффициента $\lambda < 1$. Для этого варианта скорости после удара равны

$0 < \mu < [k(1-\lambda) - \lambda] < 1$. Но условие $[k(1-\lambda) - \lambda] < 1$ выполняется, так как

$k < \frac{1+\lambda}{1-\lambda}$ для любых $\lambda < 1$. С другой стороны, условие $k(1-\lambda) - \lambda > 0$ эквивалентно $1 > k > \frac{\lambda}{1-\lambda}$. А из него следует

условие $\lambda < \frac{1}{2}$.

Для соотношения скоростей $\lambda < 0,5$ коэффициент восстановления при уда-

ре должен принадлежат диапазону $\left(\frac{\lambda}{1-\lambda}, 1\right)$ и, следовательно, при $0 < \mu < [k(1-\lambda) - \lambda] < 1$ реализуется вариант 1 случая 5.

Вариант 2. Отношение масс автомобилей $\mu = \frac{m_1}{m_2} > 1 \rightarrow m_1 > m_2$.

Этот вариант не реализуется, так как неравенство $\mu - k + (k+1)\lambda < 0$ не выполняется для любых $k, \lambda < 1$.

Вариант 3. Отношение масс автомобилей $\mu = \frac{m_1}{m_2} = 1 \rightarrow m_1 = m_2$.

В этом варианте неравенство $1 - k + (k+1)\lambda < 0$ не выполняется для любых $k, \lambda < 1$. Следовательно, вариант 3 также не реализуется.

Случай 6. Прямой центральный догоняющий удар. Анализируем возможность реализации условия $v'_1 = 0$ и $v'_2 > 0$, после удара первый автомобиль останавливается, а второй автомобиль, увеличив скорость, продолжает двигаться в прежнем направлении.

Вариант 1. Отношение масс автомобилей $\mu = \frac{m_1}{m_2} < 1 \rightarrow m_1 < m_2$.

Должно быть выполнено равенство $\mu - k + (k+1)\lambda = 0$ для $k, \lambda < 1$.

Во-первых, должно быть $\mu < k$.

Во-вторых, должно выполняться условие $0 < \mu = k - (1+k)\lambda < 1$.

Для этого необходимо выполнение неравенства $\lambda < \frac{k}{1+k} < 1$.

Вариант 2. Отношение масс автомобилей $\mu = \frac{m_1}{m_2} > 1 \rightarrow m_1 > m_2$.

Должно быть выполнено равен-

ство $\mu - k + (1+k)\lambda = 0$, но так как его левая часть положительна, то это равенство не выполняется, следовательно, вариант 2 не реализуется.

Вариант 3. Отношение масс автомобилей $\mu = \frac{m_1}{m_2} = 1 \rightarrow m_1 = m_2$.

Равенство $(1-k) + (1+k)\lambda = 0$ не выполняется для всех $0 < k, \lambda < 1$, поэтому этот вариант тоже не осуществится.

Случай 7. Прямой центральный встречный удар двух автомобилей. Изучим возможность выполнения случая $v'_1 > 0$ и $v'_2 > 0$.

Вариант 1. Отношение масс автомобилей $\mu = \frac{m_1}{m_2} < 1 \rightarrow m_1 < m_2$.

Таким образом, в этом варианте должны выполняться неравенства

$$v'_{1x} = \frac{v_1}{\mu+1} \{(\mu-k) - (1+k)\lambda\} > 0,$$

$$v'_{2x} = \frac{v_1}{\mu+1} \{\mu(1+k) - (1-\mu k)\lambda\} > 0.$$

Чтобы реализовались эти неравенства, необходимо, во-первых, выполнение условия $1 > \mu > k$, во-вторых, соблюдение соотношения между параметрами k и μ , в виде неравенства $k < \frac{1-\mu}{2\mu}$. Параметр λ также должен

удовлетворять особым условием. Оно вытекает из предполагаемых неравенств на скорости автомобилей после удара, т.е. из системы неравенств относительно параметра λ

$$\lambda < \frac{\mu-k}{1+k}, \quad \lambda < \frac{\mu(1+k)}{1-k\mu}.$$

Следовательно, отношение скоростей λ двух сталкиваемых в прямом ударе автомобилей должно удовлетворять условию

$$\lambda < \min \left[\frac{\mu - k}{1 + k}, \frac{\mu(1 + k)}{1 - k\mu} \right].$$

Вариант 2. Отношение масс автомобилей $\mu = \frac{m_1}{m_2} > 1 \rightarrow m_1 > m_2$.

$$\begin{cases} (\mu - k) > (1 + k)\lambda, \\ \mu(1 + k) > (1 - \mu k)\lambda. \end{cases} \quad (30)$$

Из первого неравенства системы (30) следует $\mu > k + (1 + k)\lambda > 1$, которое будет справедливо при выполнении неравенства

$$k > \frac{1 - \lambda}{1 + \lambda}. \quad (31)$$

Из второго неравенства системы (30) следует

$$\mu > 1 > \frac{\lambda}{1 + k(1 + \lambda)}, \quad (32)$$

справедливое для всех λ , $k < 1$.

Таким образом, чтобы реализовать случай 7 при $\mu > 1$ следует по заданному параметру λ указать значение k согласно (31) и выбрать соотношение масс $\mu > 1$, удовлетворяющее (32).

Вариант 3. Отношение масс автомобилей $\mu = \frac{m_1}{m_2} = 1 \rightarrow m_1 = m_2$.

В этом случае скорости тел после удара запишутся

$$\begin{aligned} v'_{1x} &= \frac{v_1}{2} \{ (1 - k) - (1 + k)\lambda \} > 0, \\ v'_{2x} &= \frac{v_1}{2} \{ (1 + k) - (1 - k)\lambda \} > 0. \end{aligned} \quad (33)$$

Чтобы выполнились эти неравенства необходимо, чтобы параметр λ удовлетворял неравенству $\lambda < \frac{1 - k}{1 + k} < 1$.

Случай 8. Прямой центральный встречный удар двух автомобилей. Изучим возможность выполнения случая $v'_1 > 0$ и $v'_2 = 0$.

Вариант 1. Отношение масс авто-

мобилей $\mu = \frac{m_1}{m_2} < 1 \rightarrow m_1 < m_2$.

В этом случае должны выполняться условия на скорости после удара

$$\begin{aligned} v'_{1x} &= \frac{v_1}{\mu + 1} \{ (\mu - k) - (1 + k)\lambda \} > 0, \\ v'_{2x} &= \frac{v_1}{\mu + 1} \{ \mu(1 + k) - (1 - \mu k)\lambda \} = 0. \end{aligned}$$

Или, что равносильно этим выражениям, должны быть выполнены следующие неравенства:

$$\begin{cases} (\mu - k) > (1 + k)\lambda, \\ \mu(1 + k) = (1 - \mu k)\lambda. \end{cases} \quad (34)$$

Из первого неравенства системы (34) следует $k < \mu < 1$. Кроме того, должно быть выполнено условие-неравенство $\lambda < \frac{\mu - k}{1 + k} < 1$. Из второго уравнения системы (34) следует $\lambda = \frac{\mu(1 + k)}{1 - \mu k} < 1$. Последнее выражение приведет к неравенству $\mu(1 + 2k) < 1$.

Следовательно, отношение масс должно удовлетворять двойному неравенству $k < \mu < \frac{1}{1 + 2k}$.

Но это неравенство не выполняется при любых $k \leq 1$. Вариант 1 случая 8 не осуществится.

Вариант 2. Отношение масс автомобилей $\mu = \frac{m_1}{m_2} > 1 \rightarrow m_1 > m_2$.

Должно быть выполнено неравенство $(\mu - k) > (1 + k)\lambda$. А оно может быть выполнено при $\mu > (1 + k)\lambda + k > 1$. Это неравенство приводит к условию, налагаемому на величину λ - отношение скоростей соударяемых автомобилей, т.е. должно быть выполнено $\frac{1 - k}{1 + k} < \lambda < 1$.

С другой стороны, должно быть выполнено равенство $\mu(1 + k) = (1 - \mu k)\lambda$.

Следовательно, отношение масс автомобилей должно быть равно

$$\mu = \frac{\lambda}{1+k(1+\lambda)}.$$

Но дробь $\frac{\lambda}{1+k(1+\lambda)}$ меньше единицы, а по условию варианта 2 $\mu > 1$. Получили явное противоречие, которое указывает на невозможность осуществления этого варианта удара автомобилей.

Вариант 3. Отношение масс автомобилей $\mu = \frac{m_1}{m_2} = 1 \rightarrow m_1 = m_2$.

Должны быть выполнены условия на проекции скоростей тел после удара

$$v'_{1x} = \frac{v_1}{2} \{ (1-k) - (1+k)\lambda \} > 0,$$

$$v'_{2x} = \frac{v_1}{2} \{ (1+k) - (1-k)\lambda \} = 0.$$

Рассмотрим выполнение равенства $1+k = (1-k)\lambda$. Из него следует, что $\lambda = \frac{k+1}{1-k} > 1$, но это противоречит условию на параметр λ , который меньше единицы. Следовательно, и этот вариант удара не реализуется.

$$\mu_1 - \mu_2 = \lambda + k(1+\lambda) - \frac{\lambda}{1+k(1+\lambda)} = \frac{k(1+k)(1+\lambda)^2}{1+k(1+\lambda)} > 0.$$

Значение параметра $\mu < 1$ одновременно не принадлежит отрезкам $(0, \mu_2)$ и $\mu > \mu_1$. Вариант 1 для случая 9 не осуществится.

Вариант 2. Отношение масс автомобилей $\mu = \frac{m_1}{m_2} > 1 \rightarrow m_1 > m_2$.

Из первого неравенства системы (35) следует

$$\mu > \lambda + (1+\lambda)k = \mu_1 > 1. \quad (37)$$

Это неравенство означает, что на

Случай 9. Прямой центральный встречный удар двух автомобилей. Изучим возможность выполнения случая $v'_1 > 0$ и $v'_2 < 0$.

Вариант 1. Отношение масс автомобилей $\mu = \frac{m_1}{m_2} < 1 \rightarrow m_1 < m_2$.

В этом варианте удара для $k < \mu < 1$ должны быть выполнены неравенства

$$\begin{cases} \mu - k - (1+k)\lambda > 0, \\ \mu(1+k) - (1-\mu k) < 0. \end{cases} \quad (35)$$

Из первого неравенства системы (35) следует первое условие на μ :

$$\mu > \lambda + (1+\lambda)k = \mu_1,$$

при этом $\mu_1 < 1 \rightarrow k < \frac{1-\lambda}{1+\lambda} < 1$.

Из второго неравенства системы (35) следует второе ограничение на μ :

$$k < \mu < \frac{\lambda}{1+k(1+\lambda)} = \mu_2. \quad (36)$$

Таким образом, для реализации варианта 1 случая 9 параметр μ должен лежать между μ_1 и μ_2 . Однако $\mu_1 > \mu_2$. Действительно, имеем

параметры $\lambda, k < 1$ наложено условие $1 > \lambda > \frac{1-k}{1+k}$.

С другой стороны, из второго неравенства (35) параметр μ удовлетворяет условию

$$\mu < \frac{\lambda}{1+k(1+\lambda)} = \mu_2 < 1. \quad (38)$$

Так как неравенства (37) и (38) противоречат друг другу, то это означает невыполнение варианта 2.

Вариант 3. Отношение масс автомобилей $\mu = \frac{m_1}{m_2} = 1 \rightarrow m_1 = m_2$.

При одинаковых массах соударяемых автомобилей, когда $\lambda < 1$ также не реализуется послеударное изменение скоростей. Действительно, из неравенств

$$\begin{cases} 1-k-(1+k)\lambda > 0, \\ 1+k-(1-k)\lambda < 0 \end{cases}$$

следуют несовместимые ограничения на параметр λ :

$$\lambda < \frac{1-k}{1+k} < 1 \text{ и } \lambda > \frac{1+k}{1-k} > 1.$$

Случай 10. Прямой центральный встречный удар двух автомобилей. Изучим возможность выполнения случая $v'_1 = 0$ и $v'_2 > 0$ или $v'_2 < 0$.

Вариант 1. Отношение масс автомобилей $\mu = \frac{m_1}{m_2} < 1 \rightarrow m_1 < m_2$.

Для реализации этого варианта необходимо выполнение условия $\mu = k + (1+k)\lambda < 1$, т.е. ограничения на параметр

$$\lambda < \frac{1-k}{1+k}. \quad (39)$$

Вариант 2. Отношение масс автомобилей $\mu = \frac{m_1}{m_2} > 1 \rightarrow m_1 > m_2$.

Проверим возможность выполнения $v'_1 = 0$. Для этого необходимо, чтобы выполнялось условие $\mu = k + (1+k)\lambda > 1$. Отсюда следует неравенство

$$\frac{1-k}{1+k} < \lambda < 1, \quad (40)$$

которое выполняется для всех $k < 1$.

Вариант 3. Отношение масс автомобилей $\mu = \frac{m_1}{m_2} = 1 \rightarrow m_1 = m_2$.

Должно быть выполнено равен-

ство $1-k = (1+k)\lambda$. Отсюда следует

$$\lambda = \frac{1-k}{1+k} < 1. \quad (41)$$

Для произвольного коэффициента восстановления $k < 1$ и параметра λ , удовлетворяющего (41), в случае одинаковых масс автомобилей при лобовом ударе реализуется случай 10.

Случай 11. Прямой центральный встречный удар двух автомобилей. Изучим возможность выполнения случая $v'_1 < 0$ и $v'_2 > 0$ или $v'_2 < 0$.

Вариант 1. Отношение масс автомобилей $\mu = \frac{m_1}{m_2} < 1 \rightarrow m_1 < m_2$.

Проверим на выполнение неравенство $\mu - k - (1+k)\lambda < 0$. Отсюда следует условие на коэффициент восстановления при ударе

$$k < \frac{1-\lambda}{1+\lambda} < 1. \quad (42)$$

Таким образом, при выполнении неравенства (42) после удара первый автомобиль отскочит от второго автомобиля.

Вариант 2. Отношение масс автомобилей $\mu = \frac{m_1}{m_2} > 1 \rightarrow m_1 > m_2$.

Для реализации этого варианта удара, необходимо выполнение неравенства

$$\frac{\mu-\lambda}{1+\lambda} < k < 1.$$

С другой стороны, должно быть выполнено неравенство $\frac{\mu-\lambda}{1+\lambda} < 1$.

Отсюда следует условие $\frac{\mu-1}{2} < \lambda < 1$.

Таким образом, должно выполняться условие на параметр μ : $1 < \mu < 3$.

Вариант 3. Отношение масс авто-

мобилей $\mu = \frac{m_1}{m_2} = 1 \rightarrow m_1 = m_2$.

В этом случае должно выполняться условие $(1-k) - (1+k)\lambda < 0$. Отсюда вытекает требование на параметр λ :

$$\lambda > \frac{1-k}{1+k}.$$

Таким образом, задавая параметр k , определяем область возможных значений параметра λ . Тогда для фиксированного значения параметра λ будут определены скорости после удара, реализующие данный случай удара.

Заключение

Методами элементарной теории удара выполнено математическое моделирование процесса столкновения двух автомобилей по модели прямого центрального удара для фаз – деформирования и восстановления форм за счет упругих свойств автомобилей. Выполнен анализ множества ситуационных вариантов послеударного движения автомобилей. Определены модули и направления скоростей автомобилей после удара в зависимости от соотношения масс автомобилей, отношения величин их скоростей и направлений.

Библиографический список

1. Рябчинский А.И., Иларионов В.А., Пчелин И.К., Кузнецов О.Г. Моделирование процесса наезда автомобиля на неподвижное препятствие // Полигонные испытания, исследование и совершенствование автомобилей: сб. науч. тр. НАМИ. - М., 1987. С. 45-46.
2. Лойцянский Л.Г., Лурье А.И. Курс теоретической механики. В 2 т. Т. 2. Динамика. - М.: Наука, 1983. - 640 с.
3. Бутенин Н.В., Лунц Я.Л., Меркин Д.Р. Курс теоретической механики. В 2 т. Т. 2. Динамика. - М.: Наука, 1985. - 496 с.
4. Пановко Я.Г. Введение в теорию механического удара. - М.: Наука, 1977. - 224 с.

References

1. Ryabchinskij A.I., Ilarionov V.A., Pchelin I.K., Kuznecov O.G. Modelirovanie pro-cessa naezda avtomobilya na nepodvizhnoe prepyatstvie // Poligonnye ispytaniya, issle-dovanie i sovershenstvovanie avtomobilej: sb. nauch. tr. NAMI. - M., 1987. S. 45-46.
2. Lojcyanskij L.G., Lur'e A.I. Kurs teoreticheskoy mekhaniki. V 2 t. T. 2. Dinamika. - M.: Nauka, 1983. - 640 s.
3. Butenin N.V., Lunc YA.L., Merkin D.R. Kurs teoreticheskoy mekhaniki. V 2 t. T. 2. Di-namika. - M.: Nauka, 1985. - 496 s.
4. Panovko YA.G. Vvedenie v teoriyu mekhanicheskogo udara. - M.: Nauka, 1977. - 224 s.

Статья поступила 15.06.2020 г.

© Э.К. Агаханов, Р.Э. Агаханова, 2020

Сведения об авторах List of Authors

Агаханов Э.К. – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автомобильных дорог, оснований и фундаментов Дагестанского государственного технического уни-

верситета.

Agakhanov E.K. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Motor Roads, Foundations and Foundations, Daghestan State Technical University.

Агаханова Р.Э. – аспирант кафедры организации и безопасности дорожного движения Дагестанского государственного технического университета.

Agakhanova R.E. – graduate student of the Department of Organization and Road Safety, Daghestan State Technical University.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭКСПЕРТИЗЫ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОГО ПРОИШЕСТВИЯ

Л.М.Султанова

Дагестанский государственный технический университет

Махачкала

lmsultanova1963@mail.ru

Аннотация. Разработан метод определения скорости движения транспортных средств при проведении экспертизы дорожно-транспортных происшествий путем считывания информации с электронного блока управления. Метод применим ко всем видам столкновения при наличии системы «черный ящик», установленной на автомобиле. Разработка и внедрение в экспертную практику данного метода позволяет повысить роль доказательности автотехнических исследований.

Abstract. A method has been developed to determine the speed of transport vehicles during the examination of traffic accidents by reading information from the electronic control unit. The method is applicable to all types of collision in the presence of a black box system installed on a car. The development and introduction of this method into expert practice makes it possible to increase the role of the provability of automotive research.

Ключевые слова: экспертиза дорожно-транспортных происшествий, транспортное средство, пассивная безопасность автомобиля, блок управления двигателем.

Keywords: road accident examination, vehicle, passive car safety, engine control unit.

Введение и постановка задачи

При расследовании и рассмотрении в судебном заседании уголовных дел, связанных с дорожно-транспортными происшествиями (ДТП), перед следователем (судом) возникает проблема с установление фактического механизма возникновения ДТП и параметров, ее характеризующих, в частности скорости движения транспортных средств (ТС) перед происшествием. Установленная

скорость движения ТС на момент ДТП в дальнейшем позволяет эксперту дать развернутую оценку действий водителя с решением вопросов о наличии или отсутствии у него технической возможности предотвратить возникновение этого ДТП, а также факта соблюдения водителем установленного скоростного режима на участке, где имело место автотехническое происшествие.

В судебной автотехнической экс-

пертизе для определения скоростей движения ТС существуют различные методики, основанные на определении ее в тех случаях, когда на проезжей части дороги зафиксированы следы движения ТС в виде следов торможения, скольжения, перемещения и т.д. и методы, учитывающие расходы кинетической энергии ТС на образование этих следов.

Сегодня автомобильный транспорт находится на практически новом уровне. Во-первых, автомобиль стал сложной мехатронной системой. Во-вторых, основным его содержанием является использование различных электронных и микропроцессорных устройств и приборов. Поэтому на современном этапе развития существует необходимость разработки и внедрения в экспертную практику новых методов определения скорости ТС (существующие методы сегодня устарели или научно необоснованные), устраняющих указанные недостатки и с достаточно высокой точностью позволяющих определить скорость движения транспортного средства в момент столкновения [1].

Метод исследования

Объектом исследования явилась пассивная безопасность автомобиля. Предметом исследования – электронная память этой системы, как своеобразный автомобильный «черный ящик». Эта информация может быть считана с блока управления двигателем (ЭБУ).

В связи с увеличением автомобильного парка, повышением мощности двигателей и возможной скорости движения транспортных средств, ужесточаются требования к пассивной безопасности в процессе проектирования и

производства транспортного средства заводом-изготовителем. Одним из средств повышения пассивной безопасности и уменьшения тяжести последствий, возникающих при ДТП, является установка на транспортное средство системы пассивной безопасности (Supplementary Restraint System, SRS).

Рассмотрим конструкцию системы пассивной безопасности на примере автомобиля Ауди-А4 (рисунок). Она включает в себя фронтальные и боковые подушки безопасности водителя /пассажира, боковые подушки безопасности задних пассажиров, подушки безопасности, которые расположены в стойках кузова автомобиля, трехточечные ремни с преднатягачем и ограничителем на передних сиденьях, трехточечные ремни на задних боковых сиденьях и датчики удара (2 датчика удара для фронтальных подушек безопасности, 2 – для боковых подушек безопасности впереди, водитель/пассажир, 2 – для боковых подушек безопасности сзади).

При столкновении или наезде на препятствие в одну из микросхем памяти записывается информация о столкновениях (Crashdata). В основу блока управления SRS положен микроконтроллер – специальная микросхема, имеющая свою постоянную память и способная выполнять заложенную в нее программу. Все микроконтроллеры, используемые в блоках SRS, снабжены Flash-памятью, в которой записываются данные о характере движения автомобиля и режимы работы двигателя в процессе его движения, а также при столкновении с другим ТС или наезде на препятствие.

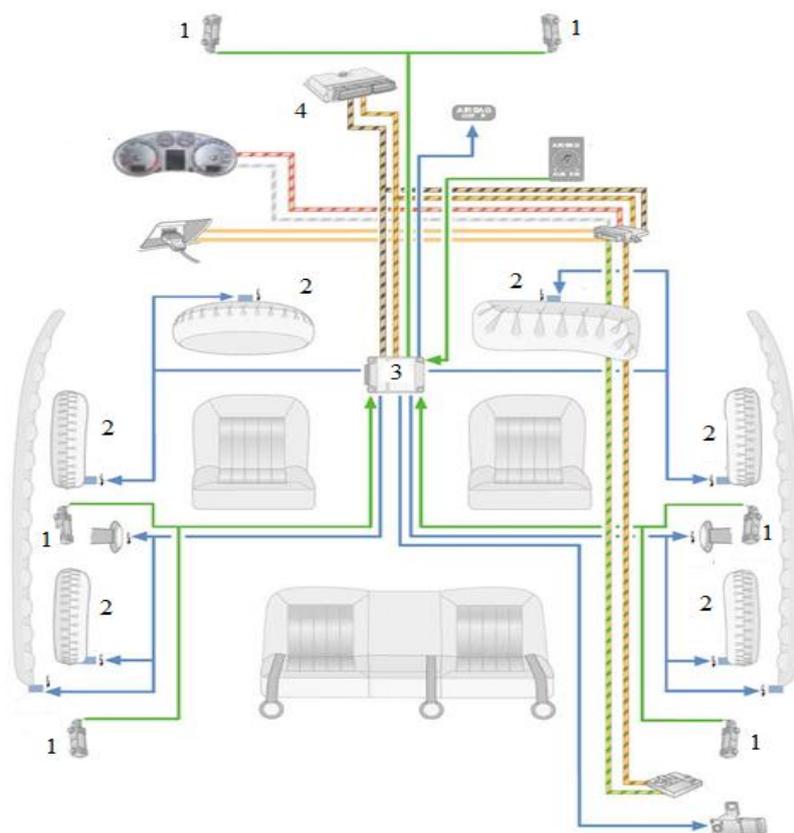


Рисунок – Устройство системы пассивной безопасности автомобиля
 1 – датчики удара; 2 – подушки безопасности; 3 – электронный блок управления двигателем;
 4 – электронный блок управления подушками безопасности

Такая информация в электронном блоке управления двигателем фиксируется в момент дорожно-транспортного происшествия в результате срабатывания датчиков ударов, которые являются компонентами системы пассивной безопасности.

Информация с ЭБУ или любой автомобильной системы типа «черный ящик» о характере движения автомобиля может быть «прочитана» с помощью подключения специального прибора – сканера непосредственно к автомобилю через соответствующее вычитание, обеспечивающее обмен диагностической информацией с электронным блоком (блоками) управления автомобилем (ЭБУ, контроллером) с целью диагностики электронных систем и определения указанных параметров в момент ДТП (скорости движения, оборотов двигателя, процента открытия дроссель-

ной заслонки и т. д.). Эта задача также может быть решена путем извлечения электронного блока управления из ТС и его подключение к персональному компьютеру с помощью соответствующего разъема и наличия специального программного обеспечения [2].

Заключение

На основании проведенных исследований, можно сделать вывод, что применение приведенного выше метода определения скорости ТС в момент ДТП возможно по всем видам столкновения при условии наличия установленной на автомобиле системы типа «черный ящик». Необходимо также отметить, что дальнейшее изучение, разработка и внедрение в экспертную практику данного метода определения скорости движения ТС на момент ДТП повысит роль доказательности авто-

технических исследований.

Применение метода имеет ограничения. Например, при отсутствии подушек безопасности у автомобиля, а также когда на автомобиле установлена система пас-

сивной безопасности SRS без функции записи информации о характере движения автомобиля в момент срабатывания подушек безопасности.

Библиографический список

1. Евтюков С.С. Оценка скорости транспортных средств при проведении дорожно-транспортных экспертиз: дисс. ... канд. техн. наук. – С-Пб, 2014. – 173 с.
2. Степина П.А. Разработка методики совершенствования автотехнической экспертизы дорожно-транспортных происшествий: дисс. ... канд. техн. наук. - СПб, 2010. – 168 с.
3. Никонов В. Н. Классификация методов реконструкции обстоятельств ДТП, применяемых в мировой практике, и их допустимость в качестве доказательства в суде // Реконструкция обстоятельств дорожно-транспортного происшествия при проведении судебных экспертиз. Правовые и методические вопросы судебной экспертизы: матер. всеросс. конф. Уфа, 24-25 апреля 2008 г. <https://cneat.ru/ufa2008-0.html>.
4. Евтюков С.А., Васильев Я.В. Экспертиза ДТП: методы и технологии. - СПб.: Изд. СПбГАСУ, 2012. – 310 с.
5. Столяров В.В. Теория риска в судебно-технической экспертизе дорожно-транспортных происшествий (+АБС): монография. – Саратов: Изд. дом «МарК», 2010. – 412 с.

References

1. Evtjukov S.S. Ocenka skorosti transportnyh sredstv pri provedenii dorozhno-transportnyh ekspertiz: diss. ... kand. tekhn. nauk. – S-Pb, 2014. – 173 s.
2. Stepina P.A. Razrabotka metodiki sovershenstvovaniya avtotekhnicheskoy ekspertizy dorozhno-transportnyh proisshествий: diss. ... kand. tekhn. nauk. - SPb, 2010. – 168 s.
3. Nikonov V. N. Klassifikaciya metodov rekonstrukcii obstoyatel'stv DTP, primenyaemyh v mirovoj praktike, i ih dopustimost' v kachestve dokazatel'stva v sude // Rekonstrukciya obstoyatel'stv dorozhno-transportnogo proisshествiya pri provedenii sudebnyh ekspertiz. Pravovye i metodicheskie voprosy sudebnoj ekspertizy: mater. vseross. konf. Ufa, 24-25 aprelya 2008 g. <https://cneat.ru/ufa2008-0.html>.
4. Evtjukov S.A., Vasil'ev YA.V. Ekspertiza DTP: metody i tekhnologii. - SPb.: Izd. SPbGASU, 2012. – 310 s.
5. Stolyarov V.V. Teoriya riska v sudebno-tekhnicheskoy ekspertize dorozhno-transportnyh proisshествий (+ABS): monografiya. – Saratov: Izd. dom «MarK», 2010. – 412 s.

Статья поступила 15.06.2020 г.

© Л.М. Султанова, 2020

Сведения об авторе

List of Author

Султанова Л.М. – к.т.н., старший преподаватель кафедры организации и безопасности движения Дагестанского государственного технического университета.

Sultanova L.M. – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Organization and Traffic Safety, Daghestan State Technical University.

Правила оформления и представления статей

1. Статья, направляемая в редакцию журнала «Научные исследования: итоги и перспективы», должна быть тщательно отредактирована и представлена в электронном виде в формате текстового редактора «MS Word 2007» (параметры страницы – А4; поля – 2,0 см; ориентация книжная; шрифт Times New Roman, высота 12; межстрочный интервал – 1,0). Текст статьи представляют в редакцию по электронной почте: naukajournal@mail.ru.

2. Статья должна содержать краткий обзор проблемы, из которого следует постановка задачи, обосновывать актуальность темы, отражать теоретические и (или) экспериментальные результаты и содержать выводы, свидетельствующие о новизне полученных результатов. Текст статьи должен быть четко структурирован и иметь подзаголовки: введение, теоретические и (или) экспериментальные исследования, заключение, список литературы.

3. В начале статьи в левом верхнем углу ставится индекс УДК. Далее на первой странице данные идут в такой последовательности: – инициалы и фамилии авторов, – полное название статьи (шрифт жирный, буквы прописные), – краткая (5-7 строк) аннотация (курсив), – ключевые слова (5-7 слов). Далее авторы, название статьи, аннотация и ключевые слова повторяются на английском языке. Затем идет текст самой статьи и библиографический список. Статья завершается сведениями об авторах: ф.и.о. (полностью), ученая степень, ученое звание, место работы (полностью), должность, контактные телефоны. Сведения об авторах также повторяются на английском языке. Количество авторов рекомендуется не более пяти.

4. Объем статьи не должен превышать 10 страниц текста, содержать не более 5 рисунков или фотографий. Иллюстрации (рисунки, графики) должны быть расположены в тексте статьи и выполнены в одном из графических редакторов (формат tif, pcc, jpg, pcd, msp, dib, cdr, cgm, eps, wmf). Допускается также создание и представление графиков при помощи табличных процессоров Excel, Quattro Pro, MS Graph. Каждый рисунок должен иметь номер и подпись. Рисунки и фотографии должны иметь контрастное изображение. Таблицы располагаются непосредственно в тексте статьи. Каждая таблица должна иметь номер и заголовки.

5. Формулы и буквенные обозначения величин должны быть набраны во встроенном редакторе формул. Каждая формула, на которую есть ссылка в статье, должна иметь номер, расположенный у правой границы поля страницы.

6. Размерность всех величин, принятых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц измерений (СИ). Не следует употреблять сокращенных слов, кроме общепринятых (т.е., и т.д., и т.п.). Допускается введение предварительно расшифрованных сокращений.

7. Библиографический список должен быть оформлен по ГОСТ 7.0.5-2008 и включать: фамилию и инициалы автора, название статьи, название журнала, том, год, номер или выпуск, страницы, а для книг – фамилии и инициалы авторов, точное название книги, место издания (город), издательство, год издания, количество страниц. Нумерация источников указывается в порядке упоминания в тексте.

8. При необходимости к статье прилагаются заключение о возможности открытого опубликования и экспертное заключение комиссии по экспортному контролю.

9. Все статьи проходят проверку на оригинальность.

10. Статья рецензируется ведущим учёным в данной области, как правило, доктором наук.

11. Электронная версия опубликованной статьи размещается в системе РИНЦ.

12. Редакция оставляет за собой право производить редакционные изменения, не искажающие основное содержание статьи.

13. Статьи, не отвечающие перечисленным требованиям, к рассмотрению не принимаются. Датой поступления статьи считается день получения редакцией окончательного текста. В случае отказа в публикации статьи редакция направляет автору мотивированный отказ.

14. Статьи публикуются бесплатно.

«Научные исследования; итоги и перспективы» – рецензируемый научно-технический журнал, публикующий статьи по следующим научным направлениям и специальностям:

05.12.00 – Радиотехника и связь.

05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии. 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций. 05.12.14 – Радиолокация и радионавигация.

05.02.00 – Машиностроение и машиноведение

05.02.02 – Машиноведение системы приводов и детали машин. 05.02.04 – Трение и износ в машинах. 05.02.08 – Технология машиностроения.

05.27.00 – Электроника.

05.27.01 – Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах.

05.22.00 – Транспорт.

05.22.01 – Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте. 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта.

25.00.00 – Науки о Земле.

25.00.17 – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.

25.00.19 – Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ.

25.00.35 – Геоинформатика.

05.18.00 – Технология продовольственных продуктов.

05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов плодоовощной продукции и виноградарства.

05.18.06 – Технология жиров, эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов. 05.18.07 – Биотехнология пищевых продуктов и биологических активных веществ. 05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых производств.

05.18.15 – Технология и товароведение пищевых продуктов и функционального и специализированного назначения и общественного питания.

05.23.00 – Строительство.

05.23.21 – Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности. 05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения. 05.23.07 – Гидротехническое строительство. 05.23.16 – Гидравлика и инженерная гидрология.

05.17.00 – Химическая технология.

05.17.01 – Технология неорганических веществ. 05.17.04 – Технология органических веществ. 05.17.06 – Технология и переработка полимеров и композитов.

05.17.07 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

**НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ:
итоги и перспективы
2020 № 2 (Том 1)**

**SCIENTIFIC RESEARCHES:
results and prospects
2020 № 2 (Vol.1)**

Ответственный за выпуск – Ирзаев Г.Х.
Компьютерная верстка – Алиева П.А.
Дизайн обложки – Тагиев М.Х.

Подписано в печать 18.06.2020 г. Дата выхода в свет 28.06.2020 г.
Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 9,01. Уч.-изд. л. 4,09. Тираж 500. Заказ № 761

Электронная версия журнала
«Научные исследования: итоги и перспективы»
размещена на сайте www.dstu.ru

Учредитель/редакция/издатель
Дагестанский государственный технический университет
Адрес: 367026, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70.
Тел. +7 (8722) 62 37 15
E-mail: naukajournal@mail.ru

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии ИП Тагиева Р.Х.
г. Махачкала, ул. Батырая, 149. Тел.: 8 928 048 10 45

“ ф о р м а т ”
