

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Монография

В трех томах

Под общей редакцией
Э.Ю. Абдуллазянова, Э.В. Шамсутдинова

КАЗАНЬ 2018

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ
И ОБОРУДОВАНИЕ В ЭНЕРГЕТИКЕ

В трех томах

Том II

ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Монография

*Под общей редакцией
Э.Ю. Абдуллазянова, Э.В. Шамсутдинова*

Казань 2018

УДК 620.9
ББК 31
Н76

Рецензенты:

А.А. Калачев, д-р физ.-мат. наук, проф. РАН (КФТИ им. Е.К. Завойского КазНЦ РАН);
А.А. Карасик, д-р хим. наук, проф. (ИОФХ им. Арбузова ФИЦ КазНЦ РАН);
А.А. Лопатин, канд. техн. наук, доц.
(Институт авиации, наземного транспорта и энергетики КНИТУ-КАИ)

Н76 Новые технологии, материалы и оборудование в энергетике. В 3 т.
Т. II. Инновационные решения и новые материалы: монография / под общ. ред.
Э.Ю. Абдуллазянова, Э.В. Шамсутдинова. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018. –
422 с.

ISBN 978-5-89873-534-0 (т. 2)

ISBN 978-5-89873-532-6

В коллективной монографии «Новые технологии, материалы и оборудование в энергетике», посвященной 50-летию юбилею Казанского государственного энергетического университета, представлены результаты научных разработок, касающихся создания и использования новых технологий и оборудования в энергетике, а также рассмотрены вопросы совершенствования и применения в энергетической отрасли материалов с улучшенными эксплуатационными и экологическими характеристиками. Наряду с оригинальными разработками преподавателей КГЭУ в монографии представлены работы ряда ведущих отечественных и иностранных ученых.

Второй том монографии посвящен вопросам создания новых материалов для традиционной и возобновляемой энергетики, создания и использования инновационных решений и технологий при генерации, транспортировке и распределении тепловой и электрической энергии, а также эксплуатации теплообменного и иного оборудования на промышленных объектах.

Монография предназначена студентам старших курсов, магистрантам, аспирантам, научно-педагогическим работникам, а также работникам топливно-энергетического комплекса.

УДК 620.9

ББК 31

Авторы: С.Я. Алибеков, Н.К. Андреев, Е.П. Афанасьев, Г.Р. Ахметвалиева, Р.Т. Ахметгаряев, Н.У. Брукс, А.Н. Гавриленко, В.А. Геворкян, П.П. Гладышев, М.П. Горячев, М.Р. Джебрил, Ф.Ф. Динмухаметов, В.А. Довыденков, И.Р. Додов, Д.В. Ермолаев, А.Н. Закиров, Э.Р. Зверева, О.С. Зуева, Д.А. Иванов, В.Р. Иванова, В.К. Ильин, О.В. Ильин, И.С. Ислентьев, В.И. Капаев, О.В. Козелков, Б.В. Корзун, А.Г. Лаптев, Е.А. Лаптева, Т.В. Лопухова, А.О. Макарова, С.М. Маргулис, В.Л. Магухин, А. Мойя-Полл, Ю.К. Монгуш, А.М. Моржухин, С.В. Моржухина, Н.И. Москаленко, Н.С. Мочалов, Ф.Ф. Муллин, Р.Г. Назмитдинов, Н.В. Роженцова, О.С. Сироткин, Р.О. Сироткин, В.Р. Соболев, А.В. Танеева, А.Е. Усачев, Т.М. Фарахов, Р.В. Хабибуллина, А.И. Хайбуллина, М.С. Хамидуллина, Е.В. Шмидт, Д.М. Юдицкий, М.В. Ярмольк

ISBN 978-5-89873-534-0 (т. 2)

ISBN 978-5-89873-532-6

© Авторы, 2018

© Казанский государственный
энергетический университет, 2018

НОВЫЕ СОРБЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ХРОМАТОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

А.В. Танеева

Введение

Хроматография занимает ведущее место среди инструментальных методов контроля производственных процессов, на долю которого приходится более 60 % всех анализов в мире органических и неорганических смесей. Основное преимущество хроматографических методов анализа заключается в высокой селективности разделения сложных смесей веществ, экспрессности и низкой погрешности определения, особенно примесных соединений, в объектах окружающей среды и различных технологических процессах.

Основным функциональным элементом современной хроматографии является насадочная, капиллярная или поликапиллярная колонка. Как правило, насадочная хроматографическая колонка заполняется сорбентом, от природы которого зависит последовательность выхода компонентов и в конечном итоге качество разделения. В настоящее время коммерчески доступными является большой ассортимент сорбционных материалов, многие из которых имеют близкие селективные характеристики с известными аналогами. Поэтому введение в практику хроматографического анализа новых сорбентов может быть оправданным в случае наличия у них каких-то оригинальных характеристик, позволяющих расширить их область применения в сторону повышения селективного разделения и уменьшения погрешности количественной интерпретации хроматографических данных.

Хроматографические методы контроля энергетических объектов

В настоящее время хроматографические методы контроля широко применяются в энергетической отрасли промышленности для диагностики маслonaполненного электрооборудования по анализу растворенных газов, антиокислительных присадок фурановых соединений, полихлорированных бифенилов, влаги и других ингредиентов.

Газовая хроматография используется для оптимизации процесса горения газообразного и жидкого топлива в энергетических системах. Она позволяет в процессе однократного ввода пробы получать качественную и количественную информацию об индивидуальном и групповом составе продуктов горения. Достоинствами этого метода

являются высокая чувствительность, селективность, экспрессность, возможность анализировать соединения с молекулярными массами от 2 до 1500 при температурах от -150 до 500°C [1].

Иногда для полного анализа продуктов горения газообразного топлива используют два или три хроматографических детектора или применяют колонки с различными по селективности сорбентами. Так, например, для определения диоксида углерода молекулярные сита в качестве сорбционных материалов нельзя использовать, так как они его необратимо сорбируют. В то же время молекулярные сита хорошо разделяют кислород и азот, что трудно достичь на других сорбентах.

Газовая хроматография широко применяется также для определения влажности газовых сред, контроля водно-химических режимов ТЭЦ, а также технологических процессов, протекающих в электрооборудовании предприятий.

Ионная хроматография используется для контроля качества сырой питательной воды и обессоливающих установок, анализа продувочной воды парогенераторов, контроля химической чистоты реагентов для водоподготовки, анализа ископаемого топлива, определения серы, контроля неорганических газовых выбросов, анализа сточных и грунтовых вод, в ядерной энергетике для контроля радиоактивных выбросов, анализа воды первого и второго контуров, контроля степени коррозии подземных кабелей. Ионную хроматографию применяют для диагностики неисправностей энергетического оборудования. Например, можно обнаружить, идентифицировать и провести количественное определение множества ионов, в том числе и следовых количеств. Метод ионной хроматографии позволяет при однократном вводе пробы получить информацию о составе многокомпонентных смесей и их количественном содержании.

При загрязненной воде и примеси в паре производят анализ следовых количеств коррозионно-активных компонентов, которые могут привести к авариям на турбогенераторах. В данных условиях анализируют хлориды, сульфаты, ионы натрия, тяжелые металлы и низкомолекулярные органические кислоты на уровнях концентрации порядка мкг/л и нг/л [2–3].

Новые сорбционные материалы для газовой хроматографии на основе фосфорорганических соединений

Известно, что сорбционные свойства фосфорорганических соединений определяются структурой их молекул. В первую очередь эти свойства зависят от природы заместителей у атома фосфора и их пространственного расположения. Фосфорорганические сорбенты доста-

соединений. Чаще всего в практике используют фосфаты, поскольку они достаточно распространены в промышленном производстве, однако они не удовлетворяют высоким требованиям, предъявляемым к газохроматографическим сорбентам. Фосфаты в большинстве случаев содержат трудноудаляемые примеси, обладают невысокой термоустойчивостью и недостаточно селективностью при разделении органических соединений [4–5].

Как правило, селективность хроматографического разделения компонентов оценивают на основе констант Роршнайдера и Мак-Рейнольдса, которые рассчитываются из разности между индексами удерживания стандартных сорбатов на колонке с исследуемым сорбентом и неполярным скваланом. Для этой оценки Роршнайдер применял 5 электронодонорных сорбатов, а Мак-Рейнольдс – 10 веществ, отображающий определенный тип межмолекулярного взаимодействия.

В табл. 2.12 приведены значения констант Роршнайдера и Мак-Рейнольдса для трикрезилфосфата в сравнении с наиболее распространенными сорбентами, широко применяемыми для анализа органических веществ [6].

Из таблицы видно, что трикрезилфосфат относится к сорбентам умеренной полярности и является слабым донором электронов за счет наличия неподеленной электронной пары фосфатного кислорода. По своим селективным характеристикам трикрезилфосфат не имеет каких-либо преимуществ перед наиболее распространенными сорбентами, однако он достаточно широко применяется для разделения алифатических углеводородов, кетонов, сложных эфиров, кислород- и галогенсодержащих веществ.

Фосфорорганические сорбенты могут образовывать с донорами протонов водородные связи, в результате чего повышается время удерживания полярных сорбатов.

Изомерные фенолы были разделены на трис-(2,4-ксилинил) фосфате [7], для которого установлено, что его повышенная разделительная способность связана с тонкими пространственными эффектами, которые обуславливают различный характер сольватации разделяемых органических веществ с молекулами сорбента.

Трикрезилфосфат применяли для разделения ксилолов, изопропилбензола, этилбензола, монотерпенов и родственных им соединений, сложной смеси, содержащей ацетилен, винилхлорид, хлор, хлористый водород, транс-, цис- ди-хлорэтилены, трихлорэтан, альдегидов, кетонов, спиртов и алкилдиолов [5].

Таблица 2.12

Константы Роршайдера и Мак-Рейнольдса для неподвижных жидких фаз, выпускаемых промышленностью

Неподвижная фаза	Константы Роршайдера (100 °С)					Константы Мак-Рейнольдса (125 °С)				
	Бензол	Этанол	Метилэтилкетон	Нитрометан	Пиридин	Бензол	Бутанол	Пентанон-2	Нитропропан	Пиридин
	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	<i>u</i>	<i>s</i>	<i>x'</i>	<i>y'</i>	<i>z'</i>	<i>u'</i>	<i>s'</i>
Апизон-L	0,32	0,39	0,25	0,48	0,55	38	36	27	49	57
Диоцилфталат	0,84	1,76	1,48	2,70	1,53	83	183	147	231	159
Полиэтиленгликоль-4000	3,22	5,46	3,86	7,15	5,17	325	551	375	582	520
Силиконовое масло GF-I	1,09	1,86	3,00	3,94	2,41	144	233	355	463	305
Тримерная кислота	0,89	2,73	1,64	2,06	3,68	94	271	163	182	378
Трикрезилфосфат	1,74	3,22	2,58	4,14	2,95	176	321	250	374	299
Этиленгликольизофталат	3,00	4,76	4,10	6,51	5,17	—	—	—	—	—

В дальнейшем были найдены другие классы фосфорорганических фосфорорганических соединений, на основе которых приготавливались сорбенты, обладающие более высокой гидроксильной селективностью по сравнению с отечественными и зарубежными аналогами [8]. Установлен механизм разделения с использованием таких сорбентов и найдены закономерности, связывающие селективные характеристики фосфорорганических сорбентов с их физико-химическими свойствами [9].

Новые сорбционные материалы для газовой хроматографии на основе арсенированных производных

Арсенильные соединения типа P_3AsO могут образовывать водородную связь за счет электронодонорных свойств арсенильного кислорода. Однако по сравнению с фосфорорганическими соединениями исследовано только небольшое количество производных мышьяка.

В случае комплексообразования сульфидов третичных арсинов с йодом и трифторуксусной кислотой установлена линейная зависимость между энтальпией и суммой констант заместителей Тафта и показано, что на электронодонорную способность арсенильной группы определяющее влияние оказывает индукционный эффект заместителя.

Рассматривая мышьякорганические соединения по классам, можно отметить, что более высокие значения хроматографических факторов полярности характерны для оксидов третичных арсинов [10].

Производные трех координированного атома мышьяка (третичные арсины) характеризуются более низкими значениями хроматографических факторов полярности. Однако они могут вступать также в относительно сильные межмолекулярные взаимодействия [11].

Показано, что третичные арсины являются достаточно сильными донорами электронов. Наиболее сильное взаимодействие третичных арсинов проявляется с этанолом, что свидетельствует об их способности к образованию достаточно прочных водородных связей.

Более прочные связи характерны для замещенных арсинов, содержащих карбоксигруппы в параположении. Следует отметить, что замена алкильных радикалов на арильные в ряду: $(4-XC_6H_4)_{3-n}(C_2H_5)_nAs$ не приводит к заметному изменению протон-акцепторных свойств исследуемых соединений, хотя с увеличением числа ароматических радикалов в молекуле наблюдается незначительное ослабление донорных свойств центрального атома.

Особенное внимание привлекают величины хроматографических факторов полярности для третичных асинов, содержащих карбоксигруппу в пара-положении бензольного кольца. Существенное возрастание величин хроматографических факторов полярности для этих соединений позволяет предположить возможную смену реакционного центра. На основе литературных данных, приведенных в работе [12], установлено, что в случае наличия полярных групп в молекуле, таких как гидроксильные или амино- группы, происходит взаимодействие последних с активными центрами поверхности твердого носителя за счет образования достаточно прочных водородных связей. Возможная «сшивка» замещенных асинов по гидроксильной группе карбокси- заместителя, очевидно, будет способствовать взаимодействию сорбатов по новому сорбционному центру, так как уменьшается вероятность образования внутримолекулярных водородных связей и тем самым ухудшаются условия координации по кислороду карбоксильной группы. Это также подтверждается более высокой степенью симметрии хроматографических пиков полярных сорбатов вследствие дезактивации активных центров поверхности твердого носителя [13].

Оксиды третичных асинов характеризуются более высокими значениями хроматографических факторов полярности за счет наличия в структуре их молекулы атома кислорода с неподеленной электронной парой. Как и следовало ожидать, практически все исследованные оксиды третичных асинов характеризуются высокими значениями хроматографических факторов полярности по этанолу и метилэтилкетону. Наиболее сильные межмолекулярные связи из всех рассмотренных соединений пентавалентного мышьяка с этанолом образуют сорбенты, полученные на основе $(C_2H_5)_2C_2H_5AsO$, $4-CH_3C_6H_4(C_3H_7)_2AsO$, $4-CH_3OC_6H_4(C_2H_5)_2AsO$, для которых величины хроматографических факторов полярности (γ) равны 8,65; 8,06 и 8,69, соответственно. Характер заместителей при атоме мышьяка оказывает заметное влияние на распределение электронной плотности в связи $As---O$, определяющей электронодонорную способность данного ряда соединений. Сопоставление величин хроматографических факторов полярности показывает, что замена этильных радикалов на арильные, проявляющие акцепторные свойства, в целом понижает протонноакцепторные свойства оксидов третичных асинов. В среднем, значения (γ) для диалкильных производных равны 6–7, диарильных – 5, триарильных – 3 [14].

Следует отметить сложность механизма влияния заместителя в бензольном кольце на хроматографические свойства арсенированных сорбентов. Введение в пара-положение бензольного кольца заместителей различной природы как акцепторов, так и доноров электронов, фактически не влияет на электронодонорные свойства оксидов третичных асинов.

Интересен факт влияния положения заместителя в бензольном кольце на сорбционную способность оксидов третичных асинов. Введение карбокси группы в мета-положение бензольного кольца существенно снижает протонакцепторные свойства соответствующего оксида, что можно объяснить лучшими условиями (стерический фактор) для образования внутримолекулярной водородной связи, способствующей ослаблению энергии межмолекулярного взаимодействия со стандартными сорбатами.

Аналогичная зависимость наблюдается при наличии заместителя в орто-положении бензольного кольца для триарильных производных $(2\text{-CH}_3\text{C}_6\text{H}_4)_3\text{AsO}$. Причиной этому могут служить пространственные препятствия, создаваемые орто-заместителем для подхода анализируемого вещества к сорбционному центру молекулы оксида третичного асиона, что согласуется с литературными данными [15].

Новые сорбционные материалы для газовой хроматографии на основе жидких кристаллов и краун-эфиров

Интерес в жидких кристаллах в хроматографии обусловлен возможностью их использования в качестве селективных сорбентов для анализа структурных изомеров и близкипящих веществ, разделение которых на обычных изотропных жидкостях затруднено или неосуществимо.

Общезвестно, что жидкие кристаллы достаточно перспективны в качестве сорбентов для газовой хроматографии с регулируемой селективностью при использовании их различных агрегатных состояний: твердого, жидкокристаллического (мезоморфного) и жидкого (неотропного). Обычно хроматографическое разделение веществ проводится за счет растворения их в пленке жидкого кристалла, нанесенного на твердый инертный носитель, который практически не изменяет физико-химических свойств последнего.

При этом большое значение имеют изомер-селективные сорбенты, в частности графитированная термическая сажа с нанесением на нее термотропного жидкого кристалла [16].

Графитированная термическая сажа получается нагреванием сажи в атмосфере инертного газа при температуре 3000 °С. В результате такой термообработки удаляются все летучие примеси, происходит перекристаллизация углерода в кристаллы полиэдрической формы и поверхность становится почти свободной от ненасыщенных связей, электронных пар, свободных радикалов и ионов, что приводит к улучшению симметрии хроматографических пиков на хроматограмме.

Графитированная термическая сажа относится к неполярным адсорбентам, она нечувствительна к полярности сорбата, однако может по-разному адсорбировать пространственные изомеры. С целью улучшения сорбционных характеристик графитированную сажу модифицировали жидкими кристаллами путем нанесения монослоев высококипящих органических веществ. В результате такой модификации изменяется не только поверхность адсорбента, но и повышается механическая прочность его гранул [17, 18].

Также была рассмотрена адсорбция изомерных ксилолов из газовой фазы на графитированной термической саже, модифицированной монослоями нематического и холестерического жидкого кристалла, а также селективность полученных адсорбентов к разделению изомеров ксилола в широком интервале температур [19, 20].

Орто- и пара- изомеры ксилола не разделяются на колонке с чистой графитированной термической сажой. Показано, что в распределительной газо-жидкостной хроматографии с жидкокристаллическими неподвижными фазами изомеры ксилола выходят из колонки в последовательности: мета- → пара- → орто-, то есть сильнее всего удерживается орто-ксилол, причем наиболее трудно разделяемой парой является смесь мета- и пара-ксилолов, так как эти изомеры обладают практически одинаковыми значениями давления насыщенного пара при температурах проведения газохроматографического анализа. Более длительное удерживание *n*-ксилола обусловлено лучшей корреляцией более анизометричных молекул пара-изомера, по сравнению с молекулами мета-изомера, с упорядоченной жидкокристаллической структурой сорбента. Это подтверждают и молекулярно-статистические расчеты объемных свойств систем «ксилолы – жидкие кристаллы» [21].

В качестве объектов исследования были выбраны графитированная термическая сажа марки ЕСІ МТ№990 ($S = 8,78 \text{ м}^2/\text{г}$) и дискотические жидкие кристаллы – 2, 3, 6, 7, 10, 11-гексациклогексанбензоат трифенилена (ГЦГБТ) и 2, 3, 6, 7, 10, 11-гекса (4-*n*-октил-оксибензоилокси)трифенилен (ГООБТ). Структурные формулы изучаемых дискотических жидких кристаллов представлены на рис. 2.33.

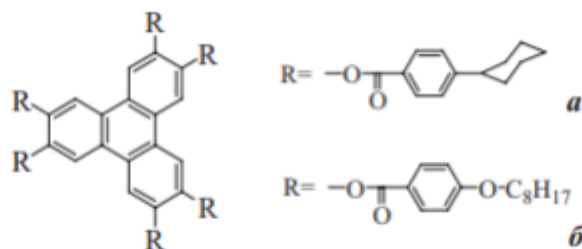


Рис.2.33 . Структурная формула дискотических жидко-кристаллических модификаторов поверхности графитированной термической сажи: 2,3,6,7,10,11-гексациклогексанбензоат трифенилена, ГЦГБТ (*a*) и 2,3,6,7,10,11-гекса (4-н-октилоксибензоилокси)трифенилен, ГООБТ (*б*)

Сопоставление термодинамических характеристик адсорбции изомерных ксилолов показало, что графитированная термическая сажа ЕСІ МТ № 990, модифицированная дискотическими веществами 2, 3, 6, 7, 10, 11-гексациклогексанбензоат трифенилена и 2, 3, 6, 7, 10, 11-гекса (4-н-октилоксибензоилокси)трифенилен, позволяя разделить орто- и пара-ксилолы, не обладает выраженной селективностью по отношению к мета- и пара-изомерам. Более полярный орто-ксилол ($\mu = 0,56D$) элюируется из колонки с модифицированной графитированной термической сажей несколько позже смеси мета- и пара-изомеров ($\mu = 0,40D$ и $\mu = 0,00D$ соответственно).

Таким образом, характер адсорбции исследованных углеводородов на графитированной термической саже ЕСІ МТ № 990, модифицированной мономолекулярным слоем дискотических жидких кристаллов на основе трифенилена, в значительной степени определяется не только толщиной монослоя модификатора, но и его природой и упорядоченностью слоя на поверхности подложки. При этом поведение адсорбированных веществ в поле модифицированного сорбента зависит от химической природы периферийных радикалов молекулы дискотического жидкого кристалла и возможности взаимопроникновения боковых радикалов соседних молекул [22].

В том случае, если мономолекулярный слой дискотического жидкого кристалла на подложке из графита образован молекулами с достаточно длинными боковыми радикалами, то в зависимости от длины периферийной цепи можно ожидать разный тип их упорядочения. В частности, у производных трифенилена с 8–12 атомами углерода в боковой алкоксильной цепи каждые два боковых радикала

ориентируются параллельно друг другу, а угол между соседними двойными цепями составляет примерно 120° . Можно предположить, что плотный монослой таких дискотических молекул на графитированной саже имеет двумерную трансляционную периодичность [23]. При этом трифениленовое ядро молекул модификатора неподвижно и ориентировано строго параллельно плоской поверхности подложки. Ориентация попарно коррелированных боковых заместителей (радиально расходящиеся под углом 120° двойные цепи) способствует взаимопроникновению периферийных радикалов соседних молекул дискотика. Модель строения монослоя дискотических молекул жидкого кристалла, предполагающая двумерную трансляционную периодичность в расположении молекул модификатора, была использована при статистико-термодинамическом моделировании адсорбции на графитированной термической саже, модифицированной монослоем 2, 3, 6, 7, 10, 11-гекса (4-н-октил-оксибензоилокси) трифенилена [24].

Одной из важных задач аналитической хроматографии является разделение структурных изомеров органических соединений, в том числе и позиционных. Обычно в качестве тестовых веществ для определения селективности сорбентов используют изомерные ксилолы, реже – диэтилбензолы или крезолы. Графитированная термическая сажа, разделяя мета- и пара-изомеры ксилола (трудноразделяемая пара изомеров), оказывается неселективной к другой паре изомеров – орто- и пара-ксилолам. Использование графитированной термической сажи, модифицированной с помощью жидких кристаллов, благодаря изменению адсорбционного потенциала адсорбента и частично структурой его поверхности, позволяет добиться разделения всех трех изомеров [25]. Модифицированные жидкими кристаллами сорбенты обладают высокой селективностью по отношению к структурным изомерам органических соединений. Однако их повсеместному внедрению в практику хроматографического анализа препятствует их летучесть при повышенных температурах.

Применение современных нанотехнологий для производства капиллярных колонок позволяет получать высокоэффективные колонки типа SCOT для изомер-селективного анализа. Преимуществами колонки типа SCOT со смешанным модификатором «жидкий кристалл + Acetyl- β -CD» является также высокая термостабильность и большой срок эксплуатации. В этом случае изготовленная колонка не меняет своих разделительных свойств по отношению к оптическим изомерам в течение нескольких лет [26–27].

Был рассмотрен процесс сорбции из газовой фазы углеводородов различного строения дискотическим жидким кристаллом 2, 3, 6, 7, 10, 11-гекса (4-н-ундецилоксибензоилокси) трифениленом (ГУОБТ) методом газовой хроматографии [28].

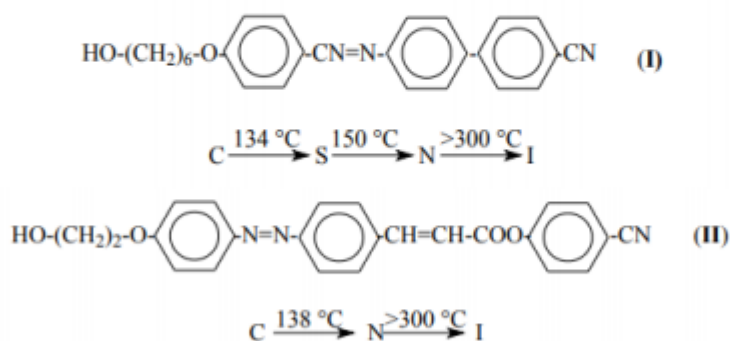
Жидкий кристалл наносили на поверхность инертного твердого носителя (Хромосорб W AW) из раствора в хлороформе, масса ГУОБТ составила 15,0 % от массы твердого носителя. Газохроматографический эксперимент проводили на хроматографе «Цвет 100» в изотермическом режиме с использованием пламенно-ионизационного детектора и насадочной колонки (1 м×3 мм) в интервале температур 100–190°. Удельный объем удерживания сорбатов V_g^T определяли на основании измерения объемной скорости газа-носителя (азот) на входе в колонку и последующего пересчета на среднее значение этой величины внутри колонки. В качестве сорбатов использовали n-алканы (с гептана по пентадекан), циклогексан, бензол и алкилбензолы (толуол, этилбензол, изомерные ксилолы) [29].

Показано, что в отличие от систем «каламитный жидкий кристалл – немезоген» в системах «дискотический ГУОБТ-немезоген» наблюдаются сильные отрицательные отклонения от закона Рауля, обусловленные наличием большого свободного объема в структуре дискотического растворителя.

Следует также отметить, что газовая хроматография является эффективным методом разделения многокомпонентных сложных смесей. Однако одной из проблем анализа является наличие на хроматограммах неподеленных пиков, возникающих при проведении качественного и количественного анализов. Для решения этой проблемы было предложено следующее [30]. Обнаружено, что на колонках с жидкокристаллической неподвижной фазой при постоянной напряженности электрического поля необратимо сорбируется некоторая часть полярного сорбата, причем этот эффект зависит от природы жидкого кристалла и строения молекул сорбата, но не зависит от объема вводимой пробы и наличия в хроматографической зоне других соединений. Было предположено, что это позволяет осуществить количественную оценку отдельных соединений при получении перекрытых пиков.

Известно, что к жидким кристаллам, используемым в качестве селективных сорбентов, предъявляются такие требования, как термостойкость, широкий интервал существования мезоморфного

состояния и наличие нескольких типов мезофаз. С этой целью рассматривались 4-[4-цианофенил]-*N*-[4-(6-гидроксигексилокси)бензилиден]анилин (I) и 4-цианфениловый эфир 4-[4'-(2-гидроксиэтилокси)фенилазо]коричной кислоты (II) в качестве стационарных фаз в газовой хроматографии:



Было изучено удерживание изомеров ксилола, крезола, метиланизола, толуидина и лутидина с использованием стационарных фаз на основе этих жидких кристаллов и предложена термодинамическая трактовка структурной селективности нематической фазы мезогенов [31].

Проведенные исследования позволили установить, что использование супрамолекулярного фактора структурной селективности и формирование цепочечных наноструктур позволяет достичь высоких коэффициентов селективности, используя жидко-кристаллические сорбенты на основе соединений (I и II). Они показали высокую селективность при газохроматографическом разделении позиционных изомеров ксилола, крезола, метиланизола и лутидина. Предполагается, что использование трициклических супрамолекулярных жидких кристаллов дает возможность эффективно анализировать и более высококипящие изомеры.

Как было показано ранее, актуальной задачей хроматографического анализа является разработка высокоселективных сорбентов для разделения сложных смесей соединений природного и техногенного происхождения. К настоящему времени накоплен значительный экспериментальный материал по изучению и практическому использованию минеральных сорбентов, модифицированных термотроп-

ными жидкими кристаллами с удлиненной (каламитной) и дискоидальной формой молекул для разделения смесей изомеров положения замещенных бензолов, полициклических ароматических углеводов, стероидов и гербицидов. Дальнейшая работа по синтезу жидкокристаллических соединений привела к более сложным молекулам с гиперразветвленной структурой – дендримерам. Следует отметить, что сорбционные свойства дендримеров на сегодняшний день малоизучены.

Исследованы селективные свойства сорбентов для газовой хроматографии на основе диатомитового носителя Chromaton N – AW, модифицированного мезоморфным полипропиленминовым дендримером. С помощью коэффициентов Роршнайдера исследуемый сорбент классифицирован как низкополярный. Показано, что этот сорбент пригоден для разделения как изомеров, так и смесей органических соединений с различными функциональными группами при температурах вплоть до 150 °С.

При этом сочетание сильного разветвления дендримеров с их высокой поверхностной функциональностью, низкой внутренней вязкостью, высокой растворимостью, хорошей смешиваемостью дают возможность использовать их в качестве селективных сорбентов для газо-жидкостной хроматографии [32].

Рассмотрены аналитические и физико-химические аспекты хроматографии с использованием жидкокристаллических сорбентов. Сделан вывод о том, что жидкие кристаллы обладают уникальной разделяющей способностью при анализе структурных изомеров. Показана возможность использования жидких кристаллов как универсальных сорбентов регулируемой селективности, пригодных для решения различных аналитических задач. Приведены результаты изучения термодинамики сорбции веществ жидкими кристаллами, фазовых переходов и эффектов, им предшествующих и т. д. [33].

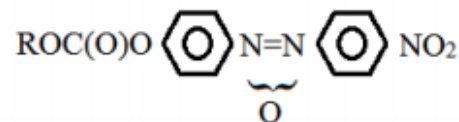
В табл. 2.13 приведены хроматографические характеристики некоторых жидкокристаллических сорбентов.

Таблица 2.13

Хроматографические характеристики исследованных жидкокристаллических сорбентов [33]

Наименование	Интервалы перехода, °С		Верхний температурный предел перехода, °С	Полярность, %		Максимальная структурная селективность
	в ЖК состоянии	в изотропную жидкость		в твердое состояние	в ЖК состоянии	
<i>n, n'</i> - Азоксифенетол	135	166	185	9	40	1,08
<i>n, n'</i> - Азоксанизол	117	134	180	20	47	1,03
<i>n, n'</i> - Метоксизтокси-азоксибензол	98	147	155	18	58	1,08
Эвтектическая смесь (азоксифенетол – 40 мол. ч., азоксанизола – 60 мол.ч.)	92	145	190	15	52	1,08
<i>n</i> -Гептоксибензойная кислота	93	146	140	22	32	1,03
Эфир гептоксибензойной кислоты и гидрохинона	121	198	215	16	37	1,03
Холестерилбензоат	147	177	195	не селектив	20	1,00
Холестерилциннамат	159	212	200		25	1,00
Бис-фенетидил-терефталевый ангидрид	198	323	не исследовался			1,31

Исследуя полученные результаты относительного состава жидких кристаллов в хроматографии мета-, пара- селективности, показано, что в аналитической практике наиболее эффективны: азоксифенетол, эвтектическая смесь азоксифенетола и азоксианизола, метоксиэтоксiazоксибензол и бис-фенетидилтерефталевый ангидрид. Известно, что селективность разделения позиционных изомеров в значительной степени зависит от структурных особенностей молекулы жидкокристаллического сорбента и наличия различных по физико-химической природе функциональных групп. Поэтому представляется интересным выявить определенные закономерности между строением молекулы жидкокристаллического сорбента и его физико-химическими свойствами. С этой целью был исследован ряд жидкокристаллических 4-алкоксикарбонилокси-4'-натроазоксибензолов, различающихся длиной алкильной цепи молекулы ряда:



Здесь R = CH₃, C₂H₅, C₃H₇, C₄H₉, C₅H₁₁, C₆H₁₃, C₇H₁₅, C₈H₁₇, C₉H₁₉.

Эти соединения в определенной области температур имеют фазовые переходы, а также характеризуются различными значениями индексов удерживания, которые зависят от длины цепи алкильных заместителей – концевой цепи молекулы сорбента. Показано, что индексы удерживания для нечетных заместителей характеризуются более высокими значениями, чем для четных. Введение метильного радикала в боковую цепь молекулы азоксибензола приводит к существенному аномальному изменению селективных свойств жидкокристаллического сорбента [34].

Одной из основных проблем, решаемых в последние годы в хроматографии, является расширение аналитических возможностей хроматографических методов за счет введения в состав подвижных и неподвижных фаз комплексобразующих агентов. Особое место среди них занимают макроциклические соединения (краун-эфиры). Краун-эфиры обладают уникальным свойством образовывать комплексы типа «гость – хозяин» как с ионами некоторых металлов (щелочных и щелочноземельных), так и с органическими соединениями различной природы. В этих образующихся комплексах макроциклический реагент

играет роль «хозяина», а «гостем» является нейтральный, катионный или анионный субстрат.

Краун-эфиры обладают возможностью разделять структурные изомеры, стереоизомеры (в том числе и энантиомеры) за счет способности макроциклов вступать в комплексообразование с хроматографируемыми веществами.

Ряд попыток использовать в качестве сорбентов в газовой хроматографии краун-эфиров разного строения обобщены в обзоре. При этом предполагалось добиться повышенной селективности разделения изомерных компонентов за счет разных возможностей к образованию соединений включения у веществ с линейной и разветвленной структурой. Впервые такие возможности были продемонстрированы на примере циклических эфиров салициловой кислоты еще в 1958 г. [35]. Однако в целом эти попытки пока не привели к каким-либо особо интересным результатам, которые оправдывали бы затраченные усилия исследователей. На сегодняшний день недостаточно исследований свойств краун-эфиров в качестве сорбентов для газовой хроматографии [36-37].

В работах [38–39] в качестве макроциклических агентов, вводимых в состав сорбентов, использовали 18-краун-6, дибензо-18-краун-6 и β -циклодекстрин. В отличие от 18-членных краун-эфиров, β -циклодекстрин нельзя использовать в качестве индивидуального сорбента для газовой хроматографии. Это объясняется его высокой температурой плавления – 300 °С. Поэтому этот макроцикл был введен в состав известных полярных сорбентов – ПЭГ-3000 и глицерин. В итоге были подготовлены следующие сорбенты: 18-краун-6, дибензо-18-краун-6, ПЭГ-3000 и β -циклодекстрин и неподвижная фаза сравнения ПЭГ-3000.

Невысокие температуры плавления краун-эфиров позволяют использовать их в качестве сорбентов для газовой хроматографии, их рабочий температурный интервал не широк – для 18-краун-6 равен 120 °С, для дибензо-18-краун-6 – 165–190 °С, однако они интересны с позиции проявляемых межмолекулярных взаимодействий.

При этом установлено, что сорбенты, полученные на основе 18-краун-6 и дибензо-18-краун-6, вступают в специфические и неспецифические взаимодействия, основной вклад в удерживание веществ вносят дисперсионные силы, водородные связи, а также взаимодействия по типу образования комплексов с переносом заряда. В сорбентах смешанного состава ПЭГ-3000 с β -циклодекстрином

доминируют взаимодействия «макроцикл – ПЭГ», а не «макроцикл – хроматографируемое вещество».

Полученные данные могут быть полезны для определения концентрации макроцикла в бинарной газохроматографической фазе для достижения максимальной селективности разделения сложных смесей органических соединений, включая разделение энантиомеров как на насадочных, так и на капиллярных колонках [40].

Заключение

Развитие современной науки и технологий невозможно без контроля состава сложных смесей, сырья, продуктов, а также оптимизации процессов сорбционного концентрирования и выделения целевых продуктов. Для этих целей необходим выбор сорбентов оптимальной селективности. Они должны обеспечивать высокую эффективность разделения наибольшего числа компонентов за наименьшее время.

Обычно для хроматографического контроля технологических процессов энергетических предприятий используют коммерческие сорбенты с известными физико-химическими характеристиками. Однако они часто не удовлетворяют необходимым условиям разделения. Поэтому так важно подобрать необходимый сорбент с оптимальными селективными характеристиками.

В настоящей работе рассмотрены физико-химические и хроматографические свойства сорбентов, полученных на основе фосфор- и мышьякорганических соединений, а также жидких кристаллов и краун-эфиров. Показана актуальность целенаправленного получения новых сорбентов с уникальными свойствами для эффективного разделения веществ. К одним из наиболее перспективных направлений являются использование в качестве сорбентов краун-эфиров и жидкокристаллических веществ, а также тетраординированных атомов фосфора и мышьяка, которые обладают достаточно высокой селективностью разделения различных сорбатов.

Интерес к жидким кристаллам в хроматографии обусловлен тем фактом, что наряду с уникальной структурной селективностью, по сравнению с другими сорбентами, жидкие кристаллы обладают неспецифической селективностью, что может быть полезным в практике хроматографического анализа при контроле различных производственных процессов.

Жидкие кристаллы и краун-эфиры в качестве сорбентов на сегодняшний день недостаточно изучены и исследования в этой области весьма фрагментарны, что обусловлено недостаточной изученностью теории и практики синтеза, а также применения хроматографических сорбентов для контроля технологических процессов.

Список литературы

1. Александров Ю.Б. Совершенствование методов анализа индивидуального состава газообразного топлива и продуктов его горения на основе компьютерно-хроматографического модуля.: дис. канд. хим. наук. Казань, 2007. 152 с.
2. Hamedreza J., Behrouz B.K., Ehsan S., Zamani S.F., Mohammatreza T. Application of functionalized nano HMS tybe mesoporous silica with N-(2-aminoethyl)-3-aminopropylmethyl/dimethoxysilane as a suitable adsorbent for removal of Pb(II) from aques of media and industrial waste water // *J. of Saudi Chemical Society*. 2017. Vol. 21 (1). P. 219–230.
3. Авдеева А.А.РД 34.43.207-205. Хроматография в энергетике. М.: Энергия, 1980. 272 с.
4. Pykowska I, Wasiak W. Stationary phases for Complexation Gas Chromatography and Microextraction Methods // *Isr. J. Chem.* 2016. Vol. 56(11). P. 968–976.
5. Халитов К.Ф., Танеева А.В., Карташова А.А., Новиков В.Ф. Оценка селективности разделения органических сорбентов на основе хроматографических факторов полярности // *Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология*. 2011. Т. 54(11). С. 57–60.
6. Зенкевич И.Г., Макаров А.А. Новое применение констант Мак-Рейнольдса для хроматографических свойств неподвижных фаз // *Журнал аналитической химии*. 2005. Т. 60. С. 952–957.
7. Танеева А.В., Карташова А.А., Федоренко О.И., Макаров А.Н., Новиков В.Ф. Способ получения сорбента для газовой хроматографии: пат. РФ № 2496572; опубл. 27.10.2013, Бюл. № 30.
8. Новиков В.Ф., Вигдергауз М.С., Нуртдинов С.Х, Исмагилова Н.М. Исследование фосфорорганических неподвижных фаз на основе хроматографических факторов полярности // *Журн. аналит. химии*. 1979. Т. 34(12). С. 2391–2398.
9. Новиков В.Ф. Органические производные фосфора и мышьяка в качестве неподвижных фаз для газовой хроматографии // *Журнал физической химии*. 1993. Т. 67(4). С. 848–853

10. Танеева А.В., Ильина О.В., Левин И.С., Карташова А.А., Гамаюрова В.С., Новиков В.Ф. Хроматографические свойства ариларсиновых кислот // Вестник казанского технологического университета. 2011. № 3. С. 282–285.
11. Халитов К.Ф., Танеева А.В., Карташова А.А., Новиков В.Ф. Оценка селективности мышьякорганических сорбентов на основе хроматографических факторов полярности // Известия высших учебных заведений. Серия Химия и химическая технология. 2011. № 11. С. 57–60.
12. Ильина О.В., Танеева А.В., Карташова А.А., Новиков В.Ф. Газохроматографические свойства 10-алкил(арил)феноксарсинов // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2011. № 11. С. 60–63.
13. Халитов К.Ф., Новиков В.Ф., Халитов Ф.Г. Оценка электрооптических параметров ЭХЗ в основном и возбужденном состояниях на основе эмпирических корреляционных уравнениях // Журнал общей химии. 2016. Т. 86(10). С. 2288–2294.
14. Танеева А.В., Карташова А.А., Левин И.С., Новиков В.Ф. Способ получения сорбента для газовой хроматографии: пат.РФ № 2446008; заявл. 13.10.2010; опубл. 27.03.2012, Бюл. № 9.
15. Танеева А.В., Левин И.С., Карташова А.А., Новиков В.Ф. Способ получения сорбента для газовой хроматографии: пат. РФ №2441701; заявл. 02.07.2010; опубл. 10.02.2012, Бюл. № 4.
16. Галяметдинов Ю.Г. Реакционная способность сульфидов третичных арсинов: автореф. дисс... канд. хим. наук. Казань, 1976. 17 с.
17. Kaller M. Baro A., Laschat S. Liquid Crystal Crown Ethers and Related Compounds // Handbook of Liquid Crystals. Book series: Major Reference Works. 2014. Vol.1. 412 p.
18. Wohrle T., Wurzhach I., Kirres J. Discotic liquid crystals. // Chem. Rev. 2016. Vol. 116. P. 1139–1241.
19. Акопова О.Б. Особенности поведения смесей дискотических жидких кристаллов в качестве неподвижных фаз в газовой хроматографии // Журнал физической химии. 2000. Т. 74(2). С. 293–296.
20. Гиззатуллин А.Р., Каратаев О.Р., Танеева А.В., Хамзина Е.А., Новиков В.Ф. Газохроматографические методы анализа окружающей среды предприятий строительной индустрии. Казань: КГУ, 2006. 260 с.
21. Онучак Л.А., Лапшин С.В. Адсорбция изомеров ксилола на графитированной термической саже, модифицированной монослоями жидких кристаллов // Вестник СамГУ. 2009. № 6(72). С. 137–144.
22. Najavan S., Yazdanpanah M. Micro-solid phase extraction of benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes from aqueous solutions using water-insoluble β -cyclodextrin polymer as sorbent // J. Chromatogr. A. 2017. Vol.1525(24). P. 51–59.

23. Онучак Л.А., Колесова А.А., Кудряшов С.Ю., Аكوпова О.Б. Газохроматографическое изучение адсорбции углеводородов на графитированной саже, модифицированной дискотическими жидкими кристаллами // Вестник СамГУ. 2006. № 4(44). С. 119–128.
24. Wu P., Zeng Q., Xu S., Wang C., Yin S., Bai S. Molecular Superlattices Induced by Alkyl Substitutions in Self-Assembled Triphenylene Monolayers // ChemPhysChem. 2001. Vol. 12. P. 750–754.
25. Онучак Л.А. Адсорбция органических соединений на графитированной термической саже, модифицированной монослоем холестерического жидкого кристалла // Известия высших учебных заведений. Серия Химия и химическая технология. 2003. Т. 46(4). С. 62–66.
26. Платонов В.И., Онучак Л.А., Костюченко Ю.А. Сорбционные и хроматографические свойства композиционного сорбента на основе высокодисперсного диоксида кремния, жидкого кристалла и ацетилированного β -циклодекстрина в условиях капиллярной газовой хроматографии // Сорбционные и хроматографические процессы. 2012. Т. 12(5). С. 702–711.
27. Онучак Л.А., Платонов И.А., Муханова И.М., Шаймарданов Ф.Ф., Смирнов П.В. Хроматографические свойства открытой капиллярной колонки с аэросилом, модифицированным нематическим 4-метокси-4'-этоксизоксипбензолом // Журнал аналитической химии. 2009. Т. 64(7). С. 744–749.
28. Жосан А.И., Онучак Л.А., Арутюнов Ю.И. Сорбционные и хроматографические свойства открытой капиллярной колонки с аэросилом, модифицированным смектико-нематическим 4-н-октилокси-4'-цианобифенилом // Сорбционные и хроматографические процессы. 2008. Т. 8(3). С. 492–500.
29. Кудряшова А.А., Онучак Л.А., Кудряшов С.Ю., Аكوпова О.Ю. Сорбционные свойства дискотического жидкого кристалла 2,3,6,7,10,11-Гекса-(4-н-ундецилоксипбензоилокси)трифенилена в условиях газо-мезофазной хроматографии // Вестник СамГУ. 2006. № 9(49). С. 97–108.
30. Онучак Л.А. Газохроматографическое изучение термодинамики сорбции углеводородов дисконематическим жидким кристаллом 2,3,6,7,10,11-гексациклогексанбензоатом трифенилена // Журнал физической химии. 2004. Т. 78(10). С. 1880–1885.
31. Онучак Л.А., Арутюнов Ю.И., Жосан А.И., Дмитриева Е.В., Александрова С.В. Количественная газовая хроматография с жидкокристаллическим сорбентом под действием электрического поля // Вестник СамГУ. 2009. № 6 (72). С. 149–158.
32. Фокин Д.С., Кувшинова С.А., Бурмистров В.А., Блохина С.В., Койфман О.И. Термодинамические свойства и селективность высокотемпературных жидких кристаллов как стационарных фаз в газовой хроматографии // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2009. № 1(27). С. 71–77.

33. Блохина С.В., Усольцева Н.В., Ольхович М.В., Шарапова А.В. Жидкокристаллический полипропиленовый дендример как неподвижная фаза в газовой хроматографии // Журнал аналитической химии. 2007. Т.62(6). С. 622–627.
34. Новиков В.Ф., Карташова А.А., Усманов Н.Т., Танеева А.В. Изучение свойств жидкокристаллических сорбентов для газовой хроматографии // Вестник Московского авиационного института. 2014. Т. 21(1). С. 111–116.
35. Kartsova L.A., Stolyarov B.V. Crown ethers as components of selective mobile and stationary phases in chromatography // Zh. Anal. Khim. 1993. Vol. 48(4). P. 582.
36. Cho E.S., Sung G.Y., Jio J.S., Hyun M.H. Liquid Chromatographic resolution of proline and pipercolin acid derivatives on chiral stationary phases on (+)-(18-crown-6)-2,3,11,12-tetracarboxylic acid // J. Sep. Sci. 2017. Vol. 41(6). P. 1192–1198.
37. Hyun M.H. Liquid chromatographic enantioseparation of crown ethers-based chiral stationary phases // Journal of Chromatography A. 2016. Vol. 1467(7). P. 19–32.
38. Huang X.Y., Pei D., Liu J.F., Di D.L. A review on chiral separation by counter-current chromatography: Development, applications and future outlook // Journal of Chromatography A. 2018. Vol. 1531(5). P. 1–12.
39. Руденко Б.А., Руденко Г.И. Высокоэффективные хроматографические процессы. Том.1. Газовая хроматография. М.: Наука. 2003. 425 с.
40. Карцова Л.А., Макаров А.А., Попова А.М. Количественная оценка взаимодействий органических соединений с 18-членными краун-эфиром и β -циклодекстрином как компонентами неподвижных фаз для газовой хроматографии // Журнал аналитической химии. 2007. Т.62(3). С. 270–276.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	4
Раздел I. Инновационные решения и технологии генерации, транспортировки и распределения тепловой и электрической энергии	6
Усачев А.Е., Муллин Ф.Ф., Закиров А.Н. Инновации в средствах учета электроэнергии	6
Ермолаев Д.В. Получение синтез-газа и химических продуктов при газификации высоковязкого углеводородного сырья	24
Иванов Д.А., Горячев М.П., Мочалов П.С. Использование технологии сенсорных сетей для интеллектуализации воздушных линий электропередач	51
Лаптев А.Г., Фарахов Т.М., Афанасьев Е.П. Интенсификация теплообмена в вязких средах в каналах энергетического оборудования .	73
Лаптева Е.А. Лаптев А.Г. Модели переноса и теплогидравлическая эффективность мини-градирен	92
Моржухин А.М., Мойя-Полл А., Назмитдинов Р.Г., Гладышев П.П., Моржухина С.В. Перспективы использования гибридных солнечных систем с тепловыми насосами для энергообеспечения домов в России	116
Лопухова Т.В., Ислентьев И.С., Джебрил М.Р., Маргулис С.М. Принципы разработки диагностической модели силового трансформатора	137
Юдицкий Д.М., Усачев А.Е., Маргулис С.М., Динмухаметов Ф.Ф. Новая концепция защиты оборудования подстанций от волн грозовых перенапряжений, набегающих с линий электропередачи	156
Ахметгаряев Р.Т., Андреев Н.К., Козелков О.В. Применение прямого управления моментом в электроприводах скважинных штанговых насосных установок	178
Роженцова Н.В., Иванова В.Р. Инновационные системы управления освещением	198
Москаленко Н.И., Додов И.Р., Хамидуллина М.С. Моделирование радиационного теплообмена в камерах сгорания энергетических агрегатов	221

Зверева Э.Р., Хабибуллина Р.В. Улучшение эксплуатационных характеристик топлива и смазочных материалов присадками	239
Зверева Э.Р., Зуева О.С., Ахметвалиева Г.Р., Макарова А.О., Монгуш Ю.К. Изменение реологических свойств жидких дисперсных систем, в том числе углеводородного топлива, в присутствии наноматериалов	255
Капаев В.И. Технология электромагнитополовой активации и гомогенизации воздушно-топливной горючей смеси теплоэнергетических агрегатов	278
Раздел 2. Новые материалы для энергетики	299
Гавриленко А.Н., Матухин В.Л., Геворкян В.А., Шмидт Е.В., Корзун Б.В., Соболев В.Р. Полупроводниковые соединения со структурами халькопирита и вюрцита в солнечной энергетике	299
Сироткин Р.О., Брукс Н.У., Сироткин О.С. Влияние надмолекулярной структуры полиэтилена на его механические свойства	315
Ильин В.К., Ильин О.В., Хайбуллина А.И. О возможности использования электромеханической обработки для интенсификации диффузионных процессов на сталях	342
Довыденков В.А., Сироткин О.С., Ярмолык М.В., Алибеков С.Я. Наноструктурированные композиционные материалы на основе Si для электрических контактов, работающих при повышенных температурах и механических нагрузках	367
Танеева А.В. Новые сорбционные материалы для хроматографического контроля технологических процессов энергетических предприятий	395
Сведения об авторах	416

Научное издание

**НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ
И ОБОРУДОВАНИЕ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

Монография

В трех томах

Том II

ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

*Под общей редакцией
Э.Ю. Абдуллазянова, Э.В. Шамсутдинова*

Редактор *Е.С. Дремичева*
Компьютерная верстка *Т.И. Лунченкова*
Дизайн обложки *Ю.Ф. Мухаметшина*

Подписано в печать 21.12.2018.

Формат 60 × 84/16. Гарнитура «Times». Вид печати РОМ. Бумага ВХИ.
Усл. печ. л. 24,58. Уч.-изд. л. 18,55. Тираж экз. Заказ № 5140

Редакционно-издательский отдел КГЭУ,
420066, Казань, Красносельская, 51