

## Анализ вещества

УДК 678.7

### ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА: ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В АВИАЦИОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ (обзор)

© С. А. Пономаренко, А. А. Шимкин<sup>1</sup>

*Статья поступила 23 июня 2016 г.*

Хроматографические методы анализа не находят широкого применения в авиационной промышленности, между тем они достаточно распространены в других отраслях при анализе широкого круга объектов (вода, воздух, полимеры), а также могут быть использованы для определения химического состава металлов и керамических прекурсоров. В статье обсуждены возможности применения хроматографических методов в авиационной промышленности, в частности, при анализе полимерных материалов как для оптимизации технологических процессов, так и для контроля качества продукции. Использование этих методов для анализа воздуха рабочей зоны позволяет также оценить степень его соответствия экологическим и санитарным нормам.

**Ключевые слова:** хроматографические методы анализа; химический состав; контроль качества; идентификация компонентов; авиационная промышленность.

Авиационная промышленность является одной из наиболее материало- и наукоемких. Ее отличительными характеристиками являются относительно небольшие объемы производства, сложность выпускаемой продукции и необходимость ее постоянного совершенствования, а также экстремальные условия эксплуатации и требования высокой надежности. Для производства авиационных изделий используют большое количество материалов с различным сочетанием физико-химических и механических свойств. В частности, в авиационной промышленности широко применяют сверхлегкие и жаропрочные сплавы, полимерные композиционные материалы, лакокрасочные покрытия, резины, клеи, герметики и т.п. [1 – 6].

По особенностям химического поведения и структуры материалы традиционно подразделяют на металлы, керамику и полимеры. Кроме того, также выделяют композиты, состоящие из двух и более компонентов и характеризующиеся наличием четкой границы раздела фаз между ними, и наноматериалы, отличающиеся малыми размерами частиц и их высокой удельной поверхностью.

Для разработки материалов с заданными свойствами и обеспечения стабильности их характеристик необходимо проведение систематических исследований и контроля качества на всех стадиях получения, в том числе для исходных компонентов [7]. В зависимости от природы материала и области применения его анализ проводят по различным параметрам,

например, химическому составу. Одними из широко распространенных методов определения состава материалов являются хроматографические [8 – 9], основанные на пропускании потока подвижной фазы вместе с компонентами образца через неподвижную, разделении соединений по ходу анализа и их последующем детектировании. Количественный хроматографический анализ проводят путем сравнения интенсивностей пиков разделяемых компонентов и их стандартных образцов, при этом для большинства детекторов диапазон линейности зависимости интенсивности сигнала компонентов от их концентрации обычно составляет несколько порядков величины. Хроматографические методы подходят для анализа широкого круга объектов — от металлов и керамики до полимеров и материалов на их основе. Стоит отметить, что при неполном соответствии образцов требованиям метода необходима корректная подготовка для перевода определяемых компонентов в аналитическую форму и удаления мешающих соединений.

В зависимости от природы подвижной и неподвижной фаз выделяют следующие основные режимы анализа: ионную, обращенно- и нормально-фазовую, гель-проникающую и газовую хроматографию. Выбор наиболее подходящего из них определяется природой определяемых соединений и матрицей образцов. По цели проведения анализа различают аналитическую и препаративную хроматографию. В первом случае для определения индивидуальных соединений вводят относительно небольшие количества образцов (обычно до 1 мг), используя колонки небольших размеров. Полученные данные можно использовать для

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (ВИАМ), Москва, Россия; e-mail: ponomarenkosa@viam.ru

оценки реакционной способности образцов, их термической стабильности и возможности применения. Препаративную хроматографию используют для выделения (очистки) компонентов или их фракций, при этом вводимые количества образцов значительно выше (обычно до нескольких граммов), что требует использования колонок соответствующих размеров.

### **Хроматографический анализ металлов и керамики**

Традиционно для решения большинства задач по анализу металлических и керамических материалов используют спектроскопические и рентгеновские методы, позволяющие определить их элементный состав и структуру. Хроматографический анализ металлов и сплавов не находит широкого практического применения. Тем не менее постоянно возрастающие требования к качеству изделий ставят все более сложные задачи по их анализу, поэтому использование хроматографических методов, сочетающих процессы разделения и определения компонентов, представляется перспективным.

Стоит отметить, что хроматографический анализ данных материалов требует особой пробоподготовки для извлечения определяемых соединений и их перевода в растворимую форму (при анализе методом газовой хроматографии ввод летучих соединений обычно также проводят из раствора). Для растворения компонентов образец обычно измельчают (при необходимости) и обрабатывают минеральными и/или органическими кислотами («мокрый» способ), сплавляют или спекают со щелочными/кислотными плавнями («сухой» способ), а также нагревают с солями аммония. Растворение образцов обычно проводят в автоклаве при резистивном нагреве, а также с использованием СВЧ-поля под давлением (СВЧ-минерализация) или с помощью ультразвука. Данные процедуры довольно трудоемки и часто занимают 8–10 часов, что составляет до 90 % от общего времени анализа [10]. Для перевода компонентов металлов и керамики в другую определяемую форму необходима дополнительная пробоподготовка.

Метод газовой хроматографии можно использовать для разделения металлов в форме их гидридов, хлоридов, хелатов и некоторых других производных. Необходимо отметить, что большинство производных металлов удовлетворяют требованиям применения метода (летучесть, термическая стабильность, химическая инертность, а также отсутствие заряда и координационное насыщение для хелатов) не полностью, поэтому их газохроматографическое определение используется преимущественно в исследовательских целях. Наибольший практический интерес представляет разделение металлов в форме их хелатов (дикетонатов, кетоаминатов, комплексонатов и т.п.), при этом основными проблемами являются их термическая устойчивость (для подавления процессов их разложения в газ-носитель добавляют пары лиганда) и ано-

мальное поведение в хроматографической системе, особенно при введении низких концентраций соединений. Газохроматографическое разделение хлоридов или гидридов металлов представляет еще большие сложности из-за их высокой реакционной способности в условиях анализа и склонности к гидролизу. Показана также возможность разделения некоторых металлов в свободном виде (кадмий, цинк, ртуть, магний) методом газовой хроматографии при сверхвысоких температурах анализа (до 1000 °С). Этот способ может в перспективе использоваться для очистки металлов от сверхнизких количеств примесей [11–13].

По сравнению с газовой использование методов жидкостной хроматографии для анализа металлов предоставляет более широкие возможности. Данные методы позволяют определять металлы в виде их анионов или металлоорганических производных в ионообменном (ион-парном), обращенно- или нормально-фазовом режимах, а также с помощью тонкослойной хроматографии. Например, для разделения металлов в виде их катионов предпочтительно использовать тонкослойную или ионообменную хроматографию. На практике этим способом определяют следовые количества компонентов (примесей или легирующих добавок). Разделение нейтральных комплексов металлов в зависимости от их гидрофобности/полярности можно проводить в режиме обращенно-фазовой или нормально-фазовой хроматографии [14–17].

Из-за не до конца изученных механизмов удерживания соединений, а также термической нестабильности образцов (при анализе методом газовой хроматографии) стоит отметить особую важность использования селективных детекторов, позволяющих получить дополнительную информацию о разделяемых соединениях для их более эффективного разделения и идентификации. Среди них следует отметить масс-спектрометрический (в том числе, с индуктивно-связанной плазмой), инфракрасный, атомно-эмиссионный и плазменный с микроволновым возбуждением варианты детектирования, фактически сочетающие возможности нескольких методов анализа.

Из-за получения при высоких температурах (свыше 1000 °С) керамические материалы не содержат летучих или растворимых соединений, поэтому хроматографические методы целесообразно использовать при анализе исходных компонентов и полимерных прекурсоров керамических материалов [18]. Метод газовой хроматографии используют для идентификации/определения летучих соединений или их очистки от мешающих компонентов (за счет установки дополнительной колонки для их сорбции) при проведении анализа исходных веществ и прекурсоров с низкой степенью полимеризации, а также при пиролизе отвержденных материалов. Идентификацию компонентов при этом проводят по временам выхода соединений в процессе их разделения, а также используя возможности селективного детектирования (напри-

мер, масс-спектрометрического, инфракрасного, кислород-чувствительного в режиме ионизации в пламени). Данные по содержанию летучих компонентов позволяют более полно охарактеризовать образцы, исследовать их реакционную способность, степень полимеризации, механизмы отверждения и термическую устойчивость, что можно использовать для оптимизации режимов термической обработки образцов, снижения их пористости, а также для оценки их токсичности [19].

Анализ исходных компонентов для получения керамических материалов, а также их прекурсоров и выделяющихся в процессе пиролиза соединений можно проводить и с помощью методов жидкостной хроматографии (при необходимости анализа продуктов пиролиза необходим их сбор). Помимо возможности определения нелетучих соединений (растворимых в подвижной фазе), данные методы позволяют определить молекулярные характеристики растворимых фракций образцов, что дополняет возможности метода газовой хроматографии для анализа предкерамических продуктов [20].

### Хроматографический анализ полимеров

Полимеры (форполимеры, полимерные композиции и связующие, препреги и т.п.) и полимерные продукты на их основе отличаются многообразием исходных компонентов (смола, отвердителей, разбавителей, модификаторов и т.п.), поэтому для решения многих задач разделение компонентов образцов является необходимым. Хроматографические методы позволяют проанализировать образцы практически любой химической природы и агрегатного состояния, относящиеся к исходным компонентам, полимерам и материалам на их основе, а также контактирующим с ними объектам (вода, воздух) [21]. Корректный выбор пробоподготовки позволяет обеспечить до 90 % успеха при анализе образцов сложного состава. В большинстве случаев для извлечения определяемых компонентов образцов и их перевода в растворимую форму достаточно экстракции органическими растворителями, для ускорения процессов применяют ультразвуковую обработку и/или нагревание в мягких условиях.

Хроматографические методы применяют для определения индивидуальных соединений, что позволяет оценивать реакционную способность полимеров и исходных компонентов, их токсичность, а также пригодность материалов для переработки (особенно для образцов с низкой степенью полимеризации). Кроме того, хроматографию используют для анализа таких объектов, как вода и воздух, в целях оценки их соответствия экологическим и санитарным нормам [22].

На практике хроматографические методы применяют для решения широкого круга задач в различных областях деятельности — от проведения фундаментальных исследований и направленного синтеза соединений до контроля качества продукции [23 – 31]. Регламентирован хроматографический анализ объек-

тов различной природы, применяющихся для производства авиационных изделий: промышленных образцов топлив [32 – 34], воздуха рабочей зоны [35 – 37], воды [38, 39] и полимерных композиций [40 – 42]. С учетом специфики условий производства авиационных материалов и требований хроматографических методов (достаточная летучесть и/или растворимость определяемых соединений) наиболее подходящими объектами анализа являются [43 – 51]:

исходные низкомолекулярные компоненты (определение чистоты мономеров, отвердителей, модификаторов, растворителей, разбавителей, состава топлив и т.п.);

полимерные смолы, композиции и полуфабрикаты — препреги и премиксы (определение основных компонентов и добавок, молекулярных характеристик и динамики выделения летучих веществ при отверждении для лакокрасочных композиций и смывок, клеев, каучуков, связующих и т.п.);

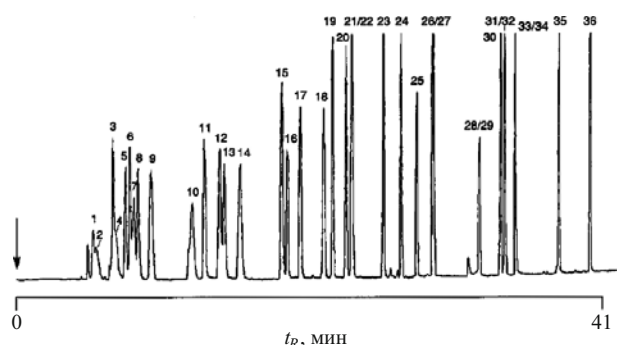
отвержденные (сшитые) полимерные материалы и композиты (определение летучих компонентов, молекулярных характеристик экстрактов, динамики выделения летучих компонентов в процессе их пиролиза для резин, пластиков и т.п.);

воздух (определение вредных веществ в воздухе рабочей зоны).

Большое количество примеров применения этих методов для анализа подобных образцов можно найти на сайтах основных производителей хроматографического оборудования или их дилеров (Agilent Technologies, Dionex, Shimadzu, Waters и т.п.) [52 – 56]. В зависимости от природы образцов, поставленных задач и оценочного содержания в них определяемых компонентов для анализа обычно используют методы обращенно-фазовой, гель-проникающей или газовой хроматографии с различными вариантами детектирования. Выбор подходящих условий пробоподготовки (механическая обработка образцов, растворение и выделение определяемых компонентов) и анализа (природа сорбента, состав и скорость потока подвижной фазы/газа-носителя, использование градиентного режима, температура термостата и т.п.), а также хроматографического метода обеспечивает разделение компонентов.

### Метод газовой хроматографии

Метод газовой хроматографии основан на разделении и определении летучих компонентов в потоке инертного газа-носителя (преимущественно по их летучести) на сорбенте, нанесенном на внутренние стенки капиллярной колонки. Благодаря малой толщине нанесенного слоя и большей динамичности актов сорбции-десорбции компонентов по сравнению с жидкостной хроматографией этот метод отличается более высокими разрешающей способностью и чувствительностью. Эти преимущества позволяют использовать метод газовой хроматографии при анализе объектов сложного состава, а также при определении низ-



**Рис. 1.** Хроматограмма модельной смеси растворителей [58]: 1 — метилформиат; 2 — метанол; 3 — диэтиловый эфир; 4 — этанол; 5 — ацетон; 6 — этилформиат; 7 — изопропанол; 8 — метилацетат; 9 — 2-метил-2-пропанол; 10 — 1-пропанол; 11 — масляный альдегид; 12 — 2-бутанон (метилэтилкетон); 13 — этилацетат; 14 — 2-бутанол; 15 — изобутанол; 16 — изопрпилацетат; 17 — метилизопропилкетон; 18 — 1-бутанол; 19 — 2-пентанол; 20 — пропилацетат; 21 — 3-пентанол; 22 — 2-пентанол; 23 — метилизобутилкетон; 24 — изобутилацетат; 25 — 1-пентанол; 26 — мезитилоксид; 27 — бутилацетат; 28 — N,N-диметилформамид; 29 — изоамилацетат; 30 — 2-гептанол; 31 — амилацетат; 32 — циклогексанол; 33 — циклогексанон; 34 — диметилсульфоксид; 35 — 2-октанол; 36 — 1-октанол

ких концентраций компонентов. Использование селективных детекторов, например, масс-спектрометрического или инфракрасного, позволяет получить более подробную информацию о разделяемых соединениях для обеспечения их более эффективного разделения и идентификации.

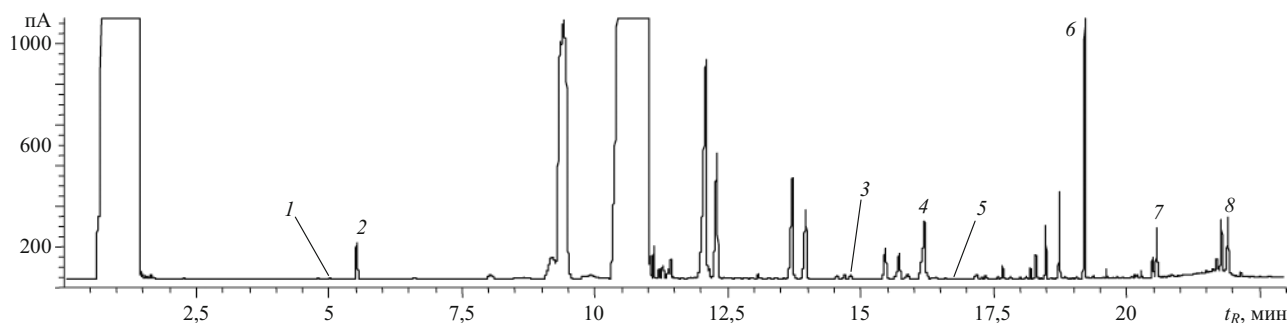
Определение летучих компонентов представляется наиболее оправданным при анализе химического состава исходных компонентов, содержащих растворители композиций и топлив, а также при исследованиях процессов отверждения или пиролиза полимеров и материалов на их основе (полимерных связующих и композиций, препрегов, премиксов, полимерных композитов). Полученные данные позволяют оценить чистоту веществ, охарактеризовать полимерные композиции и провести контроль их качества, а также оценить их реакционную способность и механизмы химических процессов, что можно использовать для оптимизации технологических режимов переработки материалов, оценки их токсичности и получения ма-

териалов с пониженной пористостью. Другой важной задачей, решаемой с применением метода газовой хроматографии, является анализ воздуха на наличие вредных веществ [57].

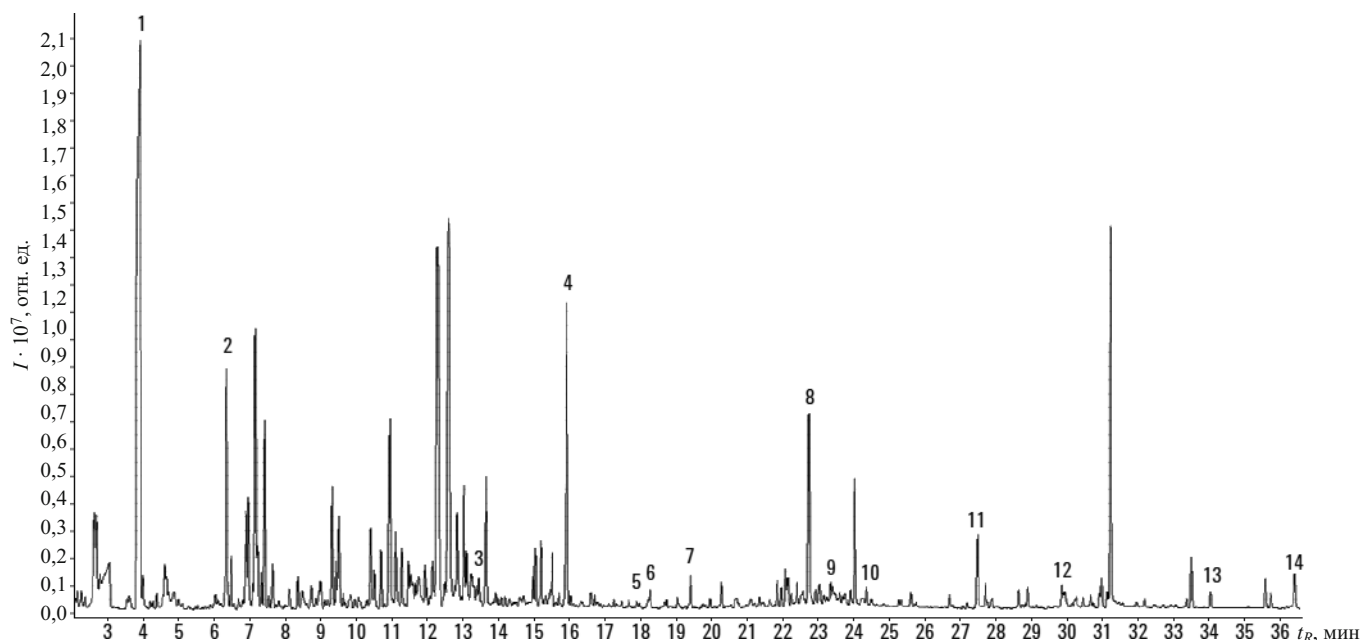
Возможности метода газовой хроматографии для анализа многокомпонентных объектов показаны на примере разделения модельной смеси растворителей (рис. 1) [58]. Высокое разрешение хроматографических пиков компонентов позволяет использовать данный метод для анализа композиций сложного состава, например, лакокрасочных и клеевых композиций, смол, топлива и пластиков.

Хорошее разделение компонентов и высокая чувствительность детектирования позволяют также определять с помощью метода газовой хроматографии примеси на фоне основных компонентов, что дает возможность оценить особенности получения образцов и источники их происхождения. Например, сопоставление химического состава образцов биодизеля, полученного из соевого и рапсового масла, позволило охарактеризовать и идентифицировать образцы (рис. 2) [59].

Использование селективных детекторов, как упоминалось выше, позволяет значительно расширить возможности хроматографических методов за счет более достоверной идентификации соединений. Это позволяет определять их содержание в образцах на уровне  $1 \cdot 10^{-7} \%$ , например, при анализе воздуха рабочей зоны или компонентов, экстрагируемых из пластиков. Для анализа воздуха рекомендуется проводить его предварительное концентрирование на сорбенте (путем прокачки или диффузионным способом) и последующую термодесорбцию или смывку растворителем [57, 60]. На рис. 3 приведен пример хроматограммы компонентов, экстрагируемых из пластика (остаточные растворители, пластификаторы, антиоксиданты и т.п.), полученной методом газовой хромато-масс-спектрометрии. Компоненты идентифицировали путем сопоставления с библиотечными данными масс-спектров. Анализ позволил определить природу и содержание в образце таких типов добавок, как остаточные растворители, пластификаторы, ультрафиолетовые стабилизаторы и добавки, препят-



**Рис. 2.** Хроматограмма образца биодизеля [59]: 1 — глицерин; 2 — бутантриол (внутренний стандарт № 1); 3 — моноальмитин; 4 — моноолеин, монолинолеин и монолиноленин; 5 — моностеарин; 6 — трикаприн (внутренний стандарт № 2); 7 — область выхода диглицеридов; 8 — область выхода триглицеридов



**Рис. 3.** Хроматограмма компонентов, экстрагируемых из пластика, полученная методом газовой хромато-масс-спектрометрии [61]: 1 — бензол; 2 — толуол; 3 — ацетофенон; 4 — нафталин; 5 — 2-метилнафталин; 6 — фталевый ангидрид; 7 — бифенил; 8 — 2,2,4-триметил-1,3-пентандиолдиизобутират; 9 — бензофенон; 10 — 2-этилгексилэфи́р бензойной кислоты; 11 — пальмовая кислота; 12 — стеариновая кислота; 13 — бис(2-этилгексил)фталат; 14 — бис(2-этилгексил)изофталат

ствующие слипанию. Эти данные можно использовать для характеристики образцов и установления их состава [61].

Одним из способов анализа полимерных материалов методом газовой хроматографии является проведение их пиролиза с последующей идентификацией выделяющихся летучих продуктов. Как правило, пиролиз материалов проводят при постоянной достаточно высокой температуре (от 500 до 700 °С) для обеспечения быстрого выделения компонентов и узкой формы их пиков, а для более надежной идентификации используют масс-спектрометрическое детектирование. Этот режим подходит для анализа многих твердых материалов, например, полиамидов, полисахаридов, полиэфиров, полиуретанов, пластмасс на основе эпоксидных композиций, лакокрасочных покрытий, каучуков и т.п. и позволяет оценить соотношение сополимеров в образце, их термическую стабильность и механизмы процессов термохимической деструкции [62, 63].

Альтернативным вариантом является анализ компонентов, выделяющихся в процессе пиролиза материалов в заданном температурном режиме, с помощью газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием. Этот способ также подходит для анализа не полностью сшитых образцов при исследовании процессов их отверждения. Для проведения анализа обеспечивают прямое соединение между пиролизером и детектором или при использовании хроматографической колонки между ними устанавливают для нее высокую температуру для обеспечения минимального удерживания компонентов. Несмотря на то что этот режим не позволяет использовать воз-

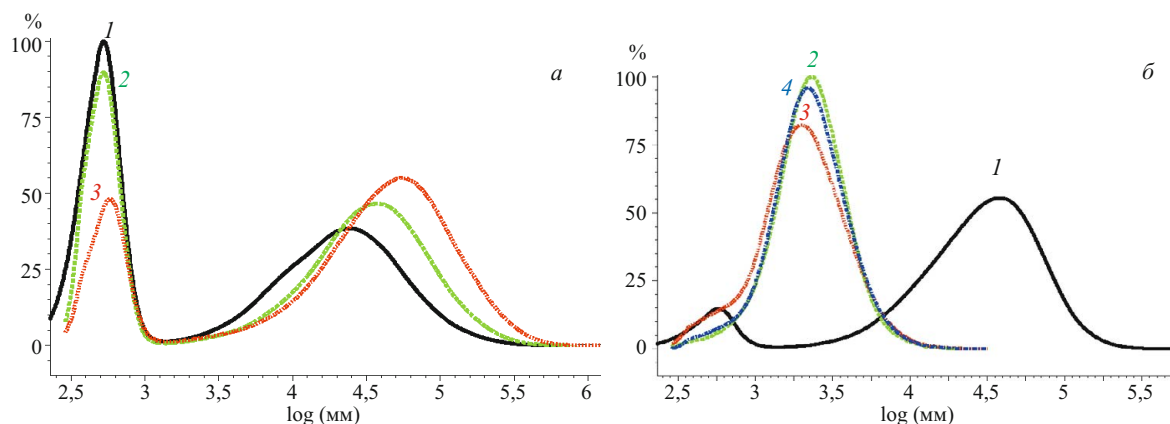
можности хроматографического разделения компонентов, с его помощью во многих случаях можно напрямую оценить термическую стабильность материалов и состав выделяющихся продуктов, а также механизмы термохимических превращений (при условии достаточной простоты получающихся хроматографических профилей и масс-спектров) [64].

Одной из основных особенностей метода газовой хроматографии является возможность определения только достаточно летучих соединений с ориентировочными температурами кипения до 200 °С. Во многих случаях, особенно при анализе образцов сложного состава, этот факт может выступать как преимущество с точки зрения проведения дополнительной очистки образца (при этом из-за интенсивного загрязнения наполнителя в блоке ввода пробы требуется его периодическая замена). Вместе с тем при необходимости определения слаболетучих и нелетучих компонентов целесообразно использовать методы жидкостной хроматографии.

### Метод обращенно-фазовой хроматографии

Метод обращенно-фазовой хроматографии основан на применении полярных подвижных фаз и неполярных сорбентов, предполагая разделение компонентов по их гидрофобности. В качестве подвижной фазы обычно используют смеси воды и органических растворителей, а неподвижной — силикагели с привитыми неполярными группами.

Метод обращенно-фазовой хроматографии предназначен для определения слаболетучих и нелетучих соединений, что позволяет использовать его для анализа полимерных смол, отвердителей, различных до-



**Рис. 4.** Молекулярно-массовое распределение метилфенилсилоксановых олигомеров, полученных в разных условиях — при различных времени синтеза и условиях отгонки (а) (1, 2, 3 — различные партии олигомеров); из разного сырья и при разных условиях гидролиза (б): 1 — из циклов; 2 — из дихлорсиланов; 3 — из дихлорсиланов при кислотном гидролизе; 4 — из дихлорсиланов при щелочном гидролизе [71]

бавок, а также полимерных композиций, препрегов и пластмасс на их основе (как правило, требуется наличие стандартных веществ) [65, 66]. Например, анализ метакриловых мономеров и фенольных смол, а также олигомеров на их основе позволил определить основные компоненты, охарактеризовать образцы и оценить их химический состав [67, 68].

Стоит отметить, что при анализе ароматических соединений методом обращенно-фазовой хроматографии во многих случаях рекомендуется использовать градиентное элюирование и водно-ацетонитрильные подвижные фазы, что позволяет избежать значительного дрейфа сигнала ультрафиолетового детектора и использовать интенсивное поглощение ароматических соединений в УФ-области для их определения [69].

При анализе исходных компонентов, добавок и полимерных материалов методом обращенно-фазовой хроматографии из-за сложности химического состава образцов обычно возникают проблемы при интерпретации полученных данных. Кроме того, реакционная способность полимеров и свойства материалов на их основе сложным образом зависят от содержания индивидуальных компонентов, поэтому метод обращенно-фазовой хроматографии не нашел широкого применения при анализе полимеров.

### Метод гель-проникающей хроматографии

Одним из особых режимов жидкостной хроматографии является метод гель-проникающей хроматографии, позволяющий охарактеризовать полимерные соединения и оценить их молекулярные характеристики. Этот метод основан на использовании в качестве подвижной фазы органических растворителей, а в качестве сорбента — сшитого пористого полимера неполярной природы со специально подобранным распределением пор по размерам. Удерживание и разделение соединений в режиме гель-проникающей хроматографии происходят в основном за счет различий в размерах их молекул (т. н. гидродинамических

объемах) и возможности проникновения в поры различного размера.

Рассчитываемое по результатам анализа молекулярно-массовое распределение (ММР) полимеров представляет собой нормированную зависимость относительного содержания молекул с различной молекулярной массой от ее логарифма и характеризуется несколькими усредненными параметрами для их количественного сравнения (наиболее распространены среднечисловая  $M_n$  и средневесовая  $M_w$  молекулярные массы). Сравнение ММР различных образцов позволяет проводить контроль их качества для оптимизации и оценки воспроизводимости процессов получения и/или переработки образцов и оценить их реакционную способность (по изменению профиля). Кроме того, с помощью полученных данных можно оценить содержание различных фракций (в ряде случаев удается разделить низкомолекулярные компоненты и оценить их содержание) и их молекулярную массу.

Рассчитанные молекулярные характеристики зависят преимущественно от природы анализируемых образцов, используемой подвижной фазы, колонки (-ок), детектора и условий детектирования, а также от природы стандартных соединений для проведения калибровки, поэтому этот метод относится к группе методов сравнительного анализа [65, 70, 71]. Типичным применением метода гель-проникающей хроматографии является проведение контроля качества и исследований смол, полимерных связующих и композиций, а также экстрактов препрегов и премиксов. Влияние природы исходных компонентов и условий проведения различных стадий получения образцов на их ММР показано на примере метилфенилсилоксановых олигомеров при отработке синтеза их опытных партий (рис. 4) [71].

Таким образом, хроматографические методы в авиационной промышленности можно применять в первую очередь для контроля качества полимерных смол, связующих, отвердителей, пластификаторов и

др., а также для мониторинга загрязнения воздуха рабочей зоны. Использование этих методов позволяет определять в образцах растворители и легколетучие добавки, исходные компоненты и низкомолекулярные продукты их взаимодействия, а также степень олигомеризации полимеров и их молекулярный профиль. Полученные данные могут быть использованы для оценки влияния условий получения и переработки полимеров (температура, содержание катализатора, природа основного сырья) на свойства материалов, оптимизации параметров технологических процессов, а также для характеристики образцов и контроля их качества. Наряду с другими методами исследований полимерных композиций (термическими, реологическими, микроскопическими, физико-механическими и т.п.), хроматографические методы применяют для характеристики образцов и их дальнейших исследований.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Каллистер У. Д., Ретвич Д. Дж.** *Материаловедение: от технологии к применению (металлы, керамика, полимеры)*. — СПб.: Научные основы и технологии, 2011. — 896 с.
2. **Каблов Е. Н.** *Химия в авиационном материаловедении* / Рос. хим. журн. 2010. Т. LIV. № 1. С. 3–4.
3. *Справочник по композиционным материалам*. Т. 1 / Под ред. Дж. Любина. — М.: Машиностроение, 1988. — 448 с.
4. **Каблов Е. Н.** *Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года»* / *Авиац. мат. техн.* 2015. Т. 34. № 1. С. 3–33.
5. **Кербер М. А., Виноградов В. М., Головкин Г. С. и др.** *Полимерные композиционные материалы. Свойства, структура, технологии*. — СПб.: Профессия, 2008. — 560 с.
6. **Мухаметов Р. Р., Ахмадиева К. Р., Чурсова Л. В., Коган Д. И.** *Новые полимерные связующие для перспективных методов изготовления конструкционных волокнистых ПКМ* / *Авиац. мат. техн.* 2011. № 2. С. 38–42.
7. **Каблов Е. Н.** *Контроль качества материалов — гарантия безопасности эксплуатации авиационной техники* / *Авиац. мат. техн.* 2001. № 1. С. 3–8.
8. **Беккер Ю.** *Хроматография. Инструментальная аналитика. Методы хроматографии и капиллярного электрофореза*. — М.: Техносфера, 2009. — 473 с.
9. *Основы аналитической химии*. Т. 1 / Под ред. Ю. А. Золотова. — М.: Высшая школа, 1996. — 383 с.
10. **Карпов Ю. А., Савостин А. П.** *Методы пробоотбора и пробоподготовки*. — М.: Бином. Лаборатория знаний, 2009. — 248 с.
11. **Анвер Б. И., Другов Ю. С.** *Газовая хроматография неорганических веществ*. — М.: Химия, 1976. — 240 с.
12. **Crompton T. R.** *Comprehensive organometallic analysis*. — Warrington, England: Plenum Press, 1987. — 883 p.
13. **Qureshi M.** *Handbook of chromatography*. Vol. 1 (Inorganics). — Boca Raton, USA: CRC Press, 1987. — 384 p.
14. **Sarzanini C.** *Liquid chromatography: a tool for the analysis of metal species* / *J. Chromatogr. A*. 1999. Vol. 850. N 7. P. 213–228.
15. **Мишенни И. В.** *Выбор лигандов для разделения и определения металлов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии: дис. канд. хим. наук*. 1995.
16. **Нестеренко П. Н., Джонс Ф., Полл Б.** *Высокоэффективная комплексобразовательная хроматография ионов металлов*. — М.: Техносфера, 2013. — 312 с.
17. **Uden P. C.** *Metal analysis: gas and liquid chromatography* / *Encyclopedia of separation Science* // Wilson I. D., ed. — Cheshire, UK: Academic Press, 2000. P. 3347–3354.
18. **Каблов Е. Н., Гращенков Д. В., Исаева Н. В. и др.** *Высокотемпературные конструкционные композиционные материалы на основе стекла и керамики для перспективных изделий авиационной техники* / *Стекло и керамика*. 2012. № 4. С. 7–11.
19. **Lee B. I., Komarneni S.** (Eds.) *Chemical processing of ceramics*. 2<sup>nd</sup> ed. — Boca Raton, USA: CRC Press, 2005. — 757 p.
20. **Toreki W., Batic C. D., Sacks M. D., Morrone A. A.** *Synthesis and applications of a vinylsilazane preceramic polymer* / *Ceram. Eng. Sci. Proc.* 1990. Vol. 11. N 9–10. P. 1371–1386.
21. **Бабин А. Н.** *Связующие для полимерных композиционных материалов нового поколения* / *Труды ВИАМ*. 2013. № 4 (viam-works.ru).
22. *Гигиенические нормативы ГН 2.2.5.1313–03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны*. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901862250> (дата обращения 14.06.2016).
23. **Руденко Б. А., Руденко Г. И.** *Высокоэффективные хроматографические процессы*. Т. 2. — М.: Наука, 2003. — 287 с.
24. **Harvey D.** *Modern analytical chemistry*. 1<sup>st</sup> ed. — Boston, USA: McGraw Hill Company, 2000. — 798 p.
25. **Crompton R. T.** *Determination of additives in polymers and rubbers*. — Shropshire, UK: Rapra Technology Limited, 2007. — 441 p.
26. **Bart J. C. J.** *Additives in polymers. Industrial analysis and applications*. — Chichester, USA: Wiley, 2005. — 819 p.
27. **Golton W. C.** (Ed.) *Analysis of paints and related materials: current techniques for solving coating problems*. — Phil., USA: ASTM, 1992. — 203 p.
28. **Старовров С. М.** *Хроматография в отечественной фармацевтической промышленности* / *Рос. хим. журн.* 2003. Т. XLVII. № 1. С. 111–118.
29. **Буряк А. К.** *Тренды современной хроматографии: промышленность, медицина и нанотехнологии* / *Аналитика*. 2016. № 1. С. 16–21.
30. **Даванков В. А., Яшин Я. И.** *Сто лет хроматографии* / *Вест. РАН*. 2003. Т. 73. № 7. С. 637–646.
31. **Рудаков О. Б.** *Российская хроматография — времена и люди / Сорбционные и хроматографические процессы*. 2014. Т. 14. № 3. С. 384–396.
32. **ASTM D4054-14.** *Standard practice for qualification and approval of new aviation turbine fuels and fuel additives*. URL: <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D4054-14.htm> (дата обращения 14.06.2016).
33. **ASTM D7826-15.** *Standard guide for evaluation of new aviation gasoline and new aviation gasoline additives*. URL: <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D7826-15.htm> (дата обращения 14.06.2016).
34. **ISO 17306:2016.** *Petroleum products — biodiesel — determination of free and total glycerin and mono-, di- and triacylglycerols by gas chromatography*. URL: [http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csnumber=67940](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=67940), дата обращения 14.06.2016).
35. **ASTM D6196-15.** *Standard practice for choosing sorbents, sampling parameters and thermal desorption analytical conditions for monitoring volatile organic compounds in air*. URL: <https://www.astm.org/Standards/D6196.htm> (дата обращения 14.06.2016).
36. **ISO 16017-1:2000.** *Indoor, ambient and workplace air — Sampling and analysis of volatile organic compounds by sorbent tube/thermal desorption/capillary gas chromatography — Part 1: Pumped sampling*. URL: [http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csnumber=29194](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=29194) (дата обращения 14.06.2016).
37. **ISO 16200-1:2001.** *Workplace air quality — Sampling and analysis of volatile organic compounds by solvent desorption/gas chromatography — Part 1: Pumped sampling method*. URL: [http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csnumber=30187](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=30187) (дата обращения 14.06.2016).
38. **ISO 10304-1:2007.** *Water quality — Determination of dissolved anions by liquid chromatography of ions — Part 1: Determination of bromide, chloride, fluoride, nitrate, nitrite, phosphate and sulfate*. URL: [http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csnumber=46004](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=46004) (дата обращения 14.06.2016).
39. **ISO 17993:2002.** *Water quality — determination of 15 polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in water by hplc with fluorescence detection after liquid-liquid extraction*. URL: [http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csnumber=31666](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=31666) (дата обращения 14.06.2016).
40. **ASTM D4526-12.** *Standard practice for determination of volatiles in polymers by static headspace gas chromatography*. URL: <https://www.astm.org/Standards/D4526.htm> (дата обращения 14.06.2016).
41. **ISO 16014-1:2012.** *Plastics — Determination of average molecular mass and molecular mass distribution of polymers using size-exclusion chromatography — Part 1: General principles*. URL: [http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csnumber=52892](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=52892) (дата обращения 14.06.2016).

42. ISO 11401:1993. Plastics — Phenolic resins — Separation by liquid chromatography. URL: [http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csnumber=19342](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=19342) (дата обращения 14.06.2016).
43. **Katti A. M., Jagland P.** Development and optimization of industrial scale chromatography for use in manufacturing / *Anal. Mag.* 1998. Vol. 26. N 7. P. 38 – 46.
44. **Buryak A. K., Serdyuk T. M.** Chromatography — mass spectrometry in aerospace industry / *Rus.Chem. Rev.* 2013. Vol. 82. N 4. P. 369 – 392.
45. **Horna A.** Industrial applications of chromatography. I. Determination of methanol, n-butanol and toluene by direct aqueous injection gas chromatography / *J. Chromatogr.* 1988. Vol. 457. P. 372 – 376.
46. **Pauls R. E.** A review of chromatographic characterization techniques for biodiesel and biodiesel blends / *J. Chrom. Sci.* 2011. Vol. 49. N 5. P. 384 – 396.
47. **Иваненков Я. А.** Направленный поиск новых лекарственных соединений и анализ механизмов их действия / *Биомика.* 2011. Т. 1. № 1. С. 76 – 100.
48. **Яшин Я. И., Яшин А. Я.** Аналитическая хроматография. Методы, аппаратура, применение / *Успехи химии.* 2006. Т. 75. № 4. С. 366 – 379.
49. **Chaturvedi A. K.** Aerospace toxicology overview: aerial application and cabin air quality / *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 2011. Vol. 214. P. 15 – 40.
50. **Demeuse M. T.** (Ed.) High temperature polymer blends. — Cambridge, UK: Woodhead Publishing Ltd., 2014. — 219 p.
51. **Егзарянец С. В.** Хроматографические методы анализа нефтепродуктов / *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2. Химия.* 2009. Т. 50. № 2. С. 75 – 99.
52. URL: <http://www.dionex.com/en-us/documents/lp-71572.html> (дата обращения 14.06.2016).
53. URL: [http://www.waters.com/waters/libraryList.htm?locale=ru\\_RU](http://www.waters.com/waters/libraryList.htm?locale=ru_RU) (дата обращения 14.06.2016).
54. URL: <http://www.agilent.com/en-us/library/applications> (дата обращения 14.06.2016).
55. **Тремасова М.** Решения Shimadzu для нефтяной и газовой промышленности / *Аналитика.* 2015. Т. 22. № 3. С. 58 – 67.
56. **Фармаковский Д.** Применение жидкостных тандемных хромато-масс-спектрометров Shimadzu в клинической лабораторной диагностике / *Аналитика.* 2015. Т. 25. № 6. С. 72 – 82.
57. ГОСТ Р ИСО 16017-1-2007. Воздух атмосферный, рабочей зоны и замкнутых помещений. Отбор проб летучих органических соединений при помощи сорбционной трубки с последующей термодесорбцией и газохроматографическим анализом на капиллярных колонках. Ч. 1. Отбор проб методом прокачки. — М.: Стандартинформ, 2008. — 36 с.
58. URL: <http://www.agilent.com/en-us/library/applications/A01318.pdf> (дата обращения 14.06.2016).
59. URL: <http://www.agilent.com/en-us/library/applications/5989-7269EN.pdf> (дата обращения 14.06.2016).
60. ГОСТ Р ИСО 16200-1-2007. Качество воздуха рабочей зоны. Отбор проб летучих органических соединений с последующей десорбцией растворителем и газохроматографическим анализом. Ч. 1. Отбор проб методом прокачки. — М.: Стандартинформ, 2007. — 30 с.
61. URL: <http://www.agilent.com/en-us/library/applications/5991-5616EN.pdf> (дата обращения 14.06.2016).
62. **Мадорский С. Л.** Термическое разложение органических полимеров. — М.: Мир, 1967. — 328 с.
63. **Wampler T. P.** Pyrolysis-Gas Chromatography / Reference Module in Chemistry. Molecular Sciences and Chemical Engineering. 2014. P. 1 – 15.
64. **Williamson J. E.** Analysis of polyurethane and epoxy resin based materials by pyrolysis-mass spectrometry / *J. Anal. Appl. Pyr.* 1980. Vol. 2. N 3. P. 195 – 205.
65. **Mestan S. A., Morris C. E. M.** Chromatography of epoxy resins / *J. Macromol. Sci. Part C. Polym. Rev.* 1984. Vol. 24. N 1. P. 117 – 172.
66. **Schunk T. C.** Chemical composition separation of synthetic polymers by reversed-phase liquid chromatography (review) / *J. Chromatogr. A.* Vol. 656. 1993. P. 591 – 615.
67. **Alshali R. Z.** Qualitative and quantitative characterization of monomers of uncured bulk-fill and conventional resin composites using liquid chromatography/mass spectrometry / *Dental Materials.* 2015. Vol. 31. N 6. P. 711 – 720.
68. **Ping L., Coleman D. W., Spaulding K. M.** Fractionation and characterization of phenolic resins by high-performance liquid chromatography and gel-permeation chromatography combined with ultraviolet, refractive index, mass spectrometry and light-scattering detection / *J. Chrom. A.* 2001. Vol. 914. P. 147 – 159.
69. **Садек П.** Растворители для ВЭЖХ. — М.: Бином. Лаборатория знаний, 2006. — 704 с.
70. **Trathnigg B.** Size-exclusion chromatography of polymers / *Encyclopedia of Analytical chemistry* // Meyers R. A. (Ed.). — Chichester, USA: Wiley, 2000. P. 8008 – 8034.
71. **Пономаренко С. А., Китаева Н. С., Ширякина Ю. М., Апальков А. В.** Применение методов жидкостной хроматографии и ЯМР спектроскопии для контроля качества поли(метилфенил)силоксанов / *Журн. прикл. хим.* 2014. Т. 87. № 2. С. 237 – 244.

## REFERENCES

- Kallister U. D., Retvich D. Dzh.** Material science and engineering: from technology to application (metals, ceramics, polymers). — St. Petersburg: Nauchnye osnovy i tekhnologii, 2011. — 896 p. [in Russian].
- Kablov E. N.** Chemistry in aviation materials science / *Ros. Khim. Zh.* 2010. Vol. LIV. N 1. P. 3 – 4 [in Russian].
- Handbook of composites.* Vol. 1 / G. Lyubin (ed.). — Moscow: Mashinostroenie, 1988. — 448 p. [in Russian].
- Kablov E. N.** Innovative developments of FSUE “VIAM” SSC of RF on realization of the strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period until 2030 / *Aviats. Mat. Tekhn.* 2015. Vol. 34. N 1. P. 3 – 33 [in Russian].
- Kerber M. A., Vinogradov V. M., Golovkin G. S., et al.** Polymer composite materials: Structure, properties, and technology. — St. Petersburg: Professiya, 2008. — 560 p. [in Russian].
- Mukhametov R. R., Akhmadieva K. R., Chursova L. V., Kogan D. I.** New polymeric binding for perspective methods of manufacturing of constructional fibrous PCM / *Aviats. Mat. Tekhn.* 2011. N 2. P. 38 – 42 [in Russian].
- Kablov E. N.** Quality control of materials — guarantee safe operation of aeronautical engineering / *Aviats. Mat. Tekhn.* 2001. N 1. P. 3 – 8 [in Russian].
- Bekker Yu.** Chromatography. Tool analytics. The methods of chromatography and capillary electrophoresis. — Moscow: Tekhnosfera, 2009. — 473 p. [in Russian].
- The bases of analytical chemistry.* Vol. 1 / Yu. A. Zolotov (ed.). — Moscow: Vysshaya shkola, 1996. — 383 p. [in Russian].
- Karpov Yu. A., Savostin A. P.** Methods of sampling and sample preparation. — Moscow: Binom. Laboratoriya znaniy, 2009. — 248 p. [in Russian].
- Anvaer B. I., Drugov Yu. S.** Gas chromatography of inorganic substances. — Moscow: Khimiya, 1976. — 240 p. [in Russian].
- Crompton T. R.** Comprehensive organometallic analysis. — Warrington, England: Plenum Press, 1987. — 883 p.
- Qureshi M.** Handbook of chromatography. Vol. 1 (Inorganics). — Boca Raton, USA: CRC Press, 1987. — 384 p.
- Sarzanini C.** Liquid chromatography: a tool for the analysis of metal species / *J. Chromatogr. A.* 1999. Vol. 850. N 7. P. 213 – 228.
- Mishenina I. V.** The choice of ligands for separation and determination of metals by high performance liquid chromatography. Candidate’s Thesis. 1995 [in Russian].
- Nesterenko P. N., Dzhons F., Poll B.** High performance chelation ion chromatography. — Moscow: Tekhnosfera, 2013. — 312 p. [in Russian].
- Uden P. C.** Metal analysis: gas and liquid chromatography / *Encyclopedia of separation Science* // Wilson I. D., ed. — Cheshire, UK: Academic Press, 2000. P. 3347 – 3354.
- Kablov E. N., Grashchenkov D. V., Isaeva N. V., et al.** Glass and ceramics based high-temperature composite materials for use in aviation technology / *Steklo Keram.* 2012. N 4. P. 7 – 11 [in Russian].
- Lee B. I., Komarneni S.** (Eds.) Chemical processing of ceramics. 2<sup>nd</sup> ed. — Boca Raton, USA: CRC Press, 2005. — 757 p.
- Toreki W., Batich C. D., Sacks M. D., Morrone A. A.** Synthesis and applications of a vinylsilazane preceramic polymer / *Ceram. Eng. Sci. Proc.* 1990. Vol. 11. N 9 – 10. P. 1371 – 1386.
- Babin A. N.** Binders for polymer composite materials of new generation / *Trudy VIAM.* 2013. N 4 (viam-works.ru) [in Russian].
- Hygienic standards GN 2.2.5.1313-03 “maximum permissible concentrations (MPC) of dangerous compounds in workplace air. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901862250> (access data 14.06.2016) [in Russian].
- Rudenko B. A., Rudenko G. I.** High performance chromatographic processes. Vol. 2. — Moscow: Nauka, 2003. — 287 p. [in Russian].
- Harvey D.** Modern analytical chemistry. 1<sup>st</sup> ed. — Boston, USA: McGraw Hill Company, 2000. — 798 p.



25. **Crompton R. T.** Determination of additives in polymers and rubbers. — Shropshire, UK: Rapra Technology Limited, 2007. — 441 p.
26. **Bart J. C. J.** Additives in polymers. Industrial analysis and applications. — Chichester, USA: Wiley, 2005. — 819 p.
27. **Golton W. C.** (Ed.) Analysis of paints and related materials: current techniques for solving coating problems. — Phil., USA: ASTM, 1992. — 203 p.
28. **Staroverov S. M.** Chromatography in domestic pharmaceutical industry / Ros. Khim. Zh. 2003. Vol. XLVII. N 1. P. 111 – 118 [in Russian].
29. **Buryak A. K.** The trends of modern chromatography: industry, medicine and nanotechnologies / Analitika. 2016. N 1. P. 16 – 21 [in Russian].
30. **Davankov V. A., Yashin Ya. I.** One hundred years of chromatography / Vest. RAN. 2003. Vol. 73. N 7. P. 637 – 646 [in Russian].
31. **Rudakov O. B.** The Russian chromatography — times and people / Sorbts. Khromatogr. Prots. 2014. Vol. 14. N 3. P. 384 – 396 [in Russian].
32. ASTM D4054-14. Standard practice for qualification and approval of new aviation turbine fuels and fuel additives. URL: <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D4054-14.htm> (access data 14.06.2016).
33. ASTM D7826-15. Standard guide for evaluation of new aviation gasolines and new aviation gasoline additives. URL: <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D7826-15.htm> (access data 14.06.2016).
34. ISO 17306:2016. Petroleum products — biodiesel — determination of free and total glycerin and mono-, di- and triacylglycerols by gas chromatography. URL: [http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csnumber=67940](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=67940), access data 14.06.2016).
35. ASTM D6196-15. Standard practice for choosing sorbents, sampling parameters and thermal desorption analytical conditions for monitoring volatile organic compounds in air. URL: <https://www.astm.org/Standards/D6196.htm> (access data 14.06.2016).
36. ISO 16017-1:2000. Indoor, ambient and workplace air — Sampling and analysis of volatile organic compounds by sorbent tube/thermal desorption/capillary gas chromatography — Part 1: Pumped sampling. URL: [http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csnumber=29194](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=29194) (access data 14.06.2016).
37. ISO 16200-1:2001. Workplace air quality — Sampling and analysis of volatile organic compounds by solvent desorption/gas chromatography — Part 1: Pumped sampling method. URL: [http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csnumber=30187](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=30187) (access data 14.06.2016).
38. ISO 10304-1:2007. Water quality — Determination of dissolved anions by liquid chromatography of ions — Part 1: Determination of bromide, chloride, fluoride, nitrate, nitrite, phosphate and sulfate. URL: [http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csnumber=46004](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=46004) (access data 14.06.2016).
39. ISO 17993:2002. Water quality — determination of 15 polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in water by hplc with fluorescence detection after liquid-liquid extraction. URL: [http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csnumber=31666](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=31666) (access data 14.06.2016).
40. ASTM D4526-12. Standard practice for determination of volatiles in polymers by static headspace gas chromatography. URL: <https://www.astm.org/Standards/D4526.htm> (access data 14.06.2016).
41. ISO 16014-1:2012. Plastics — Determination of average molecular mass and molecular mass distribution of polymers using size-exclusion chromatography — Part 1: General principles. URL: [http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csnumber=52892](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=52892) (access data 14.06.2016).
42. ISO 11401:1993. Plastics — Phenolic resins — Separation by liquid chromatography. URL: [http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csnumber=19342](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=19342) (access data 14.06.2016).
43. **Katti A. M., Jagland P.** Development and optimization of industrial scale chromatography for use in manufacturing / Anal. Mag. 1998. Vol. 26. N 7. P. 38 – 46.
44. **Buryak A. K., Serdyuk T. M.** Chromatography — mass spectrometry in aerospace industry / Rus. Chem. Rev. 2013. Vol. 82. N 4. P. 369 – 392.
45. **Horna A.** Industrial applications of chromatography. I. Determination of methanol, n-butanol and toluene by direct aqueous injection gas chromatography / J. Chromatogr. 1988. Vol. 457. P. 372 – 376.
46. **Pauls R. E.** A review of chromatographic characterization techniques for biodiesel and biodiesel blends / J. Chrom. Sci. 2011. Vol. 49. N 5. P. 384 – 396.
47. **Ivanenkov Ya. A.** Directed search of new drugs and interpretation of mechanisms of their activity / Biomika. 2011. Vol. 1. N 1. P. 76 – 100 [in Russian].
48. **Yashin Ya. I., Yashin A. Ya.** Analytical chromatography. Methods, apparatus, and application / Usp. Khimii. 2006. Vol. 75. N 4. P. 366 – 379 [in Russian].
49. **Chaturvedi A. K.** Aerospace toxicology overview: aerial application and cabin air quality / Rev. Environ. Contam. Toxicol. 2011. Vol. 214. P. 15 – 40.
50. **Demeuse M. T.** (Ed.) High temperature polymer blends. — Cambridge, UK: Woodhead Publishing Lim., 2014. — 219 p.
51. **Egazyaryants S. V.** Chromatography analysis of oil products / Vestn. Mosk. Univ. Ser. 2. Khimiya. 2009. Vol. 50. N 2. P. 75 – 99.
52. URL: <http://www.dionex.com/en-us/documents/lp-71572.html> (access data 14.06.2016).
53. URL: [http://www.waters.com/waters/libraryList.htm?locale=ru\\_RU](http://www.waters.com/waters/libraryList.htm?locale=ru_RU) (access data 14.06.2016).
54. URL: <http://www.agilent.com/en-us/library/applications> (access data 14.06.2016).
55. **Tremasova M.** Shimadzu's solutions for oil and gas industries / Analitika. 2015. Vol. 22. N 3. P. 58 – 67 [in Russian].
56. **Farmakovskii D.** Application of liquid tandem chromatography-mass spectrometers of Shimadzu in clinical laboratory diagnostics / Analitika. 2015. Vol. 25. N 6. P. 72 – 82 [in Russian].
57. RF State Standard GOST R ISO 16017-1-2007. Indoor, ambient and workplace air — Sampling and analysis of volatile organic compounds by sorbent tube/thermal desorption/capillary gas chromatography Part 1. Pumped sampling. — Moscow: Standartinform, 2008. — 36 p. [in Russian].
58. URL: <http://www.agilent.com/en-us/library/applications/A01318.pdf> (access data 14.06.2016).
59. URL: <http://www.agilent.com/en-us/library/applications/5989-7269EN.pdf> (access data 14.06.2016).
60. RF State Standard GOST R ISO 16200-1-2007. Workplace air quality — Sampling and analysis of volatile organic compounds by solvent desorption/gas chromatography. Part 1. Pumped sampling method. — Moscow: Standartinform, 2007. — 30 p. [in Russian].
61. URL: <http://www.agilent.com/en-us/library/applications/5991-5616EN.pdf> (access data 14.06.2016).
62. **Madorskii S. L.** Thermal decomposition of organic polymers. — Moscow: Mir, 1967. — 328 p. [in Russian].
63. **Wampler T. P.** Pyrolysis-Gas Chromatography / Reference Module in Chemistry. Molecular Sciences and Chemical Engineering. 2014. P. 1 – 15.
64. **Williamson J. E.** Analysis of polyurethane and epoxy resin based materials by pyrolysis-mass spectrometry / J. Anal. Appl. Pyr. 1980. Vol. 2. N 3. P. 195 – 205.
65. **Mestan S. A., Morris C. E. M.** Chromatography of epoxy resins / J. Macromol. Sci. Part C. Polym. Rev. 1984. Vol. 24. N 1. P. 117 – 172.
66. **Schunk T. C.** Chemical composition separation of synthetic polymers by reversed-phase liquid chromatography (review) / J. Chromatogr. A. Vol. 656. 1993. P. 591 – 615.
67. **Alshali R. Z.** Qualitative and quantitative characterization of monomers of uncured bulk-fill and conventional resin composites using liquid chromatography/mass spectrometry / Dental Materials. 2015. Vol. 31. N 6. P. 711 – 720.
68. **Ping L., Coleman D. W., Spaulding K. M.** Fractionation and characterization of phenolic resins by high-performance liquid chromatography and gel-permeation chromatography combined with ultraviolet, refractive index, mass spectrometry and light-scattering detection / J. Chrom. A. 2001. Vol. 914. P. 147 – 159.
69. **Sadek P.** Solvents for HPLC. — Moscow: Binom. Laboratoriya znaniy, 2006. — 704 p. [in Russian].
70. **Trathnigg B.** Size-exclusion chromatography of polymers / Encyclopedia of Analytical chemistry // Meyers R. A. (Ed.). — Chichester, USA: Wiley, 2000. P. 8008 – 8034.
71. **Ponomarenko S. A., Kitaeva N. S., Shiryakina Yu. M., Apal'kov A. V.** Application of chromatographic methods and NMR-spectroscopy for quality control of poly(methylphenyl)siloxanes / Zh. Prikl. Khimii. 2014. Vol. 87. N 2. P. 237 – 244 [in Russian].