

Научная статья

УДК 543.542; 543.064; DOI: 10.61260/1998-8990-2023-4-115-130

## **ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОМ ГАЗОЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ СУММАРНОГО СОДЕРЖАНИЯ АЛКАНОВ, АРЕНОВ И ИЗОПРЕНОИДНЫХ АЛКАНОВ В НЕФТЕПРОДУКТАХ ДО И ПОСЛЕ ИХ ВЫГОРАНИЯ НА ПОЖАРАХ**

✉ Яценко Лариса Анатольевна.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ [yazenko-la@mail.ru](mailto:yazenko-la@mail.ru)

*Аннотация.* Изучены методом газожидкостной хроматографии составы нефтепродуктов, полученных из разных фракций нефти. Показано, что для установления природы нефтепродукта до и после воздействия на него высоких температур в пожарно-технической экспертизе необходимо наряду с идентификацией пиков на хроматограммах по хроматографическим параметрам осуществлять их обработку по методу внутренней нормализации. Для установления природы нефтепродукта и фракции нефти, из которой этот нефтепродукт был получен, предложено сгруппировать все идентифицированные углеводороды в три основные группы (алканы, арены, изопреноиды). Чтобы определить из какой фракции нефти был получен нефтепродукт, достаточно оценить относительное содержание выбранных групп.

Для нефтепродуктов бензиновой фракции преобладающей группой является группа аренов, а для нефтепродуктов среднестиллятных фракций нефти в их составах преобладает группа алканов. Для установления типа нефтепродукта как до, так и после воздействия на них высоких температур в зоне очага пожара достаточно определить алкан, содержание которого в группе алканов максимально, а также осуществить анализ содержания подгрупп аренов и выявить подгруппу аренов, вклад которой в состав нефтепродукта максимален. Кроме того, для подтверждения принадлежности нефтепродукта к бензинам или к дизельным топливам достаточно обнаружить в его составе группу тетраметилбензолов или алканов изопреноидного строения, соответственно.

*Ключевые слова:* газожидкостная хроматография, метод внутренней нормализации, нефтепродукты, температурное воздействие

**Для цитирования:** Яценко Л.А. Изучение методом газожидкостной хроматографии суммарного содержания алканов, аренов и изопреноидных алканов в нефтепродуктах до и после их выгорания на пожарах // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 4 (68). С. 115–130. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-4-115-130.

Scientific article

## **THE STUDY BY GAS-LIQUID CHROMATOGRAPHY OF THE TOTAL CONTENT OF ALKANES, ARENES AND ISOPRENOID ALKANES IN PETROLEUM PRODUCTS BEFORE AND AFTER THEIR BURNOUT IN FIRES**

Yatsenko Larisa A.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ [yazenko-la@mail.ru](mailto:yazenko-la@mail.ru)

*Abstract.* The compositions of petroleum products obtained from different oil fractions were studied by gas-liquid chromatography. It is shown, that in order to establish the nature of the oil

product before and after exposure to high temperatures in the fire-technical examination, it is necessary, along with the identification of peaks on chromatograms by chromatographic parameters, to process them using the internal normalization method. To establish the nature of the oil product and the fraction of oil from which this oil product was obtained, it was proposed to group all identified hydrocarbons into three main groups (alkanes, arenes, isoprenoids). To determine from which fraction of oil the oil product was obtained, it is sufficient to estimate the relative content of the selected groups.

For petroleum products of the gasoline fraction, the group of arenes is the predominant group, and for petroleum products of the medium distillate fractions of oil, the group of alkanes predominates in their compositions. To determine the type of petroleum product both before and after exposure to high temperatures in the fire zone, it is sufficient to determine the alkane whose content in the alkane group is maximum, as well as to analyze the content of arene subgroups and identify the arene subgroup whose contribution to the composition of the oil product is maximum. In addition, to confirm that an oil product belongs to gasoline or diesel fuels, it is sufficient to detect in its composition a group of tetramethylbenzenes or alkanes of an isoprenoid structure, respectively.

*Keywords:* gas-liquid chromatography, internal normalization method, petroleum products, temperature exposure

**For citation:** Yatsenko L.A. The study by gas-liquid chromatography of the total content of alkanes, arenes and isoprenoid alkanes in petroleum products before and after their burnout in fires // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 4 (68). P. 115–130. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-4-115-130.

## Введение

Поскольку наиболее часто в экспертной практике объектом исследования оказываются остатки нефтепродуктов, сохраняющиеся после пожара, целесообразно рассмотреть составы различных товарных нефтепродуктов и оценить их сходства и различия.

Известно, что в исходных нефтепродуктах присутствуют три основных типа углеводородов: парафины или алканы (15–60 %), нафтены или циклоалканы (30–60 %) и ароматические углеводороды или арены (3–30 %) с разной степенью конденсации ароматических колец. В работе [1] методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с использованием ультрафиолетового детектора показаны различия в углеводородном составе разных нефтепродуктов по структуре ароматических соединений. В работе [2] показано, что в бензинах, в отличие от нефтепродуктов среднестиллятных фракций нефти, содержание ароматических углеводородов повышено, а в нефтепродуктах, полученных из среднестиллятных фракций нефти, их содержание ограничено и представлено в основном полициклическими ароматическими углеводородами. Методом высокоэффективной жидкостной хроматографии наглядно показано, что состав нефтепродуктов значительно изменяется в процессе термического воздействия, но при этом в их составах сохраняются ароматические углеводороды разной степени цикличности бензольных колец [3]. Однако очень часто эксперты в технических заключениях по результатам исследования объектов, изъятых с места пожара, при обнаружении остатков нефтепродуктов среднестиллятных фракций нефти пишут, что в пробе «наблюдается отсутствие ароматических углеводородов». На самом деле на присутствие в органических остатках после пожара ароматических углеводородов указывает характерный запах, свойственный всем нефтепродуктам. После термического воздействия в нефтепродуктах, как правило, сохраняются более устойчивые к температурным воздействиям углеводороды. При этом в бензиновой фракции нефти (до 140 °С) и, соответственно, в нефтепродуктах, полученных из бензиновой фракции нефти, сохраняются в основном высококипящие моноциклические ароматические углеводороды (триметил-, диалкил-, тетраметилбензолы), а также присутствуют

в незначительных количествах бициклические ароматические углеводороды (нафталин, 1-метил и 2-метилнафталины). Алканы в выгоревших бензинах практически отсутствуют.

В керосиновых фракциях (150–300 °С) после воздействия высоких температур из ароматических углеводородов в основном сохраняются нафталиновые ароматические углеводороды (C<sub>10</sub>–C<sub>16</sub>), а из группы алканов сохраняются высококипящие алканы.

В дизельных топливах, а также в тяжелых дистиллятных фракциях (350–500 °С) присутствуют главным образом нафталиновые и антраценовые ароматические углеводороды, алканы нормального и изо-строений. В остатках нефти (выше 500 °С) концентрируются полициклические ароматические углеводороды с числом циклов от трех до семи.

### Методы и объекты исследования

Для установления компонентного состава органических остатков, изъятых с мест пожаров, использовался метод газожидкостной хроматографии (ГЖХ), как наиболее информативный. Для этого использовался хроматограф Кристалл 5000.2 фирмы «Хроматэк», укомплектованный капиллярной колонкой и пламенно-ионизационным детектором, а также внешней приставкой – двухстадийным термодесорбером для ввода в испаритель хроматографа газовых проб.

Согласно методикам [4, 5] для разделения сложных смесей нефтепродуктов применяется капиллярная колонка с неподвижной жидкой фазой (НЖФ марки ZB-50) из полидиметилфенилсилоксана, в котором присутствуют по 50 % метильных и фенильных групп. Выбор полярной жидкой фазы обусловлен присутствием в исследуемых составах нефтепродуктов как неполярных соединений, типа алканов, изо-алканов и циклоалканов, так и полярных ароматических углеводородов. При этом неполярные вещества распределяются в неполярной части жидкой фазы в соответствии со значениями температур кипения. Наличие фенильных групп в силикосанах приводит к усилению взаимодействия с ароматическими соединениями. Полные характеристики неподвижных фаз даны в справочнике [6]. Выбор в качестве НЖФ диметилфенилполисилиосана для разделения сложных смесей, состоящих как из неполярных соединений типа алканов, так и из полярных соединений типа аренов обусловлен возможностью удерживать как неполярные соединения типа алканов и изо-алканов, так и полярные соединения типа ароматических углеводородов, а также ее повышенной устойчивостью к окислению и воздействию высокой температуры [7]. Для каждой неподвижной фазы необходимо учитывать два предельных случая, а именно когда вещество вообще не взаимодействует с неподвижной стационарной фазой и, соответственно, не удерживается этой фазой, и когда вещества могут так прочно связаться со стационарной фазой, что вовсе не будут перемещаться подвижной фазой вдоль всей длины хроматографической колонки. Все наблюдаемые хроматографические разделения находятся между этими предельными случаями. При этом при перемещении анализируемой пробы внутри колонки происходит многократное установление равновесия между подвижной газовой и жидкой стационарной фазами, обусловленное многократным повторением процессов растворения, вымывания и испарения из НЖФ. Естественно, чем больше растворимость вещества в стационарной фазе, тем дольше это вещество удерживается ею. Благодаря этому происходит разделение анализируемой смеси на отдельные компоненты, которые выходят из колонки в виде бинарных смесей «компонент-газ-носитель» и попадают в детектирующее устройство, а затем с помощью аналого-цифрового преобразователя регистрируются на выходе в виде пика на хроматограмме [8–10].

В табл. 1 приведены аналоги капиллярной колонки марки ZB-50 (производитель США) для выбора альтернативной замены при невозможности ее приобретения.

**Капиллярные колонки для газовой хроматографии марки ZB-50 и ее аналоги [11]**

Колонка фирмы Zebtron	Состав фазы	Основные аналоги
ZB-50	50 %-фенил-и 50 %-диметил-полисилоксан	DB-17, DB-17ms, DB-17HT (США); Rtx-50 (Румыния), SPB-50, SPB-17, SP-2250 (Германия), CD-50 (Китай)

Ранее для установления природы нефтепродукта при анализе жидких проб по методике [4] достаточно было идентифицировать на хроматограммах нефтепродуктов пики алканов от октана до октадекана, а при анализе газообразных проб по методике [5] с использованием двухстадийного термодесорбера для ввода газообразных смесей в испаритель хроматографа область идентифицированных алканов ограничивалась только летучими и малолетучими алканами, то есть определялись лишь алканы от октана до тетрадекана и/или пентадекана. Кроме пиков алканов на хроматограммах нефтепродуктов идентифицировали ряд аренов, а также некоторые алканы изопреноидного строения.

В качестве объектов исследования использовались образцы нефтепродуктов, полученные из бензиновой (бензин автомобильный марки АИ-95 и нефтяной сольвент) и среднестиллятных фракций нефти (топливо для реактивных двигателей марки ТС-1, дизельные топлива марок «летнее» и «зимнее», табл. 2).

Обработка хроматограмм нефтепродуктов до и после их выгорания осуществлялась в программе обработки хроматограмм «Хроматэк Аналитик», версия 3.1 по методу внутренней нормализации. Сущность метода внутренней нормализации состоит в приравнивании суммы площадей всех идентифицированных пиков хроматограммы к 100 %-й массовой концентрации, а массовая доля каждого компонента в процентах определяется при делении площади пика каждого идентифицированного компонента на сумму площадей всех идентифицированных пиков. Для этого в закладке «обработка» программы «Хроматэк Аналитик» выбирается операция «Количественный расчет» и далее в закладке «метод расчета» выбирается обработка «Без градуировки».

На рис. 1 приведены условия количественной обработки пиков на хроматограмме при использовании метода внутренней нормализации.

**Количественный расчёт** Расчёт Дополнительно

Метод расчёта Без градуировки ▾

Нормализация 100 ▾

Учитывать неидентифицированные пики Нет ▾

Основной компонент ▾

**Рис. 1. Параметры количественного расчета хроматограмм по методу внутренней нормализации**

Таблица 2

**Фракции нефти, используемые для получения нефтепродуктов**

Температурный интервал, °С	Фракции нефти, состав алканов		Нефтепродукты
Бензиновая (легкая)			
До 140	от C <sub>5</sub> до C <sub>11</sub>		Бензины, нефрасы, сольвент нефтяной
Среднедистиллятные фракции			
140–180	от C <sub>8</sub> до C <sub>14</sub>	Лигроиновая	Лигроин
180–220	от C <sub>9</sub> до C <sub>16</sub>	Керосиновая	Керосины марок КО, ТС, уайт-спирит
220–300	от C <sub>14</sub> до C <sub>25</sub>	Газойлевая*	Газойль*
300–350		Соляровая	Дизельные топлива марок Да, Дл, Дз
Тяжелые фракции			
350–500	от C <sub>19</sub> до C <sub>35</sub>	Масла	Трансмиссионные, технологические, компрессорные и др.
		Смолы	Нефтяные битумы, мазут
Свыше 500	от C <sub>35</sub>	–	Гудрон, кокс, битум, асфальтены

\*Газойлем называется смесь разнообразных углеводородов с количеством атомов углерода в цепи от 14 до 25

**Результаты исследований и их обсуждение**

Ранее было показано, что соотношение площадей пиков нормальных алканов и аренов в светлых нефтепродуктах является одним из основных критериев при дифференциации светлых нефтепродуктов на легкие (бензины), средние (керосины) и тяжелые (дизельные топлива). Так для бензинов в их составе характерно преобладание аренов над алканами и присутствие алканов от пентана до додекана. На хроматограммах керосинов превалируют пики алканов от октана до пентадекана, а на хроматограммах дизельных топлив присутствуют пики более тяжелых алканов вплоть до гептакозана. Количество аренов в нефтепродуктах среднедистиллятных фракций нефти при этом минимально [12].

Настоящая работа посвящена детальному изучению содержания алканов, аренов, а также изопреноидов методом ГЖХ, идентификация которых достаточна для установления типа нефтепродукта. При этом все идентифицированные арены дополнительно выделены в несколько подгрупп.

На рис. 2 приведены соединения алканов, идентификация которых по данным ГЖХ достаточна для выявления типа нефтепродукта по составу алканов.

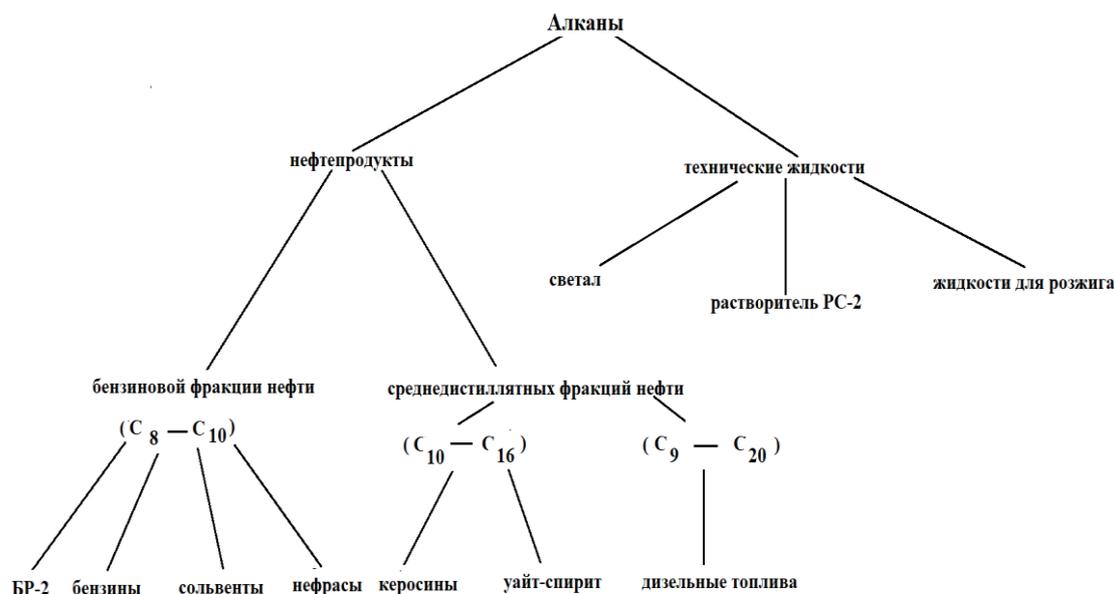


Рис. 2. Алканы, идентифицируемые по методике [4]

Необходимо отметить, что суммарное содержание алканов в нефтепродуктах зависит не только от того, из какой фракции нефти был получен нефтепродукт. На относительное содержание алканов в составах нефтепродуктов влияет степень выгорания и/или испарения летучих алканов из объектов-носителей, изымаемых с места пожара, приводя к уменьшению общего количества алканов в составах нефтепродуктов по сравнению с исходными нефтепродуктами.

На рис. 3 приведены подгруппы аренов разной степени замещения бензольного кольца и нафталин и его производные, в которых представлен минимальный набор аренов из каждой подгруппы, информация об обнаружении которых позволяет оценить тип нефтепродукта, а также степень термического поражения составов, применяемых для поджога нефтепродуктами на пожаре.

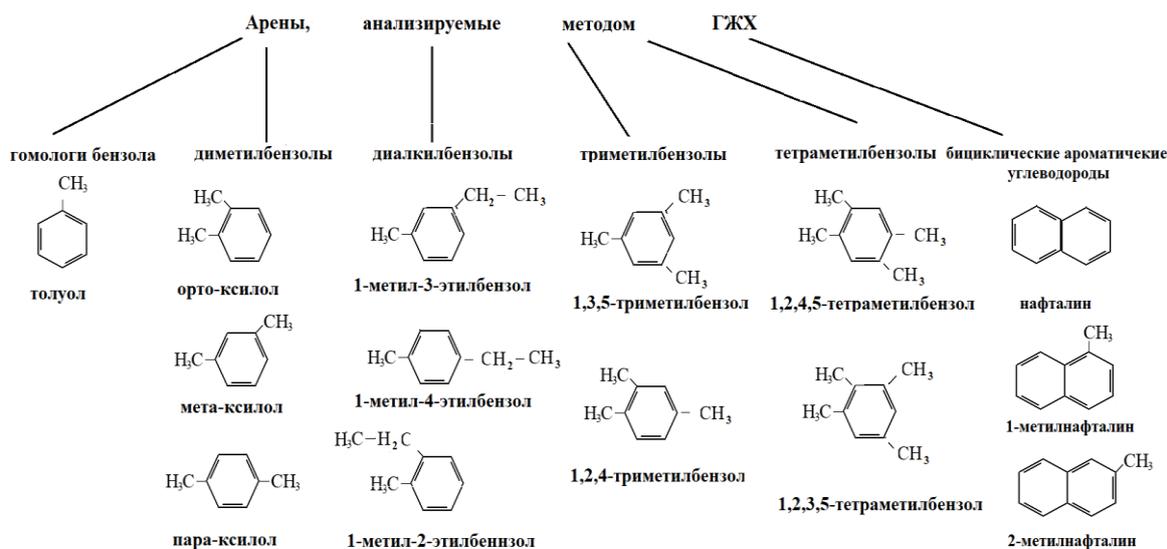


Рис. 3. Арены, идентифицируемые по методикам [4, 5] для определения типа нефтепродукта

К группе изопреноидных алканов относят разветвленные углеводороды с расположением боковых метильных групп как у гидрированного полиизопрена, а именно в положениях 2, 6, 10, 14 и т.д. [12, 13]. Достаточно осуществить поиск изопреноидов с регулярной структурой боковых метильных групп (пристана и фитана), а также изопрената 2,6,10-триметилпентадекана, имеющего псевдoreгулярное строение, в образовании которого участвует сквалан (рис. 4).

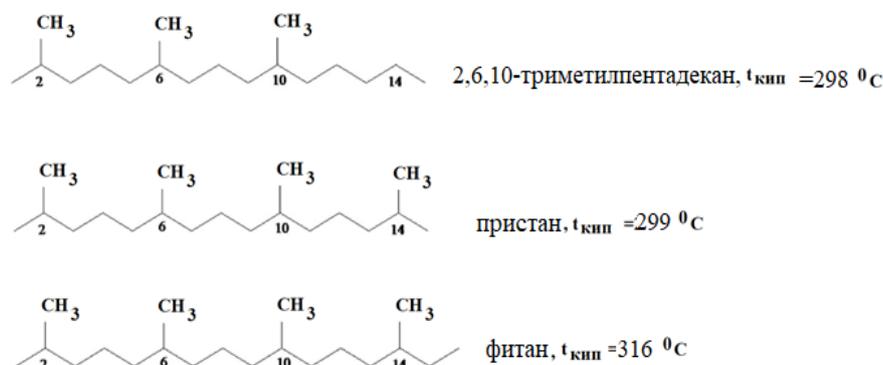


Рис. 4. Структурные формулы изопреноидных алканов регулярного и псевдoreгулярного строения

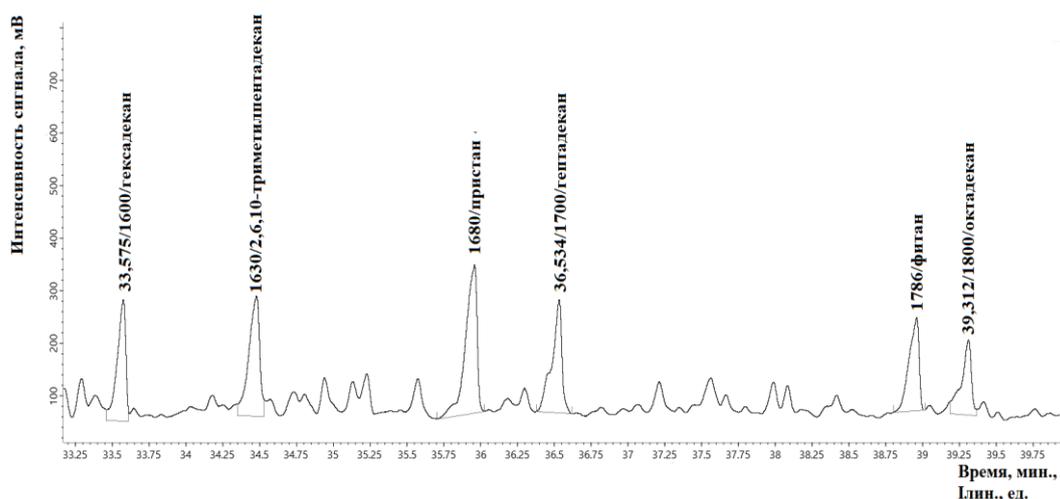


Рис. 5. Область расположения изопреноидных алканов между высококипящими алканами от гексадекана до октадекана на хроматограмме дизельного топлива

На рис. 5 показана область хроматограммы от гексадекана до октадекана с пиками изопреноидов, которые образуют с пиками этих алканов три так называемых «парных» пика (рис. 5).

При работе на хроматографах «Кристалл 5000.1», «Кристалл 5000.2» (ЗАО СКБ Хроматэк) и «КристалЛюкс 4000М» (ООО НПФ «Мета-хром») обработку хроматограмм проводят в программах «Хроматэк-Аналитик» (версии 2.6 или 3.1) и Net Chrom v 2.1, соответственно.

Идентификацию пиков алканов осуществляют по их временам удерживания, а пиков аренов и изопреноидных алканов по индексам удерживания, рассчитанным для НЖФ марки ZB-50 относительно времен удерживания алканов, взятых из хроматограммы смеси алканов, снятой в идентичных с нефтепродуктами условиях хроматографирования [14].

Как видно из табл. 3, в исходных нефтепродуктах наибольшее количество алканов наблюдается в нефтепродуктах среднестиллятных фракций нефти, а именно в дизельных и реактивных топливах, соответственно.

Изопреноидные алканы присутствуют только в дизельных топливах, а содержание аренов является преобладающим только в нефтепродуктах бензиновой фракции нефти: в автомобильных бензинах разных марок, а также в нефтяных растворителях типа сольвента.

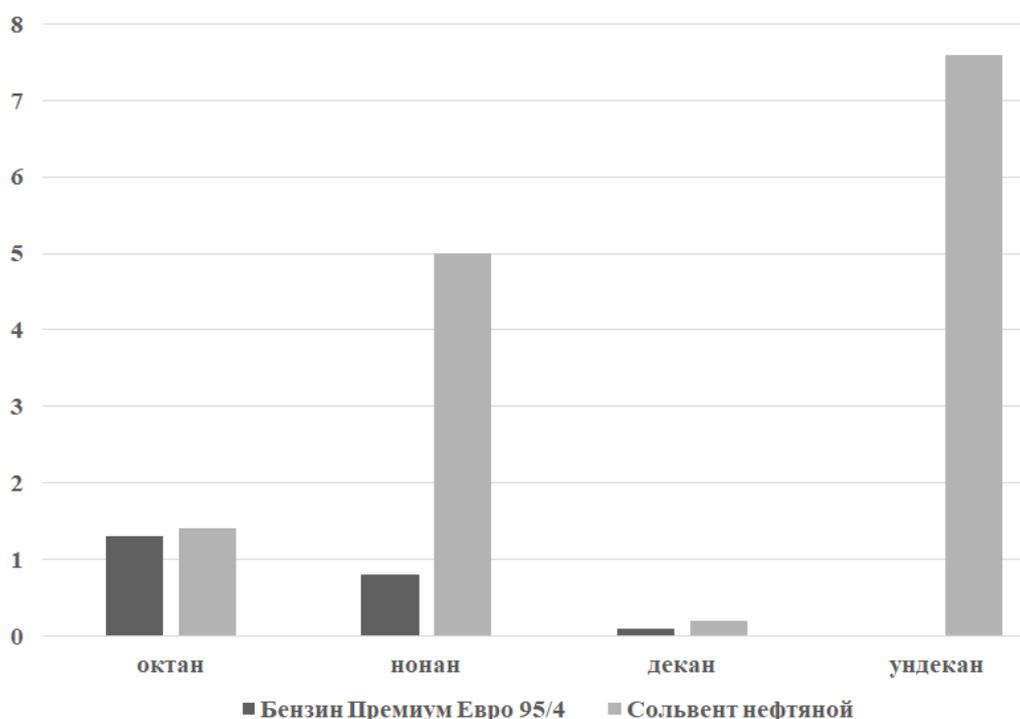
На рис. 6–10 показано распределение алканов в нефтепродуктах разных фракций нефти до и после их выгорания в процессе пожара.

Как видно из рис. 6, в сольвенте, не подвергнутом термическому воздействию, в группе алканов преобладают нонан и ундекан, а в бензинах – октан и нонан. После воздействия высоких температур во время пожара в выгоревшем сольвенте сохраняется только декан, а в подвергнутом термическому воздействию бензине сохраняются октан и нонан, но в меньших количествах, чем в исходном бензине (рис. 7).

Таблица 3

**Относительное содержание разных групп углеводородов в нефтепродуктах, полученных из разных фракций нефти до и после выгорания**

Группа углеводородов	Нефтепродукты							
	исходные				выгоревшие			
	ДТз	ДТл	ТС-1	Бензин АИ-95	ДТз	ДТл	ТС-1	Бензин АИ-95
Алканы	76,0	80,8	75,0	2,5	54,0	75,5	96,0	1,9
Арены	14,8	8,2	25,0	97,5	1,6	1,8	4,0	98,1
Изопреноиды	9,2	11,0	–	–	44,4	22,7	–	–



**Рис. 6. Содержание алканов, идентифицируемых по методикам [4, 5] при определении исходных нефтепродуктов бензиновой фракции нефти**

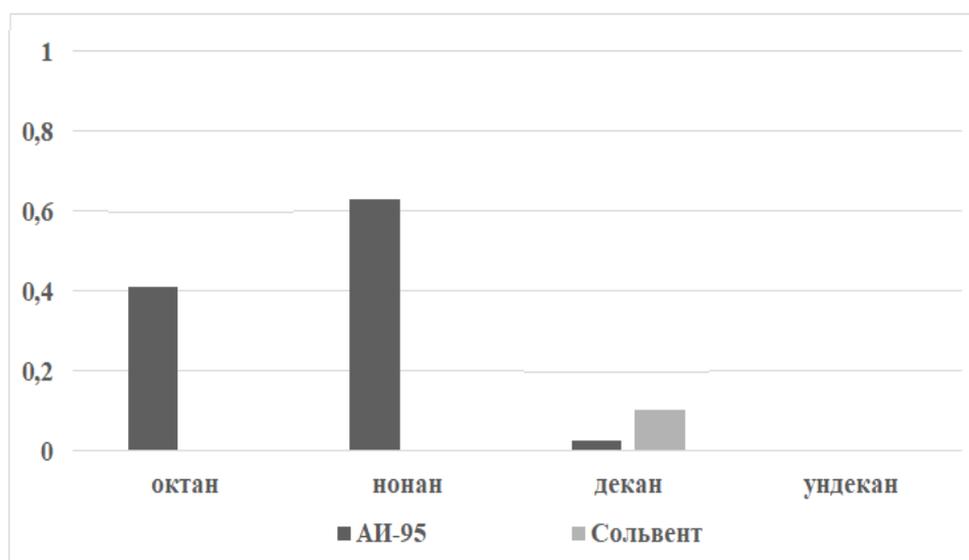


Рис. 7. Содержание алканов, идентифицируемых по методикам [4, 5] при определении нефтепродуктов бензиновой фракции нефти после их выгорания

В исходном топливе для реактивных двигателей марки ТС-1 преобладающими в смеси алканов от октана до пентадекана являются декан и ундекан, а после выгорания в ТС-1 увеличивается доля додекана и тридекана за счет улетучивания в процессе термообработки октана, нонана и большей доли декана (рис. 8).

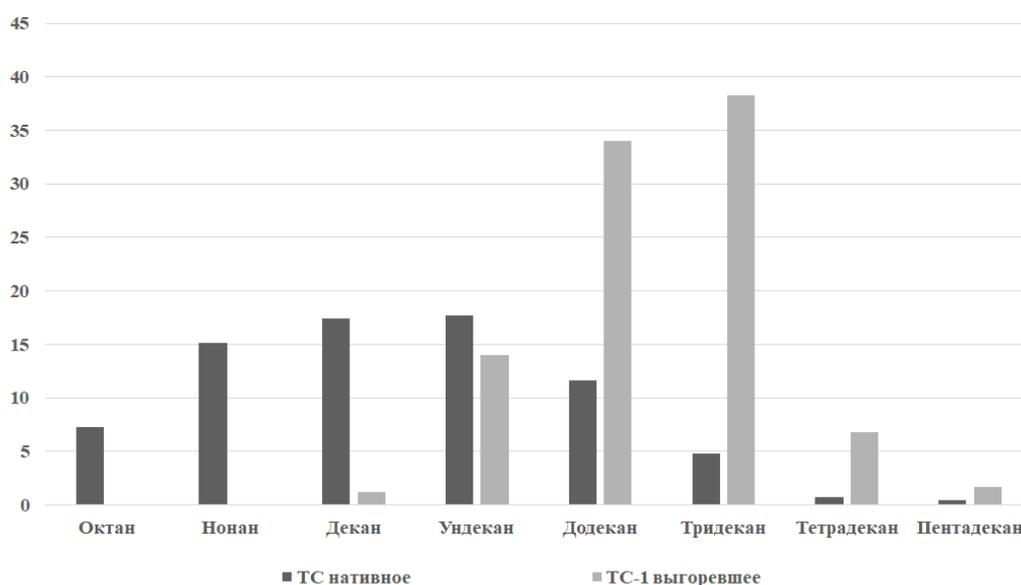
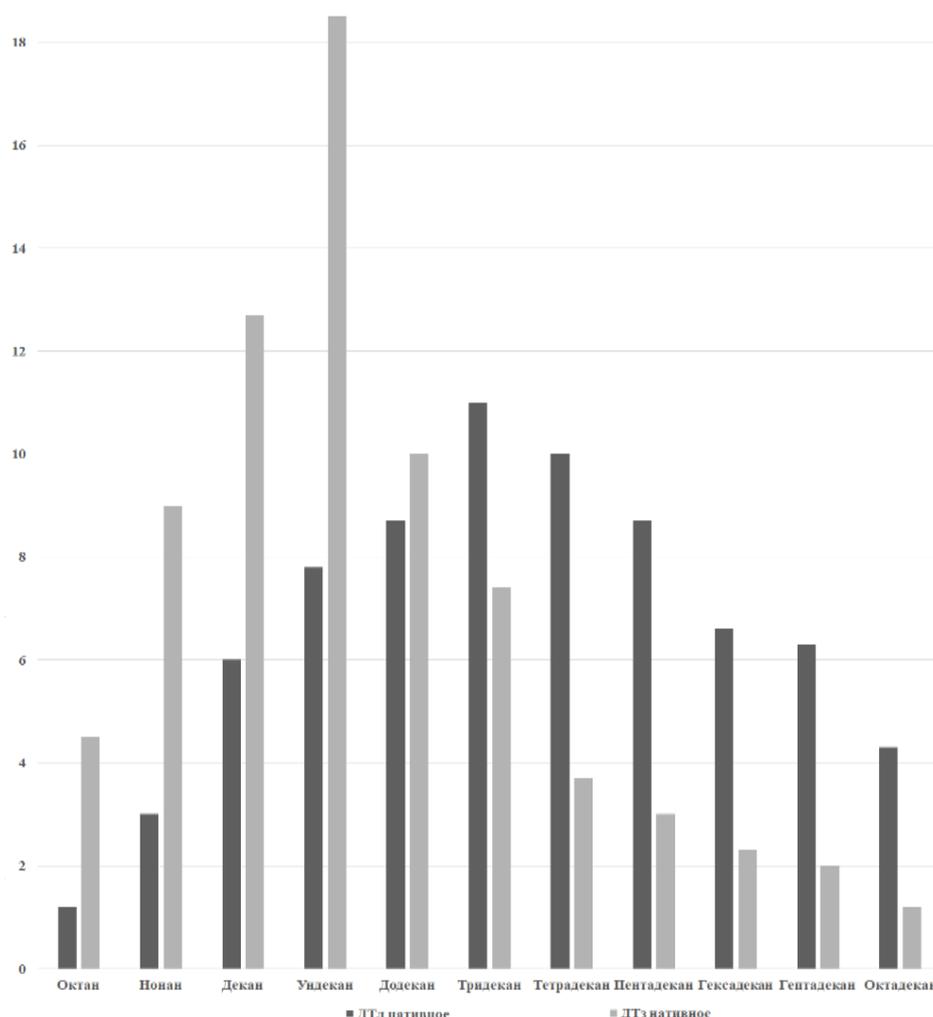


Рис. 8. Содержание алканов, идентифицируемых по методикам [4, 5] при определении топлива для реактивных двигателей до и после его выгорания

Что касается дизельного топлива, в смеси алканов от октана до октадекана в дизельном топливе марки «летнее» наблюдается пропорциональное росту числа атомов углерода в молекуле алкана увеличение количества алканов от октана до тридекана с последующим снижением количества алканов от тетрадекана до октадекана, а в дизельном топливе марки «зимнее» увеличение содержания алканов от октана до ундекана сопровождается уменьшением количества алканов от додекана до октадекана (рис. 9).



**Рис. 9. Содержание алканов, идентифицируемых по методике [4] при определении дизельных топлив**

После термического воздействия в составах дизельных топлив независимо от их марок происходит перераспределение алканов за счет значительного уменьшения содержания летучих и малолетучих алканов от октана до ундекана и увеличения относительного содержания алканов от додекана до октадекана. Причем наибольшая доля алканов в выгоревших дизельных топливах приходится на гептадекан и октадекан в случае дизельного топлива марки «зимнее» и гексадекан и гептадекан в случае дизельного топлива марки «летнее» (рис. 10).

По распределению подгрупп аренов также, как и по относительному содержанию алканов в составах нефтепродуктов, полученных из разных фракций нефти, можно оценить принадлежность органических остатков к нефтепродуктам как до, так и после воздействия на них высоких температур в зоне очага пожара. Как видно из рис. 11, в исходных нефтепродуктах бензиновой фракции нефти в бензинах из всех подгрупп аренов преобладают гомологи бензола и диметилбензолы, в то время как в бензиновом растворителе типа сольвента наибольшее количество аренов относится к подгруппам диалкил- и триметилбензолов. В нефтепродуктах среднестиллятных фракций нефти относительное содержание всех подгрупп аренов на порядок меньше, чем в нефтепродуктах бензиновой фракции нефти. Причем в топливе для реактивных двигателей больше всего аренов из подгруппы гомологов бензола, а в дизельных топливах в основном содержатся арены из подгрупп диметил-, диалкил- и триметилбензолов (рис. 11).

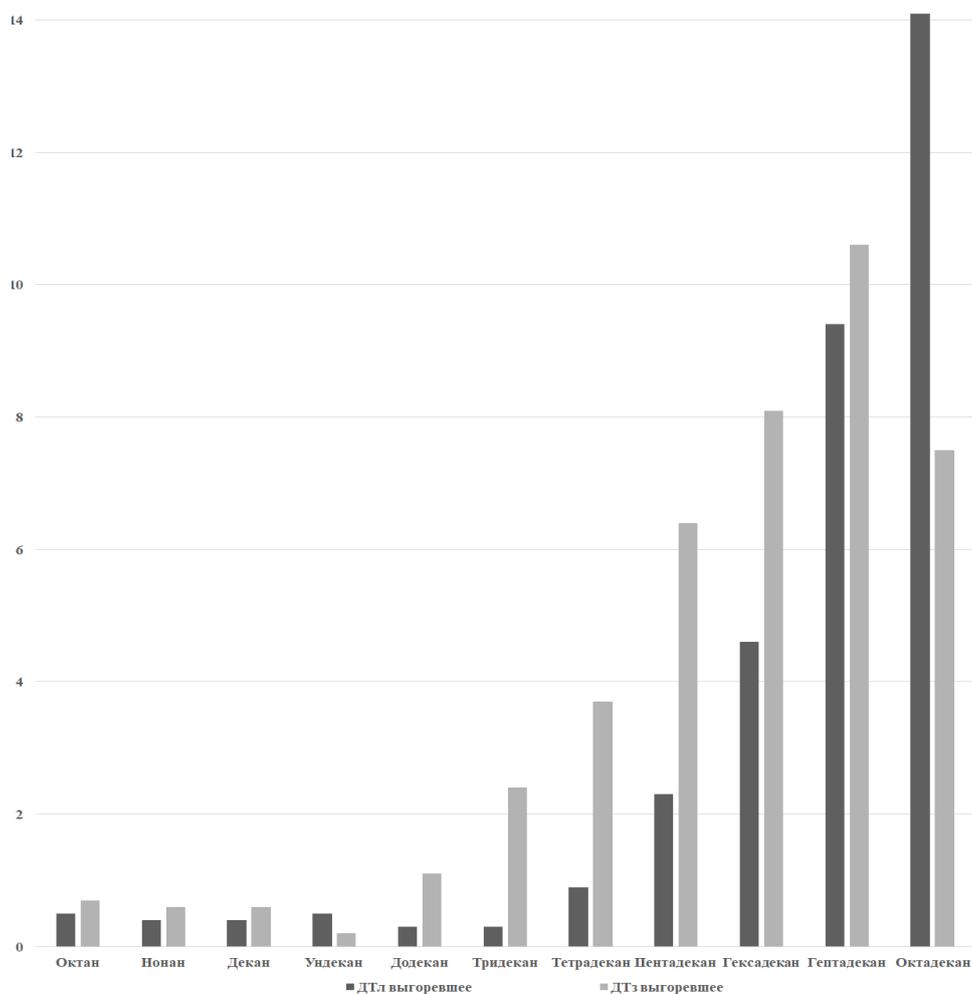


Рис. 10. Содержание алканов, идентифицируемых по методике [4] при определении дизельных топлив после его выгорания

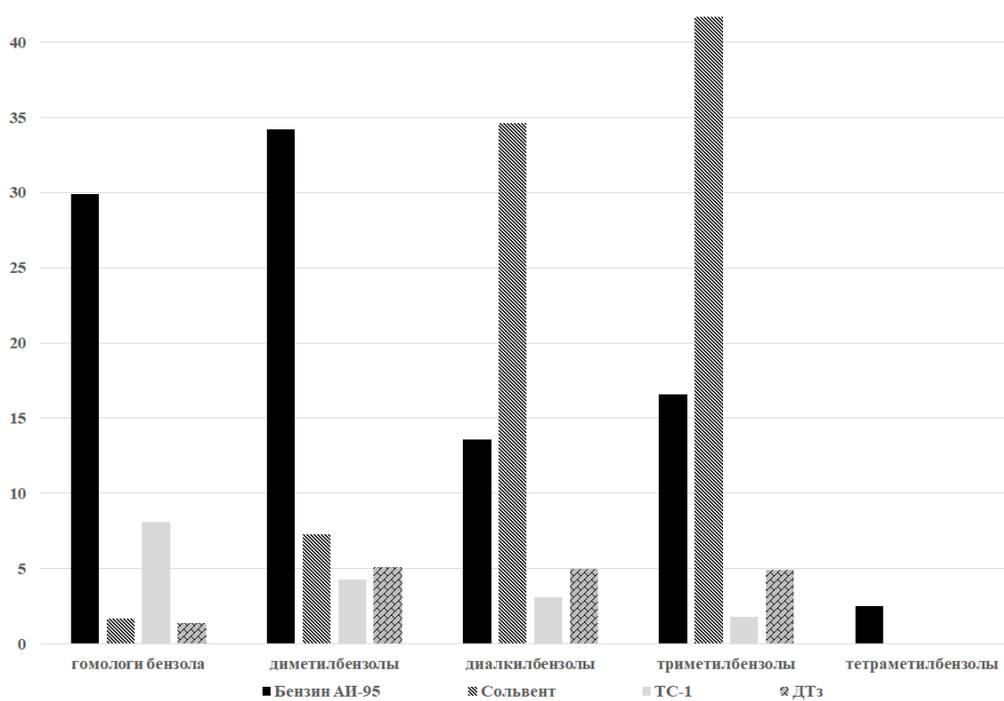


Рис. 11. Распределение групп ароматов в исходных нефтепродуктах

В результате термического воздействия в нефтепродуктах бензиновой фракции нефти в бензинах, в отличие от сольвента, присутствуют арены из подгруппы тетраметилбензолов, а преобладающими подгруппами являются как в случае бензинов, так и случае сольвента арены из подгрупп диалкил- и триметилбензолов. В выгоревших нефтепродуктах, полученных из среднестиллятных фракций нефти, содержание всех подгрупп аренов уменьшается и не превышает 0,5 %–1,0 % от всего состава идентифицированных пиков, суммарное содержание которых принято за 100 % (рис. 12). На хроматограммах нефтепродуктов, полученных из среднестиллятных фракций нефти, из аренов в основном сохраняются пики подгрупп аренов (диалкил-, триметилбензолов, а также нафталин и его производные.

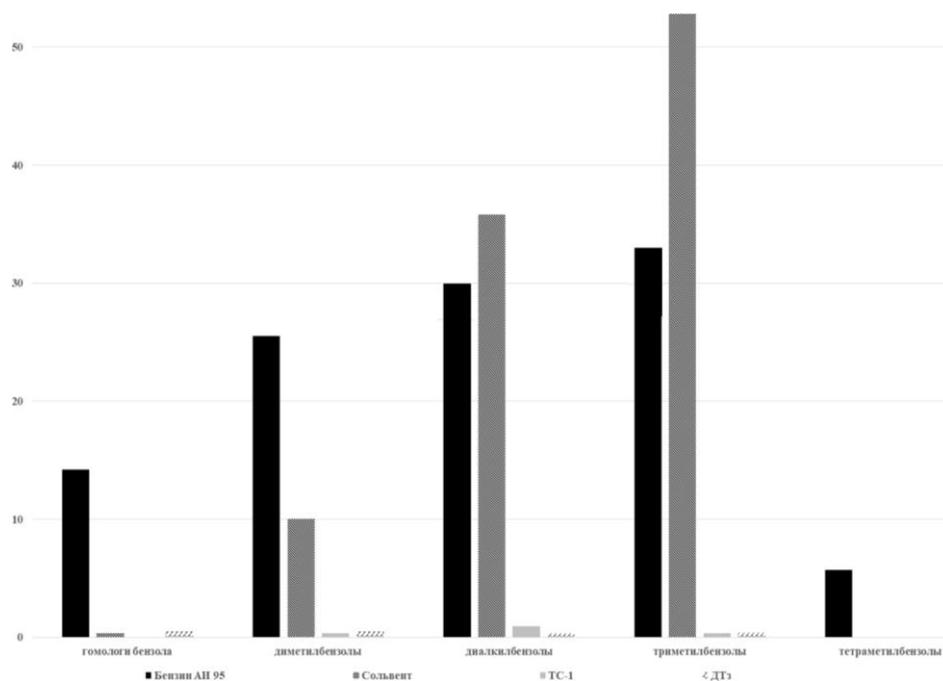


Рис. 12. Распределение групп аренов в выгоревших нефтепродуктах

В табл. 4 и 5 показано, какие подгруппы аренов и алканов присутствуют в нефтепродуктах, полученных из разных фракций нефти до и после термического воздействия на них.

Таблица 4

**Подгруппы аренов, содержание которых максимально в нефтепродуктах до и после термического воздействия**

Подгруппа аренов	Нефтепродукты									
	исходные					выгоревшие				
	ДТз	ДТл	ТС	Бензин	Сольвент	ДТз	ДТл	ТС	Бензин	Сольвент
Гомологи бензола			+	+						
Диметилбензолы	+	+	+	+		+	+		+	

Подгруппа аренов	Нефтепродукты									
	исходные					выгоревшие				
	ДТз	ДТл	ТС	Бензин	Сольвент	ДТз	ДТл	ТС	Бензин	Сольвент
Диалкилбензолы	+	+	+		+	+	+	+		+
Триметилбензолы	+	+	+		+		+	+		+
Тетраметилбензолы										

Для установления принадлежности органических остатков к типу нефтепродукта как до, так и после воздействия на него высоких температур в зоне очага пожара необходимо определить подгруппы аренов (табл. 4) и алканов, содержание которых в органических остатках максимально (табл. 5).

Таблица 5

**Алканы, содержание которых максимально в нефтепродуктах  
до и после термического воздействия**

Алкан	Нефтепродукты									
	исходные					выгоревшие				
	ДТз	ДТл	ТС	Бензин	Сольвент	ДТз	ДТл	ТС	Бензин	Сольвент
Октан				+						
Нонан									+	
Декал	+	+	+		+					+
Ундекан	+	+	+		+					+
Додекан								+		
Тридекан	+	+						+		
Тетрадекан		+								
Гексадекан						+				
Гептадекан						+	+	+		
Октадекан							+	+		

## Заключение

Чтобы установить, из какой фракции нефти был получен нефтепродукт, достаточно рассчитать суммарное содержание трех основных групп углеводородов, а именно: алканов, аренов и изопреноидов.

Группа алканов нормального строения преобладает только в нефтепродуктах, полученных из среднестиллятных фракций нефти (ДТ и керосины разных марок) как в исходных, так и в выгоревших.

Группа алканов изопреноидного строения присутствует только в дизельных топливах как до, так и после термического воздействия на них. Причем относительное содержание группы изопреноидов в составах дизельных топлив возрастает при термическом воздействии на них.

Подгруппы аренов преобладают только в нефтепродуктах, полученных из бензиновой фракции нефти как до, так и после термического воздействия на них.

Кроме того, только в бензинах присутствуют тетраметилбензолы, а их содержание по сравнению с исходными бензинами возрастает в процессе выгорания на пожаре.

Таким образом, исследование методом ГЖХ состава нефтепродуктов до и после их выгорания в ходе пожара показало, что для оценки типа нефтепродукта необходима обработка хроматограмм нефтепродуктов по методу внутренней нормализации и определение группы углеводородов, относительное содержание которой является преобладающим.

Для подтверждения термического воздействия на нефтепродукт необходим анализ относительного содержания алканов, и установление алканов, которые максимально сохраняются в нефтепродуктах после воздействия на них высоких температур на пожаре.

### Список источников

1. Егазарьянц С.В. Хроматографические методы анализа нефтепродуктов // Вестник Московского университета. Сер.: Химия. 2009. Т. 50. № 2. С. 75–99.
2. Табрисов И.И. Состав и свойства светлых нефтепродуктов и их идентификация по рефрактометрическим и магнитооптическим характеристикам: автореф. дис. канд. техн. наук. Казань, 2013. С. 18.
3. Колычев И.А. Установление следов нефтепродуктов, измененных в процессе термического воздействия, высокоэффективной жидкостной хроматографией: дис. ... канд. хим. наук. Краснодар: Кубан. гос. ун-т, 2008. 166 с.
4. Чешко И.Д., Принцева М.Ю., Яценко Л.А. Обнаружение и установление состава легковоспламеняющихся и горючих жидкостей при поджогах: метод. пособие. М.: ВНИИПО МЧС России, 2010. 90 с.
5. Обнаружение и исследование летучих органических компонентов горючих жидкостей (средств поджога): метод. рекомендации / Л.А. Яценко [и др.]. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2019. 78 с.
6. Король А.Н. Неподвижные фазы в газожидкостной хроматографии. М.: Химия, 1985. 240 с.
7. Шишулина А.В. Хроматографические материалы: учеб.-метод. пособие. Ч. 1. Неподвижные жидкие фазы. Н. Новгород: Нижегородский гос. ун-т, 2019. 52 с.
8. Практическая газовая и жидкостная хроматография: учеб. пособие / Б.В. Столяров [и др.]. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2002. 616 с.
9. Другов Ю.С., Родин А.А. Газохроматографическая идентификация загрязнений воздуха, воды, почвы: практ. рук.-во. СПб.: Теза, 1999. 622 с.
10. Гольберт К.А., Вигдергауз М.С. Введение в газовую хроматографию. М.: Химия, 1990. 306 с.
11. Аквилон. Северо-Запад. URL: <https://www.akvilon-nw.ru/Zebbron.php> (дата обращения: 08.09.2023).

12. Яценко Л.А. Критерии дифференциации светлых нефтепродуктов методом газожидкостной хроматографии. Расследование пожаров: сб. ст. М.: ВНИИПО МЧС России, 2007. Вып. 2. С. 180–193.

13. Магеррамов А.М., Ахмедова Р.А., Ахмедова Н.Ф. Нефтехимия и нефтепереработка: учеб. Баку: Изд-во «Баки Университети», 2009. 660 с.

14. Петров Ал.А., Абрютина Н.Н. Изопреноидные углеводороды нефти // Успехи химии. 1989. Т. LVIII. Вып. 6. С. 982–1005.

15. Яценко Л.А., Воронцова А.А., Чешко И.Д. Идентификация нефтепродуктов и технических жидкостей методом газожидкостной хроматографии по индексам удерживания // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. 2017. № 1. С. 6–16.

## References

1. Egazar'yanc S.V. Hromatograficheskie metody analiza nefteproduktov // Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser.: Himiya. 2009. T. 50. № 2. S. 75–99.

2. Tabrisov I.I. Sostav i svoystva svetlyh nefteproduktov i ih identifikaciya po refraktometricheskim i magnitoopticheskim harakteristikam: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Kazan', 2013. S. 18.

3. Kolychev I.A. Ustanovlenie sledov nefteproduktov, izmenennyh v processe termicheskogo vozdejstviya, vysokoeffektivnoj zhidkostnoj hromatografiej: dis. ... kand. him. nauk. Krasnodar: Kuban. gos. un-t, 2008. 166 s.

4. Cheshko I.D., Princeva M.Yu., Yacenko L.A. Obnaruzhenie i ustanovlenie sostava legkovosplamenyayushchihsya i goryuchih zhidkostej pri podzhogah: metod. posobie. M.: VNIPO MCHS Rossii, 2010. 90 s.

5. Obnaruzhenie i issledovanie letuchih organicheskikh komponentov goryuchih zhidkostej (sredstv podzhoga): metod. rekomendacii / L.A. Yacenko [i dr.]. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2019. 78 s.

6. Korol' A.N. Nepodvizhnye fazy v gazozhidkostnoj hromatografii. M.: Himiya, 1985. 240 s.

7. Shishulina A.V. Hromatograficheskie materialy: ucheb.-metod. posobie. Ch. 1. Nepodvizhnye zhidkie fazy. N. Novgorod: Nizhegorodskij gos. un-t, 2019. 52 s.

8. Prakticheskaya gazovaya i zhidkostnaya hromatografiya: ucheb. posobie / B.V. Stolyarov [i dr.]. SPb. S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2002. 616 s.

9. Drugov Yu.S., Rodin A.A. Gazohromatograficheskaya identifikaciya zagryaznenij vozduha, vody, pochvy: prakt. ruk-vo. SPb.: Teza, 1999. 622 s.

10. Gol'bert K.A., Vigdergauz M.S. Vvedenie v gazovuyu hromatografiyu. M.: Himiya, 1990. 306 s.

11. Akvilon. Severo-Zapad. URL: <https://www.akvilon-nw.ru/Zebbron.php> (data obrashcheniya: 08.09.2023).

12. Yacenko L.A. Kriterii differenciacii svetlyh nefteproduktov metodom gazozhidkostnoj hromatografii. Rassledovanie pozharov: sb. st. M.: VNIPO MCHS Rossii, 2007. Vyp. 2. S. 180–193.

13. Magerramov A.M., Ahmedova R.A., Ahmedova N.F. Neftekhimiya i neftepererabotka: ucheb. Baku: Izd-vo «Baky Universiteti», 2009. 660 s.

14. Petrov Al.A., Abryutina H.H. Izoprenoidnye uglevodorody nefiti // Uspekhi himii. 1989. T. LVIII. Vyp. 6. S. 982–1005.

15. Yacenko L.A., Voroncova A.A., Cheshko I.D. Identifikaciya nefteproduktov i tekhnicheskikh zhidkostej metodom gazozhidkostnoj hromatografii po indeksam uderzhivaniya // Nadzornaya deyatel'nost' i sudebnaya ekspertiza v sisteme bezopasnosti. 2017. № 1. S. 6–16.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 31.08.2023; одобрена после рецензирования: 29.09.2023;  
принята к публикации: 24.10.2023

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 31.08.2023; approved after review: 29.09.2023;  
accepted for publication: 24.10.2023

*Информация об авторе:*

**Яценко Лариса Анатольевна**, ведущий научный сотрудник отдела инструментальных методов и технических средств экспертизы пожаров Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат химических наук, e-mail: [yazenko-la@mail.ru](mailto:yazenko-la@mail.ru), РИНЦ Author ID: 865237, <https://orcid.org/0000-0002-1009-3525>, SPIN-код: 1377-0192

*Information about the author:*

**Yatsenko Larisa A.**, leading researcher of the department of instrumental methods and technical means of fire examination of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky pr., 149), candidate of chemical sciences, e-mail: [yazenko-la@mail.ru](mailto:yazenko-la@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1009-3525>, RSCI Author ID: 865237, SPIN: 1377-0192