

DOI: <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2023-89-12-31-43>

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СУДЕБНО-ЭКСПЕРТНОЙ МЕТОДИКИ ИДЕНТИФИКАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ БЕНЗИНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГАЗОЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

© Галина Ивановна Бебешко^{1*}, Георгий Георгиевич Омелянюк^{1,2,3,4},
Ольга Викторовна Самойлова¹, Александр Иванович Усов^{1,3}

¹ Российский федеральный центр судебной экспертизы при Министерстве юстиции Российской Федерации (РФЦЭС), Россия, 109028, Москва, Хохловский пер., д. 13, стр. 2; *e-mail: 109382@mail.ru

² Российский университет дружбы народов, Россия, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: g.omelyanyuk@sudexpert.ru

³ МГТУ им. Н. Э. Баумана, Россия, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1; e-mail: a.usov@sudexpert.ru

⁴ МГУ имени М. В. Ломоносова, факультет почвоведения, Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12

*Статья поступила 10 сентября 2023 г. Поступила после доработки 16 октября 2023 г.
Принята к публикации 25 октября 2023 г.*

В рамках судебной экспертизы нефтепродуктов и горюче-смазочных материалов предложен новый подход к установлению принадлежности автомобильных бензинов общему/различному идентификационному множеству. Разработана методика идентификации бензинов с использованием результатов хроматографического определения контролируемых показателей и последующей оценки результатов для попарно сравниваемых образцов по установленным критериям. В качестве контролируемых показателей, определяемых по стандартизованным методикам, выбраны значения исследовательского октанового числа (ОЧИ), концентраций групп углеводородов (парафины, изопарафины, арены, нафтены, олефины) и оксигенатов. Использовали аппаратно-программный комплекс «Хроматэк-Кристалл 5000», включающий программу обработки данных «Хроматэк-ДНА». Установлены оценочные критерии или правила принятия решения по вопросам, поставленным перед экспертом, для отнесения бензинов к одному товарному наименованию (родовое множество), одной технологии производства (групповое множество) или общему источнику происхождения (одна партия продукции, резервуар хранения и т.п.). Надежность методики оценивали посредством ее валидации, которая состояла из трех этапов. Применяли коллекцию автомобильных бензинов марки Аи-92, отобранных на АЗС четырех нефтяных компаний в течение шести месяцев 2022 г. в различных районах Москвы. На первом этапе исполнитель анализировал в разное время по 12 аликвот каждого из четырех образцов бензинов (образцы, принадлежащие ранее общему объему). Установлено, что показатели качества предлагаемой методики (СКО повторяемости и воспроизводимости, расширенная неопределенность, пределы повторяемости и воспроизводимости) для каждого из определяемых контролируемых показателей не превышают допустимых погрешностей, установленных стандартизованными методиками. На втором этапе эксперимента исполнитель скомбинировал 12 исследуемых образцов в четыре группы каждого производителя (одна технология производства) по три образца разной даты изготовления (разные партии). Сравнивая расхождения измеренных значений одноименных контролируемых показателей между парами образцов внутри групп и расхождение средних показателей между парами групп, исполнитель выявил бензины, изготовленные по одинаковой технологии, а также бензины, произведенные по одной технологии, но в разное время (различные партии), и с вероятностью 95 % бензины, имеющие общее происхождение (принадлежащие ранее общему объему). Выводы валидационного исследования совпали с исходными данными об образцах, что служит подтверждением правильности разработанных критериев сравнения. На третьем этапе (слепое испытание) исполнитель исследовал семь образцов бензинов неизвестного состава: результаты слепого испытания были признаны удовлетворительными. Таким образом, результаты валидации свидетельствуют о пригодности методики для решения судебно-экспертных задач идентификации автомобильных бензинов и о достаточной для реализации методики компетентности исполнителя.

Ключевые слова: автомобильные бензины; газожидкостная хроматография; общее/различное идентификационное множество; валидация; показатели качества методики; оценочные критерии; слепое испытание.

ASSESSING THE RELIABILITY OF THE FORENSIC TECHNIQUE FOR THE IDENTIFICATION STUDY OF MOTOR GASOLINE USING GAS-LIQUID CHROMATOGRAPHY

© Galina I. Bebeshko,^{1*} Georgii G. Omel'yanyuk,^{1,2,3,4}
Olga V. SamoiloVA,¹ Aleksandr I. Usov^{1,3}

¹ Russian Federal Centre of Forensic Science of Ministry of Justice of the Russian Federation (RFCFS), 13-2, Khokhlovsky per., Moscow, 109028, Russia; *e-mail: 109382@mail.ru

² Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6, Miklukho-Maklaya ul., Moscow, 117198, Russia; e-mail: g.omelyanyuk@sudexpert.ru

³ Bauman Moscow State Technical University, 5-1, 2nd Baumanskaya ul., Moscow, 105055, Russia; e-mail: a.usov@sudexpert.ru

⁴ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Soil Science, 1-12, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia

Received September 10, 2023. Revised October 16, 2023. Accepted October 25, 2023.

A new approach to solving the problems of forensic examination of petroleum products, fuels and lubricants associated with establishing whether motor gasoline belongs to a common/different identification set is proposed. A methodology for the identification of gasoline using quantitative results of chromatographic determination of controlled parameters and subsequent evaluation of the results in pairwise compared samples according to the established criteria. The following parameters were selected as controlled indicators: values of research octane number (RON), concentrations of hydrocarbon groups (paraffins, isoparaffins, arenes, naphthenes, olefins) and oxygenates. Their determination was carried out using standardized methods. We used the hardware and software complex of a Chromatek-Crystal 5000 series, including the Chromatek-DHA data processing program. Estimated criteria or decision-making rules regarding the issues posed to an expert were determined to classify gasoline under one product name (generic set), one production technology (group set) or a common source of origin (one production batch, storage tank, etc.). The reliability of the method was assessed using a validation procedure consisted of three stages. We used a collection of AI-92 motor gasoline, selected at gas stations of four oil companies during six months of 2022 in various districts of Moscow. At the first stage, the performer analyzed 12 aliquots of each of four gasoline samples (samples that previously belonged to the common volume) at different times. It was established that the quality indicators of the proposed methodology (standard deviation of the repeatability and reproducibility, expanded uncertainty, limits of the repeatability and reproducibility) for each of the determined controlled indicators did not exceed the permissible errors established by standardized methods. At the second stage of the experiment, the performer combined 12 test samples into four groups from each manufacturer (one production technology) with three samples of different production times (different batches). By comparing the discrepancies in the measured values of the same controlled indicators between pairs of samples within groups and the discrepancy in average indicators between pairs of groups, the contractor identified gasolines manufactured using the same technology; gasolines produced by the same technology, but at different times (different batches) and, with a probability of 95%, gasolines having a common source of origin (previously belonging to a common volume). The conclusions of the validation study matched the original data on the samples, which confirmed the correctness of the developed comparison criteria. At the third stage (blind test), the performer examined seven gasoline samples of, information about the composition and properties of which was not provided to him. The results of the blind test were considered satisfactory. Thus, the validation results indicate the suitability of the methodology for solving forensic identification problems in relation to motor gasoline and the competence of the performer sufficient for implementation of the methodology.

Keywords: motor gasoline; gas-liquid chromatography; common/different identification set; validation; quality indicators of the method; evaluation criteria; blind test.

Введение

Автомобильный бензин — это бензин для применения в двигателях наземной техники [1], который представляет собой сложную смесь легколетучих углеводородов, получаемую разделением сырой нефти на фракции и их компаундированием в процессе переработки. Товарный бензин состоит из сотен углеводородов с числом атомов углерода от C₃ до C₁₃, выкипающих в пределах 30 – 250 °С, к которым также могут быть добавлены оксигенаты (спирты, простые эфиры). Индивидуальные углеводороды для интерпретации состава подразделяют на условные

фракции или группы: парафины, изопарафины, нафтены, олефины и ароматические углеводороды (арены) [2].

Одним из основных эксплуатационных свойств бензина является октановое число (ОЧ) — показатель, указывающий по эталонной шкале детонационную стойкость и соответствующую марку автомобильного бензина [1]. Для определения ОЧ существуют два стандартизованных метода, основанных на использовании установок, имитирующих работу двигателя внутреннего сгорания: моторный [3] и исследовательский [4].

Октановое число по исследовательскому методу (ОЧИ) — показатель детонационной стойкости, полученный путем сравнения интенсивности детонации испытуемого топлива с детонацией эталонных топлив в стандартизованном двигателе при стандартизованных условиях испытания.

Альтернативой стандартизованным служат расчетные методы [5 – 13], не использующие узкоспециализированного оборудования и основанные на математическом учете разных свойств бензина, таких как состав, спектр поглощения, диэлектрическая проницаемость и др.

Нефтеперерабатывающие предприятия производят одноименную продукцию (бензины одной марки, одинакового диапазона ОЧИ), однако различия химического состава используемого сырья (нефти) и применяемых в процессе ее переработки технологических процессов (прямогонная фракция, крекинг, риформинг и др.) обуславливают различия бензинов по составу.

В рамках уголовного судопроизводства периодически возникает необходимость исследования бензинов для установления фактических данных и обстоятельств по делам о хищениях, фальсификации, террористической деятельности и др. В рамках гражданского процесса нередко приходится устанавливать связь выхода из строя автомобильной техники и используемого топлива, приобретенного на конкретной АЗС.

Для решения судебно-экспертных задач по установлению принадлежности исследуемых образцов бензинов общему/различному идентификационному множеству в РФЦСЭ разработана методика «Идентификационное исследование автомобильных бензинов методом газожидкостной хроматографии с использованием программного обеспечения Хроматэк-ДНА».

В предлагаемой методике для хроматографического определения компонентного состава бензина использовали российский ГОСТ [14], а для определения расчетного ОЧИ — белорусский стандарт [15] (оба — с программным обеспечением «Хроматэк-ДНА»).

Расчетные методы определения октанового числа, в том числе основанные на результатах определения состава хроматографическим методом с программным обеспечением для автоматизированной обработки данных, не являются арбитражными в отношении ОЧИ. Получаемые в ходе реализации предлагаемой методики расчетные значения ОЧИ используют исключительно в качестве параметра для сравнения бензинов в отправной точке процесса исследования.

Сущность методики. Методика заключается в сравнительном исследовании образцов бензинов по контролируемым показателям — значениям ОЧИ, содержанию групп углеводородов (пара-

фины, изопарафины, арены, нафтены, олефины) и оксигенатов. Контролируемые показатели устанавливаются в результате количественного газожидкостного хроматографического анализа, заключающегося в разделении бензина на капиллярной колонке с неполярной неподвижной фазой в потоке гелия с последующей регистрацией пиков углеводородов пламенно-ионизационным детектором и автоматизированной обработкой полученной информации.

Оценочные критерии или правила принятия решения. Представленные для исследования образцы бензинов сравнивают попарно; если образцов больше двух, то каждый образец сравнивают с каждым из остальных. Сравнение проводят следующим образом. Вначале образцы сравнивают по значению ОЧИ, которое указывает на товарное наименование бензина (Аи-80, Аи-92, Аи-95 и др.).

По стандартизованной методике [15] границы абсолютной погрешности расчетного определения ОЧИ хроматографическим методом Δx составляют $\pm 2,0$ ед., т.е. доверительный интервал измерений составляет ОЧИ $\pm 2,0$ ед., и ему соответствует 95 %-ная доверительная вероятность. Если доверительные интервалы найденных значений ОЧИ перекрываются (имеют хотя бы одну общую точку), то сравниваемые образцы с вероятностью 95 % имеют общий признак, в данном случае — родовой (совпадают по наименованию). Перекрывание имеет место, когда максимальное значение или верхняя граница интервала для одного образца \geq минимального значения или нижней границы интервала для другого.

Установлены следующие критерии сравнения по значению ОЧИ:

если диапазоны значений ОЧИ $\pm 2,0$ ед. сравниваемой пары бензинов не перекрываются, то образцы бензинов не имеют общей родовой принадлежности, и сравнительное исследование такой пары бензинов завершают;

если диапазоны значений ОЧИ $\pm 2,0$ ед. сравниваемой пары бензинов имеют хотя бы одну общую точку (перекрываются), то образцы бензинов имеют общую родовую принадлежность и образцы, отнесенные к бензинам одинакового наименования, далее сравнивают по качественному и количественному составу оксигенатов.

Оксигенаты — безольные органические соединения, содержащие кислород, такие как спирт или простой эфир, которые используют в качестве добавки к топливу [16]. Техническим регламентом таможенного союза [17] допускается при производстве автомобильных бензинов использование в качестве октаноповышающих добавок низших спиртов (этанол, изопропанол, изобутанол и др.) и простых эфиров (метил-трет-бутиловый эфир — МТБЭ; тетраамиловый

эфир — ТАМЭ и др.) как в виде индивидуальных соединений, так и в различных сочетаниях (например, МТВЭ + ТАМЭ или МТВЭ + изобутанол). При этом максимальное содержание спиртов в бензине ограничено 10 % об., эфиров — 15 % об.

Разный качественный состав оксигенатов в сравниваемых бензинах свидетельствует о том, что они изготовлены по различным технологиям, т.е. не имеют общей групповой принадлежности.

Под технологией понимают набор технологических процессов переработки нефти, продукты которых использованы для получения конечного продукта — товарного автомобильного бензина с заданными детонационными свойствами [18].

Для удобства сравнения бензинов с одинаковым качественным составом оксигенатов весь интервал содержаний оксигенатов от 0 до 15 % об. разделяют на три условные диапазона (% об.): I — менее 1; II — от 1 до 10 включительно; III — больше 10.

Установлены следующие критерии сравнения бензинов по содержанию оксигенатов:

если содержание оксигенатов одинакового качественного состава в сравниваемых бензинах одного наименования находится в разных диапазонах концентраций и при этом разница между содержанием оксигенатов больше 20 % отн., то они изготовлены по разным технологиям, т.е. не имеют общей групповой принадлежности; сравнительное исследование такой пары бензинов завершают;

если содержание оксигенатов одинакового качественного состава в сравниваемых бензинах одного наименования находится в одном диапазоне концентраций либо в обоих образцах установлено отсутствие оксигенатов, то они относятся к множеству бензинов одного наименования (общая родовая принадлежность), изготовленных с использованием оксигенатов в соизмеримом количестве или без их добавления.

Установленное сходство сравниваемой пары бензинов по диапазону содержания оксигенатов (в том числе бензинов, не содержащих оксигенаты) является необходимым, но не достаточным условием для отнесения образцов к общему групповому множеству (одной технологии), поэтому проводят их дальнейшее сравнение.

Установлено, что у бензинов одной марки, изготовленных одним производителем (по одной технологии), количественные характеристики состава одинаково стабильны во времени. Однако для бензинов, произведенных по одной технологии, но принадлежащих разным партиям (изготовлены в разное время), характерны расхождения в содержаниях групп углеводородов, оксигенатов и, соответственно, в значениях ОЧИ.

Партия — это любое количество бензина одной марки, изготовленного в ходе непрерывного технологического процесса, однородного по компонентному составу и показателям качества [19].

Вычисляют разность между значениями ОЧИ (абс.ед.) и относительное расхождение (R , % отн.) по другим контролируемым показателям по формуле:

$$R = \frac{2|x_1 - x_2|}{x_1 + x_2} \cdot 100, \quad (1)$$

где x_1 и x_2 — значения одноименных контролируемых показателей в сравниваемых попарно образцах бензинов.

Для оценки результатов сравнения бензинов по значениям расхождений контролируемых показателей установлены следующие оценочные критерии:

если у сравниваемой пары бензинов содержание оксигенатов попадает в один условный диапазон концентраций (перекрывается по граничным значениям), но при этом для одноименных оксигенатов и групп углеводородов образцы различаются хотя бы по одному из них более чем на 20 % отн., то бензины изготовлены по разным технологиям, т.е. не имеют общей групповой принадлежности;

если у сравниваемой пары бензинов одного наименования содержание оксигенатов составляет более 1 % об., попадает в один концентрационный диапазон, а одноименные контролируемые показатели, в том числе содержание оксигенатов, различаются менее чем на 20 % отн., и значения $OCH \leq 1$, то бензины изготовлены по одинаковой технологии, т.е. имеют общую групповую принадлежность.

В случаях, когда сохраняются перечисленные выше условия, но содержание оксигенатов составляет менее 1 % об., допускается расхождение по содержанию оксигенатов больше чем на 20 % отн. (вплоть до 100 % отн.). Это связано не с уменьшением значимости признака (содержания оксигената), а с закономерным увеличением погрешности определения низких концентраций.

Далее бензины сравнивают по контролируемым показателям для отнесения к общему источнику происхождения, т.е. к бензинам, принадлежавшим ранее общему объему (производственной партии и/или объему, ограниченному резервуаром хранения/транспортировки).

Бензины являются гомогенными системами, поэтому в результате разделения какого-то объема на части последние сохраняют свойства целого. К таким свойствам относятся и значения контролируемых показателей.

Бензины, ранее отнесенные к одноименным и изготовленным по одинаковой технологии,

сравнивают по доверительным интервалам значений контролируемых показателей в соответствии со следующими оценочными критериями:

если у бензинов, отнесенных к общей технологии изготовления, установлены различия хотя бы по одному параметру состава, превышающие расширенную неопределенность $\pm U$, т.е. когда доверительные интервалы $x \pm U$ не перекрываются, то эти образцы изготовлены по одной технологии, но в разное время (разные партии). Такие бензины не принадлежали ранее общему объему, т.е. сравниваемые образцы не имеют общего источника происхождения;

если у сравниваемых бензинов, отнесенных к общей технологии изготовления, различия в пределах $x \pm U$ по всем контролируемым показателям отсутствуют (доверительные интервалы перекрываются), то такие образцы являются частями общего объема, ограниченного партией готовой продукции и/или резервуаром хранения/транспортировки, т.е. имеют общий источник происхождения.

Экспериментальная часть

Оборудование и обработка хроматограмм. Использовали прошедший поверку аппаратно-программный комплекс для медицинских исследований на базе газожидкостного хроматографа «Хроматэк-Кристалл 5000», который включает газовый хроматограф с пламенно-ионизационным детектором (ПИД) и капиллярной колонкой CR-1PONA (100 м × 0,25 мм × 0,5 мкм; газ-носитель — гелий марки «А» (ТУ-51-940-80, чистота — 99,99 %, содержание O₂, N₂, CO, CO₂ — не более 0,0001 % об. каждого); дозатор (автосамплер) ДАЖ-2М и персональный компьютер с программным обеспечением (ПО) «Хроматэк Навигатор», «Панель управления», «Хроматэк Аналитик 3.1» и «Хроматэк-ДНА», разработанным ЗАО СКБ «Хроматэк».

Программа «Хроматэк Навигатор» выполняет функции рабочего стола оператора, на котором расположены все программы, входящие в состав пакета ПО. «Панель управления» предназначена для управления хроматографом и вспомогательным оборудованием. «Хроматэк Аналитик 3.1» обеспечивает расчет нормализованной площади пика по фактору отклика, идентификацию индивидуальных компонентов по времени и линейным индексам удерживания одновременно.

Получение и обработка хроматографических данных регулируются методом инструмента, который создается для конкретной аналитической задачи и является составной частью программы «Хроматэк Аналитик». Метод — это объект (файл), содержащий следующую информацию: условия проведения анализа (режим хрома-

тографа); список анализируемых компонентов и их характеристики (название, время удерживания, канал детектирования, функция отклика детектора и т.д.); настройки расчета хроматограммы, отчетов и отдельных операций обработки хроматограмм.

Программа «Хроматэк-ДНА» на основании полученной информации об углеводородном и оксигенатном составе бензина обеспечивает расчет его компонентного и группового состава, а также ряда эксплуатационных характеристик, в число которых входит значение ОЧИ. Программа выдает «Отчет» о значениях контролируемых показателей в виде таблиц «Детальный углеводородный анализ», «Оксигенаты» и «Октановое число».

Создание и запуск соединения программного обеспечения с прибором, настройка параметров работы хроматографа, кондиционирование колонки и оценка ее разделительной способности (калибровка), проверка линейности испарителя, создание режима дозатора и другие настройки выполняют при пусконаладочных работах в соответствии с руководством по проведению хроматографического анализа [20].

При обработке полученных хроматограмм выполняют корректировку условий и результатов по компьютерной программе «Хроматэк-ДНА». Контролируют правильность идентификации пиков и единообразие обработки хроматограмм попарно сравниваемых образцов. Процедура корректировки описана в работе [21].

Образцы для валидационного эксперимента. Использовали образцы автомобильных бензинов марки Аи-92, отобранных на АЗС четырех нефтяных компаний в течение шести месяцев 2022 г. в различных районах Москвы. Каждый образец бензина был снабжен паспортом качества.

Бензин отбирали из топливораздаточных колонок АЗС в пластиковые канистры вместимостью 5 л, специально предназначенные для топлив и технических жидкостей. Из них отбирали пробы по ГОСТ [22] или ГОСТ [23] объемом 100 мл в маркированную емкость из темного стекла с двойной пробкой. Пробы хранили в холодильнике при температуре 4 – 5 °С до завершения исследования. Непосредственно перед исследованием аликвоту испытуемого образца после достижения комнатной температуры переносили в маркированную виалу и помещали в барабан автосамплера хроматографа.

В табл. 1 представлены указанные в плане валидации образцы для первого и второго этапов. Еще 7 образцов для третьего этапа (слепое испытание) были указаны в «Протоколе подготовки образцов». Информацию о составе и свойствах этих семи образцов исполнителю не предоставляли.

Содержание валидационного эксперимента. Первый этап заключался в проведении измерений для оценки показателей качества методики: неопределенности результатов определения групп углеводородов, оксигенатов и расчетного значения ОЧИ исследуемых образцов бензинов и прецизионности методики при анализе образцов бензинов, принадлежавших ранее общему объему (общему источнику происхождения).

Неопределенность результатов измерений — показатель, характеризующий разброс значений, которые с достаточным основанием могут быть приписаны измеряемой величине. Применительно к данной методике неопределенность результатов измерения состоит из неопределенности собственно определения компонентов, так как

пробоподготовка не требуется. Оценка стандартной неопределенности в данном случае совпадает с оценкой прецизионности методики в целом.

Прецизионность измерений — показатель, характеризующий близость между измеренными значениями величины, полученными при повторных испытаниях одного и того же или аналогичных объектов при заданных условиях. Численно прецизионность измерений выражают через стандартное среднеквадратическое отклонение (СКО) повторяемости и воспроизводимости.

Условия повторяемости обеспечивались тем, что исполнитель проводил параллельные определения ($n = 2$) компонентов в образце в течение одного дня с использованием одного и того же

Таблица 1. Образцы для проведения валидационного эксперимента

Table 1. Samples for the validation experiment

Номер образца	Нефтяная компания, марка бензина	НПЗ, дата изготовления, номер партии	Дата и место отбора	ОЧИ по паспорту качества
Образцы для первого этапа валидации				
1	ТАТ-нефть, ТАНЕКО-92 по СТО 78689379-50-20	АО «ТАНЕКО», Республика Татарстан, 17.09.22, № 94	03.11.22, Угрешский пр., 10/1	92,3
2	Газпромнефть, Аи-92-К5 по ГОСТ 32513	АО «Московский НПЗ», 02.11.22, № 640	03.11.22, Люблинская ул., 12Б	94,1
3	Роснефть, Аи-95-К5 по ГОСТ 32513	АО «Рязанская НПК», 31.10.22, № 9494/01	03.11.22, Волгоградский пр., 24/1	92,0
4	Лукойл, ЭКТО-92 по СТО Лукойл 1.24.1–2016	ООО «Лукойл-Нижегород-Нефтеоргсинтез», 01.11.22, № 1144	03.11.22, Волгоградский пр., 39/1	93,2
Образцы для второго этапа валидации				
5	Газпромнефть, Аи-92-К5 по ГОСТ 32513	АО «Московский НПЗ», 04.09.22, № 525	07.09.22, Дмитровское ш., 104	94,0
6	Лукойл, ЭКТО-92 по СТО Лукойл 1.24.1–2016	ООО «Лукойл-Нижегород-Нефтеоргсинтез», 01.11.22, № 1144	03.11.22, Волгоградский пр., 39/1	93,2
7	ТАТ-нефть, ТАНЕКО-92 по СТО 78689379-50-20	АО «ТАНЕКО», Республика Татарстан, 06.09.22, № 90	04.10.22, Каширское ш., 12	94,5
8	Газпромнефть, Аи-95-К5 по ГОСТ 32513	АО «Московский НПЗ», 04.09.22, № 525	07.09.22, Дмитровское ш., 21	94,0
9	Газпромнефть, Аи-95-К5 по ГОСТ 32513	АО «Московский НПЗ», 02.10.22, № 579	07.10.22, Каширское ш., 57	94,0
10	Роснефть, Аи-95-К5 по ГОСТ 32513	АО «Рязанская НПК», 18.06.22, № 5579/01	04.07.22, Энтузиастов ш., 33Б	92,0
11	Роснефть, Аи-95-К5 по ГОСТ 32513	АО «Рязанская НПК», 17.07.22, № 6482/01	25.07.22, Дмитровское ш., 77А	92,2
12	Роснефть, Аи-95-К5 по ГОСТ 32513	АО «Рязанская НПК», 10.09.22, № 8019/01	12.09.22, Дмитровское ш., 107Е	92,4
13	Лукойл, ЭКТО-92 по СТО Лукойл 1.24.1–2016	ООО «Лукойл-Нижегород-Нефтеоргсинтез», 01.07.22, № 703	04.07.22, Энтузиастов ш., 27	92,7
14	Лукойл, ЭКТО-92 по СТО Лукойл 1.24.1–2016	ООО «Лукойл-Нижегород-Нефтеоргсинтез», 05.09.22, № 956	12.09.22, Дмитровское ш., 104	92,7
15	Лукойл, ЭКТО-92 по СТО Лукойл 1.24.1–2016	ООО «Лукойл-Нижегород-Нефтеоргсинтез», 02.10.22, № 1039	04.10.22, Каширское ш., 65	92,8
16	Газпромнефть, Аи-92-К5 по ГОСТ 32513	АО «Московский НПЗ», 02.11.22, № 640	03.11.22, Сормовский пр., 9	94,1

прибора, условия воспроизводимости — тем, что анализ выполняли в разные дни.

Оценить правильность методики, т.е. определить значимость смещения при измерениях по данной методике, невозможно, так как подходящий стандартный образец для установления такого показателя отсутствует.

Второй этап заключался в подтверждении правильности оценочных критериев сравнения исследуемых бензинов в целях установления пригодности методики для выделения бензинов в общие идентификационные множества, сформированные по признакам общей технологии производства и/или принадлежности к общему объему (одной партии готовой продукции).

Третий этап заключался в выполнении слепого испытания по установлению принадлежности образцов бензинов неизвестного происхождения общему/различному идентификационному множеству в целях оценки пригодности методики для решения судебно-экспертных задач и подтверждения компетентности оператора.

Более точной считается оценка надежности методики и компетентности эксперта по результатам анализа проб неизвестного происхождения и состава. Полезность слепых испытаний и необходимость их широкого внедрения отмечены во многих публикациях [24 – 27].

Обсуждение результатов

На каждом из этапов измерения проводил один исполнитель с использованием одного и того же оборудования: на первом этапе — в течение 24, втором — 6, третьем — 4 рабочих дней. В каждый из дней исполнитель проводил два определения для одного и того же или разных образцов. Одно одновременное определение всех контролируемых показателей занимало 2,5 – 3 ч.

На первом этапе исполнитель определял состав 12 проб каждого из образцов бензинов 1, 2, 3 и 4 (см. табл. 1). Пробы представляли собой аликвоты, отобранные в разное время из одной емкости. Таким образом, было проведено по 12 определений из одного объема каждого образца.

Используя рекомендации, представленные в работе [28], исполнитель рассчитал статистические показатели качества методики. За показатели качества методики из четырех значений, полученных для каждого исследованного образца, принимали максимальные значения СКО повторяемости (S_r), СКО воспроизводимости (S_R), расширенной неопределенности (U), а также пределов повторяемости r и воспроизводимости R .

Для сравнения со стандартизованной методикой [14] установленные показатели качества были сгруппированы по трем диапазонам концентраций углеводородов и оксигенатов (табл. 2).

Таблица 2. Показатели качества методики по ГОСТ 52714 [14] и установленные в ходе валидации для разных диапазонов концентраций групп углеводородов и оксигенатов

Table 2. Quality indicators of the technique according to GOST 52714 [14] and those established during validation for different concentration ranges of hydrocarbon groups and oxygenates

Характеристика	Диапазон концентраций, % об.	ГОСТ 52714–2018 для всех групп углеводородов и оксигенатов	Методика					
			Парафины	Изопарафины	Арены	Нафтенy	Олефины	Оксигенаты
S_r	До 1 вкл.*	0,04	—	—	—	—	—	0,002
	Св. 1 до 10**	0,14	0,05	—	—	0,1	0,1	0,006
	От 10	0,4	0,11	0,1	0,15	0,1	0,1	0,02
r	До 1 вкл.	0,1	—	—	—	—	—	0,01
	Св. 1 до 10	0,4	0,15	—	—	0,3	0,1	0,02
	От 10	1,2	0,3	0,3	0,6	0,3	0,2	0,05
S_R	До 1 вкл.	0,1	—	—	—	—	—	0,01
	Св. 1 до 10	0,3	0,3	—	—	0,15	0,1	0,015
	От 10	0,6	0,2	0,15	0,4	0,15	0,2	0,02
R	До 1 вкл.	0,3	—	—	—	—	—	0,023
	Св. 1 до 10	0,8	0,7	—	—	0,4	0,1	0,04
	От 10	1,6	0,5	0,4	1,0	0,4	0,5	0,05
U	До 1 вкл.	0,2	—	—	—	—	—	0,02
	Св. 1 до 10	0,6	0,5	—	—	0,3	0,1	0,03
	От 10	1,2	0,4	0,3	0,8	0,3	0,4	0,04

* Значения концентрации определяемых групп углеводородов не могут быть меньше 1 % об.

** Значения концентрации изопарафинов и аренов не могут быть меньше 10 % об.

Показатели качества методики для определения значений ОЧИ приведены в табл. 3.

Из данных табл. 2 и 3 видно, что все показатели качества, установленные в процессе валидации методики, меньше или совпадают с допустимыми погрешностями стандартизованных методик.

Это позволяет сделать вывод о том, что валидируемая методика обеспечивает прецизионность, т.е. позволяет с приемлемой неопределенностью и доверительной вероятностью 95 % определять контролируемые показатели для образцов бензинов, принадлежавших ранее общему объему (общему источнику происхождения).

Поскольку расширенная неопределенность фактически совпадает с удвоенной стандартной среднеквадратической погрешностью, то доверительному интервалу результатов измерений $x \pm U$ соответствует 95 %-ная доверительная вероятность [29].

На втором этапе с учетом сведений о происхождении образцов исполнитель разделил 12 образцов, указанных в табл. 1 и не исследованных на первом этапе эксперимента, на четыре группы по принадлежности разным производителям (разные технологии). Каждый производитель представлен тремя образцами бензина, изготовленного в разное время (разные партии).

В группу № 1 вошли образцы 5, 6, 7; в группу № 2 — образцы 8, 9, 16; в группу № 3 — образцы 10, 11, 12; в группу № 4 — образцы 13, 14, 15.

Для решения вопроса, относятся ли бензины, изготовленные в разное время одним производителем (разные партии), к одной технологии, исполнитель провел попарное сравнение образцов бензинов внутри каждой из четырех групп. Например, в первой группе сравнил образцы 5/6, 5/7 и 6/7. Для каждой группы образцов исполнитель рассчитал относительное расхождение (R , % отн.) между одноименными контролируемыми показателями и представил полученные значения R в соответствующих таблицах.

Результаты сравнений внутри групп:

в бензинах из групп № 1 (содержат 15 – 10 % об. оксигенатов) и № 2 (содержат 10 – 1 % об. оксигенатов) расхождение по всем контролируемым показателям, в том числе, по содержанию

оксигенатов, составили <20 % отн., а значения ОЧИ не различались более чем на одну единицу. Следовательно, несмотря на разное время изготовления (принадлежность разным партиям), бензины в группах № 1 и 2 изготовлены по одной технологии, что совпадает с данными об образцах, представленными в табл. 1.

В группах бензинов № 3 и 4 (содержат <1 % об. оксигенатов) расхождения по всем контролируемым показателям составили <20 % отн., и значения ОЧИ не различались более чем на одну единицу. Расхождения по содержанию оксигенатов между бензинами в группе № 3 достигали 51 % об., а в группе № 4 — 97 % об. Это допустимо при содержании оксигенатов в диапазоне концентраций <1 % об. Следовательно, несмотря на разное время изготовления (принадлежность разным партиям), бензины в группах № 3 и 4 изготовлены по одной технологии, что совпадает с данными об образцах в табл. 1.

Для решения вопроса, относятся ли бензины разных групп к одной или разным технологиям, исполнитель вычислял среднее значение контролируемых показателей внутри каждой группы \bar{x}_n и оценивал расхождения между группами, рассчитывая относительное расхождение (R , % отн.) между средними значениями контролируемых показателей в попарно сравниваемых образцах бензинов из разных групп по формуле (1), где x_1 и x_2 — средние значения контролируемых показателей в сравниваемых попарно группах бензинов. Результаты сравнений между группами представлены в табл. 4.

Данные табл. 4 показывают, что бензины, ОЧИ которых совпадают в пределах ± 2 ед., различаются по одному или более показателям углеродного состава более чем на 20 % отн. Следовательно, они изготовлены по разным технологиям, что совпадает с данными об образцах в табл. 1.

Для решения вопроса, являются ли бензины, изготовленные по одной технологии, частями общего объема, т.е. имеют ли общий источник происхождения, исполнитель провел попарное сравнение образцов бензинов внутри каждой из четырех групп по контролируемым показателям с учетом их значений расширенной неопределенности $x \pm U$. Результаты были представлены в соответствующих таблицах.

Сравнения табличных данных показали, что с учетом доверительных интервалов бензины внутри каждой из групп имеют различия между собой по одному и более из контролируемых показателей. Следовательно, в каждой из групп образцов бензины, изготовленные по одной технологии, не являются частями общего объема, т.е. принадлежат разным партиям одноименной продукции, как и указано в табл. 1.

Таблица 3. Показатели качества методики для значений ОЧИ по СТБ 1276–2001 [15] и установленные в ходе валидации

Table 3. Quality indicators of the technique for RON values according to STB 1276-2001 [15] and determined during validation

ОЧИ, ед.	S_r	S_R	U
СТБ 1276–2001	0,2	0,4	$\pm 2,0$
Методика	0,15	0,4	$\pm 0,8$

Таким образом, полученные результаты на втором этапе подтверждают правильность оценочных критериев или надежность правил принятия решений, которые позволяют выявлять бензины, «изготовленные по одинаковой технологии, бензины, произведенные по одной технологии, но принадлежавшие различным партиям или резервуарам хранения/транспортировки, и бензины, принадлежавшие ранее общему объему».

Для третьего этапа исполнителю были предоставлены неизвестные ему образцы бензинов в семи емкостях, имеющих обозначения X-1, X-2, X-3, X-4, X-5, X-6, X-7.

Перед исполнителем стоял вопрос о принадлежности представленных образцов бензинов общему идентификационному множеству (общему роду, общей группе, общему источнику происхождения).

Результаты хроматографического анализа образцов представлены в табл. 5.

Сравнение бензинов по значению ОЧИ. Как видно из табл. 5, диапазоны значений ОЧИ всех испытуемых бензинов перекрываются между собой: все значения попадают в один доверительный интервал, который составляет $91,3 \pm 2$ ед. Такие бензины принадлежат множеству бензинов одного наименования — товарному бензину

Аи-92 [1], т.е. образцы имеют общую родовую принадлежность.

Сравнение бензинов по содержанию оксигенатов. Как видно из табл. 5, по содержанию оксигенатов испытуемые бензины разделились на две группы: группа А — образцы X-1, X-2, X-3, содержание оксигенатов в которых составляет от 1 до 10 % об.; группа Б — образцы X-4, X-5, X-6, X-7, которые содержат менее 1 % об. оксигенатов.

Образцы каждой из групп А и Б имеют общую родовую принадлежность, а именно, относятся к множеству бензинов одного наименования, изготовленных с использованием оксигенатов в соизмеримых количествах.

Сравнение бензинов для установления общей/различной групповой принадлежности. Исполнитель вычислял относительное расхождение (R , % отн.) между значениями одноименных контролируемых показателей в попарно сравниваемых бензинах в каждой группе и между группами (табл. 6).

По данным табл. 6 сделаны следующие выводы:

бензины X-1, X-2, X-3 не имеют различий в пределах установленных ограничений (≤ 20 % отн.) ни по одному из параметров, следовательно, они изготовлены по одной технологии, т.е. имеют общую групповую принадлежность. Бензин X-3,

Таблица 4. Расхождения (R , % отн.) между средними значениями содержаний одноименных групп углеводородов в попарно сравниваемых группах бензинов

Table 4. Discrepancies (R , % rel.) between the average values of the contents in same hydrocarbon groups in pairwise compared groups of gasoline

Номера сравниваемых групп и значения ОЧИ (ед.) в каждой из них	Парафины	Изопарафины	Арены	Нафтены	Олефины
1/2 89,7 – 93,7/90,2 – 94,2	11	13	25	12	65
1/3 89,7 – 93,7/89,0 – 93,0	22	23	25	89	7
1/4 89,7 – 93,7/87,5 – 91,5	10	14	26	48	40
2/3 90,2 – 94,2/89,0 – 93,0	11	37	0,6	79	71
2/4 90,2 – 94,2/ 87,5 – 91,5	21	27	0,8	37	26
3/4 89,0 – 93,0/87,5 – 91,5	31	10	1,4	45	47

Таблица 5. Результаты хроматографического анализа образцов бензинов неизвестного состава в слепом испытании

Table 5. Results of chromatographic analysis of gasolines in the blind test

Образец	ОЧИ, ед.	Концентрации групп углеводородов и оксигенатов, % об.					
		Парафины	Изопарафины	Арены	Нафтены	Олефины	Оксигенаты
X-1	92,5	9,78	32,31	29,90	10,33	15,39	1,77
X-2	92,7	9,86	32,50	29,70	10,19	15,52	1,79
X-3	92,1	9,25	33,85	29,83	10,68	14,03	1,78
X-4	90,5	10,98	46,60	29,19	4,60	7,88	0,49
X-5	90,5	11,04	46,50	29,30	4,61	7,89	0,49
X-6	91,1	10,99	48,74	28,02	4,32	7,41	0,29
X-7	89,4	8,89	42,57	28,68	6,98	12,21	0,30

Таблица 6. Расхождения (R) между одноименными контролируруемыми показателями в попарно сравниваемых бензинах внутри групп А и Б и между ними**Table 6.** Discrepancies (R) between the same controlled indicators in pairwise compared gasolines within groups A and B and between them

Образцы для сравнения	ОЧИ, ед.	Контролируемые показатели				
		Содержание, % об.				
		Парафины	Изопарафины	Арены	Нафтены	Олефины
Сравнение бензинов внутри группы А						
X-1/X-2	0,2	0,8	0,6	0,7	1,4	0,8
X-1/X-3	0,4	5,6	4,5	0,2	3,3	9,2
X-2/X-3	0,6	6,4	4,1	0,4	4,7	10,01
Сравнение бензинов внутри группы Б						
X-4/X-5	0,0	0,5	0,2	0,4	0,2	0,1
X-4/X-6	0,7	0,1	4,6	4,0	6,3	6,2
X-4/X-7	1,2	21	9,0	1,8	41	43
X-5/X-6	0,7	0,5	4,7	4,5	6,5	6,3
X-5/X-7	1,2	21,6	8,8	2,1	40	43
X-6/X-7	1,9	21,1	13,5	2,3	47	49
Сравнение бензинов между группами А (образец X-3) и Б (образцы X-4, X-5, X-6, X-7)						
X-3/X-4	1,8	17	32	2,2	80	56
X-3/X-5	1,8	17,6	31	1,8	79	57
X-3/X-6	1,1	17,2	36	6,3	85	62
X-3/X-7	2,7	3,9	22,8	3,9	42	13

являющийся типичным представителем этой группы, и бензины X-4, X-5, X-6, X-7 различаются по количественным характеристикам углеводородного группового состава более чем на 20 % отн. хотя бы по двум показателям, а по значению ОЧИ — более чем на 1 ед., следовательно, они изготовлены по разным технологиям и не имеют общего источника происхождения;

бензины X-4, X-5, X-6 не имеют различий, выходящих за пределы установленных ограничений (≤ 20 % отн.) ни по одному из параметров, следовательно, они изготовлены по одной технологии, т.е. имеют общую групповую принадлежность. Эти бензины и бензин X-7 различаются по количественным характеристикам углеводородного группового состава более чем на 20 % отн. по двум показателям, а по значению ОЧИ — более чем на 1 ед., следовательно, бензины X-4, X-5, X-6 и бензин X-7 изготовлены по разным технологиям, т.е. не имеют общего источника происхождения;

бензин X-7 не имеет общей групповой принадлежности ни с бензинами группы А (X-1, X-2, X-3), ни с бензинами группы Б (X-4, X-5, X-6). В этой связи бензин X-7 из дальнейшего сравнительного исследования исключен.

Сравнение бензинов для установления принадлежности общему/различному источнику происхождения. Исполнитель рассчитал значе-

ния доверительных интервалов $x \pm U$ для контролируемых показателей с учетом значений неопределенности U , установленных на первом этапе валидации. Результаты расчетов представлены в табл. 7.

По данным табл. 7 сделаны следующие выводы:

пары бензинов X-1 и X-2, а также X-4 и X-5, по значению ОЧИ и количественным характеристикам состава не различаются в пределах расширенной неопределенности;

пара бензинов X-1 и X-2 отличается по ряду количественных характеристик состава (объемному содержанию изопарафинов, нафтенов и олефинов) от бензина X-3, а пара бензинов X-4 и X-5 отличается по объемному содержанию изопарафинов, аренов, олефинов и оксигенатов от бензина X-6 в пределах расширенной неопределенности.

В итоге по результатам слепого испытания исполнитель установил следующее:

бензины X-1 и X-2 принадлежали ранее общему объему (например, одной партии готовой продукции), т.е. они имеют общий источник происхождения;

бензины X-4 и X-5 принадлежали ранее общему объему (например, общему резервуару хранения), т.е. они имеют общий источник происхождения;

Таблица 7. Рассчитанные значения доверительных интервалов $x \pm U$ для контролируемых показателей бензинов групп А и Б**Table 7.** Calculated values of confidence intervals $x \pm U$ for controlled indicators in gasoline groups A and B

Номер образца	ОЧИ	Парафины	Изопарафины	Арены	Нафтены	Олефины	Оксигенаты
Группа А							
X-1	91,7 – 93,3	9,18 – 10,38	32,01 – 32,61	29,51 – 30,70	10,03 – 10,63	14,99 – 15,79	1,75 – 1,79
X-2	91,9 – 93,5	9,26 – 10,46	32,20 – 32,70	28,90 – 30,50	9,89 – 10,49	15,12 – 15,92	1,77 – 1,81
X-3	91,3 – 92,9	8,65 – 9,85	33,55 – 34,15	29,03 – 30,63	10,38 – 10,93	13,63 – 14,43	1,76 – 1,80
Группа Б							
X-4	89,7 – 91,3	10,58 – 11,38	46,30 – 46,90	28,39 – 29,99	4,30 – 4,90	7,68 – 8,08	0,47 – 0,51
X-5	89,7 – 91,3	10,64 – 11,44	46,20 – 46,80	28,50 – 30,10	4,31 – 4,91	7,69 – 8,09	0,47 – 0,51
X-6	90,3 – 91,9	10,59 – 11,39	48,44 – 49,04	27,22 – 28,82	4,02 – 4,62	7,21 – 7,61	0,27 – 0,31

бензин X-3 не имеет общего источника происхождения с бензинами X-1 и X-2. Они изготовлены по одинаковой технологии, но в разное время, т.е. принадлежали разным партиям одноименной продукции;

бензин X-6 не имеет общего источника происхождения с бензинами X-4 и X-5. Бензины изготовлены по одинаковой технологии, но в разное время, т.е. принадлежали разным партиям одноименной продукции;

бензин X-7 отличается от всех других из исследованных образцов по технологии производства, т.е. имеет иной источник происхождения.

Исполнитель передал отчет с выводами слепого испытания руководителю валидационного эксперимента, который установил, что представленные результаты соответствуют информации о происхождении испытуемых образцов, представленной в «Протоколе подготовки образцов».

Заключение

Полученные результаты позволяют констатировать, что СКО воспроизводимости методики для каждого из определяемых контролируемых показателей не превышает допустимых погрешностей, установленных стандартизованными методиками; подтверждена правильность оценочных критериев (правил принятия решения); результаты слепого испытания признаны удовлетворительными. Таким образом, результаты валидационного эксперимента свидетельствуют о пригодности методики для решения судебно-экспертных задач установления принадлежности автомобильных бензинов общему/различному идентификационному множеству и о достаточной для реализации методики компетентности исполнителя. Предлагаемая методика имеет важное практическое значение, поскольку позволяет решать задачи, возникающие при проведении судебной экспертизы нефтепродуктов и горючесмазочных материалов:

установление общей родовой принадлежности на уровне отнесения к множеству бензинов с одинаковым октановым числом (бензины одинакового товарного наименования);

установление общей групповой принадлежности на уровне отнесения к множеству бензинов, изготовленных в условиях одинакового технологического регламента (по одинаковой технологии);

установление с доверительной вероятностью 95 % принадлежности общему источнику происхождения, т.е. общему объему, ограниченному партией готовой продукции и/или резервуаром хранения, транспортировки и т.п.

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ 26098–84. Нефтепродукты. Термины и определения. — М.: Стандартинформ, 2010. — 12 с.
- Емельянов В. Е. Все о топливе. Автомобильный бензин. Свойства, ассортимент, применение. — М.: АСТ: Астрель, 2003. — 79 с.
- ГОСТ 511–2015. Топливо для двигателей. Моторный метод определения октанового числа. — М.: Стандартинформ, 2015. — 42 с.
- ГОСТ 8226–2015. Топливо для двигателей. Исследовательский метод определения октанового числа. — М.: Стандартинформ, 2016. — 31 с.
- Патент РФ № 2148826. Способ определения антидетонационной характеристики бензина / Бойцов В. Н., Вишнецкая М. В., Мещеряков С. В., Рудык Е. М.; опубл. 10.05.2000.
- Мачулин Л. В. Проблема экспресс-определения октанового числа и пути ее решения / Нефтепереработка и нефтехимия. 2013. № 9. С. 13 – 18.
- Кизима Д. Э., Пивоваров П. П. Экспресс-контроль важнейших параметров бензина (измерение в реальном времени с помощью анализаторов в ближней ИК-области) / Портал знаний StatSoft. <https://statistica.ru/local-portals/industry-analytics/example/550> (дата обращения 16.10.2023).
- Ivanchina E. D., Ivashkina E. N., Khrapov D. V., et al. Enhanced Production of Various Grades of Gas-online Based on Blend Components and the Composition of the Processed Feedstock / Chem. Technol. Fuels Oils. 2017. Vol. 53. N 2. P. 181 – 196. DOI: 10.1007/s10553-017-0794-6
- Anderson P. C., Sharkey J. M., Walsh R. P. Calculation of Research Octane Number of Motor Gasolines from Chromatographical Data and a New Approach to Motor Gasoline Quality Control / J. Inst. Petrol. 1972. Vol. 58. N 560. P. 83 – 91.

10. **Cherepitsa S. V., Bychkov S. M., Gatsikha S. V., et al.** Gas Chromatographic Analysis of Automobile Gasolines / Chem. Technol. Fuels Oils. 2001. Vol. 37. N 4. P. 283 – 290. DOI: 10.1023/A:1012368107443
11. **Pasadakis N., Gadanis V., Foteinopoulos C.** Oktane Number Prediction for Gasoline Blends / Fuel Process. Technol. 2006. Vol. 87. N 6. P. 505 – 509. DOI: 10.1016/j.fuproc.2005.11.006
12. **Сахневич Б. В., Киргина М. В., Чеканцев Н. В., Иванчина Э. Д.** Разработка модуля автоматизированной обработки данных хроматографического анализа для повышения эффективности процесса компаундирования товарных бензинов / Изв. Томского политехнич. ун-та. 2014. Т. 324. № 3. С. 127 – 135.
13. **Романова Р. Г., Ситдииков Р. Р.** Многофакторные модели для определения октанового числа бензинов / Вест. технологич. ун-та. 2017. Т. 20. № 11. С. 40 – 44.
14. ГОСТ Р 32507–2013. Бензины автомобильные и жидкие углеводородные смеси. Определение индивидуального и группового углеводородного состава методом капиллярной газовой хроматографии. — М.: Стандартинформ, 2019. — 28 с.
15. СТБ-1276–2001. Топлива для двигателей внутреннего сгорания. Бензин неэтилированный. Методика определения параметров. — Минск: Госстандарт, 2001. — 33 с.
16. ГОСТ Р 56867–2016. Углеводороды C₂ – C₅. Определение содержания оксигенатов методом газовой хроматографии с использованием пламенно-ионизационного детектора. — М.: Стандартинформ, 2019. — 15 с.
17. Технический регламент ТР ТС 013/2011. О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту. — М.: АО Кодекс, 2023. <https://kodeks.ru> (дата обращения 16.10.2023).
18. **Капустин В. М.** Технология производства автомобильных бензинов. — М.: Химия, 2015. — 253 с.
19. ГОСТ Р 51105–20. Топлива для двигателей внутреннего сгорания. Бензин неэтилированный. Технические условия. — М.: Стандартинформ, 2020. — 12 с.
20. Руководство по подготовке и проведению хроматографического анализа на аппаратно-программном комплексе «Хроматэк Кристалл». — Йошкар-Ола: СКБ «Хроматэк», 2016. — 58 с.
21. **Самойлова О. В.** Возможности программного обеспечения «Хроматэк-ДНА» для определения качества автомобильных бензинов / Теория и практика судебной экспертизы. 2022. Т. 17. № 1. С. 38 – 49. DOI: 10.30764/1819-2785-2022-1-38-49
22. ГОСТ 2517–2012. Нефть и нефтепродукты. Методы отбора проб. — М.: Стандартинформ, 2018. — 32 с.
23. ГОСТ 31873–2012. Нефть и нефтепродукты. Методы ручного отбора проб. — М.: Стандартинформ, 2019. — 34 с.
24. **Gardner B. O., Neuman M., Kelley Sh.** Latent print quality in blind proficiency testing: Using quality metrics to examine laboratory performance / Forensic Sci. Int. 2021. Vol. 324. P. 1 – 8. DOI: 10.1016/j.forsciint.2021.110823
25. **Pierce M. L., Cook L. J.** Development and implementation of an effective blind proficiency testing program / J. Forensic Sci. 2020. Vol. 65. P. 809 – 814. DOI: 10.1111/1556-4029.14269
26. **Hundl C., Neuman M., Rairden A., et al.** Implementation of a blind quality control program in a forensic laboratory / J. Forensic Sci. 2020. Vol. 65. P. 815 – 822. DOI: 10.1111/1556-4029.14259
27. PCAST. Report to the President. Forensic Science in Criminal Courts: Ensuring Scientific Validity of Feature-Comparison Methods. — Washington: September 2016. <https://www.documentcloud.org/documents/3121011-Pcast-Forensic-Science-Report-Final.html> (дата обращения 16.10.2023).
28. **Бешко Г. И., Любецкая И. П., Омелянюк Г. Г., Усов А. И.** Методические подходы к расчету основных параметров валидации судебно-экспертных методик / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2020. Т. 86. № 4. С. 66 – 74. DOI: 10.26896/1028-6861-2020-86-4-66-74
29. **Зайдель А. Н.** Элементарные оценки ошибок измерений. — Ленинград: Наука, 1968. — 97 с.

REFERENCES

1. GOST 26098–84. Petroleum products. Terms and Definitions. — Moscow: Standartinform, 2010. — 12 p. [in Russian].
2. **Emel'yanov V. E.** All about Fuel. Automobile Gasoline. Properties, Assortment, Use. — Moscow: AST – Astrel, 2003. — 79 p. [in Russian].
3. GOST 511–2015. Fuel for Engines. Motor Method for Determining Octane Number. — Moscow: Standartinform, 2015. — 42 p. [in Russian].
4. GOST 8226–2015. Fuel for engines. Research Method for Determining Octane Number. — Moscow: Standartinform, 2016. — 31 p. [in Russian].
5. Patent RF N 2148826. A Method for Determination the Anti-Knock Characteristics of Gasoline / Boitsov V. N., Vishnetskaya M. V., Mesheryakov S. V., Rudyk E. M.; publ. 10.05.2000 [in Russian].
6. **Machulin L. V.** The problem of express Determination of Octane Number and Ways of its Solution / Neftepreerab. Neftekhim. 2013. N 9. P. 13 – 18 [in Russian].
7. **Kisima D. E., Pivovarov P. P.** Express Control of the Most Important Gasoline Parameters (Real Time Measurement Using Near-Infrared Analyzers) / StatSoft Knowledge Portal. <https://statistica.ru/local-portals/industry-analytics/exsample/550> (accessed October 16, 2023).
8. **Ivanchina E. D., Ivashkina E. N., Khrapov D. V., et al.** Enhanced Production of Various Grades of Gas-online Based on Blend Components and the Composition of the Processed Feedstock / Chem. Technol. Fuels Oils. 2017. Vol. 53. N 2. P. 181 – 196. DOI: 10.1007/s10553-017-0794-6
9. **Anderson P. C., Sharkey J. M., Walsh R. P.** Calculation of Research Octane Number of Motor Gasolines from Chromatographical Data and a New Approach to Motor Gasoline Quality Control / J. Inst. Petrol. 1972. Vol. 58. N 560. P. 83 – 91.
10. **Cherepitsa S. V., Bychkov S. M., Gatsikha S. V., et al.** Gas Chromatographic Analysis of Automobile Gasolines / Chem. Technol. Fuels Oils. 2001. Vol. 37. N 4. P. 283 – 290. DOI: 10.1023/A:1012368107443
11. **Pasadakis N., Gadanis V., Foteinopoulos C.** Oktane Number Prediction for Gasoline Blends / Fuel Process. Technol. 2006. Vol. 87. N 6. P. 505 – 509. DOI: 10.1016/j.fuproc.2005.11.006
12. **Sakhnevich B. V., Kirgina M. V., Chekantsev N. V., Ivanchina E. D.** Development of Module of Automatic Chromatography Data Systematization for Increasing the Efficiency of Trade Gasoline Blending Process. / Izv. Tomsk. Politekh. Univ. 2014. Vol. 324. N 3. P. 127 – 135 [in Russian].
13. **Romanova R. G., Sitdikov R. R.** Multifactor Modes for Determining the Octane Number of Gasoline / Vestn. Tekhnol. Univ. 2017. Vol. 20. N 11. P. 40 – 44 [in Russian].
14. ГОСТ Р 32507–2013. Автомotive Gasolines and Liquid Hydrocarbon Mixtures. Determination of Individual and Group Hydrocarbon Composition by Capillary Gas Chromatography. — Moscow: Standartinform, 2019. — 28 p. [in Russian].
15. СТБ-1276–2001. Fuels for internal combustion engines. Unleaded gasoline. Methodology for determining parameters. — Minsk: Gosstandart, 2001. — 33 p. [in Russian].
16. ГОСТ Р 56867–2016. Hydrocarbons C₂ – C₅. Determination of oxygenate content by gas chromatography using a flame ionization detector. — Moscow: Standartinform, 2019. — 15 p. [in Russian].
17. Technical Regulations TR TS 013/2011. On the requirements for automobile and aviation gasoline, diesel and marine fuel, jet fuel and fuel oil. — Moscow: Codex JSC, 2023. <https://kodeks.ru> (accessed October 16, 2023).
18. **Kapustin V. M.** Technology for the production of automobile gasoline. — Moscow: Khimiya, 2015 — 253 p. [in Russian].

19. GOST R 51105–20. Fuels for Internal Combustion Engines. Unleaded Gasoline. Specifications. — Moscow: Standartinform, 2010. — 12 p. [in Russian].
20. Guidelines for preparing and conducting chromatographic analysis using the “Chromatek Crystal” hardware and software complex. — Yoshkar-Ola: SKB “Chromatek”, 2016. — 58 p. [in Russian].
21. **Samoilova O. V.** Capabilities of the Chromatek-DHA Software for Determining the Quality of Automobile Gasoline / Teor. Prakt. Sud. Ėkspert. 2022. Vol. 17. N 1. P. 38 – 49 [in Russian]. DOI: 10.30764/1819-2785-2022-1-38-49
22. GOST 2517–2012. Oil and petroleum products. Sampling methods. — Moscow: Standartinform, 2018. — 32 p. [in Russian].
23. GOST 31873–2012. Oil and petroleum products. Manual sampling methods. — Moscow: Standartinform, 2019. — 34 p. [in Russian].
24. **Gardner B. O., Neuman M., Kelley Sh.** Latent print quality in blind proficiency testing: Using quality metrics to examine laboratory performance / Forensic Sci. Int. 2021. Vol. 324. P. 1 – 8. DOI: 10.1016/j.forsciint.2021.110823
25. **Pierce M. L., Cook L. J.** Development and implementation of an effective blind proficiency testing program / J. Forensic Sci. 2020. Vol. 65. P. 809 – 814. DOI: 10.1111/1556-4029.14269
26. **Hundl C., Neuman M., Rairden A., et al.** Implementation of a blind quality control program in a forensic laboratory / J. Forensic Sci. 2020. Vol. 65. P. 815 – 822. DOI: 10.1111/1556-4029.14259
27. PCAST. Report to the President. Forensic Science in Criminal Courts: Ensuring Scientific Validity of Feature-Comparison Methods. — Washington: September 2016. <https://www.documentcloud.org/documents/3121011-Pcast-Forensic-Science-Report-Final.html> (accessed October 16, 2023).
28. **Bebeshko G. I., Lyubetskaya I. P., Omel'yanyuk G. G., Usov A. I.** Methodological Approaches to Calculating Key Validation Parameters of Forensic Methods / Inorg. Mater. 2021. Vol. 57. N 14. P. 1385 – 1392. DOI: 10.1134/S0020168521140028
29. **Zaidel A. N.** Elementary estimates of measurement errors. — Leningrad: Nauka, 1968. — 97 p. [in Russian].