

DOI: <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2022-88-12-21-27>

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ КАЧЕСТВЕННОЙ СУДЕБНО-ЭКСПЕРТНОЙ МЕТОДИКИ «МИКРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕКСТИЛЬНЫХ ВОЛОКОН»

© Галина Ивановна Бебешко^{1*}, Александр Иванович Усов^{1,2},
Георгий Георгиевич Омелянюк^{1,2,3}, Ирина Петровна Любetskая¹

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

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

³ Российский университет дружбы народов, Россия, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6;
e-mail: g.omelyanyuk@sudexpert.ru

*Статья поступила 28 сентября 2022 г. Поступила после доработки 28 сентября 2022 г.
Принята к публикации 27 октября 2022 г.*

Для принятия правильных решений на основании результатов качественного анализа при проведении судебной экспертизы необходимо подтверждение надежности методик, что возможно на основе процедуры валидации. Однако вопросы, связанные с проведением валидации качественных судебно-экспертных методик, являются дискуссионными, а общие нормативные требования к методикам качественного анализа отсутствуют. Рассмотрена процедура валидации методики исследования микроскопического текстильных волокон, которая включает установление с помощью микроскопа комплекса характерных внешних признаков природных и химических текстильных волокон (цвета, особенностей окраски, морфологических особенностей), а также определение толщины и наличия/отсутствия матирующего агента для химических волокон. В качестве параметров валидации выбраны надежность методики и компетентность исполнителей, которые определяли численно по значениям долей ложных и правильных результатов в общем числе тестирований, а также по отношению правдоподобия. Для валидации использовали 10 образцов натуральных и химических текстильных волокон из сравнительной коллекции лаборатории криминалистической экспертизы волокнистых материалов ФБУ РФЦСЭ при Минюсте России. В эксперименте участвовали три эксперта, которые в течение недели независимо выявляли в каждом из 10 образцов наличие/отсутствие десяти внешних признаков. При сравнении результатов тестирования с соответствующими регламентированными (известными) внешними признаками для каждого образца делали вывод о правильном или ложном результате. Установлен низкий (1,7 %) уровень ложных результатов по отношению к общему числу тестирований, а также низкий (2,6 %) уровень ложных результатов у каждого из экспертов, что свидетельствует о надежности методики и компетентности экспертов. Расчет отношения правдоподобия (LR) показал, что вероятность правильных результатов оценки совокупности признаков примерно в 60 раз (существенно больше единицы) выше вероятности ложных результатов, что также свидетельствует о надежности методики. Это позволяет использовать ее для решения экспертных задач криминалистической экспертизы волокнистых материалов.

Ключевые слова: качественная судебно-экспертная методика; волокна; внешние признаки; валидация; надежность методики; компетентность исполнителя.

EVALUATION OF THE RELIABILITY OF THE QUALITATIVE FORENSIC METHOD "MICROSCOPIC EXAMINATION OF TEXTILE FIBERS"

© Galina I. Bebeshko^{1*}, Aleksandr I. Usov^{1,2},
Georgii G. Omel'yanuk^{1,2,3}, Irina P. Lyubetskaya¹

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

³ Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6, Miklukho-Maklaya ul., Moscow, 117198, Russia;
e-mail: g.omelyanyuk@sudexpert.ru

Received September 28, 2022. Revised September 28, 2022. Accepted October 27, 2022.

Methods of qualitative analysis are widely used in various spheres of public activity, including forensic examination. Making the right decisions based on the results of qualitative analysis, necessitates confirmation of the reliability (uncertainty) of the methods which can be provided by the validation procedure. However, the issues related to the validation of qualitative forensic methods are debatable in the absence general regulatory requirements for qualitative analysis methods. We consider a validation procedure of the qualitative forensic technique "Microscopic examination of textile fibers," which consists in determining a complex of characteristic external features of natural and chemical textile fibers (color, color features, morphological features) using a microscope, as well as thickness and presence/absence of a matting agent for chemical fibers. These generic characteristics are used to differentiate the fibers under study in the forensic examination of fibrous materials. The reliability of the methodology and the competence of the performers were selected as validation parameters. The parameters were determined numerically by the likelihood ratio and by the values of the share of false and correct results in the total number of tests. Ten samples of natural and chemical textile fibers from the comparative collection of the Laboratory of forensic examination of fibrous materials of the RFCSE were used for validation. Three experts participated in the experiment independently identified the presence/absence of ten external signs in each of ten samples during a week. Each expert tested a set of one hundred different external features, 39 of them were present in the samples, and 61 were absent. When comparing the test results obtained by the expert with the corresponding regulated (known) external features, a conclusion was made about the level of true or false result for each sample. A low (1.7%) level of false results was revealed in relation to the total number of tests, as well as a low (2.6%) level of false results for each of the experts indicated the reliability of the methodology and competence of the experts. The calculation of the likelihood ratio (LR) showed that the probability of true results in the assessment of a set of features is about 60 times (significantly more than one) higher than the probability of false results, which also indicates the reliability of the technique. The results of the validation experiment allowed us to conclude that the method is suitable for use in solving expert problems in the forensic examination of fibrous materials.

Keywords: qualitative forensic method; fibers; external features; validation; reliability of method; competence of the performer.

Введение

В связи с возросшим значением стандартизации в разных областях общественной деятельности требуется применение достоверных, надежных методов контроля и диагностики разнообразных веществ и материалов. На данный момент приняты межгосударственные и национальные стандарты, например [1 – 4] и др., регламентирующие порядок метрологической оценки воспроизводимости, правильности и неопределенности количественных методик химического анализа. Однако в таких областях науки, как судебная экспертиология и криминалистика, широко востребованы методики качественного анализа. Они являются основой для принятия быстрых решений во многих аспектах реальной жизни, обеспечивают возможность экспрессного обнаружения следов наркотических средств, взрывчатых веществ, а также качественную идентификацию компонентов проб, классификацию проб в целом (безопасная/опасная, фальсифицированная) и т.п.

Несмотря на большое число теоретических и методических разработок в области качественного химического анализа [5 – 13] сохраняются проблемы, связанные с метрологией, оценкой надежности (неопределенности) методик. Процедуры валидации качественных методик тестирования активно обсуждаются в отечественной и зарубежной печати [14 – 21], но детализированные нормативные рекомендации пока не разработаны,

опубликован лишь проект руководства по выражению неопределенности [22].

В судебно-экспертной практике применение качественного анализа обычно связано с установлением совокупности качественных свойств или признаков объекта или с оценкой предельного показателя, когда значение измеряемого показателя, например, концентрации токсиканта, сравнивают с заранее определенным граничным значением (так называемые пороговые испытания).

Согласно международному словарю по метрологии [23] под качественным (неразмерным) свойством понимают свойство тела или вещества, которое несет значимую информацию, но не может быть выражено размером, а может быть выражено словами, например, цвет, твердость или в единицах условных шкал. Для установления совокупности качественных свойств или признаков используют простой набор бинарных тестов, которые дают отклик «да/нет», «совпадает/не совпадает», «наличие/отсутствие» и т.п.

Настоящая статья посвящена качественной судебно-экспертной методике микроскопического исследования волокон, основанной на тестах с бинарным откликом. Целью является рассмотрение процедуры валидации, оценка надежности методики тестирования и ее пригодности для решения разнообразных экспертных задач при проведении криминалистической экспертизы волокнистых материалов.

Экспериментальная часть

Сущность методики «Микроскопическое исследование текстильных волокон» заключается в установлении с помощью микроскопа физических признаков волокон: цвета, особенностей окраски, морфологических особенностей, наличия/отсутствия матирующего агента, толщины [24].

Цвет. Определяют основной цвет, оттенок (наличие в основном цвете примеси другого цвета) и светлоту (насыщенность). В наименовании цвета первое слово обозначает оттенок, второе — основной цвет; при описании насыщенности используют через дефис слово «ярко-», а для описания светлоты — слова «светло-» и «темно-».

Особенности окраски волокон несут информацию о способе нанесения красителя. Равномерная окраска всего волокна свидетельствует о поверхностном крашении, точечное распределение красителя — о крашении химических волокон в массе, чередование участков разного цвета говорит о крашении волокнистого материала способом печати.

К *морфологическим особенностям* относят разнообразие форм и строения волокон. Различают лентообразную форму, извитость, наличие черепицеобразной кутикулы, наличие одной или нескольких продольных полос, гладкую поверхность, профилированность волокон и др. Особенности строения могут быть природными (например, у волокон хлопка и шерсти), являться результатом специальной механической обработки (у лубяных волокон) или появляться в процессе формирования (у всех химических волокон).

Важными признаками *химических волокон* являются также *толщина и наличие/отсутствие матирующего агента* (например, двуокиси титана), который в поле зрения микроскопа имеет вид мелких частиц черного цвета, распределенных внутри волокна.

Указанные признаки оцениваются экспертами как родовые. На основании сравнительного анализа выявленной совокупности родовых признаков проводят сравнительный анализ волокон, по результатам которого эксперт делает вывод о совпадении/несовпадении внешних признаков сравниваемых волокон в целях их предварительной дифференциации либо отнесения к определенному классифицированному множеству [25 – 27].

Аппаратура и оборудование. Использовали сравнительный микроскоп Leica FS 4000, функционирующий в проходящем искусственном свете при увеличении 100 – 600×, что делает возможным исследование даже очень тонких текстильных волокон (толщиной около 0,005 мм). Прибор оснащен окуляром-микрометром, поз-

воляющим измерять толщину волокон, цифровой фотокамерой Leica DFC 450 с компьютерной программой ImageScore для фотосъемки микрообъектов.

Микропрепараты волокон готовили в поле зрения стереомикроскопа Leica MZ 125 общепринятым способом в водно-глицериновой среде. Для фиксирования внешнего вида микропрепараты волокон фотографировали при увеличении 400 – 600×.

Образцы для валидации в виде пучков или коротких (до 10 мм) отрезков нитей натуральных и химических текстильных волокон были взяты из специальных проспектов и каталогов образцов российского и зарубежного производства, собранных в коллекциях лаборатории криминалистической экспертизы волокнистых материалов ФБУ РФЦСЭ при Минюсте России (табл. 1).

Контролируемые в процессе валидации внешние признаки образцов волокон представлены в табл. 2.

Параметры и процедура валидации. Обобщая литературные данные, выделили следующие основные параметры для методики качественного анализа: надежность (reliability) методики, компетентность исполнителя и в случаях пороговых испытаний — предел обнаружения (limit of detection) [28, 29].

Под надежностью понимается воспроизводимость результатов теста, многократно повторяемого при различных условиях (разными испол-

Таблица 1. Образцы волокон для проведения валидационного эксперимента

Table 1. Fiber samples for a validation experiment

Номер образца	Волокна
Натуральные	
1	Хлопковые из хлопчатобумажной ткани, окрашенной способом печати, краситель — активный ярко-оранжевый
2	Шерстяные, краситель — кислотный ярко-красный
Химические	
3	Полиакрилонитрильные (Acrylic), неокрашенные
4	Полиэфирные, краситель — дисперсный фиолетовый К, 2,5 %-ный
5	Полиамидные, краситель — кислотный темно-синий полиамидный, 3 %-ный
6	Гидратцеллюлозные вискозные (Rayon), краситель — пигмент зеленый KB
7	Полиэфирные (Polyester), неокрашенные
8	Вискозные, неокрашенные
9	Стекловолокна, неокрашенные
10	Полиакрилонитрильные (Modacril), окрашенные

нителями, с использованием разного оборудования, в разное время). При повторении тестирований возможны как правильные, так и ошибочные, ложные результаты. Типичная форма надежности (неопределенности) качественных методик с бинарным откликом носит вероятностный характер и не может быть выражена в виде числового интервала вокруг прогнозируемого значения. Надежность предпочитают количественно выражать как вероятность или частоту получения ложного результата тестирования.

В связи с тем, что в качественном тестировании эксперты зачастую используют субъективные методы исследования и вынуждены полагаться на личный опыт и экспертную практику, необходима демонстрация компетентности исполнителя при реализации методики.

В эксперименте участвовали три эксперта, которые в разное время в течение недели независимо устанавливали в поле зрения микроскопа наличие/отсутствие совокупности десяти внешних признаков в 10 образцах волокон (см. табл. 2). При этом эксперты использовали один и тот же микроскоп с одинаковой интенсивностью светового потока при одинаковом увеличении. Каждый из трех экспертов (А, Б, В) тестировал в совокупности по 100 разнообразных признаков, из которых 39 признаков были в образцах в наличии, а 61 — отсутствовал.

Обсуждение результатов

В ходе сравнения результатов тестирования, полученных экспертом, с соответствующими регламентированными (известными) признаками по каждому образцу делали вывод о правильном или ложном результате. В зафиксированных экспертом результатах правильный положительный результат (ПП) означал, что наличие признака было установлено правильно, а ложноотрицательный результат (ЛО) — ложное отсутствие признака (признак не выявлен при его наличии). Правильный отрицательный результат (ПО) означал, что правильно установлено отсутствие признака, а ложноположительный результат (ЛП) — ложное наличие признака (признак выявлен при его отсутствии).

Стандартными величинами, характеризующими надежность качественной методики, основанной на бинарном отклике, приняты следующие показатели или вероятности [8] (%): показатель ложных положительных результатов $ПЛП = 100n_{ЛП}/(n_{ЛП} + n_{ПО})$ и показатель ложных отрицательных результатов $ПЛО = 100n_{ЛО}/(n_{ЛО} + n_{ПП})$, где $n_{ЛП}$, $n_{ПО}$, $n_{ЛО}$, $n_{ПП}$ — число соответствующих ложных и правильных результатов тестирования.

На практике используют также показатели эффективности (%), которые относятся не к ложным, а к правильным результатам тестирования

Таблица 2. Внешние признаки образцов волокон

Table 2. External features of fiber samples

Номер образца	Исследуемые признаки									
	Цвет	Особенности окраски	Морфология природных волокон		Морфология и матированность химических волокон					Толщина, мм
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
1	+ белый → оранжевый	+ ЧЦ	+	–	–	–	–	–	–	–
2	+ ярко-розовый	+ Р	–	+	–	–	–	–	–	–
3	+ белый	+ Н/О	–	–	–	–	–	+ ОПП*	–	+0,025
4	+ белый	+ Н/О	–	–	+	–	–	–	+	+0,010 – 0,025
5	+ синий	+ Р	–	–	–	+	–	–	–	+0,020
6	+ черный	+ ТРК	–	–	–	–	+	–	–	+0,020
7	+ белый	+ Н/О	–	–	+	–	–	–	–	+0,010
8	+ белый	+ Н/О	–	–	–	–	–	+	–	+0,015
9	+ белый	+ Н/О	–	–	–	+	–	–	–	+0,005
10	+ светло-коричневый	+ НО	–	–	–	+	–	–	–	+0,080

Примечание. Особенности окраски II: Р — равномерная окраска, ЧЦ — чередование цветов, ТРК — точечное распределение красителя, Н/О — нет окраски, НО — неравномерная окраска.

Морфология: III — извитые, лентообразные; IV — цилиндрические с черепицеобразной кутикулой; IX — профилированные; ОПП* — с одной продольной полосой.

Матированность: V — матированные, VI — нематированные, VII — матированные с продольными полосами, VIII — нематированные с продольными полосами.

При наличии у волокон того или иного признака в соответствующей ячейке ставится знак «+», при отсутствии признака — знак «–».

[8, 21] — чувствительность Ч (sensitivity) и специфичность С (specificity): показатель правильных положительных результатов (Ч) $ППП = 100n_{ППП}/(n_{ППП} + n_{ЛЮ})$, показатель правильных отрицательных результатов (С) $ППО = 100n_{ППО}/(n_{ППО} + n_{ЛП})$.

Низкий уровень ложных результатов свидетельствует о высокой надежности (низкой неопределенности) методики, воспроизводимости и достоверности результатов тестирования.

Итоги валидационного эксперимента рекомендуются представлять в сводной таблице, называемой таблицей бинарной классификации [21], в которой суммирование по столбцам и по строкам приводит к одному общему числу тестирований (табл. 3).

Как показывают расчеты по приведенным выше формулам, найденные вероятности ложных результатов по совокупности ста признаков низкие: в целом у всех экспертов не превышают 1,7 %, а у каждого из экспертов — 2,6 %. Это позволило сделать вывод о высокой надежности методики и достаточной компетентности судебных экспертов.

Оценка пригодности методики возможна также на основе расчета отношения правдоподобия (likelihood ratio — LR). Отношение правдоподобия — это нахождение меры поддержки истинности одного предположения против другого; LR указывает, во сколько раз более вероятно доказательство, если истинно одно из конкурирующих предположений.

Для оценки, насколько истинна выявленная экспертами совокупность признаков, рассматривают два противоположных предположения: одно — выявленная совокупность внешних признаков совпадает (правильные результаты тестирования), другое — не совпадает (ложные результаты тестирования) с совокупностью регламентированных признаков в исследуемых образцах волокон.

Пусть событие А означает наличие признаков, событие В — их отсутствие, а событие АВ — совокупное наличие одних признаков и отсутствие других. Вероятность правильного результата события АВ равна произведению вероятностей (показателей) $ППП$ и $ППО$, так как события А и В происходят одновременно: $1 \cdot 0,983 = 0,983$. Вероятность ложного результата события АВ равна сумме вероятностей $ПЛО$ и $ЛП$, так как ложный результат события АВ будет тогда, когда хотя бы одно из событий (А или В) является ложным: $0,017 + 0 = 0,017$.

По теореме Байеса LR равно отношению шансов апостериорных данных события к шансам априорных данных. В нашем случае априорными данными является совокупность внешних признаков волокон, известная до тестирования.

В результате тестирования происходит преобразование априорных данных в апостериорные. До проведения тестирования вероятности правильных и ложных результатов равны, и априорные шансы равны единице. Апостериорные шансы равны отношению вероятностей полученных правильных и ложных результатов. Поэтому $LR = [1 - (ПЛП + ПЛО)]/(ПЛО + ПЛП)$. Следовательно, $LR_{AB} = (1 - 0,017)/0,017 = 57,8$.

Таким образом, вероятность правильного результата тестирования примерно в 60 раз (существенно больше единицы) выше вероятности ложного результата, что свидетельствует об истинности совпадения совокупности установленных признаков с регламентированными, а также о пригодности методики для применения в судебно-экспертной деятельности.

Заключение

В работе продемонстрирована устойчивая воспроизводимость результатов тестирования контролируемых показателей изученных образцов в сочетании с подтвержденной компетентностью операторов при реализации методики микроскопического исследования текстильных волокон. При этом дана численная характеристика надежности с помощью частоты ложных результатов и рассчитанного отношения правдоподобия.

Установлен низкий (1,7 %) уровень ложных результатов по отношению к общему числу тестирований, а также низкий (2,6 %) уровень ложных результатов у каждого из экспертов, что свидетельствует о надежности методики и компе-

Таблица 3. Результаты валидации методики микроскопического исследования текстильных волокон (число образцов $M = 10$, общее число признаков во всех образцах $N = 100$)

Table 3. Results of the validation experiment for the method of microscopic examination of textile fibers (the number of samples $M = 10$, the total number of features in all samples $N = 100$)				
Вид результата	Число результатов у каждого эксперта			Всего результатов
	А	Б	В	
Наличие признака				
ПП	38	38	39	115
ЛО	1	1	0	2
$ПЛО = 2/(2 + 115) = 0,017$, $Ч = 115/(115 + 2) = 0,983$				
Отсутствие признака				
ПО	61	61	61	183
ЛП	0	0	0	0
$ПЛП = 0/(0 + 183) = 0$, $С = 183/(183 + 0) = 1$				
Всего тестирований	100	100	100	300

тентности экспертов. Расчет отношения правдоподобия (LR) показал, что вероятность правильных результатов оценки совокупности признаков примерно в 60 раз выше вероятности ложных результатов, что также свидетельствует о надежности методики.

На основании выполненного эксперимента можно сделать вывод, что качественная методика тестирования «Микроскопическое исследование текстильных волокон» позволяет получать надежную воспроизводимую информацию о совокупности внешних признаков природных и химических текстильных волокон (цвет, особенности окраски, морфологические особенности, наличие/отсутствие матирующего агента, толщина) и пригодна для использования при решении экспертных задач криминалистической экспертизы волокнистых материалов.

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ Р ИСО 5725–2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Ч. 1 – 6. — М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002.
- РМГ-61–2010. Показатели точности, правильности, прецизионности методик количественного химического анализа. Методы оценки. — М.: Стандартинформ, 2013. — 59 с.
- ГОСТ ИСО/МЭК 17025–2019. Общие требования к компетенции испытательных и калибровочных лабораторий. — М.: Стандартинформ, 2021. — 26 с.
- ГОСТ Р 8.563–2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений — М.: Стандартинформ, 2019. — 16 с.
- Золотов Ю. А., Иванов В. М., Амелин В. Г. Химические тест-методы анализа. — М.: Едиториал УРСС, 2002. — 304 с.
- Островская В. М., Запорожец О. А., Будников Г. К., Чернавская Н. М. Вода. Индикаторные системы. — М.: ФГУП ВТИИ, 2002. — 266 с.
- Вершинин В. И. Методология компьютерной идентификации веществ с применением информационно-поисковых систем / Журн. аналит. химии. 2000. Т. 55. № 5. С. 468 – 475.
- Мильман Б. Л. Введение в химическую идентификацию. — СПб.: ВВМ, 2008. — 179 с.
- Milman B. L. Identification of chemical compounds / TrAC, Trends Anal. Chem. 2005. Vol. 24. N 6. P. 493 – 508. DOI: 10.1016/j.trac.2005.03.013
- Мильман Б. Л., Конопелько Л. А. Неопределенность результатов качественного химического анализа. Общие положения и бинарные тест-методы / Журн. аналит. химии. 2004. Т. 59. № 12. С. 1244 – 1258.
- Vershinin V. I. A priori method of evaluating uncertainties in qualitative chromatographic analysis: (probabilistic approach) / Accred. Quality Assur. 2004. Vol. 9. N 7. P. 415 – 418. DOI: 10.1007/s00769-004-0815-0
- Пантелеймонов А. В., Никитина Н. А., Решетняк Е. А. и др. Методики качественного анализа с бинарным откликом: метрологические характеристики и вычислительные аспекты / Методы и объекты химического анализа. 2008. Т. 3. № 2. С. 128 – 146.
- Ellison S. L. R., Fearn T. Characterizing the performance of qualitative analytical methods: Statistics and terminology / TrAC, Trends Anal. Chem. 2005. Vol. 19. N 6. P. 468 – 476. DOI: 10.1016/j.trac.2005.03.007
- Rios A., Téllez H. Reliability of binary analytical response / TrAC, Trends Anal. Chem. 2005. Vol. 24. N 10. P. 509 – 515. DOI: 10.1016/j.trac.2005.03.012
- Trullols E., Ruisánchez I., Rius F. X., Huguet J. Validation of qualitative methods of analysis that use control samples / TrAC, Trends Anal. Chem. 2004. Vol. 23. N 2. P. 137 – 145. DOI: 10.1016/j.trac.2005.03.007
- Pulido A., Ruisánchez I., Boqué R., Rius F. X. Uncertainty of results in routine qualitative analysis / Trends Anal. Chem. 2003. Vol. 22. N 10. P. 647 – 654. DOI: 10.1016/S0165-9936(03)01104-X
- Pulido A., Ruisánchez I., Boqué R., Rius F. X. Estimating the uncertainty of binary test results to assess their compliance with regulatory limits / Anal. Chim. Acta. 2002. Vol. 455. N 2. P. 267 – 275. DOI: 10.1016/S0003-2670(01)01604-X
- Macarthur R., von Holst C. A protocol for the validation of qualitative methods of detection / Anal. Methods. 2012. Vol. 4. P. 2744 – 2754. DOI: 10.1039/c2ay05719k
- Смирнова С. А., Бебешко Г. И., Любецкая И. П. и др. Вероятностная оценка пригодности судебно-экспертной методики «Микроскопическое исследование текстильных волокон» / Теория и практика судебной экспертизы. 2019. Т. 14. № 2. С. 92 – 99. DOI: 10.30764/1819-2785-2019-14-2-92-99
- Бебешко 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
- Smith A. M., Neal T. M. S. The distinction between discriminability and reliability in forensic science / Sci. Justice. 2021. Vol. 61. P. 319 – 331. DOI: 10.1016/j.scijus.2021.04.002
- Руководство ЕВРАХИМ/С CG4. Количественное описание неопределенности в аналитических измерениях. 2021. — 158 с. https://www.eurachem.org/images/stories/Gukles/pdf/QUAM2012_P1_RU.pdf (дата обращения 28.09.2022).
- Международный словарь по метрологии. — СПб.: НПО «Профессионал», 2010. — 82 с.
- Пучков В. А. Основные физические и механические свойства волокон (технологические характеристики) / Криминалистическое исследование волокнистых материалов и изделий из них. Вып. 2. Исследование текстильных волокон: метод. пособие для экспертов. — М.: ВНИИСЭ, 1983. С. 182 – 202.
- Пучков В. А. Система методов исследования текстильных волокон в судебной экспертизе / Криминалистическое исследование волокнистых материалов и изделий из них. Вып. 2. Исследование текстильных волокон: метод. пособие для экспертов. — М.: ВНИИСЭ, 1983. С. 203 – 225.
- Пучков В. А., Сергаева Г. А. Экспертное исследование природных волокон / Криминалистическое исследование волокнистых материалов и изделий из них. Вып. 2. Исследование текстильных волокон: метод. пособие для экспертов. — М.: ВНИИСЭ, 1983. С. 226 – 260.
- Пучков В. А., Чернов В. П. Экспертное исследование химических волокон / Криминалистическое исследование волокнистых материалов и изделий из них. Вып. 2. Исследование текстильных волокон: метод. пособие для экспертов. — М.: ВНИИСЭ, 1983. С. 260 – 306.
- Faber N. M., Boqué R., Rius F. X. On the calculation of decision limits in doping control / Accred. Quality Assur. 2006. Vol. 11. N 10. P. 536 – 538. DOI: 10.1007/s00769-006-0196-7
- Решетняк Е. А., Никитина Н. А., Холин Ю. В. и др. О достоверной оценке метрологических характеристик тестового анализа / Вест. Харьковского нац. ун-та. Химия. 2003. Вып. 10(33). № 596. С. 90 – 98.

REFERENCES

- GOST R ISO 5725–2002. Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results. Part 1 – 6. — Moscow: IPK Izd. standartov, 2002 [in Russian].
- RMG-61–2010. Accuracy, trueness and precision measures of the procedures for quantitative chemical analysis. Methods of evaluation. — Moscow: Standartinform, 2013. — 59 p. [in Russian].
- GOST ISO/IEC 17025–2019. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. — Moscow: Standartinform, 2021. — 26 p. [in Russian].

4. GOST R 8.563–2009. The state system of ensuring the uniformity of measurements. Measurement techniques (methods). — Moscow: Standartinform, 2019. — 16 p. [in Russian].
5. **Zolotov Yu. A., Ivanov V. M., Amelin V. G.** Chemical test methods of analysis. — Moscow: Editorial URSS, 2002. — 304 p. [in Russian].
6. **Ostrovskaya V. M., Zaporozhets O. A., Budnikov G. K., Chernavskaya N. M.** Water. Indicator systems. — Moscow: FGUP VTII, 2002. — 266 p. [in Russian].
7. **Vershinin V. I.** Methodology of computer-assisted identification of substances using information retrieval systems / Zh. Anal. Khimii. 2000. Vol. 55. N 5. P. 468 – 475 [in Russian]. DOI: 10.1007/BF02757475
8. **Mil'man B. L.** Introduction to forensic identification. — St. Petersburg: VVM, 2008. — 179 p. [in Russian].
9. **Milman B. L.** Identification of chemical compounds / TrAC, Trends Anal. Chem. 2005. Vol. 24. N 6. P. 493 – 508. DOI: 10.1016/j.trac.2005.03.013
10. **Mil'man B. L., Konopel'ko L. A.** Uncertainty of qualitative chemical analysis: General Methodology and binary test methods / J. Anal. Chem. 2004. Vol. 59. N 12. P. 1128 – 1141. DOI: 10.1023/B: JANC.0000049712.88066.e7
11. **Vershinin V. I.** A priori method of evaluating uncertainties in qualitative chromatographic analysis: (probabilistic approach) / Accred. Quality Assur. 2004. Vol. 9. N 7. P. 415 – 418. DOI: 10.1007/s00769-004-0815-0
12. **Panteleimonov A. V., Nikitina N. A., Reshetnyak E. A., et al.** Binary response procedures of qualitative analysis: methodological characteristics and calculation aspects / Metod. Ob'ekty Khim. Analiza. 2008. Vol. 3. N 2. P. 128 – 146 [in Russian].
13. **Ellison S. L. R., Fearn T.** Characterizing the performance of qualitative analytical methods: Statistics and terminology / TrAC, Trends Anal. Chem. 2005. Vol. 19. N 6. P. 468 – 476. DOI: 10.1016/j.trac.2005.03.007
14. **Rios A., Téllez H.** Reliability of binary analytical response / TrAC, Trends Anal. Chem. 2005. Vol. 24. N 10. P. 509 – 515. DOI: 10.1016/j.trac.2005.03.012
15. **Trullols E., Ruisachez I., Rius F. X., Huguet J.** Validation of qualitative methods of analysis that use control samples / TrAC, Trends Anal. Chem. 2004. Vol. 23. N 2. P. 137 – 145. DOI: 10.1016/j.trac.2005.03.007
16. **Pulido A., Ruisánchez I., Boqué R., Rius F. X.** Uncertainty of results in routine qualitative analysis / Trends Anal. Chem. 2003. Vol. 22. N 10. P. 647 – 654. DOI: 10.1016/S0165-9936(03)01104-X
17. **Pulido A., Ruisánchez I., Boqué R., Rius F. X.** Estimating the uncertainty of binary test results to assess their compliance with regulatory limits / Anal. Chim. Acta. 2002. Vol. 455. N 2. P. 267 – 275. DOI: 10.1016/S0003-2670(01)01604-X
18. **Macarthur R., von Holst C.** A protocol for the validation of qualitative methods of detection / Anal. Methods. 2012. Vol. 4. P. 2744 – 2754. DOI: 10.1039/c2ay05719k
19. **Smirnova S. A., Bebeshko G. I., Lyubetskaya I. P., et al.** Probability-Based Validation of the Forensic Method “Microscopic Analysis of Textile Fibers” / Teor. Prakt. Sud. Ékspert. 2019. Vol. 14. N 2. P. 92 – 99 [in Russian]. DOI: 10.30764/1819-2785-2019-14-2-92-99
20. **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
21. **Smith A. M., Neal T. M. S.** The distinction between discriminability and reliability in forensic science / Sci. Justice. 2021. Vol. 61. P. 319 – 331. DOI: 10.1016/j.scijus.2021.04.002
22. **EUACHEM/CITAC Guide.** Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement. http://eurachem2011.fc.ul.pt/pdf/QUAM2011_DIS1.pdf (accessed September 28, 2022).
23. **International vocabulary of metrology.** — St. Petersburg: NPO “Professional”, 2010. — 82 p. [in Russian].
24. **Puchkov V. A.** The main physical and mechanical properties of fibers (technological characteristics) / Forensic analysis of fibers and products from fibers. Issue 2. Textile fibers examination: Handbook for experts. — Moscow: VNIISÉ, 1983. P. 182 – 202 [in Russian].
25. **Puchkov V. A.** The system of research methods for textile fibers in forensic expertise / Forensic analysis of fibers and products from fibers. Issue 2. Textile fibers examination: Handbook for experts. — Moscow: VNIISÉ, 1983. P. 203 – 225 [in Russian].
26. **Puchkov V. A., Sergaeva G. A.** Expert examination of natural fibers / Forensic analysis of fibers and products from fibers. Issue 2. Textile fibers examination: Handbook for experts. — Moscow: VNIISÉ, 1983. P. 226 – 260 [in Russian].
27. **Puchkov V. A., Chernov V. P.** Expert examination of chemical fibers / Forensic analysis of fibers and products from fibers. Issue 2. Textile fibers examination: Handbook for experts. — Moscow: VNIISÉ, 1983. P. 260 – 306 [in Russian].
28. **Faber N. M., Boqué R., Rius F. X.** On the calculation of decision limits in doping control / Accred. Quality Assur. 2006. Vol. 11. N 10. P. 536 – 538. DOI: 10.1007/s00769-006-0196-7
29. **Reshetnyak E. A., Nikitina N. A., Kholin Yu. V., et al.** On reliable assessment of metrological characteristics of test analysis / Vestn. Kharkov. Univ. Khimiya. 2003. Issue 10 (33). N 596. P. 90 – 98 [in Russian].