

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРПРОНИЦАЕМОСТИ ВОДОЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

METHODOLOGY FOR DETERMINING THE VAPOR PERMEABILITY OF WATERPROOF MATERIALS

УДК 677.017.636

Е.И. Ивашко*, А.Н. Буркин

Витебский государственный технологический университет

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2023-2-9-16>

K. Ivashko*, A. Burkin

Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

ПАРПРОНИЦАЕМОСТЬ, ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТЬ, КОМПОЗИЦИОННЫЕ МЕМБРАННЫЕ ТЕКСТИЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ УСЛОВИЯ, МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Объектом исследования являются композиционные мембранные текстильные материалы, применяемые для изготовления водозащитной верхней одежды.

Предметом исследования является уровень парпрооницаемости композиционных мембранных текстильных материалов.

Цель работы – определение уровня парпрооницаемости композиционных мембранных текстильных материалов различной структуры.

В процессе работы проанализированы условия эксплуатации водозащитной демисезонной одежды для моделирования их в процессе испытаний. Предложена новая методика определения парпрооницаемости материалов легкой промышленности, позволяющая моделировать различные условия эксплуатации, и устройство для ее реализации. Проведена оценка водонепроницаемости и парпрооницаемости композиционных мембранных текстильных материалов.

В ходе исследования парпрооницаемости при температуре наружного воздуха +10 °С, скорости обдува – 3 м/с и относительной влажности воздуха 89 % восьми артикулов композиционных мембранных текстильных материалов,

ABSTRACT

VAPOR PERMEABILITY, WATERPROOFNESS, COMPOSITE MEMBRANE TEXTILE MATERIALS, OPERATING CONDITIONS, DETERMINATION TECHNIQUE

The article is devoted to the assessment of vapor permeability of composite membrane textile materials, which are widely used in the production of waterproof light industry products. These are clothes and shoes for active leisure and tourism, special clothes and shoes for workers, firefighters, medical workers, uniform for military personnel and many other products. The range of composite textile materials opens new possibilities for manufacturers of garments to provide protection from adverse weather conditions, improvement of microclimate in underwear space with significant weight reduction of package of materials. Vapor permeability index of composite membrane textile materials is the basic one for determining the level of their comfort. The indicator of water resistance is considered decisive in assessing their quality, since the purpose of composite membrane textile materials is to be waterproof. The authors propose a methodology for determining the vapor permeability of waterproof materials, allowing to simulate various operating conditions, and a device for its implementation. In contrast to the existing means of vapor permeability studies, the device used in the described method allows to create different air flow rate over the samples and to conduct tests at diffe-

* E-mail: ivashkokatrinka@mail.ru (K. Ivashko)

различных по структуре и толщине полимерного слоя выявлено, что наилучшей способностью выводить испарения обладают образцы материалов с гидрофильной мембраной. Уровень паропроницаемости исследуемых образцов данной группы варьировался от 4609 г/(м²·24ч) до 6521 г/(м²·24ч). Микроклимат в поддождежном пространстве при эксплуатации водозащитной одежды из таких материалов будет более комфортным для носчика. Предложенный подход к оценке паропроницаемости композиционных мембранных текстильных материалов позволяет обеспечить рациональный подбор материалов в пакет изделий легкой промышленности в соответствии с заданными требованиями.

Область применения результатов – текстильная и швейная промышленность.

rent water temperatures to simulate human sweating. With its help, it is possible to determine the vapor permeability of composite membrane textile materials under conditions close to operating ones and compare these materials with each other. With the help of the developed method and device, eight articles of composite membrane textile materials with different polymer layer structures were tested. According to the results of the study, it was found that the samples of materials with a hydrophilic membrane have the best ability to remove evaporation.

В настоящее время в швейной промышленности большое внимание уделяется производству водозащитной одежды. Использование водоотталкивающих и водонепроницаемых материалов требует от изготовителя учитывать специфику работы с данными материалами. Среди текстильных материалов, обладающих высоким уровнем водозащитных свойств, выделяются композиционные текстильные материалы, имеющие в своем составе мембранный полимерный слой.

Мембранный слой, обеспечивающий потребительскую ценность этих материалов, может быть гидрофобным, гидрофильным или комбинированным [1–5]. Ассортимент мембранных одежных материалов открывает перед производителями швейных изделий новые возможности обеспечения защиты от неблагоприятных погодных условий, улучшения микроклимата в поддождежном пространстве при значительном облегчении пакета материалов.

Показатель водонепроницаемости считается определяющим при оценке качества композиционных мембранных текстильных материалов, поскольку по назначению они – водозащитные. Автором [6] предложена следующая градация защиты: от морозящего дождя материал должен обладать водонепроницаемостью не менее 2,9 кПа, от дождя – 19,6 кПа, от ливня –

73,5 кПа.

Основным при установлении уровня комфортности композиционных мембранных текстильных материалов является показатель паропроницаемости. Среди большого числа методик, применяемых для оценки способности материалов пропускать пары воды, до сих пор не найдена такая, которая была бы признана мировым сообществом ученых в качестве универсальной или рекомендуемой для исследования способности водозащитных материалов пропускать пары воды, сохраняя при этом высокий уровень водонепроницаемости. Стандартные методики, используемые для оценки паропроницаемости материалов в различных странах, существенно различаются по условиям, создаваемым в процессе эксперимента. Поэтому значения паропроницаемости варьируют в широком диапазоне [7].

В источнике [8] предложены следующие значения уровня паропроницаемости для тканей с резиновым или полимерным покрытием для водонепроницаемой одежды: для съемных изделий кратковременного использования в сочетании с рабочей одеждой и одеждой для активного отдыха – 360 г/(м²·24ч), для верха и накладных деталей одежды, предназначенной для продолжительной легкой активности – 440 г/(м²·24ч), для верха одежды, предназначенной для продолжительной средней и высокой активности –

480 г/(м²·24ч) и для верха рабочей одежды, предназначенной для продолжительной активности в тяжелых условиях – 560 г/(м²·24ч).

Существующие стандартные методики не обеспечивает близких к эксплуатационным условий проведения испытаний [7, 9–11]. Для устранения этого пробела коллективом авторов УО «ВГТУ», г. Витебск была разработана методика определения паропроницаемости материалов легкой промышленности, позволяющая моделировать различные условия эксплуатации, и устройство для ее реализации [12].

Для испытаний необходимы следующие средства измерений, испытательное и вспомогательное оборудование: линейка металлическая измерительная с пределом измерения не менее 300 мм с ценой деления 1 мм; устройство для контроля паропроницаемости материалов (рисунок 1), установленное в климатической камере; весы, обеспечивающие взвешивание с точностью до 0,01 г.

Используемый метод заключается в измерении паропроницаемости материала при создании определенных климатических условий в течение определенного времени.

Для испытания в качестве образцов могут применяться точечные пробы материалов, отобранные в соответствии с ГОСТом 20566–75 «Ткани и штучные изделия текстильные. Правила приемки и метод отбора проб». На испытываемых образцах не должно быть дыр, проколов,

и дефектов покрытия, определяемых визуально.

Из каждой точечной пробы вырезают по четыре элементарных пробы квадратной формы с размером стороны 115 мм. Перед испытаниями элементарные пробы должны быть выдержаны в развернутом виде в климатических условиях при относительной влажности воздуха (65±4) % и температуре воздуха (20±2) °С не менее 24 ч.

Комплектуют чашки 9 для образцов. Для этого устанавливают стандартную металлическую банку 10 в корпус 11. Стандартную металлическую банку 10 наполняют водой в объеме, обеспечивающем установленное методикой испытания расстояние до внутренней поверхности образца 14, сверху устанавливают на четыре шпильки 12 силиконовую прокладку 13, на нее укладывают образец 14 изнаночной стороной к воде и закрывают крышкой 15, устанавливая ее на шпильки 12 и закручивая последовательно четыре гайки 16, добиваясь герметичности. В гнезда столика 1 на электроконфорки 3 помещают скомплектованные чашки. Задают температуру нагрева электроконфорок 3, скорость вращения привода 4 и положение лопаток 8 крыльчатки 7. Столик 1 с чашками 9 для образцов помещают в испытательную камеру.

На пульте управления климатической камерой задают параметры испытания, соответствующие условиям эксплуатации материалов, а когда в рабочем объеме камеры установятся заданные

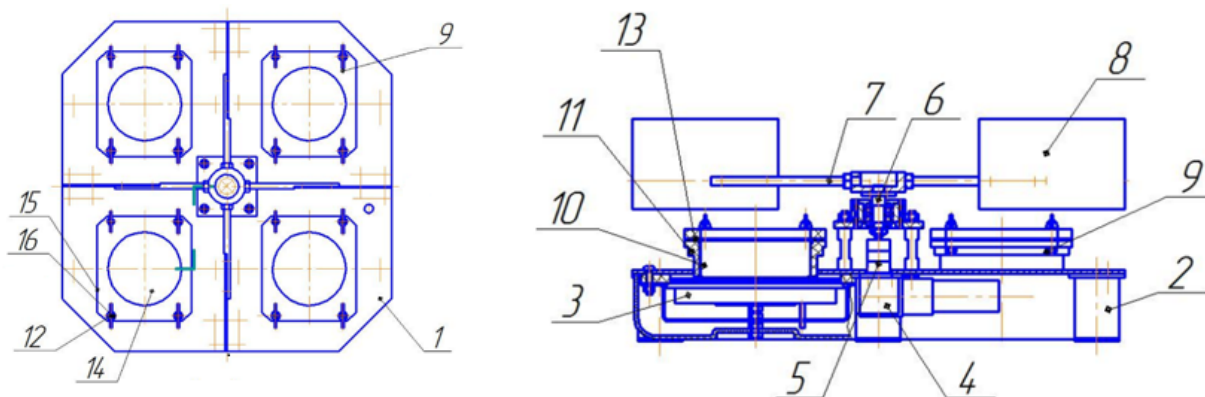


Рисунок 1 – Схема устройства для контроля паропроницаемости материалов

величины, подключают устройство к сети и отмечают время начала испытания. При этом привод 4 передаёт вращение посредством муфты 5 на ось 6, на которой закреплена крыльчатка 7. Лопатки крыльчатки, вращаясь, создают необходимый поток воздуха над образцами, а электроконфорки нагреваются до установленной температуры, нагревая воду в стандартных металлических банках. Температуру воды в банках контролируют с помощью встроенных автономных датчиков температуры, сигнал от которых поступает в блок регулировки нагрева конфорок, благодаря чему температура воды в каждой банке поддерживается постоянной на уровне $(36 \pm 1) \text{ }^\circ\text{C}$. Не менее 1 часа требуется на достижение равновесного градиента давления водяного пара в испытательной конструкции. Через час проводят взвешивание каждого комплекта «чашка-образец» на весах с точностью до 0,01 г. Записывают массу каждого комплекта и фиксируют время, когда он был взвешен. После взвешивания возвращают каждый комплект «чашка-образец» на столик и продолжают испытания до истечения заданного времени.

После окончания испытаний комплекты «чашка-образец» повторно взвешивают и записывают массу каждого комплекта и время, когда он был взвешен.

Показатель паропроницаемости вычисляют по формуле (1):

$$VP = \frac{24 \cdot m}{A \cdot t}, \quad (1)$$

где m – потеря массы комплектом «чашка-образец» за период времени t , г; t – интервал времени между последовательными взвешиваниями комплекта, ч; A – экспонируемая площадь элементарной пробы образца (равная площади отверстия в крышке чашки), м^2 , вычисляют по формуле (2):

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot 10^{-6}, \quad (2)$$

где d – диаметр отверстия крышки, мм.

За окончательный результат испытания при-

нимают среднее арифметическое результатов четырёх определений, вычисленное с точностью до 0,1 г/($\text{м}^2 \cdot 24\text{ч}$) и округленное до целого числа.

Устройство, применяемое в описанной методике, позволяет создавать различную скорость потока воздуха над образцами и проводить испытания при различных температурах воды для моделирования потоотделения человека. С помощью него можно определить паропроницаемость композиционных мембранных текстильных материалов в условиях, близких к эксплуатационным и сравнить данные материалы между собой. Чем выше будет показатель паропроницаемости, тем выше способность материала выводить испарения, и тем соответственно комфортнее будет одежда, изготовленная из данного материала.

Таким образом, целью данной работы является апробация методики определения паропроницаемости с использованием образцов композиционных мембранных текстильных материалов, применяемых для изготовления водозащитной одежды.

Исходя из анализа области применения материалов для защиты от воды, замечено, что большая их часть используется для пошива верхней одежды осенне-весеннего ассортимента. Эксплуатация таких изделий происходит при температуре наружного воздуха от $-5 \text{ }^\circ\text{C}$ до $+10 \text{ }^\circ\text{C}$, при интенсивном обветривании ($2-3 \text{ м/с}$), воздействии дождя и иногда снега, при относительной влажности воздуха от 62 % до 89 % и высокой облачности [13].

Для оценки уровня паропроницаемости были исследованы образцы композиционных мембранных текстильных материалов, состоящих из двух слоев – текстильной тканой основы и полимерной мембраны, применяемые для изготовления водозащитной верхней одежды осенне-весеннего ассортимента. Характеристика исследуемых образцов представлена в таблице 1.

Все представленные в таблице 1 образцы обладают достаточно высоким уровнем водонепроницаемости и, согласно [6], могут быть использованы для изделий, защищающих от дождя, а некоторые (образцы № 1, № 2, № 5 и № 7) и от ливня.

Для реализации методики определения паропроницаемости в условиях близких к эксплу-

атационным в качестве параметров испытания были выбраны: температура наружного воздуха +10 °С, скорость потока воздуха над образцами – 3 м/с, относительная влажность воздуха – 89 %. Результаты исследований представлены в таблице 2.

Анализируя данные таблицы 2 можно сделать вывод, что степень расхождения данных незначительна, об этом свидетельствуют низкие значения коэффициента вариации [14]. Все исследуемые образцы соответствуют требованиям [8] по показателю паропроницаемость и могут использоваться для изготовления водонепроницаемой одежды. Тем не менее, наибольшей

способностью выводить испарения обладают образцы материалов с гидрофильной мембраной и текстильным слоем различных переплетений. Уровень паропроницаемости исследуемых образцов данной группы варьируется от 4609 г/(м²·24ч) до 6521 г/(м²·24ч). Микроклимат в пододёжном пространстве при эксплуатации (температура наружного воздуха +10 °С, скорости ветра – 3 м/с, относительная влажность воздуха – 89 %) водозащитной одежды из таких материалов будет более комфортным для носчика. А использование образцов № 5 и № 7 позволит ещё обеспечить более высокий уровень защиты от атмосферных осадков поскольку

Таблица 1 – Характеристика исследуемых образцов

Номер образца	Поверхностная плотность, г/м ²	Вид переплетения текстильного слоя	Характеристика мембранного слоя	Толщина, мм		Водонепроницаемость, кПа
				общая	мембраны	
1	128	комбинированное	гидрофобный	0,26	0,14	100
2	152	саржевое	гидрофобный	0,24	0,13	160
3	134	комбинированное	гидрофобный	0,25	0,13	40
4	166	полотняное	гидрофобный	0,24	0,11	70
5	160	комбинированное	гидрофильный	0,22	0,10	150
6	187	полотняное	гидрофильный	0,26	0,07	40
7	139	комбинированное	гидрофильный	0,23	0,11	180
8	180	полотняное	гидрофильный	0,26	0,08	50

Таблица 2 – Результаты исследования

Номер образца	Паропроницаемость, VP, г/(м ² ·24ч)					Разброс, г/(м ² ·24ч)	Разброс, %	Стандартное отклонение, г/(м ² ·24ч)	Коэффициент вариации, %
	1	2	3	4	Среднее				
1	2368	2412	2398	2442	2405	74	3,08	30,75	1,28
2	3566	3485	3436	3605	3523	169	4,80	76,56	2,17
3	1802	1778	1744	1756	1770	58	3,28	25,56	1,44
4	3791	3800	3793	3896	3820	105	2,75	50,81	1,33
5	4602	4598	4595	4641	4609	46	1,00	21,53	0,47
6	6542	6511	6524	6507	6521	35	0,54	15,77	0,24
7	5012	4987	5057	4896	4988	161	3,23	67,83	1,36
8	6523	6466	6543	6452	6496	91	1,40	43,87	0,68

уровень водонепроницаемости этих материалов 150 *кПа* и 180 *кПа* соответственно.

Самой низкой паропроницаемостью 1770 *г/(м²·24ч)* обладает композиционный мембранный текстильный материал № 3, входящий в группу композитов с гидрофобным мембранным слоем и текстильным слоем комбинированного переплетения. У данного образца также наблюдается невысокое значение водонепроницаемости из числа рассматриваемых, это свидетельствует о его низкой защитной способности к проникновению атмосферных осадков. Наивысшее значение паропроницаемости 3820 *г/(м²·24ч)* наблюдается у образца № 4 из данной группы. В отличие от остальных представителей у образца № 4 толщина мембранного слоя меньше на 0,02–0,03 *мм* и равна толщине мембранного слоя представителя другой группы – образца № 7.

К рекомендуемым для изготовления комфортной для носчика водозащитной демисезонной одежды можно отнести композиционные мембранные текстильные материалы с гидрофильной мембраной, поскольку они обладают высоким уровнем паропроницаемости.

Показанный в статье подход к оценке паропроницаемости композиционных мембранных текстильных материалов позволяет обеспечить рациональный подбор материалов в пакет изделий легкой промышленности в соответствии с заданными требованиями.

Статья подготовлена по материалам доклада 56-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, которая состоялась 19 апреля 2023 года в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» (Республика Беларусь).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Lomax, G. R. (2007), Breathable polyurethane membranes for textile and related industries, *Journal of Materials Chemistry*, 2007, Issue 27, pp. 2775–2784.
2. Абдуллин, И. Ш., Ибрагимов, Р. Г., Зайцева, О. В., Парошин, В. В. (2013), Современные методы изготовления композиционных мембран, *Вестник Казанского технологического университета*, 2013, № 9, С. 24–34.
3. Williams, J. (2018), *Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing*, UK, Woodhead Publishing, 590 p.
4. Mukhopadhyay, A. A., Midha, V. K. (2008), Review on Designing the Waterproof Breathable Fabrics Part I: Fundamental Principles and Designing Aspects of Breathable Fabrics, *Journal of Industrial Textiles*, 2008, № 37, pp. 225–262.
5. Jeong, W. Y., An, S. K. (2001), The transport properties of polymer membrane-fabric

REFERENCES

1. Lomax, G. R. (2007), Breathable polyurethane membranes for textile and related industries, *Journal of Materials Chemistry*, 2007, Issue 27, pp. 2775–2784.
2. Abdullin, I. Sh., Ibragimov, R. G., Zaitseva, O. V., Paroshin, V. V. (2013), Modern methods of manufacturing composite membranes [Sovremennyye metody izgotovleniya kompozitsionnyh membran], *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta – Herald of Technological University*, 2013, № 9, pp. 24–34.
3. Williams, J. (2018), *Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing*, UK, Woodhead Publishing, 590 p.
4. Mukhopadhyay, A. A., Midha, V. K. (2008), Review on Designing the Waterproof Breathable Fabrics Part I: Fundamental Principles and Designing Aspects of Breathable Fabrics, *Journal of Industrial Textiles*, 2008, № 37, pp. 225–262.

- composites, *Journal of Materials Science*, 2001, № 36, pp. 4797–4803.
6. William, C. (2018), *Smart Textile Coatings and Laminates, second edition*, Elsevier: Wood head Publishing Ltd, 290 p.
 7. Ивашко, Е. И., Панкевич, Д. К. (2022), Паропроницаемость мембранных текстильных материалов в условиях, близких к эксплуатационным, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2022, № 2 (43), С. 47–52.
 8. ГОСТ Р 57514-2017. *Ткани с резиновым или полимерным покрытием для водонепроницаемой одежды. Технические условия*, введ. 01.04.18, (2017), Москва, Стандартинформ, 24 с.
 9. Ивашко, Е. И. (2022), Методы исследования паропроницаемости, *Материалы VII Республиканской научно-технической конференции молодых ученых «Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования»*, Гомель, ИММС НАН Беларуси, 2022, С. 69–71.
 10. Бесшапошникова, В. И., Климова, Н. А., Бесшапошникова, Н. В., Ковалева, Н. Е. (2020), Влияние эксплуатационных факторов на паропроницаемость мембранных тканей и пакетов одежды, *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, 2020, № 6(390), С. 51–54.
 11. Gibson, P. W. (2000), Effect of Temperature on Water Vapor Transport Through Polymer Membrane Laminates, *Journal of Polymer Testing*, 2000, № 19 (6), pp. 673–691.
 12. Буркин, А. Н., [и др.] (2022), *Устройство для контроля паропроницаемости*, патент РБ № 13087, МПК G01N3/20, заявлено 2022.05.16, опубликовано 30.12.2022, Бюл. № 6.
 5. Jeong, W. Y., An, S. K. (2001), The transport properties of polymer membrane-fabric composites, *Journal of Materials Science*, 2001, № 36, pp. 4797–4803.
 6. William, C. (2018), *Smart Textile Coatings and Laminates, second edition*, Elsevier: Wood head Publishing Ltd, 290 p.
 7. Ivashko, E. I., Pankevich, D. K. (2022), Vapor permeability of membrane textile materials under conditions close to operational [Paropronicaemost' membrannyh tekstil'nyh materialov v usloviyah, blizkih k ekspluatacionnym], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University*, 2022, № 2 (43), pp. 47–52.
 8. GOST R 57514-2017. *Fabrics with rubber or polymer coating for waterproof clothing. Technical conditions*, introduced. 01.04.18, (2017), Moscow, Standardinform, 24p.
 9. Ivashko, E. I. (2022), Methods for the study of vapor permeability [Metody issledovaniya paropronicaemosti], *Materials of the VII Republican scientific and technical conference of young scientists "New functional materials, modern technologies and research methods"*, Gomel, IMMS NAS of Belarus, 2022, pp. 69–71.
 10. Besshaposhnikova, V. I., Klimova, N. A., Besshaposhnikova, N. V., Kovaleva, N. E. (2020), Influence of operational factors on the vapor permeability of membrane fabrics and clothing packages [Vliyanie ekspluatacionnyh faktorov na paropronicaemost' membrannyh tkanej i paketov odezhdy], *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*, 2020, № 6(390), pp. 51–54.
 11. Gibson, P. W. (2000), Effect of Temperature on Water Vapor Transport Through Polymer Membrane Laminates, *Journal of Polymer Testing*, 2000, № 19 (6), pp. 673–691.

13. Болотко, Л. М., Людчик, А. М., Умрейко, С. Д. (2021), Динамичные климатические нормы метеопараметров для г. Минска, *Природные ресурсы*, 2021, № 1, С. 5–14.
14. СТБ ИСО 5725-6-2002. *Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 6. Использование значений точности на практике*, введ. 01.07.2003, (2002), Минск, Госстандарта, 48 с.
12. Burkin, A. N., [et al.] (2022), *Ustrojstvo dlya kontrolya paropronicaemosti* [Vapor permeability control device], RB patent № 13087, IPC G01N3 /20, declared 2022.05.16, published 30.12.2022, Bull. № 6.
13. Bolotko, L. M., Ludchik, A. M., Umreiko, S. D. (2021), Dynamic climatic norms of meteorological parameters for Minsk [Dinamicheskie normy meteorologicheskikh parametrov dlya g. Minska], *Prirodnye resursy – Natural Resources*, 2021, № 1, pp. 5–14.
14. STB ISO 5725-6-2002. *Accuracy (correctness and precision) of measurement methods and results. Part 6. Use of accuracy values in practice*, introduced. 07.01.2003, (2002), Minsk, Gosstandart, 48 p.

Статья поступила в редакцию 16.06.2023 г.