

УДК 677.023.56

DOI 10.47367/0021-3497_2022_6_39

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСПОРТА ВЛАГИ
В ДВУХСЛОЙНЫХ ТРИКОТАЖНЫХ СТРУКТУРАХ
ИЗ ПОЛИЭФИРНЫХ НИТЕЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВНЕШНЕЙ НАГРУЗКИ**

**STUDIES OF MOISTURE TRANSPORT
IN TWO-LAYER KNITTED STRUCTURES
FROM POLYESTER THREADS UNDER EXTERNAL LOAD**

Н.В. СКОБОВА, Н.Н. ЯСИНСКАЯ

N.V. SKOBOVA, N.N. YASINSKAYA

(Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь)

(Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus)

E-mail: yasinskaynn@rambler.ru, skobova-nv@mail.ru

В последнее время возрос интерес к проектированию функциональных материалов для одежды. Создание комплекса требуемых гигиенических и эксплуатационных свойств связано с выбором сырьевого состава и структуры текстильного материала, которые в итоге сформируют конечный продукт с заданными свойствами. В связи с этим особый интерес представляют многослойные структуры, содержащие в необходимом порядке различные функциональные слои, скрепленные между собой подходящими способами. Для исследований в качестве слоев многослойного пакета выбраны трикотажные полотна из полиэфирных нитей нового поколения с функцией управления влагой Quick Dry и микрофиламентных нитей SOFT.

В статье представлены результаты исследования влагопереноса в текстильных двухслойных пакетах из функциональных трикотажных полотен под действием внешней нагрузки. Для оценки транспортных свойств многослойных пакетов предложен расчетный метод оценки показателей влагопереноса текстильных двухслойных пакетов, сформированных из трикотажных полотен из функциональных нитей, на базе экспериментальных данных. В качестве критериев оценки выбраны скорость фильтрации и коэффициент фильтрации для материалов верхних слоев, а также коэффициент влагоотдачи – для нижних слоев. Получены зависимости скорости фильтрации и коэффициента фильтрации для материалов верхнего слоя от прикладываемой внешней нагрузки. Даны рекомендации для проектирования композиционных текстильных материалов для спортивной одежды и обуви, обеспечивающие быстрое удаление влаги из пододежного пространства и комфортные условия носки.

Recently, there has been an increase in interest in the design of functional materials for clothing. The creation of required hygienic and operational properties set is associated with the choice of raw material composition and structure of the textile material, which will eventually form the final product with the desired properties. In this regard, of particular interest are multilayer structures containing, in the required order, various functional layers, fastened together by suitable methods. For research, knitted fabrics made of new generation polyester yarns with the Quick Dry moisture management function and SOFT microfilament yarns were selected as layers of a multilayer package.

The article presents the results of moisture transfer study in two-layer textile bags made of functional knitted fabrics under the action of an external load. To evaluate the transport properties of multilayer bags, a calculation method for estimating the moisture transfer indices of textile two-layer bags formed from knitted fabrics from functional yarns, based on experimental data, is proposed. The filtration rate and filtration coefficient for the materials of the upper layers, as well as the moisture transfer coefficient for the lower layers were chosen as evaluation criteria. The dependences of the filtration rate and filtration coefficient for the materials of the upper layer on the applied external load are obtained. Recommendations are given for the design of composite textile materials for sportswear and footwear, which ensure the rapid removal of moisture from the underwear space and comfortable wearing conditions.

Ключевые слова: многофункциональные материалы, функциональные полиэфирные нити, трикотажные полотна, транспорт влаги, скорость фильтрации, коэффициент фильтрации, влагоотдача.

Keywords: multifunctional materials, functional polyester yarns, knitted fabrics, moisture transport, filtration rate, filtration coefficient, moisture loss.

Введение

В последнее время возрос интерес к проектированию функциональных материалов для одежды, предназначение которой заключается в помощи человеку при достижении определенных целей, а также приспособленности к определенным условиям. Функциональная одежда должна обеспечивать комфорт и защиту от внешних условий. В зависимости от назначения материалы могут иметь самые разнообразные функции: сохранять или высвобождать накопленное тепло тела или влагу, обеспечивать свободу движений, быть тактильно приятными, прочными, устойчивыми к износу, экологически чистыми, перерабатываемыми или биоразлагаемыми, защищать от атмосферных осадков и ветра [1], [2]. В некоторых случаях материалы могут иметь экстремальный функционал: защищать от огня, радиации, микробов и вирусов,

накапливать, излучать и отражать свет, обеспечивать поддержку человека лекарствами и многое другое.

Создание комплекса требуемых гигиенических и эксплуатационных свойств неразрывно связано с выбором сырьевого состава и структуры текстильного материала, которые в итоге сформируют конечный продукт с нужным назначением. В связи с этим особый интерес представляют многослойные структуры, содержащие в необходимом, заданном порядке различные функциональные слои, скрепленные между собой подходящими способами. Слои дополняют друг друга или работают сами по себе, их можно комбинировать в зависимости от требований к готовому материалу, изделию [3].

Ранее авторами статьи были проведены исследования гигиенических и эксплуатационных свойств одинарных трикотажных

полотен из функциональных полиэфирных нитей нового поколения Quick Dry и Soft (ОАО "СветлогорскХимволокно") [4]. Уникальная многоканальная структура нитей Quick Dry обеспечивает текстильным материалам способность эффективно управлять влагой за счет мощного капиллярного эффекта, который позволяет быстро впитывать влагу, аккумулировать ее в структуре материала. Микрофиламентные нити SOFT имеют толщину элементарного волокна примерно 5 мкм, благодаря чему способность нитей транспортировать влагу увеличивается по сравнению с традиционными комплексными полиэфирными нитями PЕС [5].

Целью работы является исследование влагопереноса в текстильных двухслойных

пакетах из функциональных трикотажных полотен под действием внешней нагрузки, разработка рекомендаций для проектирования композиционных текстильных материалов заданного назначения.

Объекты и методы исследования

Объектом исследований являлись двухслойные пакеты из трикотажных полотен, полученные переплетением интерлок из функциональных нитей Quick Dry линейной плотности 18,7 текс (f 144), микрофиламентной нити Soft 17,3 текс (f 288), а также традиционных полиэфирных текстурированных нитей PЕС 18,4 текс (f 96). Характеристика одинарных полотен представлена в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Сырьевой состав полотна	Толщина полотна, мм	Длина нити в петле, мм	Поверхностная плотность, г/м ²	Объемное заполнение, %
Нить Quick Dry	0,4	3,26	210	161,6
Нить Soft	0,308	3,2	194	196,6
Нить PЕС	0,471	2,73	220	64,6

Прошивным способом формировались следующие варианты пакетов:

- нижний слой – полотно из нити Quick Dry, верхний слой – полотно из микрофиламентной нити Soft (Q/S);

- нижний слой – полотно из нити Quick Dry, верхний слой – полотно из традиционной полиэфирной текстурированной нити PЕС (Q/PЕС);

- нижний слой – полотно из микрофиламентной нити Soft, верхний слой – полотно из нити Quick Dry (S/Q);

- нижний слой – полотно из микрофиламентной нити Soft, верхний слой – полотно из традиционной полиэфирной текстурированной нити PЕС (S/PЕС).

Методика испытаний. Подготавливаются образцы однослойных трикотажных структур размером 5x5см. Образцы складываются пакетом в такой последовательности слоев, которая предположительно будет в готовом изделии. Нижний слой смачивали в дистиллированной воде, пропускали через отжимные валы для удаления свободной несвязанной влаги, до влагосодержания 170%. Сверху на смоченный образец укладывается второй слой, предварительно высушенный в сушильном шкафу

до абсолютно сухого веса. Относительная влажность воздуха в герметичной камере и лаборатории составляла 35 %, температура воздуха 20°С. Прижим слоев осуществляется переменным грузом, создающим распределенную нагрузку величиной от 0,0002 до 0,02 кг/см², имитирующей эксплуатационные режимы носки изделий.

Пакет размещается на электронных весах и через равные промежутки времени слои взвешиваются до наступления момента достижения верхним образцом максимального влагосодержания. Расчет относительного влагосодержания (W, г/г) проводился по формуле:

$$W = \frac{m_{\text{вл}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \text{ (г/г)}. \quad (1)$$

Результаты и обсуждения

Проведена математическая обработка экспериментальных данных и построены кривые изменения относительного влагосодержания материала верхнего слоя с течением времени при различных статических нагрузках (рис. 1 – кинетика изменения влагосодержания верхнего слоя в структуре пакета материалов при различных статических нагрузках).

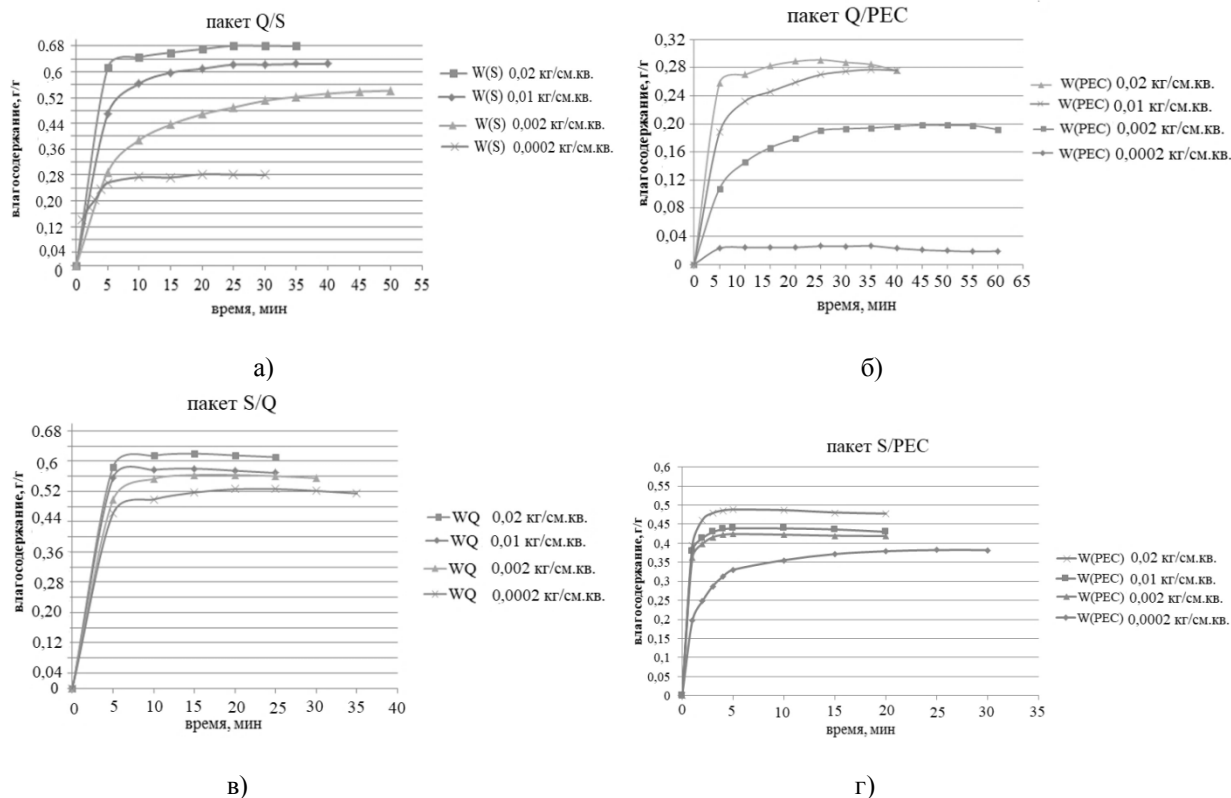


Рис. 1

Анализ динамики средних значений влагосодержания показал, что влагосодержание верхнего слоя возрастает в первые пять минут с последующим замедлением процесса. Причем, чем выше прикладываемая статическая нагрузка на пакет, тем больше влагосодержание. При увеличении нагрузки в 10 раз (с 0,002 до 0,02 кг/см²) градиент влагосодержания для пакетов S/Q и S/PEC принимает близкие значения: $\text{grad}W(S/Q)=0,12$, $\text{grad}W(S/PEC)=0,15$, а для пакета Q/S градиент равен максимальному из анализируемых значений, $\text{grad}W(Q/S)=0,35$. По истечении 15 мин измерений градиент влагосодержания не меняется.

Полученные в ходе экспериментальной обработки данные влагосодержания верхнего слоя двухслойного пакета не позволяют выявить функциональные особенности применяемых материалов при влагопереносе капельно-жидкой влаги. Поэтому для оценки транспортных свойств слоев разработанных пакетов предлагается использовать скорость фильтрации и коэффициент фильтрации для материалов верхних

слоев в пакете, а также коэффициент влагоотдачи – для нижних слоев.

Выбор параметров расчета основывался на теории фильтрации жидкости [6], а также используя методику, предложенную в ГОСТ Р 52608-2006 [7]. Расчет скорости фильтрации (V_ϕ) жидкости верхним слоем материалов и коэффициента фильтрации (K_ϕ) проводился при условии линейного движения жидкости в направлении, перпендикулярном к плоскости полотна по следующим формулам:

$$V_\phi = \frac{V_{\text{ж}}}{t_m \Delta B} = \frac{m_{\text{вл}} - m_{\text{сух}}}{\rho t_m \Delta B} \text{ (см/с)}, \quad (2)$$

$$K_\phi = \frac{V_\phi}{J} = V_\phi \frac{L}{H} \text{ (см/с)}. \quad (3)$$

В данном исследовании напор создавался прикладываемой статической нагрузкой (внешняя нагрузка), рассчитать которую можно по формуле:

$$H = \frac{P}{\gamma} \text{ (см)}. \quad (4)$$

Тогда коэффициент фильтрации можно рассчитать по формуле:

$$K_{\phi} = V_{\phi} \frac{Ly}{P} \text{ (см/с)}. \quad (5)$$

В результате расчета по формулам (2), (5) получены зависимости скорости фильтрации (рис. 2 – зависимость скорости фильтрации жидкости верхним слоем от прикладываемой внешней нагрузки) и коэффициента фильтрации материалом верхнего слоя двухслойного пакета от прикладываемой внешней нагрузки (рис. 3 – зависимость коэффициента фильтрации жидкости верхним слоем от прикладываемой внешней нагрузки).

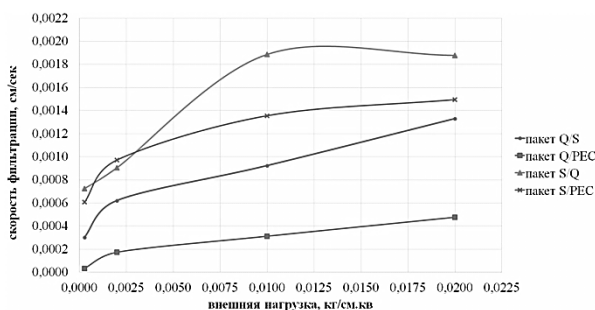


Рис.2

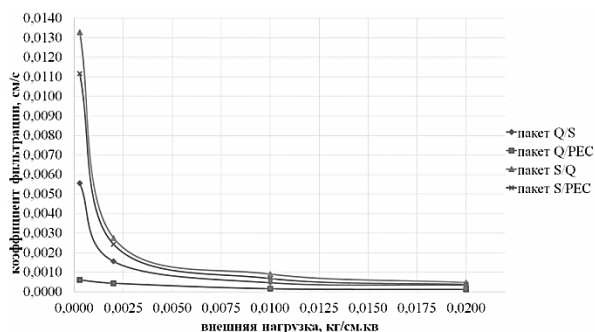


Рис.3

Скорость фильтрации показывает, какой объем жидкости проходит через единицу площади материала в единицу времени. Низкой скоростью фильтрации обладает пакет Q/PEC. Нижний слой пакета, полученный из нитей Quick Dry, обладает высокой влагоудерживающей способностью благодаря наличию большого количества мелких капилляров на боковых стенках элементарных нитей [8...10], внутри которых удерживается сконденсированная жид-

кость. Верхний слой из традиционной полиэфирной нити имеет макропористую структуру, малое объемное заполнение, что затрудняет процесс механического захватывания частиц воды материалом. Это подтверждается последующим расчетом коэффициента влагоотдачи.

Максимальной скоростью фильтрации обладает пакет S/Q, благодаря высоким сорбционным свойствам материала верхнего слоя из нитей Quick Dry, происходит капиллярная конденсация поглощаемых паров воды из нижнего слоя в межпоровом пространстве и микрокапиллярах.

Коэффициент фильтрации отражает скорость фильтрации жидкости в направлении, перпендикулярном к плоскости полотна при градиенте напора, равном единице. На графике представлена кинетика изменения коэффициента фильтрации в зависимости от прикладываемой внешней нагрузки. Коэффициент фильтрации существенно различим при малом внешнем давлении: максимальное значение характерно для пакета S/Q, однако при увеличении градиента напора больше 2 (соответствует нагрузке 0,01 кг/см²) материалы верхнего слоя ведут себя одинаково. Коэффициент фильтрации при градиенте напора, равном единице (нагрузка 0,005 кг/см²), составляет для пакетов с верхним слоем материала из традиционной полиэфирной нити $K_{\phi}(Q/PEC) = 0,00035$ см/с, для пакета $K_{\phi}(S/PEC) = 0,0011$ см/с, для пакетов с верхним слоем из микрофиламентной нити $K_{\phi}(Q/S) = 0,0075$ см/с, для пакета с верхом из нити Quick Dry $K_{\phi}(S/Q) = 0,0125$ см/с. Таким образом, высокими транспортными свойствами обладает пакет S/Q с нижним слоем из микрофиламентной нити и с верхним слоем из нити Quick Dry.

Влагоотдачу нижнего слоя пакета можно оценить по коэффициенту влагоотдачи (формула (6)), рассчитываемому как отношение объема перешедшей во второй слой материала воды V_0 за время T , равное моменту достижения максимального влагосодержания верхнего слоя, к объему сухого нижнего образца V_M :

$$K_B = \frac{V_0}{V_M}. \quad (6)$$

Зависимость коэффициента влагоотдачи нижнего слоя от прикладываемой внешней нагрузки (рис. 4 – зависимость коэффициента влагоотдачи жидкости нижним слоем пакета от прикладываемой нагрузки) показывает, что пакеты с нижним слоем из полотна Quick Dry имеют низкий показатель влагоотдачи при нагрузках, обеспечивающих минимальное контактное примыкание двух слоев (минимальное нагружение).

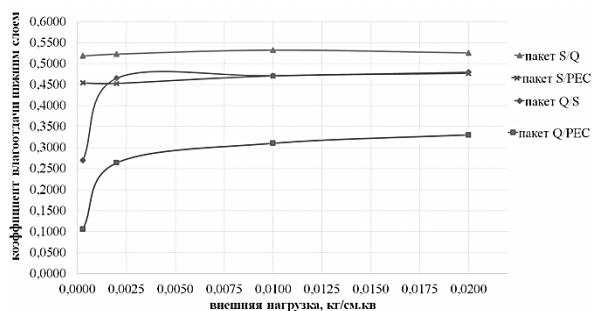


Рис.4

ВЫВОДЫ

Предложен метод оценки показателей влагопереноса текстильных двухслойных пакетов, сформированных из трикотажных полотен из функциональных нитей, на базе экспериментальных данных. Предложено в качестве параметров оценки влагопереноса рассчитывать скорость фильтрации и коэффициент фильтрации для материалов верхних слоев пакета, коэффициент влагоотдачи – для материалов нижних слоев пакета. Установлено, что при формировании пакета материалов для спортивной одежды и обуви с нижним слоем, прилегающим к коже человека, из микрофиламентной нити и верхним слоем материала из нитей Quick Dry можно ожидать более быстрое удаление влаги из пододежного пространства и обеспечить комфортные условия носки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Vlasenko, V., Bereznenko, M., Liszczuk, V. Modern approach to prepare multifunctional sandwich-type textile composites with predicted characteristics // Innovations in clothing technology & measurement techniques. – Warsaw, 2012. P. 85...93.
2. Asfand N., Basra S.A. Analysis of textile capillarity evaluation methods: literature review // The

International Young Researchers Conference “INDUSTRIAL ENGINEERING 2020”, Kaunas, May 14 - Lithuania, 2020. Режим доступа: <https://www.researchgate.net/publication/344220269>. - Дата доступа 04.09.2022.

3. Ясинская Н.Н., Ольшанский В.И., Коган А.Г. Композиционные текстильные материалы. – Витебск: ВГТУ, 2016.

4. Скобова Н.В., Ясинская Н.Н., Даниленко А.Е., Сохова А.В. Оценка специальных свойств функциональных нитей и трикотажных полотен из них для формирования многослойных обувных материалов // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2021. Т. 53. № 3. С. 68...72.

5. Костюкевич, В.В. Производство спецволокон и нитей с функциональными свойствами в ОАО "СветлогорскХимволокно" // Нефтехимия-2019: Мат. II Междунар. научн.-технич. и инвестиционного форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке, Минск, 16-18 сентября 2019 г. – Минск: БГТУ, 2019. С. 13...19.

6. Леонтьев Н. Е. Основы теории фильтрации. – 2-е изд. – М.: МАКС Пресс, 2017.

7. ГОСТ Р 52608-2006 "Материалы геотекстильные. Методы определения водопроницаемости".

8. Brojeswari Das, A. Das, V.K. Kothari, R.Fanguiero, M. de Araújo Moisture transmission through textiles. Part I: Processes involved in moisture transmission and the factors at play // AUTEX Research Journal. – 2007. - Vol. 7, No2. Режим доступа: www.autexrj.org/No2-2007/0236.pdf. – Дата доступа 10.08.2022.

9. Mayur B, Mrinal C, Saptarshi M, R Adivarekar. Moisture Management Properties of Textiles and Its Evaluation. Curr Trends Fashion Technol Textile Eng. 2018; 3(3): 555611. DOI: 10.19080/CTFTTE. 2018.03.555611.

10. Yasinskaya N.N., Murycheva V.V., Razumeev K.E. Impregnation of Woven Fabrics from Chemical Yarns during Formation of Composite Textile Materials // Fibre Chemistry. – 2020. Т. 52, №1. P. 28...33.

REFERENCES

1. Vlasenko V., Bereznenko M., Liszczuk V. Modern approach to prepare multifunctional sandwich-type textile composites with predicted characteristics // Innovations in clothing technology & measurement techniques. – Warsaw, 2012. P. 85...93.
2. Asfand N., Basra S.A. Analysis of textile capillarity evaluation methods: literature review // The International Young Researchers Conference “INDUSTRIAL ENGINEERING 2020”, Kaunas, May 14 - Lithuania, 2020, available at: <https://www.researchgate.net/publication/344220269>
3. Yasinskaya N.N., Olshansky V.I., Kogan A.G. Composite textile materials: [monograph] / N.N. Yasinskaya, – Vitebsk: VGTU, 2016..
4. Skobova N.V., Yasinskaya N.N., Danilenko A.E., Sokhova A.V. Evaluation of the special properties of functional yarns and knitted fabrics from them for the formation of multilayer shoe materials // News of higher

educational institutions. Light industry technology. – 2021. V. 53. №3. P. 68...72.

5. Kostyukevich, V.V. Production of special fibers and threads with functional properties at OJSC "SvetlogorskKhimvolokno" // Petrochemistry-2019: materials of the II International Scientific, Technical and Investment Forum on Chemical Technologies and Oil and Gas Processing, Minsk, September 16-18, 2019 – Minsk: BSTU, 2019. P. 13...19.

6. Leontiev N. E. Fundamentals of the theory of filtration / 2nd ed. - Moscow: MAKS Press, 2017.

7. GOST R 52608-2006 "Geotextile materials. Methods for determining water permeability.

8. Brojeswari Das, A. Das, V.K. Kothari, R.Fanguiero, M. de Araújo Moisture transmission through textiles. Part I: Processes involved in moisture transmission

and the factors at play // Autex Research Journal. – 2007. - Vol. 7, No, available at: www.autexrj.org/No2-2007/0236.pdf.

9. Mayur B, Mrinal C, Saptarshi M, R Adivarekar. Moisture Management Properties of Textiles and Its Evaluation. Curr Trends Fashion Technol Textile Eng. 2018; 3(3): 555611. DOI: 10.19080/CTFTTE.2018.03.555611.

10. Yasinskaya N.N., Murycheva V.V., Razumeev K.E. Impregnation of Woven Fabrics from Chemical Yarns during Formation of Composite Textile Materials // Fibre Chemistry. – 2020. T. 52, №1. P. 28...33.

Рекомендована кафедрой экологии и химических технологий. Поступила 27.09.22.
