

**Анализ эффективности защитных свойств тканых материалов спецодежды,
предназначенной для работы в условиях высокой микробной обсемененности**

**Владимир Степанович Шкрабак¹, Елена Ивановна Гаврикова², Роман Владимирович Шкрабак¹,
Петр Иванович Косырев³, Арина Васильевна Шкрабак¹**

¹Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург–Пушкин, Россия

²Орловский государственный аграрный университет, г. Орёл, Россия

³Всероссийский научно-исследовательский институт защиты здоровья животных, г. Владимир, Россия

e-mail: v. shkrabak@mail.ru

Аннотация. Показана роль гигроскопичности тканей в нарушении защитных качеств тканей из натуральных волокон, связанная с повышенной проницаемостью ткани микроорганизмами. Определена способность исследуемых тканей к сорбции влаги. Использована оригинальная программа по оценке гигроскопичности тканей, предназначенных для изготовления специальной одежды. Разработаны рекомендации по использованию хлопчатобумажных тканей в условиях высокой микробной обсемененности.

Ключевые слова: специальная одежда; хлопчатобумажные ткани; защитные свойства; микробная обсемененность; сорбционная способность; гигиенические характеристики.

Для цитирования: Шкрабак В. С., Гаврикова Е. И., Шкрабак Р. В., Косырев П. И., Шкрабак А. В. Анализ эффективности защитных свойств тканых материалов спецодежды, предназначенной для работы в условиях высокой микробной обсемененности // Аграрный научный журнал, 2022. № 5. С. 101–104. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i5pp101-104>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

**Analysis of the effectiveness of the protective properties of woven materials of overalls designed to work
in conditions of high microbial contamination**

Vladimir S. Shkrabak¹, Elena I. Gavrikova², Roman V. Shkrabak¹, Petr I. Kosyrev³, Arina V. Shkrabak¹

¹St. Petersburg State Agrarian University, St. Petersburg – Pushkin, Russia.

²Orel State Agrarian University, Orel, Russia.

³Federal State-financed Institution “Federal Centre for Animal Health”, Vladimir, Russia.

e-mail: shkrabakrv@mail.ru.

Abstract. The role of tissue hygroscopicity in violation of the protective qualities of tissues made of natural fibers, associated with increased tissue permeability by microorganisms, is shown. The ability of the studied tissues to absorb moisture was determined. An original program was used to assess the hygroscopicity of fabrics intended for the manufacture of special clothing. Recommendations have been developed for the use of cotton fabrics in conditions of high microbial contamination.

Keywords: special clothes; cotton fabrics; protective properties; microbial contamination; sorption capacity; hygienic characteristics.

For citation: Shkrabak V. S., Gavrikova E. I., Shkrabak R. V., Kosyrev P. I., Shkrabak A. V. Analysis of the effectiveness of the protective properties of woven materials of overalls designed to work in conditions of high microbial contamination // Agrarny nauchny zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2022;(5): 101–104 (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i5pp101-104>.

Введение. Одной из серьезных проблем последних лет является выявление возрастающей резистентности разных видов микроорганизмов к фунгицидам и антибиотикам [1–5]. Особенно опасен это процесс в медицине, однако в сельском хозяйстве с устойчивостью патогенных грибов к фунгицидам столкнулись еще в последние годы XX века. Массовое использование азота и его соединений приводит к долговременному загрязнению воздуха, воды и почвы в связи с тем, что вещества этой группы имеют период полураспада более трех месяцев. В свою очередь, рост числа опасных для здоровья человека грибковых инфекций вызывает необходимость в увеличении профилактического приема азолов у пациентов с высоким риском заболеваемости, что потенциально приводит к возникновением устойчивости к азолу среди грибковых патогенов человека [6].

Ряд исследователей полагают, что грибковые инфекции и их влияние на здоровье человека, в отличие от других микроорганизмов, способных вызывать патологические состояния, недостаточно изучены, несмотря на то, что грибы, как патогены, вносят существенный вклад в заболеваемость людей [7].

Уровень воздействия на работников вредных или опасных факторов можно значительно снизить путем использования сертифицированных средств индивидуальной защиты, характеризующихся высокими барьерными функциями [8, 9]. Исследование причин несчастных случаев, легких травм без потери трудоспособности и профессиональной заболеваемости показывает, что их причиной чаще всего является невысокое качество, отсутствие или отказ от применения работниками средств индивидуальной защиты. Рабочие зоны помещений группы отраслей агропромышленного комплекса отличаются высокой микробной обсемененностью, при этом большую часть аэрозоля составляют условно-патогенные и патогенные виды. Бактерии и грибы представляют собой потенциальный источник инфекционных заболеваний, нарушают работу иммунной системы, что провоцирует воспалительные процессы в организме и увеличение общей заболеваемости. Ассортимент специальной одежды, используемый для защиты от микроорганизмов, представлен типовой одеждой, выполненной или из хлопчатобумажной ткани, целлюлозные волокна которой разрушаются под действием грибных ферментов, или из водонепроницаемых тканей, которые также непроницаемы и для воздуха, что не позволяет применять прорезиненную специальную одежду в условиях повышенных температур и высокой физической нагрузки.

© Шкрабак В. С., Гаврикова Е. И., Шкрабак Р. В., Косырев П. И., Шкрабак А. В., 2022



Методика исследований. В качестве объекта исследования были рассмотрены ткани специальной одежды, применяемые в животноводстве, птицеводстве, при переработке мяса и утилизации ветеринарно-санитарного брака. В процессе научного исследования применялись аналитический, расчетно-конструктивный и другие методы.

Результаты исследований. Гигиенические свойства тканей определяются главным образом процессами сорбции и десорбции воды и водяных паров, основанными на действии межмолекулярных сил. Уравнение полимолекулярной физической адсорбции (метод Брунауэра, Эммета и Теллера) можно применить [10] для описания изотерм этих процессов:

$$V = \frac{V_m C P}{(P_0 - P) + (C - 1) \frac{P}{P_0}}$$

где V – объем сорбированной влаги; V_m – предельное значение объема адсорбированной влаги, когда вся поверхность волокон (сорбента) покрыта мономолекулярным слоем; C – константа адсорбции, зависящая от теплоты сорбции, абсолютной температуры и других параметров; P – давление пара, при котором происходит абсорбция; P_0 – давление насыщенного пара при данной температуре.

Для нахождения постоянной C уравнение преобразуем к виду:

$$\frac{P}{V(P_0 - P)} = \frac{1}{V_m C} + \frac{C - 1}{V_m C} \frac{P}{P_0}$$

Это уравнение прямой:

$$y = ax + b,$$

где

$$\begin{aligned} y &= \frac{P}{((P_0 - P)V)} \\ a &= \operatorname{tg} \alpha = \frac{C - 1}{V_m C}, \\ x &= \frac{P}{P_0}, \\ b &= \frac{1}{V_m C}. \end{aligned}$$

Коэффициенты a и b зависят от влажности волокон и относительной влажности воздуха. Используя метод наименьших квадратов, находим:

$$\begin{aligned} a &= \frac{n \sum \varphi_i y_i - \sum \varphi_i \sum y_i}{n \sum \varphi_i^2 - (\sum \varphi_i)^2}, \\ b &= \frac{\sum y_i \sum \varphi_i^2 - \sum \varphi_i \sum \varphi_i y_i}{n \sum \varphi_i^2 - (\sum \varphi_i)^2}, \end{aligned}$$

где φ_i , y_i – координаты экспериментальных точек; n – число точек измерений, по которым производится расчет изотерм.

Эмпирическая зависимость сорбционной способности хлопчатобумажной ткани от содержания в воздухе водяных паров с высокой степенью достоверности ($R^2 = 0,92$) аппроксимируется уравнением следующего вида: $y = 1,87 \ln(x) + 3,2$.

Для построения модели программы применен метод линейного программирования. Разработанная программа [11] позволяет отбирать ткани по степени сорбционной способности для пошива специальной одежды для работников. Разработанная программа не требует инсталляции (рис. 1, 2).

На производствах, сопровождаемых повышенной микробной обсеменённостью, основным показателем, характеризующим степень защиты специальной одежды, считается проницаемость ткани микроорганизмами. Как показывают опытные данные (см. таблицу), натуральные ткани показывают самую высокую проницаемость, несколько лучше показатели у смесовых тканей, а ткани, полученные путем низкого давления полиэтилена (синтетические ткани), показали полное отсутствие проникновения.

Такие характеристики защитных свойств материалов, используемых для пошива специальной одежды, как стабильное сохранение прочности после длительной эксплуатации, санитарных обработок, действия продуктов метаболизма микроорганизмов, также имеют немаловажное значение. Согласно нашим исследованиям микробные ферменты оказывают неодинаковое воздействие на образцы тканей с разным составом.

Полимерные материалы показали свою целесообразность для использования их в качестве ткани для пошива специальной одежды, благодаря высокой степени устойчивости к действию микробных метаболитов. Наряду с этим наблюдалось существенное снижение прочности хлопчатобумажных тканей, помещенных во влажную среду и обра-





Рис. 1. Схема алгоритма программы по оценке гигроскопичности тканей, предназначенных для изготовления специальной одежды

Рис. 2. Экранные формы программы по оценке гигроскопичности тканей, предназначенных для изготовления специальной одежды

Анализ характеристик тканей, используемых при пошиве спецодежды

Особенности / Тип ткани	Натуральные ткани Саржа	Смесовые ткани Поликоттон	Синтетические ткани Tyvek
№	1	2	3
Сырьевой состав, %	Х/Б - 100	ПЭ – 67, Х/Б – 33 35 % хлопка плюс 65 % полиэстера	полиэтилен - 100
Поверхностная плотность, г/м ²	300	208	41
Запыляемость, г/дм ³	17,0	12,0	0
Гигроскопичность, %	10,1	5,7	0
Воздухопроницаемость, дм ³ /м ²	101,4	63,8	воздухонепроницаема
Разрывная нагрузка в Н (кгс), не менее: по основе по утку	63,7 58,8	55,1 58,8	12,83
проницаемость материалов для микроорганизмов, %	5,86±0,64	4,18±0,56	0
Влияние микроорганизмов на прочностные характеристики (разрывная нагрузка, Н на 60 сут.)	193.19 ±2,13	333.43±4,78	0
Преимущества	Ткань экологична; состав ткани обеспечивает высокий комфорт при эксплуатации изделий; высокие показатели гигроскопичности и воздухопроницаемости; высокий срок службы изделий; минимальные показатели усадки	Улучшенные физико-механические свойства: повышает прочность ткани, увеличивает износостойкость, несминаемость, сохраняя комфорт	Прочность (обладает стойкостью к разрыву в мокром и сухом состояниях); водостойкость (сохраняет свои характеристики во влажном и сухом состояниях); химическая стойкость (так как материал сделан из 100 % HDPE, то он нечувствителен к воздействию большинства кислот, оснований и солей); стабильность размеров (при относительной влажности от 0 до 100 % сохраняет стабильность размеров) небольшой вес (вес вдвое меньше веса других материалов при аналогичной прочности)
Недостатки	При воздействии ферментов, продуцируемых микроскопическими грибами, в материалах происходит деструкция волокон целлюлозы, в результате этого явления разрывная стойкость снижается	По сравнению с одеждой из х/б снижены ощущения комфортности, степень утомляемости более выражена	собирается конденсат, выраженный дискомфорт при физической нагрузке II категории



ботанных микробным аэрозолем, в то время как смесовые ткани сохранили свои прочностные характеристики.

Заключение. Анализ условий труда на этапе проектирования специальной одежды необходимо проводить, учитывая вредные производственные факторы, характер выполняемых работ, характерные движения, для того, чтобы разработчик смог подобрать ткани с необходимым и достаточным уровнем защитных свойств. Проведенные исследования не позволяют рекомендовать использовать хлопчатобумажные ткани, которым свойственна высокая сорбционная способность, а, следовательно, и быстрое загрязнение, в условиях повышенной влажности, микробной обсемененности и температуры производственной среды. Применение изделий, выполненных из натуральных тканей, можно предложить работникам агропромышленного комплекса с вышеперечисленными условиями труда лишь в случае комплектации защитной одежды дополнительными вставками и санитарной обработкой после каждой смены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hoseinzadeh E., Makhdoumi P., Taha P. et al. A review on nano-antimicrobials: metal nanoparticles, methods and mechanisms // *Curr. Drug. Metab.* 2017. Vol. 18. No. 2. P. 120-128.
2. Raghunath A., Perumal E. Metal oxide nanoparticles as antimicrobial agents: a promise for the future // *Int. J. Antimicrob. Agents.* 2017. Vol. 49. No. 2.– P. 137-152.
3. Zaidi S., Misba L., Khan A.U. Nano-therapeutics: a revolution in infection control in post antibiotic era // *Nanomedicine.* 2017. Vol. 13. No. 7. P. 2281-2301.
4. Gold K., Slay B., Knackstedt M., Gaharwar A.K. Antimicrobial activity of metal and metal-oxide based nanoparticles / *Adv. Therap.* 2018. Vol. 1. No. 3. DOI: 10.1002/adtp.201700033.
5. Shkrabak V.S., Gavrikova E.I., Shkrabak R.V., et al. Photocatalytic method of disinfection of indoor areas with increased microbial content / *International Transaction Journal of Engineering, Management and Applied Sciences and Technologies.* 2020. Vol. 11. No. 10. C. 11A10J.
6. Azevedo M.-M., Faria-Ramos I., Cruz L.C., Pina-Vaz C., Gonçalves Rodrigues A. Genesis of Azole Antifungal Resistance from Agriculture to Clinical Settings // *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 2015. 63 (34). pp. 7463-7468.
7. Brown G.D., Denning D.W., Gow N.A.R. et al. Hidden killers: Human fungal infections // 2012. *Science Translational Medicine.* 4 (165). No. 165rv13.
8. Букина Ю. А., Сергеева Е. А. Препараты для придания волокнистым текстильным материалам антибактериальных свойств // *Вестник Казанского технологического университета.* 2012. Т. 15. № 14. С. 170-172.
9. Дмитриева А. Д., Кузьменко В. А., Одинцова Л. С., Одинцова О. И. Синтез и использование наночастиц серебра для придания текстильным материалам бактерицидных свойств // *Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология.* 2015. Т. 58. № 8. С. 67-70.
10. Гаврикова Е. И. Особенности характеристик защитных свойств тканых материалов // *Безопасность жизнедеятельности.* 2014. № 8 (164). С. 18-20.
11. Яковлев А. С., Гаврикова Е. И. Программа по оценке гигроскопичности тканей, предназначенных для изготовления специальной одежды // *Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020619653.* 2020.

REFERENCES

1. Hoseinzadeh E., Makhdoumi P., Taha P. et al. A review on nano-antimicrobials: metal nanoparticles, methods and mechanisms. *Curr. drug. Metab.* 2017; 18; 2: 120-128.
2. Raghunath A., Perumal E. Metal oxide nanoparticles as antimicrobial agents: a promise for the future. *Int. J. Antimicrob. agents.* 2017; 49; 2: 137-152.
3. Zaidi S., Misba L., Khan A.U. Nano-therapeutics: a revolution in infection control in post antibiotic era. *Nanomedicine.* 2017; 13; 7: 2281-2301.
4. Gold K., Slay B., Knackstedt M., Gaharwar A.K. Antimicrobial activity of metal and metal-oxide based nanoparticles. *Adv. Therap.* 2018; 1; 3. DOI: 10.1002/adtp.201700033.
5. Shkrabak V.S., Gavrikova E.I., Shkrabak R.V., et al. Photocatalytic method of disinfection of indoor areas with increased microbial content. *International Transaction Journal of Engineering, Management and Applied Sciences and Technologies.* 2020; 11; 10: 11A10J.
6. Azevedo M.-M., Faria-Ramos I., Cruz L.C., Pina-Vaz C., Gonçalves Rodrigues A. Genesis of Azole Anti-tifungal Resistance from Agriculture to Clinical Settings. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 2015; 63 (34): 7463-7468.
7. Brown G.D., Denning D.W., Gow N.A.R. et al. Hidden killers: Human fungal infections. *Science Translational Medicine.* 2012; 4 (165); 165rv13.
8. Bukina Yu. A., Sergeeva E. A. Preparations for imparting antibacterial properties to fibrous textile materials. *Bulletin of the Kazan Technological University.* 2012; 15; 14: 170-172. (In Russ.).
9. Dmitrieva A. D., Kuzmenko V. A., Odintsova L. S., Odintsova O. I. Synthesis and use of silver nanoparticles to impart bactericidal properties to textile materials. *Series: Chemistry and chemical technology.* 2015; 58; 8: 67-70. (In Russ.).
10. Gavrikova E. I. Features of the characteristics of the protective properties of woven materials. *Life safety.* 2014; 8 (164): 18-20. (In Russ.).
11. Yakovlev A. S., Gavrikova E. I. Program for assessing the hygroscopicity of fabrics intended for the manufacture of special clothing. Certificate of state registration of a computer program No. 2020619653. 2020. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 08.11.2021; одобрена после рецензирования 22.11.2021; принята к публикации 11.12.2021.

The article was submitted 08.11.2021; approved after reviewing 22.11.2021; accepted for publication 11.12.2021.

