

УДК 531.43  
DOI 10.47367/0021-3497\_2023\_3\_168

**ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ РАСТВОРА  
НЕИОНОГЕННОГО ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНОГО ВЕЩЕСТВА  
НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТКАНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ  
ВОЛОКНИСТОГО КОМПОЗИТА\***

**EFFECT OF THE SURFACE TENSION OF A NONIONIC SURFACTANT  
SOLUTION ON THE TRIBOTECHNICAL PROPERTIES  
OF A WOVEN FILLER OF A FIBROUS COMPOSITE**

*В.Б. КУЗНЕЦОВ<sup>1</sup>, О.В. БЛИНОВ<sup>2</sup>, А.В. БАРАНОВ<sup>1</sup>, Е.Н. КАЛИНИН<sup>1</sup>*  
*V.B. KUZNETSOV<sup>1</sup>, O.V. BLINOV<sup>2</sup>, A.V. BARANOV<sup>1</sup>, E.N. KALININ<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Ивановский государственный политехнический университет,  
<sup>2</sup> Ивановский государственный энергетический университет)

(<sup>1</sup>Ivanovo State Polytechnic University,  
<sup>2</sup>Ivanovo State Power Engineering University)

E-mail: enkalini@gmail.com

*В работе исследовано влияние ряда физико-химических показателей неионогенных поверхностно-активных веществ (НПАВ), таких, как гидрофильно-липофильный баланс и поверхностное натяжение растворов НПАВ на границе раздела фаз жидкость/газ и жидкость/жидкость, на изменение триботехнических характеристик поверхности хлопчатобумажной ткани как наполнителя в структуре волокнистого композитного материала в процессе ее мокрой обработки.*

*In this paper, the influence of a number of physicochemical parameters of nonionic surfactants (NSA), such as the hydrophilic-lipophilic balance and surface tension of NSAS solutions at the liquid/gas and liquid/liquid interface, on the change in the tribological characteristics of the surface of cotton fabric as a filler in the structure of a fibrous composite material during its wet processing has been studied.*

**Ключевые слова:** триботехнические свойства, неионогенные поверхностно-активные вещества (НПАВ), физико-химические характеристики НПАВ, поверхностное натяжение на границе раздела фаз жидкость/газ и жидкость/жидкость, критическая концентрация мицеллообразования (ККМ), гидрофильно-липофильный баланс (ГЛБ), хлопчатобумажная ткань, коэффициент трения.

**Keywords:** tribotechnical properties, non-ionic surfactants (NSAS), physico-chemical characteristics of NSAS, surface tension at the liquid/g and liquid/l interface, critical micelle concentration (CMC), hydrophilic-lipophilic balance (HLB), cotton fabric, coefficient of friction.

Поверхностно-активные вещества широко используются в технологических процессах различных отраслей промышленности и хозяйственной деятельности. Среди большого количества поверхностно-активных веществ следует выделить неионогенные поверхностно-активные вещества (НПАВ), проявляющие гидрофильные и гидрофобные свойства, обусловленные особенностью молекулярной структуры.

На основе НПАВ готовят присадки, улучшающие эксплуатационные характеристики нефтепродуктов; смазочные составы, используемые в том числе в металлообработке; добавки, увеличивающие прочность цемента, а также НПАВ применяются при создании противогололедных композиций, в пожаротушении, фармацевтике, косметике, бытовой химии и пищевой промышленности [1...8].

Наиболее широкое применение НПАВ нашли при мокрой обработке тканей из природных, синтетических волокон и их смесей в условиях отделочных производств текстильной промышленности [9...13]. Они входят в состав материальных растворов для процессов отварки, беления, мерсеризации, крашения, промывки и заключительной отделки. При этом наряду с чисто технологическим воздействием на текстильный материал НПАВ оказывают и значительное влияние на триботехнические показатели в паре трения

«ткань–транспортирующий ролик» в составе различных типов отделочного оборудования, что подтверждается ранее проведенными работами [11, 12]. Назначение подобных исследований заключается в попытке определить изменение триботехнических параметров тканей и оценить их воздействие на натяжение текстильного материала, что является важным фактором выпуска качественной продукции. Вопросам натяжения текстильного материала уделяется недостаточное внимание, хотя и были сделаны многочисленные попытки математического моделирования данного процесса [13]. Однако рассматривались, как правило, механические аспекты влияния на данную составляющую технологии процесса воздействия на волокнистую структуру текстильного материала. В то же время физико-химическим факторам воздействия различных химических веществ, и в первую очередь НПАВ, в составе материальных растворов на триботехнические параметры поверхности текстильного материала, от которых в небольшой степени зависит натяжение ткани, уделяется исследователями недостаточно внимания.

Неионогенные поверхностно-активные вещества обладают комплексом свойств эмульгирующего и диспергирующего действия, способностью изменять поверхностное натяжение водных растворов,

обеспечивая хорошую смачиваемость гидрофобных поверхностей, а также склонностью к мицеллообразованию, обеспечивающему сольubilизацию, моющее действие и образование микроэмульсий [14...19].

Настоящая работа посвящена изучению влияния поверхностного натяжения водных растворов НПАВ на изменение триботехнических свойств поверхности ткани и продолжает цикл статей [20, 21] по исследованию взаимосвязи физико-химических характеристик поверхностно-активных веществ и коэффициента трения текстиль-

ных материалов при соприкосновении с металлическими транспортирующими роликами в процессах мокрой обработки.

В табл. 1 представлены некоторые характеристики исследованных НПАВ, а именно поверхностное натяжение растворов на границе раздела фаз жидкость/газ (ж/г) и жидкость/жидкость (ж/ж) при критической концентрации мицеллообразования исследованных поверхностно-активных веществ.

Таблица 1

НПАВ	Показатели			
	ККМ, г/л	Поверхностное натяжение ж/г, Дж/м <sup>2</sup>	Поверхностное натяжение ж/ж, Дж/м <sup>2</sup>	Коэффициент трения, усл. ед.
ОС-20	0,20	40	10	0,180
ОП-10	0,15	31	15	0,138
ОП-7	0,10	29	15	0,120
Стеарокс 6	0,045	-	-	0,130

В табл. 2 приведены формулы исследованных НПАВ и их величина гидро-

фильно-липофильного баланса (ГЛБ), а также значение ККМ.

Таблица 2

НПАВ	Показатели			
	Формула	ГЛБ	Молекулярная масса	ККМ
ОС-20	$C_{18}H_{37}O(C_2H_4O)_{20}H$	17,0	1150	0,200
ОП-10	$C_8H_{17}C_6H_4O(C_2H_4O)_{10}H$	13,5	762	0,150
ОП-7	$C_8H_{17}C_6H_4O(C_2H_4O)_7H$	10,9	542	0,100
Стеарокс 6	$C_{17}H_{35}COO(C_2H_4O)_6H$	6,8	512	0,045

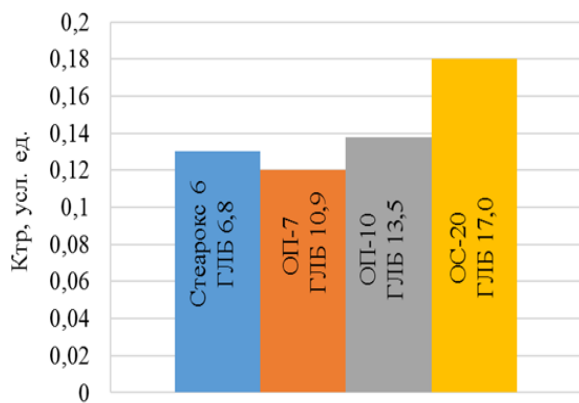


Рис. 1

Согласно правилу Дюкло-Траубе увеличение длины углеводородной цепи поверхностно-активных веществ приводит к росту их поверхностной активности [17, 18]. Соответственно следует ожидать наибольшей активности от ОС-20 и Стеарокс-6 при изменении коэффициента трения поверхности текстильного материала в паре тре-

ния «ткань-металлический ролик». Однако следует учитывать и величину гидрофильно-липофильного баланса, характеризующего сбалансированность гидрофильных и гидрофобных групп в молекуле НПАВ, что подтверждается диаграммами, приведенными на рис. 1.

Представленные данные по изменению коэффициента трения поверхности хлопчатобумажной ткани свидетельствуют, что наибольшее влияние оказывает ОС-20, а наименьшее ОП-7 и Стеарокс 6, молекула которого менее сбалансирована. Так, коэффициент трения поверхности ткани возрастает примерно в 1,4 раза при увеличении значения ГЛБ с 6,8 до 17,0 при переходе от обработки текстильного материала в растворе Стеарокс 6 к обработке в растворе ОС-20.

Важное значение на процесс смачивания гидрофобной поверхности суровых

хлопчатобумажных тканей оказывает поверхностное натяжение водных растворов НПАВ. При этом наблюдается комплекс процессов, таких, как набухание нитей, составляющих текстильный материал, и удаление с их поверхности природных жировосков, что в конечном итоге оказывает влияние на изменение поверхности ткани и, как следствие, ее триботехнических параметров при движении по металлической поверхности транспортирующих роликов.

Поскольку текстильный материал в процессе мокрой обработки не только находится полностью в материальном растворе, но и соприкасается с воздушной средой в процессе транспортировки по оборудованию, исследовано влияние поверхностного натяжения растворов НПАВ на границе раздела фаз жидкость/газ и жидкость/жидкость при критической концентрации мицеллообразования на изменение коэффициента трения поверхности хлопчатобумажной ткани Рогожка.

Полученные результаты представлены на рис. 2.

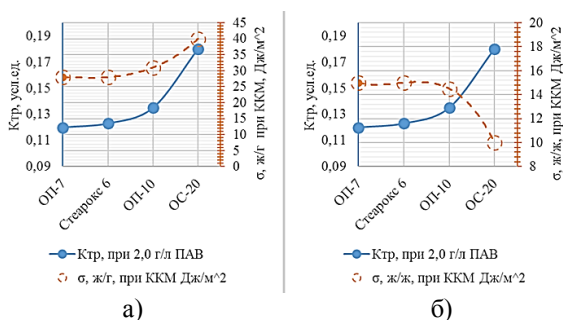


Рис. 2

Оценивая полученные графические зависимости, следует отметить, что увеличение поверхностного натяжения растворов НПАВ на границе раздела фаз жидкость/газ (рис. 2, а) прямо пропорционально изменению коэффициента трения поверхности хлопчатобумажной ткани Рогожка. Так, увеличение поверхностного натяжения примерно в 1,4 раза при переходе от ОП-7 к ОС-20 приводит к повышению коэффициента трения в 1,5 раза. Данные результаты хорошо коррелируют с представленной на рис. 2, б зависимостью коэффициента трения ткани от величины ГЛБ исследованных НПАВ.

Иная картина наблюдается в случае зависимости изменения коэффициента трения ткани от поверхностного натяжения на границе раздела фаз жидкость/жидкость для исследованных растворов НПАВ. Во-первых, поверхностное натяжение растворов в этом случае существенно ниже, чем на границе раздела фаз жидкость/газ. Во-вторых, оно уменьшается с увеличением ГЛБ НПАВ, о чем свидетельствуют данные табл. 1 и 2. И, наконец, изменение коэффициента трения ткани в этом случае практически обратно пропорционально изменению величины поверхностного натяжения растворов НПАВ. Так, снижение поверхностного натяжения с 15 Дж/м<sup>2</sup> до 10 Дж/м<sup>2</sup> при переходе от растворов ОП-7 к ОС-20 приводит в возрастанию коэффициента трения текстильного материала с 0,12 до 0,18 усл.ед.

## ВЫВОДЫ

Исследовано влияние величины ГЛБ и поверхностного натяжения водных растворов НПАВ на изменение коэффициента трения поверхности ткани Рогожка.

Установлено, что повышение величины ГЛБ НПАВ приводит к увеличению триботехнических характеристик поверхности суровой хлопчатобумажной ткани.

Показано, что увеличение коэффициента трения поверхности текстильного материала прямо пропорционально величине поверхностного натяжения растворов НПАВ на границе раздела фаз жидкость/газ.

Выявлено, что зависимость коэффициента трения от поверхностного натяжения растворов НПАВ на границе раздела фаз жидкость/жидкость имеет обратно пропорциональный характер.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ахметов А.С. Молекулярная физика граничного слоя. М.: Физматгиз, 1963. 472 с.
2. Бердичевский Е.Г. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов: справочник. М.: Машиностроение, 1984. 102 с.
3. Москвичев Ю.А., Фельдблюм В.Ш. Химия в нашей жизни (продукты органического синтеза и их применение): монография. Ярославль: ЯРТУ, 2007. 411 с.

4. Холберг К. Поверхностно-активные вещества и мономеры в водных растворах: [пер. с англ.] / К. Холберг, Б. Йенссон, Б. Кронберг, Б. Минсман / М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. 528 с.

5. Шилов М.А. Смазочное действие водных растворов неионогенных ПАВ при трении пары металл – полимер: дис. ... канд. техн. наук. Иваново, 2011.

6. Садов Ф.И., Корчагин М.В., Матецкий А.И. Химическая технология волокнистых материалов. М.: Гизлегпром, 1956. 830 с.

7. Мельников Б.Н., Морыганов П.В. Применение красителей. М.: Легкая индустрия, 1971. 263 с.

8. Отделка хлопчатобумажных тканей: справочник. Ч.1 / под ред. проф. Б.Н. Мельникова. М.: Легпромбытиздат, 1991. 432 с.

9. Кузнецов В.Б. Научные основы совершенствования технологических процессов промывки и художественно-колористического оформления тканей: дис. ... д-ра техн. наук. Иваново: ИГХТУ, 2004.

10. Верников Я.Н., Андросов В.Ф. Обработка текстильных изделий в водных растворах СМС. М.: Легпромбытиздат, 1986.

11. Блинов О.В., Калинин Е.Н., Кузнецов В.Б. Исследования трибологических свойств тканей в водных растворах неионогенных поверхностно-активных веществ // СМАРТЕКС. Иваново, 2021. С. 117...120.

12. Блинов О.В., Калинин Е.Н., Кузнецов В.Б. Влияние растворов поверхностно-активных веществ на трибологические свойства текстильных материалов в паре трения «ткань – транспортирующий ролик» // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. №2. С. 233...237.

13. Фомичев В.Т., Глазунов А.В. Математическое моделирование динамики однороликовой зоны транспортирования ткани с учетом сил трения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2003. №1. С. 119...122.

14. Ребиндер П.А., Линец М.Е., Римская М.М., Таубман А.Б. Физико-химия флотационных процессов. М.: Металлургия, 1937. 230с.

15. Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Коллоидная химия. Избранные труды. М.: Наука, 1978. 368с.

16. Клейтон В. Эмульсии. Их теория и технические применения. М.: Иностранная литература, 1950. 868 с.

17. Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии. М.: Химия, 1966. 574 с.

18. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. М.: Химия, 1989. 464 с.

19. Русанов А.И. Мицеллообразование в растворах поверхностно-активных веществ. СПб., 1992. 280 с.

20. Блинов О.В., Калинин Е.Н., Кузнецов В.Б. Исследования трибологических свойств тканей в водных растворах неионогенных поверхностно-активных веществ // СМАРТЕКС. Иваново, 2021. С. 117...120.

21. Блинов О.В., Калинин Е.Н., Кузнецов В.Б., Никифорова Е.Н., Нефедов С.А. Результаты молекулярного моделирования триботехнических свойств неионогенных поверхностно-активных веществ // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. №5. С. 190...194.

## REFERENCES

1. Akhmetov A.S. Molecular physics of the boundary layer. M.: Fizmatgiz, 1963. 472 s.

2. Berdichevsky E.G. Lubricating and cooling technological means for metal processing. Directory. M.: Mashinostroenie, 1984. 102 p.

3. Moskvichev Yu.A., Feldblyum V.Sh. Chemistry in our life (products of organic synthesis and their application). Monograph. Yaroslavl: YARTU, 2007. 411 s.

4. Holberg K. Surfactants and monomers in aqueous solutions / K. Holberg, B. Jansson, B. Kronberg, B. Minsman. Translation from English. M.: BINOM. Knowledge Laboratory, 2009. 528 s.

5. Shilov M.A. Lubricating effect of aqueous solutions of nonionic surfactants during friction of a metal-polymer pair. Candidate's diss. of technical sciences Ivanovo, 2011.

6. Sadov F.I., Korchagin M.V., Matetsky A.I. Chemical technology of fibrous materials. M.: Gizlegprom, 1956. 830s.

7. Melnikov B.N., Moryganov P.V. The use of dyes. M.: Light Industry, 1971. 263s.

8. Finishing of cotton fabrics. Directory. Part 1. Ed. prof. Melnikova B.N. M.: Legprombytizdat, 1991. 432 p.

9. Kuznetsov V.B. Scientific basis for improving the technological processes of washing and artistic and color design of fabrics. Diss. doc. tech. sciences. Ivanovo: ISUCT, 2004.

10. Vernikov Ya.N. Processing of textile products in aqueous solutions of SMS / Ya.N. Vernikov, V.F. Androsov. M.: Legprombytizdat, 1986. 144 p.

11. Blinov O.V., Kalinin E.N., Kuznetsov V.B. Studies of the tribological properties of fabrics in aqueous solutions of nonionic surfactants // SMARTEX. Ivanovo, 2021. P. 117-120.

12. Blinov O.V., Kalinin E.N., Kuznetsov V.B. Influence of solutions of surfactants on the tribological properties of textile materials in a pair of friction "fabric - transport roller". // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. No. 2. Pp. 233-237.

13. Fomichev V.T., Glazunov A.V. Mathematical modeling of the dynamics of a single-roller zone of tissue transportation, taking into account friction forces // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2003. No. 1. Pp. 119-122.

14. Rebinder P.A., Linets M.E., Rimskaya M.M., Taubman A.B. Physico-chemistry of flotation processes. M.: Metallurgy, 1937. 230s.

15. *Rebinder P.A.* Surface phenomena in disperse systems. colloidal chemistry. Selected works. M.: Nauka, 1978. 368s.

16. *Clayton W.* Emulsions. Their theory and technical applications. M.: Foreign Literature, 1950. 868s.

17. *Voyutsky S.S.* Course of colloid chemistry. Moscow: Chemistry, 1966. 574 p.

18. *Frolov Yu.G.* Course of colloid chemistry. Surface phenomena and dispersed systems. M.: Chemistry, 1989. 464 p.

19. *Rusanov A.I.* Micellization in solutions of surfactants. St. Petersburg, 1992. 280 s.

20. *Blinov O.V., Kalinin E.N., Kuznetsov V.B.* Studies of the tribological properties of fabrics in

aqueous solutions of nonionic surfactants //SMARTEX. Ivanovo, 2021. P. 117-120.

21. *Blinov O.V., Kalinin E.N., Kuznetsov V.B., Nikiforova E.N., Nefedov S.A.* Results of molecular modeling of tribotechnical properties of nonionic surface active agents // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. No. 5. Pp. 190-194.

Рекомендована кафедрой мехатроники и радиоэлектроники ИВГПУ. Поступила 07.04.23.

---