

УДК 677.02; 677.027

**ИССЛЕДОВАНИЕ КРАЕВЫХ УГЛОВ СМАЧИВАНИЯ
И ГИСТЕРЕЗИСА СМАЧИВАНИЯ
ГИДРОФОБИЗИРОВАННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**
**RESEARCH OF CONTACT ANGLES AND WETTING HYSTERESIS
OF HYDROPHOBIZED TEXTILE MATERIALS**

А.К. БАДАНОВА, А.Ж. КУТЖАНОВА, Г.Е. КРИЧЕВСКИЙ, М.А. ФРОЛОВА
A.K. BADANOVA, A.ZH. KUTZHANOVA, G.E. KRICHEVSKY, M.A. FROLOVA

(Алматинский технологический университет, Республика Казахстан,
Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского,
ООО "ТИРИТ", Российская Федерация)
(Almaty Technological University, Republic of Kazakhstan,
Moscow State University of Technologies and Management named after K.G. Razumovsky,
LLC "TIRIT", Russian Federation)
E-mail: aika.e-mail@mail.ru

В статье представлены результаты научных исследований по изучению краевых углов смачивания и гистерезиса смачивания гидрофобизированной хлопчатобумажной ткани, модифицированной новым способом водоотталкивающей отделки. Исследование гидрофобных свойств модифицированного текстильного материала, в частности, краевого угла и гистерезиса, позволит оценить его водоотталкивающую способность. Новизна исследования заключается в применении метода лежащей капли на современном приборе DSA100E для измерения краевого угла смачивания и свободной энергии поверхности, ранее не использованном для исследования свойств текстильного материала.

The article presents the results of scientific researches of contact angles and wetting hysteresis of hydrophobized cotton fabric modified by new way of water-repellent finishing. The research of hydrophobic properties of modified textile material, in particular the contact angle and hysteresis will evaluate its water repellency. The novelty of the research is to apply the method of sessile drop on a modern device DSA100E for measuring the contact angle and surface free energy, the device has never been previously used for research the properties of the textile material.

Ключевые слова: гидрофобность, краевой угол смачивания, гистерезис смачивания, метод лежащей капли, химическая модификация, целлюлозное волокно, синтез полиуретана, хлопчатобумажная ткань.

Keywords: hydrophobicity, contact angle of wetting, wetting hysteresis, sessile drop method, chemical modification, cellulose fiber, synthesis of polyurethane, cotton fabric.

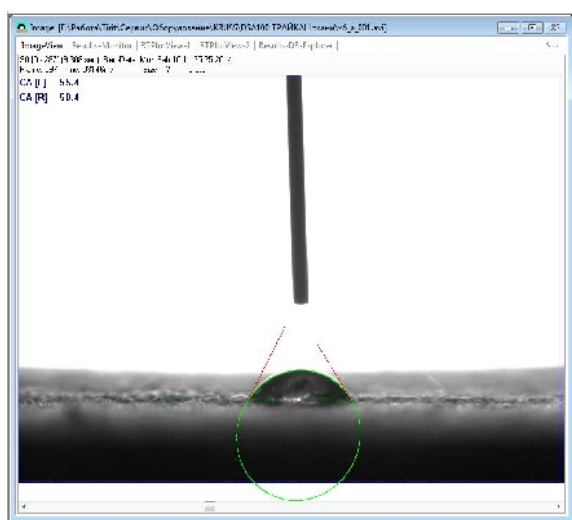
В осуществлении многих природных и технических процессов и, в частности, процессов пропитывания капиллярно-пористых систем, какими являются ткани, трикотаж, нетканые материалы, весьма важная, если не определяющая, роль принадлежит смачиванию [1]. Смачивание может происходить по-разному. В одном случае процесс идет при полном погружении твердого тела в жидкость – такое смачивание называется иммерсионным. В этом процессе участвуют две фазы – жидкость и твердое тело. Другой случай – контактное смачивание; в нем участвуют три фазы – жидкость, газ (или другая жидкость), твердое тело [2].

Капля жидкости, нанесенная на поверхность твердого тела, образует с этой поверхностью некоторый угол, обозначаемый как Θ , то есть угол между касательной к поверхности капли и поверхностью твердого тела. Этот угол называется краевым углом, или углом смачивания. Вершина угла находится на линии смачивания: контакта трех фаз – жидкости, твердого тела и газа (воздуха) [3].

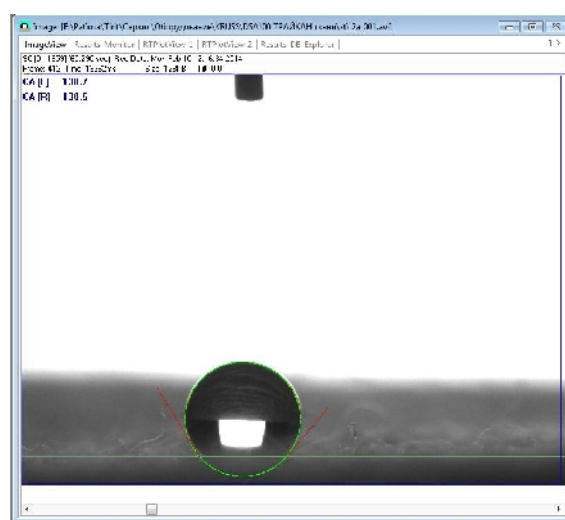
Значения краевых углов на поверхности пленок полимеров могут быть опреде-

лены экспериментально с помощью различных методов. Современные технологии позволяют записать изображение капли и получить все необходимые данные с помощью программ. В области последних достижений таких разработок является прибор DSA100E (KRUSS, Германия) для измерения краевого угла смачивания и измерения критической поверхностной энергии, оснащенный программой обработки и вычисления необходимых расчетных данных, что значительно облегчает проведение эксперимента.

Капля жидкости с известным поверхностным натяжением помещается на поверхность текстильного материала с помощью шприца. Диаметр капли должен быть от 2 до 5 мм; это гарантирует, что краевой угол не будет зависеть от диаметра. В случае очень малых капелек будет велико влияние поверхностного натяжения самой жидкости (будут формироваться сферические капли), а в случае больших капель начинают доминировать силы гравитации. В методе лежащей капли измеряется угол между твердой поверхностью и жидкостью в точке контакта трех фаз [4].



а)



б)

Рис. 1

На рис. 1 представлены фотографии капли воды на поверхности необработанной (а) и гидрофобизированной ПЭГ (6000) и 2,4-ТДИ (б) хлопчатобумажной ткани [5], [6], полученные с помощью прибора DSA100E, где показаны основные линии – касательные, проведенные по контуру капли, с помощью которых измеряются краевые углы смачивания водой поверхности хлопчатобумажной ткани.

Из рис. 1 видно, что у ткани, гидрофобизированной ПЭГ (6000) и 2,4-ТДИ, по сравнению с неаппретированной тканью, краевые углы смачивания увеличиваются и становятся тупыми, поэтому капля воды удерживается на поверхности хлопчатобумажной ткани и не впитывается в материал (рис. 1-б). Значение показателя краевого угла смачивания определяется усреднением показателей левого и правого краевых углов.

В настоящее время предметом внимания исследователей являются сверхгидрофобные – ультра- ($\Theta > 120^\circ$) и супергидрофобные ($\Theta > 150^\circ$) материалы [7]. Исследованиями установлено, что краевой угол смачивания водой необработанной ткани составляет 56° , а гидрофобизированной ПЭГ (6000) и 2,4-ТДИ ткани – более 130° , что свидетельствует о сверхгидрофобности текстильного материала.

Реально измеренные краевые углы отличаются от равновесных в силу различных причин. После помещения капли жидкости

на поверхность краевой угол изменяется во времени от начального до некоторого конечного значения. Такое изменение называется гистерезисом смачивания, который характеризуется способностью жидкости иметь при контакте с твердым телом несколько устойчивых (метастабильных) краевых углов, отличных от равновесного термодинамического значения [8].

Гистерезис смачивания может вызываться такими факторами, как продолжительность контакта смачивающей жидкости с поверхностью полимерного материала, шероховатость поверхности, условия формирования граничных слоев жидкости, вязкость жидкости, взаимодействие ее со смачиваемой поверхностью, возможность деформации и др.

Изучение гистерезиса и кинетики смачивания важно для практики использования гидрофобного текстиля, так как среди многих причин, влияющих на гистерезис смачивания, следует прежде всего назвать шероховатость поверхности, подвергающейся смачиванию, какой обладает любой текстильный материал [2].

С помощью высокоскоростной камеры прибора DSA100E исследован гистерезис смачивания – прослежена динамика поведения капли воды на поверхности текстильного материала. На рис. 2-а показана динамика впитывания капли воды в необработанную хлопчатобумажную ткань в течении 4 секунд.

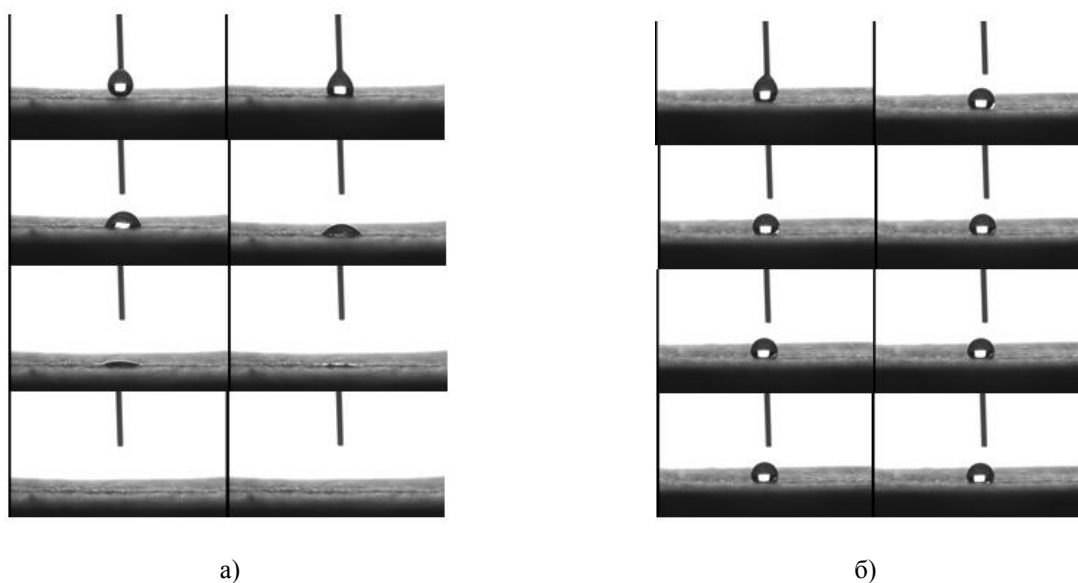


Рис. 2

На рис. 2-б при тех же условиях капля воды наносится на гидрофобизированную 2,4-ТДИ и ПЭГ (6000) хлопчатобумажную ткань. В течение такого же периода времени (4 с) капля не впитывается и остается на поверхности ткани.

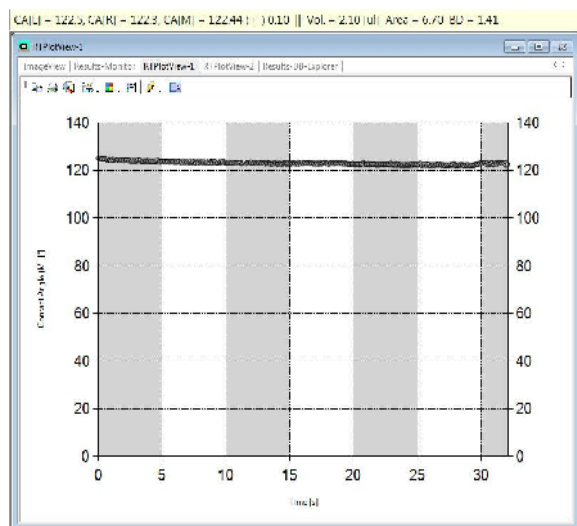


Рис. 3

Краевой угол смачивания измерялся в момент нанесения капли на поверхность ткани и далее измерялся в непрерывном режиме в течение 30 с. Из полученного графика (рис. 3) видно, что краевой угол смачивания в течение 30 с изменяется из-за усадки капли – гистерезиса, но незначительно.

На рис. 4 представлены результаты измерения краевых углов смачивания образцов ткани, обработанных при разных концентрациях ПЭГ (6000) и 2,4-ТДИ, а также температуре термообработки [9], [10], где наблюдаются изменения значений краевых углов смачивания в зависимости от этих факторов. На графике также можно наблюдать гистерезис смачивания каждого образца ткани.

С помощью компьютерной программы был прослежен и зафиксирован гистерезис смачивания поверхности гидрофобизированного текстильного материала по изменению краевых углов смачивания. Результаты представлены ниже в виде графиков на рис. 3 и 4.

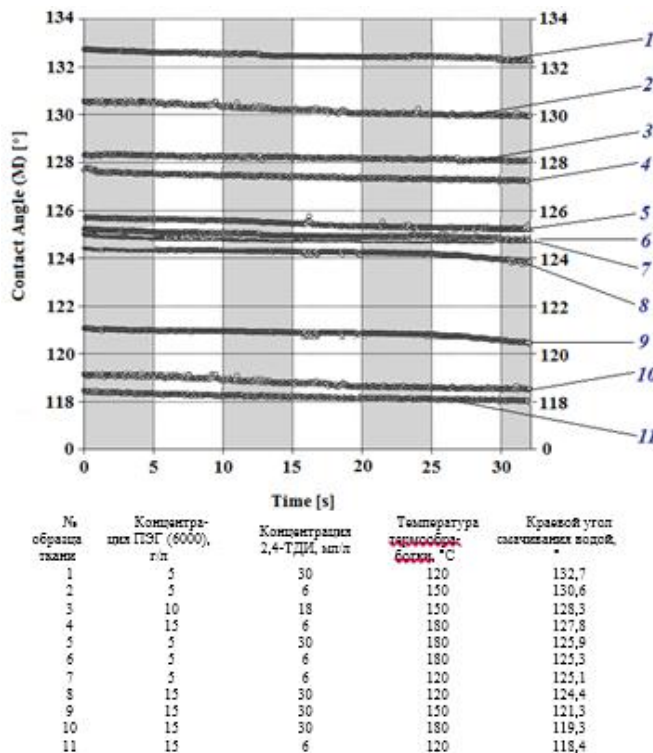


Рис. 4

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что текстильные материалы, обработанные ПЭГ (6000) и 2,4-ТДИ, приобретают высокие гидрофобные свойства, что обеспечивается достижением показателей краевых углов смачивания текстильных материалов более 130°.

2. Прослежен и зафиксирован гистерезис смачивания поверхности необработанного и гидрофобизированного текстильного материала.

3. Выявлено, что гистерезис смачивания целлюлозного текстильного материала вызывается такими факторами, как взаимодействие жидкости со смачиваемой поверхностью, продолжительность контакта смачивающей жидкости с поверхностью материала. Установлено, что краевые углы смачивания гидрофобизированного тек-

стильного материала изменяются из-за усадки капли – гистерезиса, но незначительно.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кричевский Г.Е.* Нано-, био-, химические технологии в производстве нового поколения волокон, текстиля и одежды. – Изд. 1-е. – М., 2011.

2. *Агеев А.А., Волков В.А.* Поверхностные явления и дисперсные системы в производстве текстильных материалов и химических волокон. – М.: Связь Бево, 2004.

3. *Кричевский Г.Е.* Химическая технология текстильных материалов. – М.: Российский заочный институт текстильной и легкой промышленности, 2001. Т. 3.

4. http://tirit.org/articles/surface_theory_sessile.php.

5. *Баданова А.К., Кричевский Г.Е., Таусарова Б.Р., Кутжанова А.Ж., Баданов К.И.* Разработка и исследование нового способа гидрофобной отделки целлюлозных текстильных материалов // Вестник Алматинского технологического университета. – Алматы, 2014. – Вып. 2 (103). С. 23...30.

6. *Badanova Aigerim Kenzhebekovna, Taussarova Bizhamal Raimovna, Kutzhanova Aiken Zhumataevna.* Hydrophobic finishing of cellulosic textile material //

Scopus/World Applied Sciences Journal 30 (10): 1409-1416, 2014. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2014.30.10.14188

7. *Кумеева Т.Ю.* Сверхгидрофобизация полиэфирных текстильных материалов посредством модифицирования их поверхности политетрафторэтиленом: Дис... канд. техн. наук. – Иваново: Институт химии растворов РАН, 2010.

8. *Сумм Б.Д.* Гистерезис смачивания // Соросовский образовательный журнал. – 1999, №7. С. 98...102.

9. *Badanova Aigerim, Kutzhanova Aiken, Taussarova Bizhamal.* Synthesis of polymer film on cellulosic fiber for imparting hydrophobic properties. Poster. 20th International Conference on Organic Synthesis. – 29 June - 4 July. Budapest, Hungary, 2014.

10. *Баданова А.К.* Модификация поверхности целлюлозного волокна для придания гидрофобных свойств // Сб. мат. XVII Междунар. научн.-практ. семинара: Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX - 2014). – Иваново: ИВГПУ, 28 – 30 мая 2014 года. С. 109...113.

Рекомендована Научно-техническим советом.
Поступила 05.05.15.