

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРАЕВОГО УГЛА СМАЧИВАНИЯ ОРОСИТЕЛЕЙ ГРАДИРНИ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

И. В. Скопинцев<sup>1</sup>, Г. В. Божко<sup>1</sup>, С. А. Носков<sup>1</sup>, В. М. Нечаев<sup>2</sup>

*Кафедра «Техника и технология полимерных материалов»,  
ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет» (1), г. Москва, Россия;  
iskopincev@mail.ru; кафедра «Технологические процессы,  
аппараты и техносферная безопасность», ФГБОУ ВО «ТГТУ» (2),  
г. Тамбов, Россия*

**Ключевые слова:** базовый компонент; гидрофильность поверхности; композиция; краевой угол смачивания; наполнители; полимерные насадки для градирен.

**Аннотация:** Разработаны составы экологически чистых полимерных композиций из вторичных материалов для изготовления оросителей градирен. Исследованы: гидрофильность поверхности образцов из разных композитов с помощью определения краевого угла смачивания; композиционные материалы с разными наполнителями и их количественным составом. Базовым компонентом являлся вторичный гранулированный полиэтилен низкого давления литьевой марки 277-73; наполнители – древесная мука, углеволокно и базальтовая вата.

---

Разработка состава полимерной композиции для градирен является актуальной задачей при производстве эффективных конструкций оросителей. Эффективность процесса испарительного охлаждения в градирях определяется не только конструктивными особенностями оросителей, но и в значительной мере свойствами композиций полимерных материалов, используемых для их изготовления. Одним из таких определяющих свойств композиции является гидрофильность поверхности, позволяющая равномерно распределять пленку воды по оросителю, что увеличивает активную поверхность контакта воды с воздухом в единице объема насадки [1].

В настоящее время для изготовления оросителей в промышленной практике используются оросители, изготовленные на основе базовых марок полимера со стандартным наполнением стабилизаторами. Так как на процесс испарительного охлаждения положительно влияет гидрофильность поверхности оросителя (за счет способности создавать тончайшие пленки на поверхности оросителя), то идет поиск соответствующих композиций. Дополнительным условием поиска является невысокая стоимость компонентов.

Данная статья посвящена исследованию гидрофильности поверхности образцов из разных композиций с помощью определения ее смачиваемости для выбора материала оросителей градирен.

В Московском политехническом университете на кафедре «Техника и технология полимерных материалов» разработаны составы полимерных композиций с добавлением к базовым маркам полимера наполнителей, которые являются наиболее дешевыми и благоприятно влияющими на гидрофильность поверхности.

За основное связующее взят вторичный гранулированный полиэтилен низкого давления литьевой марки 277-73, получаемый газофазным методом. В качестве наполнителей использовались отходы производств: древесная мука, углеволокно и базальтовая вата.

Физико-механические характеристики композиций на основе полимерных материалов существенно зависят от гомогенности полученных смесей, которая, в свою очередь, определяется параметрами смешения на конкретном оборудовании. Для получения однородной смеси в условиях повышенных температур (выше температуры плавления полимера) использовались смесительные вальцы, обеспечивающие высокие сдвиговые деформации при смешении композиции, что ведет к равномерному распределению наполнителей в расплаве полимера. При гомогенизации композиции смесительные вальцы разогревались до температуры 150 °С. По окончании процесса смешения однородная полимерная композиция снималась с вальцов для дальнейшего охлаждения и измельчения в ножевой дробилке с последующим использованием в термопластавтомате [2].

Для исследования гидрофильности полимерных композиций проводились испытания по определению краевого угла смачивания методом растекающейся капли на поверхности новых композитов. Изготовлены образцы новых композитов с разным наполнителем и его составом, представляющие собой плоские диски диаметром 60 мм. Исследованы 10, 20, 30%-е соотношения наполнителя с полимером.

Краевой угол смачивания  $\theta$  является характеристикой гидрофильности (гидрофобности) поверхности композита [3]. Он определяется как угол между касательной АВ, проведенной к поверхности смачивающей жидкости, и смачивающей поверхностью твердого тела АА, а также всегда отсчитывается от касательной в сторону жидкой фазы (рис. 1). Касательную проводят через точку соприкосновения трех фаз: твердой (композита), жидкости (дистиллированной воды) и газа (воздуха). То есть о процессах, происходящих на границе твердого тела с другими фазами, судят по углу  $\theta$ , который служит мерой смачивания жидкостями поверхности твердого тела и косвенно характеризует взаимодействие твердого тела с другими фазами. Чем меньше угол, тем больше гидрофильность поверхности.

Для изучения смачиваемости поверхностей твердых тел с определением краевого угла смачивания использовали установку, представленную на рис. 2. Измерения углов смачивания испытуемых образцов проводили следующим образом. Испытываемый композиционный материал 1 устанавливали на столик-держатель 3 и включали лампу-осветитель 8. Настраивали объектив фотокамеры 7 на одном уровне с исследуемым образцом и с помощью шприца наносили каплю дистиллированной воды объемом 3 мм<sup>3</sup> на поверхность испытуемого образца у его края, обращенного в сторону фотокамеры.

Настройкой резкости изображения фотокамеры добивались такого положения капли, чтобы она вся располагалась в поле зрения окуляра вместе с образцом (вид с боку). Фотографирование проводили через пять минут с момента нанесения

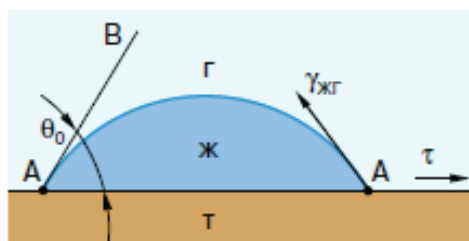
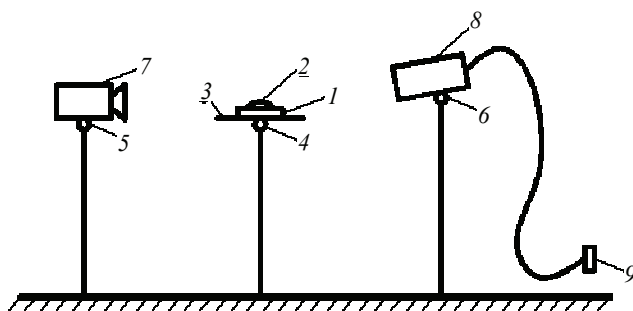


Рис. 1. Схема определения краевого угла смачивания  $\theta$

капли, так как полимерная композиция обладает способностью впитывать воду через поры на своей поверхности, и затем по фотографии замеряли краевые углы смачивания. Для уменьшения погрешности измерения для каждой капли краевой угол смачивания определяли с левой и правой ее сторон. В результате проведения серий экспериментов получены среднearифметические значе-



**Рис. 2. Схема установки для определения краевого угла смачивания:**

1 – испытываемый материал; 2 – дистиллированная вода; 3 – столик-держатель;  
4, 5, 6 – регулировочные винты; 7 – фотокамера; 8 – осветитель; 9 – источник питания

ния краевого угла  $\theta$  (с левой и правой сторон капли), представленные в табл. 1 для различных композиций.

Определение истинного значения измеряемой величины угла  $\theta$ , из пяти его независимых измерений, проводили по специальной методике [4]. Для примера представлена методика получения интервала значения краевого угла смачивания для ПНД 277-73 100. Измерения по данному образцу заносили в табл. 2 в графу исходные данные.

Таблица 1

**Краевой угол смачивания полученных образцов**

Процентные соотношения, %	$t$ , мин	$\theta$ (по результатам испытаний), °					Расчетный интервал $\theta$ , °
ПНД 277-73 100	5,00	58,50	61,75	59,75	57,25	58,00	55,41...62,69
Древесная мука 10		56,25	55,00	55,75	55,25	56,00	54,66...57,34
Древесная мука 20		50,25	49,25	51,00	49,00	50,00	48,42...51,58
Древесная мука 30		45,25	44,25	45,75	43,75	45,00	42,61...46,15
Углеволокно 10		59,50	60,50	61,00	61,50	59,75	58,97...61,65
Углеволокно 30		49,75	48,25	48,25	49,50	49,00	47,72...50,08
Базальтовая вата 10		64,25	64,75	63,00	63,25	64,50	62,68...65,4
Базальтовая вата 20		57,50	57,75	58,00	57,75	58,25	56,72...59,28
Базальтовая вата 30		51,25	51,25	51,25	50,75	52,00	50,3...52,88

Таблица 2

## Результаты расчетов интервала краевого угла смачивания

Исходные данные		Расчет			Контроль		
$x, ^\circ$	$m$	$u$	$mu$	$mu^2$	$v$	$mv$	$mv^2$
58,50	1,00	-1,00	-1,00	1,00	0	0	0
61,75		5,50	5,50	30,25	6,50	6,50	42,25
59,75		1,50	1,50	2,25	2,50	2,50	6,25
57,25		-3,50	-3,50	12,25	-2,50	-2,50	
58,00		-2,00	-2,00	4,00	-1,00	-1,00	1,00
Сумма	5,00	-	0,50	49,75	-	5,50	55,75

Примечание:  $x$  – значение замера в эксперименте,  $^\circ$ ;  $m$  – число замеров.

За начало отсчета выбираем  $\theta = 59,0^\circ$  и интервал  $h = 0,5$ . Рассчитываем отклонение,

$$u_i = \frac{x_i - \theta}{h}. \quad (1)$$

С помощью полученных сумм подсчитаем средние значения отклонений,

$$\bar{u} = \frac{mu}{\Sigma m} = \frac{0,5}{5} = 0,1^\circ. \quad (2)$$

Определяем среднеарифметическое значение,

$$\bar{x} = \theta + h\bar{u} = 59,0 + 0,5 \cdot 0,1 = 59,05^\circ. \quad (3)$$

Находим среднее квадратическое отклонение,

$$S^* = h\sqrt{\frac{\Sigma mu^2}{m} - (\bar{u})^2} = 0,5\sqrt{\frac{49,75}{5} - (0,1)^2} = 1,58. \quad (4)$$

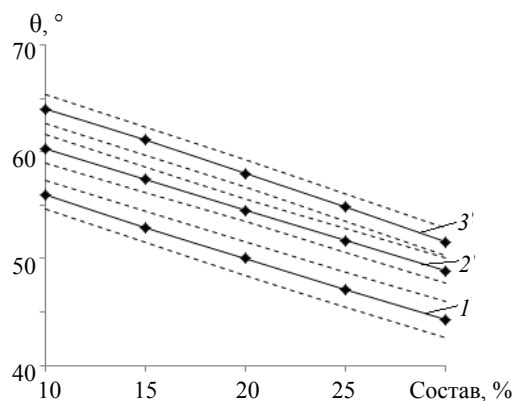


Рис. 3. Зависимость краевых углов смачивания от состава полимерной композиции:  
 1 – древесная мука ; 2 – углеволокно; 3 – базальтовая вата;  
 - - - - - 99%-е доверительные границы

Далее проводим расчеты при следующем начале отсчета  $\theta_1 = 58,5^\circ$ . Рассчитывали отклонение,

$$\bar{v}_i = \frac{mv}{\Sigma m} = \frac{5,5}{5} = 1,1^\circ; \quad (5)$$

$$\bar{x} = \theta_1 + h\bar{u} = 58,5 + 0,5 \cdot 1,1 = 59,05^\circ; \quad (6)$$

$$S^* = h\sqrt{\frac{\Sigma mv^2}{m} - (\bar{v})^2} = 0,5\sqrt{\frac{55,75}{5} - (1,1)^2} = 1,58. \quad (7)$$

Истинное значение измеряемого угла  $\theta$  оцениваем с надежностью определения  $\Phi = 0,99$ . По заданной надежности  $\Phi = 0,99$  и числу степеней свободы  $k = 4$  при пяти измерениях находили по таблице источника [4] распределение Стьюдента  $S = 4,604$  и получали доверительную оценку в градусах и истинного значения угла  $\theta$

$$(\theta - \bar{x}) < t(\Phi; k) \frac{S^*}{\sqrt{k}}; \quad (8)$$

$$(\theta - \bar{x}) = (\theta - 59,05) < 4,604 \frac{1,58}{\sqrt{4}} = 3,64. \quad (9)$$

Таким образом, с надежностью 99 % можно считать, что значение краевого угла смачивания  $\theta$  для ПНД 277-73 100 % заключено в интервале 55,41...62,69. Для наглядности изменение краевого угла смачивания в зависимости от процентного соотношения наполнителя и полимера представлено на рис. 3.

В результате исследований получена зависимость краевых углов смачивания от процентного содержания наполнителя в полимерной композиции. Используемые добавки увеличивают гидрофильность поверхности оросителя из композитов по сравнению с поверхностью оросителя из одного базового полимера.

Установлено, что с увеличением концентрации наполнителя в полимерной композиции краевой угол смачивания существенно уменьшается, то есть увеличивается гидрофильность поверхности насадок, что ведет к замедлению движения водной пленки с увеличением ее способности к растеканию. Данный фактор должен приводить к более эффективной работе насадочных колонн в процессе массо- и теплообмена. Следовательно, предложенные композиции могут быть использованы на практике для изготовления оросителей градилен.

#### *Список литературы*

1. Пономаренко, В. С. Градири промышленные и энергетических предприятий : справ. пособие / В. С. Пономаренко, Ю. И. Арефьев ; под ред. В. С. Пономаренко. – М. : Энергоатомиздат, 1998. – 376 с.
2. Кербер, М. Л. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология : учеб. пособие / М. Л. Кербер, В. М. Виноградов, Г. С. Головкин ; под ред. А. А. Берлина. – СПб. : Профессия, 2008. – 560 с.
3. Сумм, Б. Д. Физико-химические основы смачивания и растекания / Б. Д. Сумм, Ю. В. Горюнов. – М. : Химия, 1976. – 232 с.
4. Румшицкий, Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента: справочное руководство / Л. З. Румшицкий. – М. : Наука, 1971. – 192 с.

## Determination of the Wetting Angle of Sprinklers for Cooling Towers Made of Composite Materials

I. V. Skopintsev<sup>1</sup>, G. V. Bozhko<sup>1</sup>, S. A. Noskov<sup>1</sup>, V. M. Nechaev<sup>2</sup>

*Department of Technology and Technology of Polymer Materials,  
Moscow Polytechnic University (1), Moscow, Russia; iskopincev@mail.ru;  
Department of Technological Processes, Devices and Technosphere Safety (2),  
TSTU, Tambov, Russia*

**Keywords:** base component; fillers; nozzles for cooling towers; polymer composition; the hydrophilicity of the surface; wetting angle.

**Abstract:** Compositions for organic polymeric compositions of secondary materials for the manufacture of sprinklers for cooling towers are developed. We investigated the hydrophilicity of the sample surface of different composites, determining contact angle of wetting. Studied composite materials with different fillers and their quantitative composition. The base component was the secondary granulated polyethylene of low-pressure injection brand 277-73. Fillers were wood flour, carbon fiber and basalt wool. By the results of the experiments we obtained the dependence of the contact wetting angle on the percentage of filler in the polymer composition. The additives increase the hydrophilicity of the sprinkler surface made from composites compared to the surface of the sprinkler made from one base polymer.

### References

1. Ponomarenko V.S., Aref Y.I., Ponomarenko V.S. [Ed.]. *Gradirni promyshlennykh i energeticheskikh predpriyatii: spravochnoe posobie* [Cooling Towers of Industrial and Energy Facilities: a Handbook], Moscow: Energoatomizdat, 1998. 376 p. (In Russ.)
2. Kerber M.L., Vinogradov V.M., Golovkin G.S., Berlin A.A. [Ed.]. *Polimernye kompozitsionnye materialy: struktura, svoistva, tekhnologiya: uchebnoe posobie* [Polymer composite materials: structure, properties, technology: a tutorial], St. Petersburg: Profession, 2008, 560 p. (In Russ.)
3. Summ B.D., Goryunov Yu.V. *Fiziko-khimicheskie osnovy smachivaniya i rastekaniya* [Physical-chemical fundamentals of wetting and spreading], Moscow: Chemistry, 1976, 232 p. (In Russ.)
4. Rumshiskii L.Z. *Mathematical processing of experimental results: Spravochnoe rukovodstvo* [Mathematical processing of experimental results: Reference Manual], Moscow: Nauka, 1971, 192 p. (In Russ.)

---

## Bestimmung des Benetzungskontaktwinkels der Kühlturbewässerer aus polymeren Verbundwerkstoffen

**Zusammenfassung:** Es sind Zusammensetzungen von umweltfreundlichen Polymerkompositionen aus Sekundärmaterialien für die Herstellung der Kühlturbewässerer entwickelt. Die Hydrophilie der Oberfläche der Proben aus verschiedenen Verbundwerkstoffen wurde durch Bestimmung des Benetzungskontaktwinkels untersucht. Erforscht wurden zusammengesetzte Materialien mit verschiedenen Füllstoffen und deren quantitative Zusammensetzung. Die Grundkomponente war ein sekundäres granuliertes Niederdruckpolyethylen der Gussorte 277-73. Füllstoffe waren Holzmehl, Kohlefaser und Steinwolle. Nach den Ergebnissen der Experimente ist die Abhängigkeit der Benetzungskontaktwinkel von dem Prozentsatz des Füllstoffs in der Polymerzusammensetzung festgestellt worden. Die verwendeten Additive erhöhen die Hydrophilie der Sprinkleroberfläche aus den Kompositen im Vergleich zur Sprinkleroberfläche aus einem einzigen Basispolymer.

## **Définition de l'angle de limite du trempage des arroseurs du tour de refroidissement à partir des matériaux polymères composites**

**Résumé:** Sont élaborées des compositions des polymères propres écologiques à partir des matériaux recyclés pour la fabrication des arroseurs des tours de refroidissement. Est étudié le caractère hydrophile de la surface des échantillons de différents matériaux composites à l'aide de la définition de l'angle de limite du trempage. Sont étudiés des matériaux composites avec de différentes garnitures et leur composition quantitative. Le composant de base était le polyéthylène granulé secondaire de la basse pression d'injection de la marque 277-73. Les enduits étaient la farine de bois, la fibre de carbone et la laine de roche. Selon les résultats des expériences, est obtenue la dépendance de la valeur des angles de limite de trempage du pourcentage de la charge dans la composition de polymère. Les additifs utilisés augmentent l'hydrophilie de la surface de l'arroseur à partir des composites par rapport à la surface de l'arroseur à partir d'un des polymères de base.

---

**Авторы:** *Скопинец Игорь Викторович* – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Техника и технология полимерных материалов»; *Божко Григорий Вячеславович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Техника и технология полимерных материалов»; *Носков Сергей Александрович* – аспирант кафедры «Техника и технология полимерных материалов», ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет», г. Москва; *Нечаев Василий Михайлович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

**Рецензент:** *Лагуткин Михаил Георгиевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Аппаратурное оформление и автоматизация технологических производств», ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет», г. Москва, Россия.

---