

## ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПЛЕНОК ЛЕНГМЮРА – БЛОДЖЕТТ НА ОСНОВЕ ЦЕРОТИНОВОЙ КИСЛОТЫ С НАНОЧАСТИЦАМИ НИТРИДА БОРА

Д.В. Сапсалёв<sup>1</sup>, А.Е. Соломянский<sup>2</sup>, Г.Б. Мельникова<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка, Минск

<sup>2</sup>Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Минск

<sup>3</sup>Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси, Минск

Определены оптимальные условия формирования монослоев Ленгмюра – Боджетт на основе церотиновой кислоты с частицами нитрида бора гексагональной аллотропной модификации

**Ключевые слова:** пленки Ленгмюра – Блоджетт, церотиновая кислота, наночастицы нитрида бора, изотермы сжатия

**Введение.** Актуальной является проблема разработки новых покрытий для защиты различных материалов от изнашивания и истирания. В настоящее время для получения твердосмазочных покрытий прецизионных узлов трения широкое распространение получили методы физического или химического осаждения из газовой фазы, например, ионно-плазменное азотирование, вакуумное осаждение многослойных покрытий на основе сульфидов и селенидов молибдена, нитридов титана и других соединений [1].

В качестве одного из возможных путей решения данной проблемы можно рассматривать также монослойные защитные пленки на основе амфифильных соединений, например, жирных кислот, с добавлением наночастиц (в частности, нитрида бора). Ленгмюровские слои амфифильных соединений с неорганическими частицами представляют собой плотноупакованные структуры, сформированные на водной поверхности, которые после их переноса на твердую подложку методом Ленгмюра – Блоджетт (ЛБ) образуют бездефектные моно- и многослойные пленки [2, 3]. Применение данной технологии формирования защитных пленок позволяет управлять структурой и свойствами сформированных покрытий и, в то же время не требует вакуумирования или применения высоких температур как другие технологии, призванные решать ту же задачу [1, 2]. Примечательно, также, что сформированные методом Ленгмюра-Блоджетт пленки на основе высших жирных кислот обладают хорошими антифрикционными свойствами [3].

Цель данной работы состоит в определении оптимальных условий формирования мономолекулярных пленок на основе церотиновой кислоты (ЦК) с наночастицами нитрида бора гексагональной аллотропной модификации ( $\alpha$ -BN).

**Экспериментальная часть.** Для определения оптимальных условий формирования регистрировали изотермы «поверхностное давление – площадь на молекулу» ( $\pi$ -A) при скорости сжатия монослоев 0,3 мм/с и температуре субфазы 20 °С на установке ЛТ-201 (ОДО «Микротестмашины», Беларусь) [2]. Ленгмюровские слои ЦК –  $\alpha$ -BN формировали из суспензии, полученной добавлением наночастиц нитрида бора гексагональной аллотропной модификации (средний размер частиц ~ 70 нм) к раствору ЦК в хлороформе с концентрацией 1,0 мг/мл и последующим выдерживанием в ультразвуковой ванне (Сапфир, Россия) при частоте 35 кГц в течение 5 мин. Массовое соотношение ЦК и  $\alpha$ -BN в использованных суспензиях составляло 1,0:0,1; 1,0:0,2; 1,0:0,3.

**Результаты и их обсуждение.** На основании полученных изотерм показано, что ленгмюровские слои ЦК –  $\alpha$ -BN находятся в фазовом состоянии «твердая» пленка при поверхностном давлении ( $\pi$ ) от 15 до 35 мН/м (рисунок), что и является наиболее оптимальными условиями для формирования пленок ЛБ. При дальнейшем сжатии происходит их коллапс. Минимальная эффективная площадь на молекулу ЦК ( $A_0$ ) композиционных ленгмюровских слоев ЦК –  $\alpha$ -BN с массовым соотношением 1,0:0,1; 1,0:0,2; 1,0:0,3, вычисленная путем экстраполяции линейных участков изотерм к нулевому поверхностному давлению, составляет 0,26, 0,27 и 0,28 нм<sup>2</sup> соответственно. Увеличение  $A_0$  по сравнению с монослоем ЦК, для

которого  $A_0 \sim 0,2 \text{ нм}^2$  [3], свидетельствует о встраивании  $\alpha$ -BN в структуру пленки ЦК. Для формирования композиционных монослоев ЛБ церотиновой кислоты с наночастицами  $\alpha$ -BN оптимальным является  $\pi \sim 25 \text{ нм}^2$ .

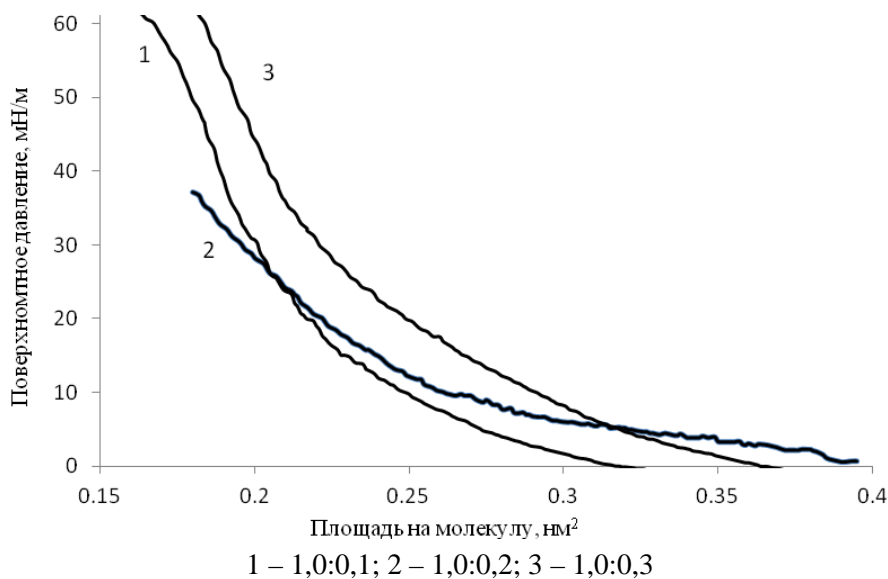


Рисунок – Изотермы сжатия монослоев ЦК –  $\alpha$ -BN с массовыми соотношениями

**Заключение.** Определен диапазон поверхностных давлений формирования композиционных пленок Ленгмюра-Блоджетт церотиновой кислоты с наночастицами нитрида бора гексагональной аллотропной модификации. Полученные при данных  $\pi$  монослои ЦК –  $\alpha$ -BN могут быть использованы для создания защитных и смазочных покрытий в прецизионных узлах трения.

#### Список использованных источников

1. Bhushan, B. Principles and Applications of Tribology / B. Bhushan. – Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2013. – 1006 p.
2. Salamianski, A. E. Tribological behavior of composite Langmuir–Blodgett films of triacontanoic acid / A. E. Salamianski, G. K. Zhavnerko, V. E. Agabekov // Surface & Coatings Technology. – 2013. – Vol. 227. – P. 62–64.
3. Hasegawa, T. Characteristics of long-chain fatty acid monolayers studied by infrared external-reflection spectroscopy / T. Hasegawa [et al.] // Langmuir. – 2002. – Vol. 18, No. 12. – P. 4758–4764.