

значение константы жесткости 3 Н/м. Измерения модуля упругости ( $E$ ) проводили на атомно-силовом микроскопе NT-206 с термоплатформой. Использовали кремниевые кантилеверы FMG01 (TipsNano, Эстония) с радиусом кривизны острия зонда  $R = 10$  нм и константой жесткости консоли 3 Н/м. Микротвердость образцов определяли по методу Виккерса (микротвердомер ПМТ-3М, ЛОМО, Россия). В качестве индентора использовали алмазный наконечник типа Виккерс. Нагрузку на индентор в зависимости от образца изменяли от 0,01 Н до 0,19 Н. Для каждого образца было получено по пять отпечатков по схеме «3 с внедрение индентора – далее 10 с выдержка под нагрузкой – затем 3 с разгрузка». Расстояние между отпечатками составляло не менее двух диагоналей отпечатка.

**Обсуждение результатов и выводы.** На основании АСМ-данных о структуре покрытий была выбрана оптимальная концентрация нч- $Al_2O_3$  в суспензии для формирования нанокompозитов – 0,625 %. Установлено, что однослойные нанокompозиционные пленки на основе хитозана имеют однородную структуру с единичными конгломератами наночастиц. Увеличение количества слоев приводит к росту числа конгломератов, что, в свою очередь, повышает шероховатость поверхности многослойных пленок.

Введение наночастиц  $Al_2O_3$  приводит к снижению модуля упругости пленок хитозана. Модуль упругости исследуемых однослойных покрытий значительно снижается в диапазоне 20–40 °С. Дальнейшее увеличение температуры не оказывает влияния на величину  $E$ . Наименьшие значения  $E$  после воздействия температур (от 40 до 100 °С) зафиксированы у покрытий с наночастицами  $Al_2O_3$ . Введение нч- $Al_2O_3$  в однослойные полимерные пленки незначительно изменяет микротвердость покрытий, в то время как, многослойные нанокompозиты демонстрируют рост значений микротвердости. Максимальные значения  $H = 20,5$  ГПа установлены для 30-слойных пленок хитозан+нч  $Al_2O_3$ .

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках договора с Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований № T21M-051 от 01.07.2021.

УДК 539.23

### ГИДРОФИЛЬНЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ПОЛИМЕРОВ И НАНОЧАСТИЦ $Al_2O_3$

Мл. научн. сотр., аспирант Сапсалёв Д. В.<sup>1,2</sup>, мл. научн. сотр. Петровская А. С.<sup>1</sup>,  
мл. научн. сотр. Радюкевич Д. Л.<sup>1</sup>, мл. научн. сотр., аспирант Хабарова А. В.<sup>1</sup>

Кандидат техн. наук, доцент Мельникова Г. Б.<sup>1</sup>, д-р техн. наук, профессор Чижик С. А.<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси,

<sup>2</sup>Белорусский государственный педагогический университет им. Максима Танка,

<sup>3</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

**Введение.** Высокомолекулярные соединения широко используются для создания материалов медицинского назначения, в том числе раневых покрытий. Модификация полимеров неорганическими наночастицами может привести к получению функциональных покрытий с улучшенными эксплуатационными характеристиками. Таким образом, разработка новых полимер-неорганических композитов и исследование их свойств является актуальной задачей как в области нанотехнологии, так и медицины.

**Материалы и методы.** Одно- и многослойные пленки хитозана ( $c = 0,25$  мг/мл в 1 М уксусной кислоте), поливинилового спирта (ПВС,  $c = 1$  мг/мл в воде) и композиционные покрытия с наночастицами  $Al_2O_3$  ( $d = 30–60$  нм; Sigma-Aldrich,  $c = 0,625$  мас. %) формировали методом спинкоатинга на поверхности предварительно гидрофилизированных кремниевых пластин ( $1 \times 1$  см). Аликвоту раствора полимера или суспензии полимер-наночастицы объемом 8 мкл прикапывали на подложки, вращающиеся со скоростью 3200 об/мин. Вращение не прекращали в течение 1 мин (после формирования каждого слоя) для удаления остаточных количеств растворителя. Для оценки гидрофильных свойств сформированных покрытий измеряли значения краевых углов смачивания (КУС) на установке DSA 100E (KRUSS, Германия). Значения удельной

поверхностной энергии ( $w$ ) рассчитывали по модели Оуэнса – Вендта – Рабеля – Кьельбле по двум рабочим жидкостям – воде и дийодметану; объем капли – 2 мкл.

**Результаты и выводы.** Для нанокompозитов на основе хитозана с увеличением количества слоев до двадцати, значения КУС увеличиваются, последующий рост числа слоев покрытий приводит к увеличению смачиваемости. Данные изменения связаны с наличием конгломератов и дефектов на поверхности многослойных пленок. В случае нанокompозитов на основе ПВХ смачиваемость поверхности изменяется незначительно с увеличением числа слоев (рис. 1).

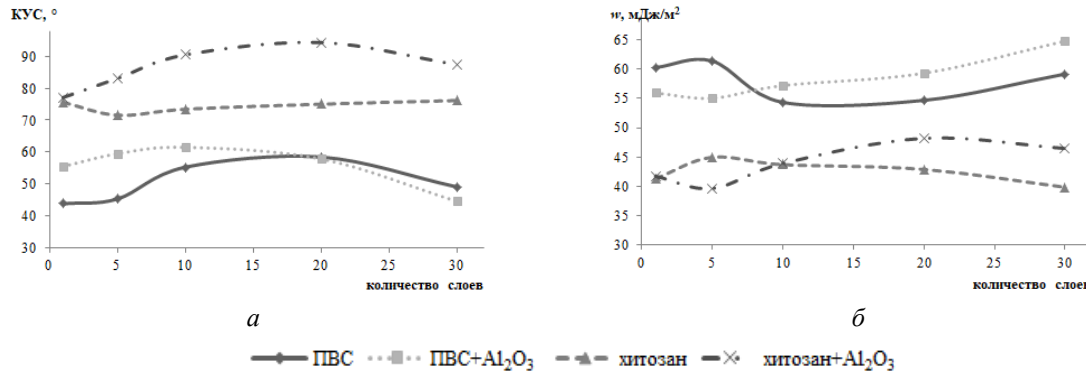


Рис. 1. Зависимости значений краевого угла смачивания (а) и удельной поверхностной энергии (б) от количества слоев наноструктурированных полимерных покрытий

Следует отметить однотипное изменение значений  $w$  для пленок хитозана и ПВХ: с ростом количества слоев полимерных покрытий до пяти значения увеличиваются, а в последующем – уменьшаются, что обусловлено соответствующим изменением дисперсионной составляющей удельной поверхностной энергии. В случае композиционных покрытий с наночастицами Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> установлен пологий характер роста значений  $w$  при увеличении количества полимерных слоев.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках договора с Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований № T21M-051 от 01.07.2021.

УДК541

## ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ИНЖЕНЕРНЫЕ ОСНОВЫ АДсорбЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

Студент гр. 11310121 Севилькин Р. Н.

Кандидат техн. наук, доцент Колонтаева Т. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Целью данной научной работы является изучение физико-химических и инженерных основ адсорбционных процессов. В работе проведен критический анализ обзора литературных источников в области изучения адсорбционных процессов. Большое внимание уделено адсорбентам.

Термин «адсорбция», подразумевает процесс сорбции, при котором происходит поглощение вещества в поверхностном слое. Крайне велико это различие концентраций в системе пар или газ–твердое тело.

Физическая адсорбция – это процесс экзотермический, то есть протекает с выделением тепла. Для того чтобы достигнуть большого адсорбционного эффекта необходимо иметь возможно большую поверхность адсорбента. Хорошими адсорбентами могут быть такие материалы, которые обладают сильно развитой поверхностью, что свойственно или веществам, имеющим сильно пористую губчатую структуру, или веществам, находящимся в состоянии тонкого измельчения.

Адсорбенты – это искусственные или природные материалы с большой площадью поверхности, на которой происходит адсорбция. Существует большое количество адсорбентов. Активированный уголь – это материал, получаемый из древесного угля или нефти, путем активации. Ее сущность состоит во вскрытии пор. Цеолиты – это большая группа веществ со свойствами близкими к минералам. Они обладают адсорбционными свойствами: поглощение и отдача различных