



Конкурс для школьников «Гениальные мысли» Автореферат проекта победителя конкурса

Название работы – Экспериментальное исследование влияния внешних факторов на физические свойства барьерных пленок.

Автор – Лаврентьева Анастасия Анатольевна (8 класс, МБОУ "Чурачикская СОШ" Цивильского района Чувашской Республики, с. Чурачики).

Руководитель – Лаврентьев Анатолий Генрихович (учитель физики, МБОУ "Лицей № 2" г. Чебоксары).

Основная идея работы, цели, задачи

Предметом исследования стали барьерные пленки со слоем нанокompозита (в частности наноглины). Экспериментальные образцы были изготовлены в Германии компанией KAMPF. Они были предоставлены руководителю Лаврентьеву А.Г. во время стажировки преподавателей «Школьной Лиги РОСНАНО» в Казани в октябре 2011 года. Часть образцов пролежали в закрытой упаковке при комнатной температуре до 2018 года.

Целью данной работы является исследование влияния времени хранения на изменение физических (механических и термических) параметров традиционной упаковки на основе фольги и с нанокompозитами глины.

Задачи:

- Изучить состав и структуру барьерных пленок с нанокompозитами глины и традиционной упаковки;
- Исследовать изменение структуры поверхности образцов при изменении внешней нагрузки и температурной среды;
- Построить диаграмму растяжений для гибкой упаковки на основе нанокompозитов глины и сравнить их с традиционными пленками;
- Исследовать оптические характеристики прозрачной пленки.

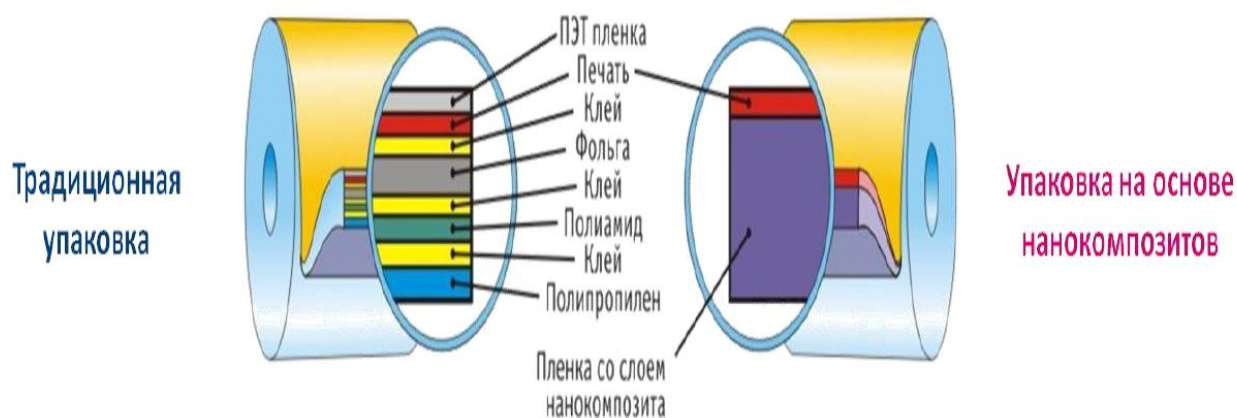
На сайтах производителей пленок есть информация, что пленки с нанокompозитами глины продлевают срок хранения пищевых продуктов. Проводились различные сравнительные эксперименты с барьерными пленками, но мало информации о влиянии времени хранения на изменение физических свойств образцов. В данной работе эксперименты проводились с образцами после семилетнего срока хранения.

Основные результаты

Изучение структуры барьерных пленок.

При упаковке многих материалов на передний план выходит гибкая упаковка на основе полиэтилена. Бурный рост пищевой промышленности и розничных сетей привели к резкому повышению интереса российского рынка упаковочных материалов к выпуску барьерных материалов с различными свойствами защиты продуктов. Различные свойства достигаются за счет многослойности. На сегодняшний день алюминиевая фольга является наиболее популярным барьерным материалом, используемым в гибкой упаковке. Однако недостатки её использования, такие как высокая стоимость сырья, сложность вторичной переработки, высокое энергопотребление на производстве, приводят к уменьшению применения алюминиевой фольги в качестве барьерного материала. Кроме этого невозможно

подвергать продукцию температурной обработке и разогревать, не распаковывая, в СВЧ-печах. Им на смену приходят полимерные плёнки с добавлением нанокompозитов (в частности, силикатной наноглины), повышающие барьерные свойства упаковочного материала.



Большинство исследований полимерных нанокompозитов связано с монтмориллонитом (богатого алюминием глинистого минерала из группы смектита, содержащего некоторое количество натрия и магния). Монтмориллонит состоит из чередующихся слоев восьмигранного оксида алюминия, зажатого между двумя четырехгранными слоями оксида кремния. В октаэдрическом слое атомы алюминия могут замещаться другими катионами (например, магний, железо), в результате чего генерируется избыточный отрицательный заряд, который компенсируется обменными катионами, расположенными в межслоевом пространстве. В основном это гидратированные катионы щелочных или щелочно-земельных металлов. Гидрофильность алюмосиликатов является причиной их несовместимости с органической полимерной матрицей. Органическая обработка глины превращает обычно гидрофильный монтмориллонит в гидрофобный, позволяя ему контактировать с самыми различными полимерными матрицами.[1]

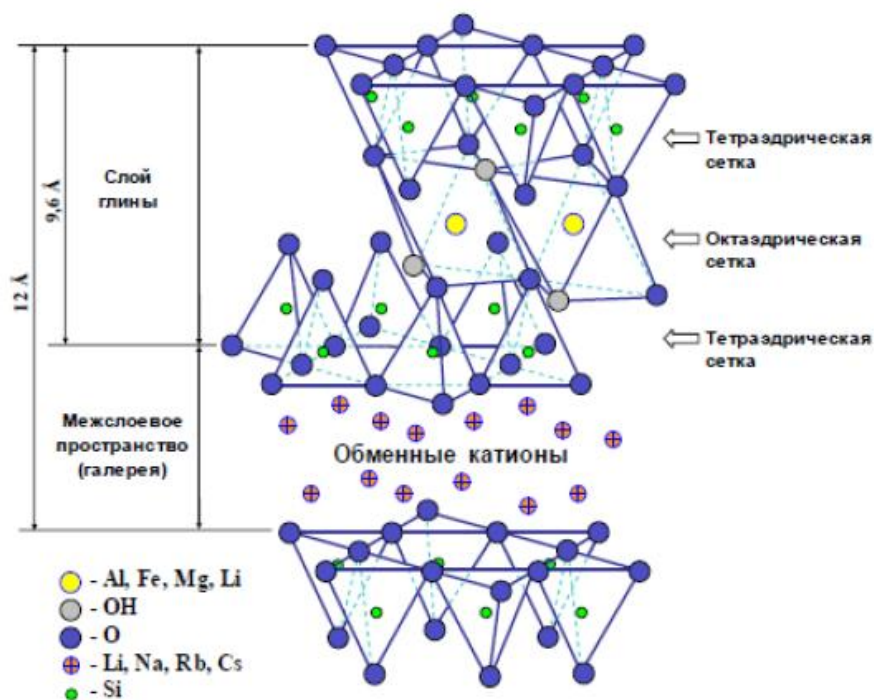
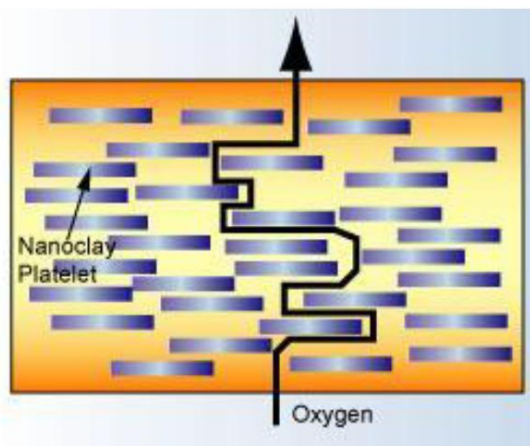


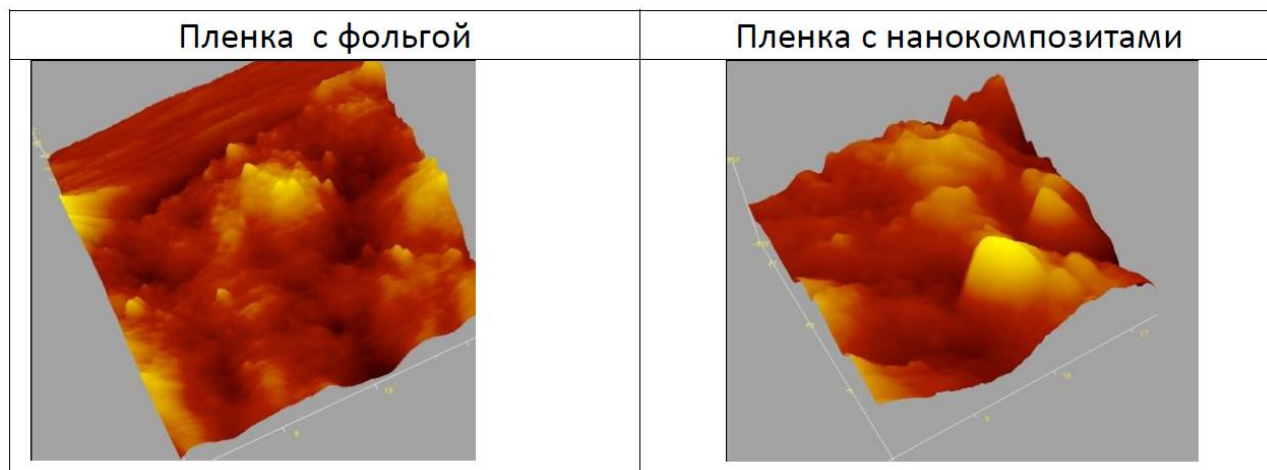
Рис. 1 - Структура монтмориллонита

Особенность наноглин, как наполнителей для полимерных материалов, состоит в особой форме частиц – это очень тонкие, но достаточно протяженные пластины полярного силиката, которые, будучи диспергированы в полимерной матрице, по всей видимости, сохраняют определенную ориентацию друг относительно друга. Их присутствие сильно затрудняет диффузию малых молекул в полимерной матрице как непосредственно за счет барьерного эффекта, так и за счет того, что частицы глины способствуют кристаллизации полимера.



Исследование поверхностей пленок с помощью СЗМ «NanoEducator»

Исследование проводили методом атомно-силовой микроскопии в полу - контактном режиме в лаборатории СЗМ МБОУ «Лицей №2». Анализ изображений показал, что пленка состоит из отдельных гранул.

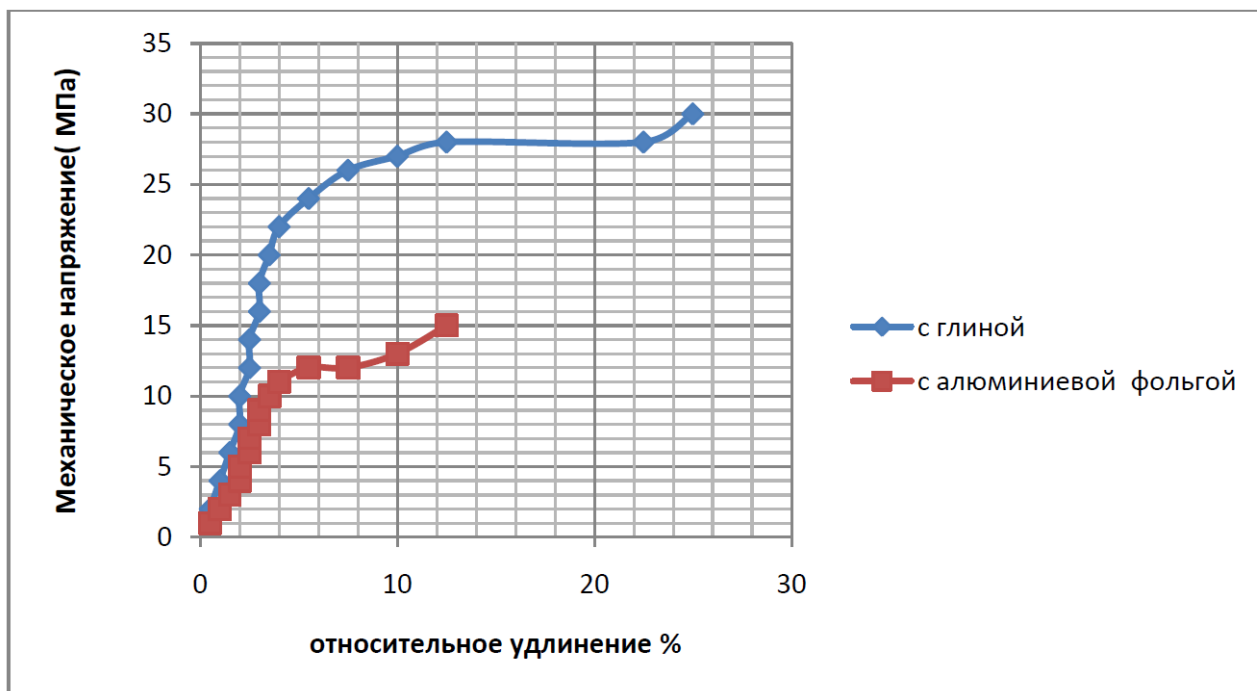


Поверхность с нанокompозитами состоит из более крупных гранул, это можно объяснить наличием композитов глины.

Экспериментальное исследование механических свойств гибких упаковок

Исследования проводились при статистическом воздействии растягивающей силы, при комнатной температуре 19°C. На данном этапе экспериментальным путем исследовалось влияние наполнителя из наночастиц глины на механические параметры обеих пленок: модуль упругости пленки при растяжении, предел прочности, выполнение закона Гука, текучесть. Для сравнения физических параметров построена диаграмма растяжения пленки на основе нанокompозитов глины и с применением алюминиевой фольги.

Образец	Ширина (мм)	Длина образца (мм)	Толщина (мм)
С алюминиевой фольгой	5	200	0,2
На основе нанокompозитов глины	5	200	0,1



Диаграммы растяжения пленок

Для пленки с алюминиевой фольгой предел прочности $\sigma_{пр.} = 15$ МПа, с нанокompозитами глины $\sigma_{пр.} = 30$ МПа.

Модуль Юнга рассчитывали по формуле

$$E = \frac{F}{S\varepsilon},$$

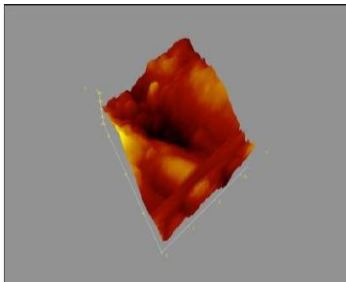
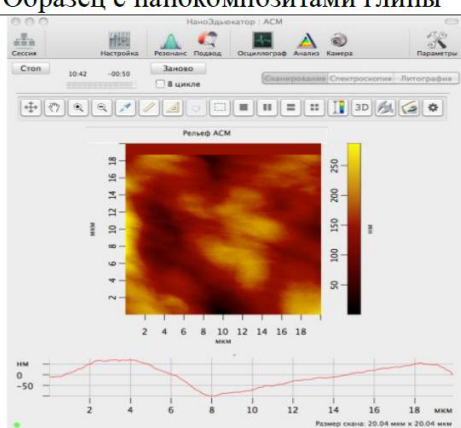
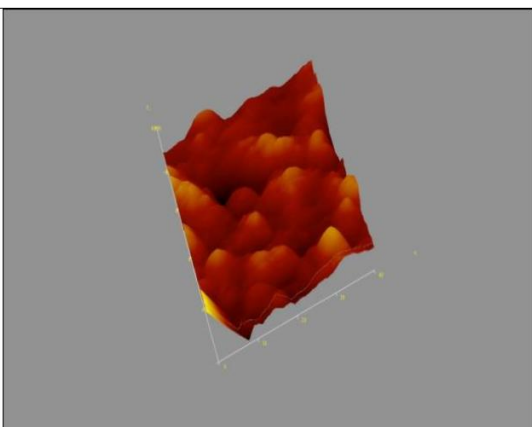
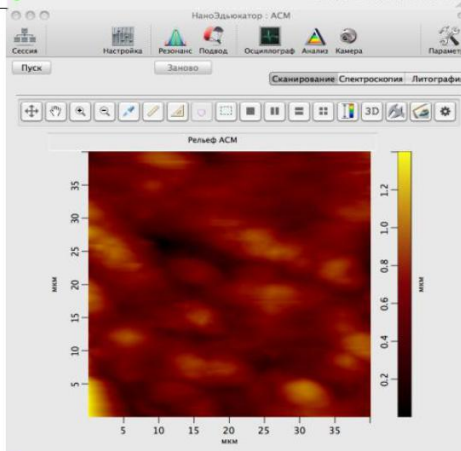
где F — максимальная сила, при которой выполняется закон Гука; S — первоначальная площадь сечения.

	Модуль упругости E (ГПа)
С алюминиевой фольгой	1,1
С нанокompозитами глины	1,6

Вывод: пленки на основе нанокompозитов глины оказались более упругими, остаточная деформация возникает при более высоких напряжениях, модуль упругости оказался лучше, чем с алюминиевой фольгой.

Исследование механизм зарождения трещин при деформации и разрыве

СЗМ исследования механизма образования деформаций и разрывов приведены на следующих сканах.

	Образец с алюминиевой фольгой	Образец с нанокompозитами глины
В районе зоны разрыва		
Вне зоны разрыва		

Деформации с нанокompозитами можно относить к упругим, а с фольгой – скорее к хрупким. Во втором образце точки разрыва начинают развиваться равномерно по всему образцу, а с фольгой – основном в зоне разрыва[2].

Экспериментальное определение коэффициента теплопроводности полиэтиленовой пленки на основе нанокompозитов глины

Продукты в упаковке из нанокompозитов глины можно смело ставить в микроволновую печь. На следующем этапе определили теплопроводность пленки с нанокompозитами.

Для определения коэффициента теплопроводности материала воспользовались формулой Фурье

$$Q = -\chi \frac{\Delta T}{\Delta x} \Delta S \Delta t,$$

где χ – коэффициент теплопроводности, S – площадь поверхности, и $\Delta T/\Delta x$ – градиент температуры, которую поддерживаем постоянной.

$$\alpha = \frac{\Delta x Q}{\Delta T \Delta S \Delta t}.$$

Температуру с одной стороны поддерживали 100 градусов по Цельсию за счет кипения воды, а с другой стороны- вода с температурой на 5 градусов ниже температуры окружающего воздуха. Температуру измеряли с помощью датчика определения температуры «L-micro». По данным зависимости температуры воды от времени построили график зависимости температуры холодной воды по времени до поры, пока температура не станет выше на пару градусов температуры окружающего воздуха. В этом случае минимальны потери получаемой энергии. Вода постоянно помешивается.

$\Delta T = 100^{\circ}\text{C} - 17^{\circ}\text{C} = 83^{\circ}\text{C}$ изменение температуры по обе стороны полиэтиленовой пленки.

$Q = (C_{\text{в}}m_{\text{в}} + C_{\text{а}}m_{\text{а}}) (t_2 - t_1)$ – количество теплоты, полученное водой и корпусом сосуда.

Для нахождения времени строим касательную к графику зависимости температуры от времени. $tg\varphi = (t_2 - t_1)/\Delta t$

$t_2=19^{\circ}\text{C}$, $t_1=13^{\circ}\text{C}$ интервал времени $\Delta t = 8$ сек. $C_{\text{в}}$ - $C_{\text{а}}$ теплоемкости воды и алюминия.

Вывод: в результате расчетов определили коэффициент теплопроводности $0,2 \text{ Вт}/(\text{к}\cdot\text{м})$. Благодаря наличию наночастиц глины теплопроводность полиэтиленовой пленки меньше чем у традиционных ($0,25-0,35 \text{ Вт}/(\text{к}\cdot\text{м})$).

Исследование физических свойств пленок после термической обработки

На следующем этапе сравнили возможность изменения механических свойств пленки после термической обработки в микроволновой печи. Образец с фольгой тоже рискнули поместить в печь.

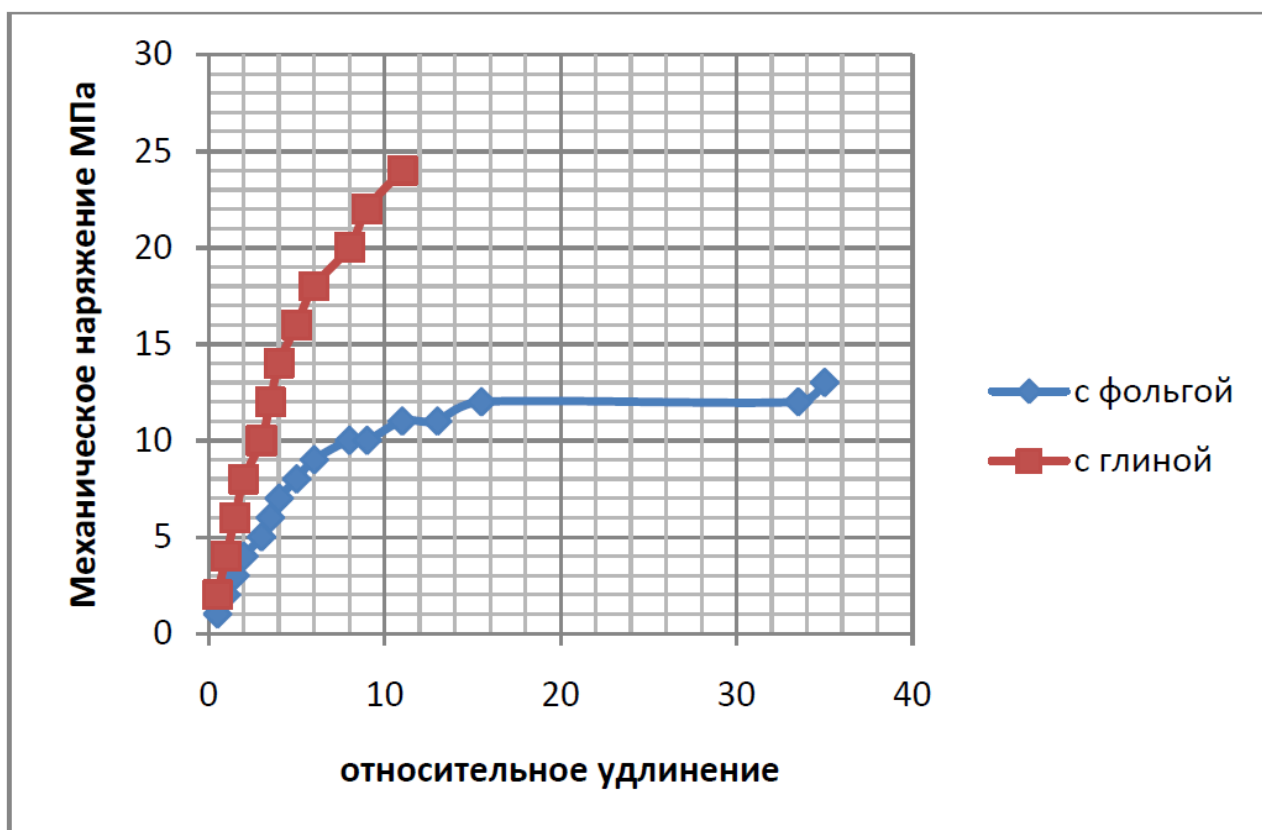


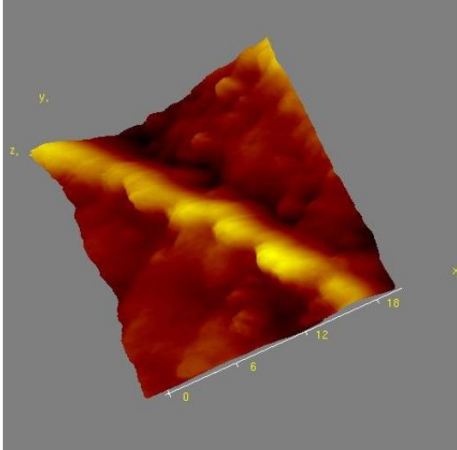
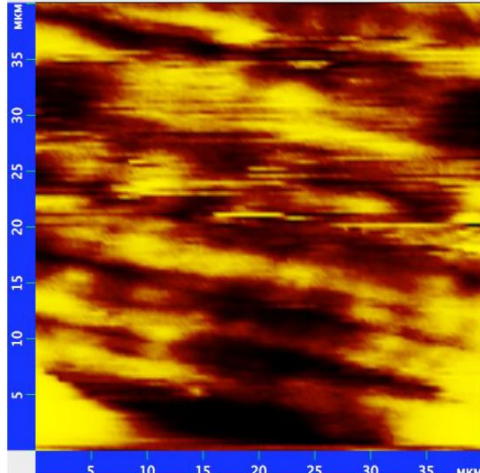
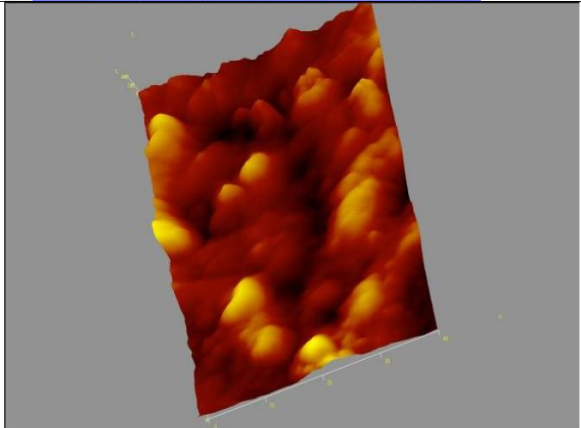
Диаграмма растяжения

Анализ результатов:

	До термической обработки		После термической обработки	
	Предел прочности $\delta \cdot 10^6$ (Па)	Модуль упругости	Предел прочности $\delta \cdot 10^6$ (Па)	Модуль упругости
Пленка с фольгой	15	1,1	13	1,1
Пленка с нанокompозитами глины	30	1,6	24	1,6

Вывод: предел прочности с глиной уменьшился на 20%, а с фольгой на 16 %. Пленка с фольгой неожиданно стала более пластичной, а с нанокompозитами глины – более упругими и хрупкими.

Анализ СЗМ исследований структуры образцов после термической обработки

	Образец с алюминиевой фольгой	Образец с нанокompозитами глины
В районе зоны разрыва		
Вне зоны разрыва		

Вывод: после термического воздействия изменилась структура поверхности. По изменению рельефа пленки с фольгой можно сделать гипотезу, что произошел разрыв фольги, поэтому образец стал более пластичным. На пленке с нанокompозитами глины увеличились места разрыва гранул, которые стали центрами разрывов.

Исследование оптических свойств пленки

Анализ литературы оказывает, что толщина расслоенных пластин ММТ составляет приблизительно 1 нм, что меньше длин волн видимого света (400-800 нм) – следовательно, они должны быть прозрачными для света. Это свойство мы оценивали через оптическую плотность. С помощью датчиков L-микро определили оптическую плотность прозрачной пленки с наноккомпозитами пленки. Оптическая плотность пленок $D=0,7$.



Выводы, заключение, перспективы

- С помощью атомно-силовой микроскопии удалось анализировать изменения структуры поверхности образцов при внешних воздействиях.
- Исследования показали, что барьерные пленки с наноккомпозитами глины обладают лучшими физическими характеристиками: пленки на основе наноккомпозитов глины оказались более упругими, остаточная деформация возникает при более высоких напряжениях, модуль упругости оказался лучше, чем с алюминиевой фольгой. (Предел прочности два раза выше.)
- При соблюдении условий хранения барьерные пленки с наноккомпозитами глины не теряют свои физические свойства. Модуль упругости остался неизменным, предел прочности уменьшился на 10% в течение 7 лет. (Данные от руководителя проекта.)
- Использование наноккомпозитов позволяет делать пленку более тонким, и при этом выдерживать большие нагрузки.
- Использование барьерных пленок с наноккомпозитами глины позволяет создавать прозрачные упаковки.
- При добавлении наноккомпозитов уменьшается коэффициент теплопроводности $0,2 \text{ Вт}/(\text{к}\cdot\text{м})$ – у обычных $0,25 - 0,3 \text{ Вт}/(\text{к}\cdot\text{м})$, что благоприятно при хранении продуктов.
- После термической обработки барьерные свойства упаковок скорее всего уменьшаться, так как появляются разрывы внутри связей.
- Замена алюминиевой фольги на наноккомпозиты глины является экономически и практически выгодным.

Список цитированных источников

1. Вестник технологического университета. 2015. Т.18, №18. В. В. Пискарев, Е. А. Викторова. Полимерная композитная глина, как многофункциональный материал.
2. Лаврентьев А.Г. Возможности СЗМ «NanoEducator» при выполнении лабораторных работ по предметам естественнонаучного цикла — СПб.: Школьная лига, Издательство «Лема», 2013. — 36 с.
3. <http://www.NanoNewsNet.ru/news/2011/rosnano-uralplastic-n-zapustili-zavod-po-vypusku-gibkoi-polimernoi-upakovki-modifitsirovan>