



DOI: <http://dx.doi.org/10.15688/jvolsu10.2014.4.11>

УДК 678: 62

ББК 35.74

## ОРИЕНТАЦИОННАЯ ВЫТЯЖКА КАК ФАКТОР, ВЛИЯЮЩИЙ НА ДЕГРАДАЦИЮ БИОРАЗРУШАЮЩИХСЯ СМЕСЕВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК

**Ольхов Анатолий Александрович**

Кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией на кафедре ХАМИ и технологии переработки пластмасс и полимерных композитов, Московский государственный университет тонких химических технологий им. М. В. Ломоносова  
[aolkhov72@yandex.ru](mailto:aolkhov72@yandex.ru)  
просп. Вернадского, 86, 119571 г. Москва, Российская Федерация

**Иорданский Алексей Леонидович**

Доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией Института химической физики им. Н. Н. Семенова РАН  
[icr@chph.ras.ru](mailto:icr@chph.ras.ru)  
ул. Косыгина, 4, 119991 г. Москва, Российская Федерация

**Зайков Геннадий Ефремович**

Доктор химических наук, профессор, заведующий отделом биологической и химической физики полимеров, Институт биохимической физики им. Н. М. Эмануэля РАН  
[chembio@sky.chph.ras.ru](mailto:chembio@sky.chph.ras.ru)  
ул. Косыгина, 4, 119334 г. Москва, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье рассмотрено влияние ориентационной вытяжки биоразрушающихся полимерных композиционных пленок на основе полиолефинов и биополимеров, полученных методом экструзии расплава с раздувом рукава, на процессы окисления, фотоокисления и биodeградации. Показано, что ориентационная вытяжка приводит к снижению кинетики биоповреждения саморазрушающихся пленок на основе синтетических и биополимеров.

**Ключевые слова:** ориентационная вытяжка, ориентация, биоразрушающиеся пленки, биополимеры, окисление, фотоокисление, биodeградация.

Практически все изделия на основе полимеров и их композиций, формируемые традиционными методами переработки (литье под давлением, экструзия, термо-вакуумное формование, выдувное и др.), характеризу-

ются структурной анизотропией на молекулярном и надмолекулярном уровнях [13].

Изделия одноразового использования (упаковочные пленки, хозяйственные пакеты, сумки, мешки для мусора, одноразовая посуда

и пр.) в целях экологической безопасности для окружающей среды во всем мире начинают формировать из природных материалов или синтетических биополимеров и композиций на их основе [10].

Для формования вышеперечисленных видов изделий из биополимерных материалов, как правило, используют такие методы переработки, как экструзия (плоскощелевая или рукавная с раздувом), литье под давлением и термо-вакуумное формование [14].

За последние 30 лет в научно-технической литературе появилось много оригинальных статей и тематических обзоров, посвященных исследованию деструкции (термоокислительной, фотоокислительной, гидролитической и биodeградации) материалов на основе биополимеров [1; 6; 18].

Однако авторы данных публикаций рассматривают влияние различных природных или модельных факторов деструкции образцов в виде пленок и пластин различной толщины, полученных методами полива из раствора или горячего прессования. То есть имеют дело не с реальными изделиями, а образцами полимерного материала, характеризующимися полной изотропией структуры. В то время как реальные изделия из полимерных материалов имеют четко выраженную анизотропию на молекулярном и надмолекулярном уровнях структурной организации. Данная морфология является следствием процессов ориентации, кристаллизации и релаксации материала в процессе формования изделия из термопластичного полимерного материала на стадиях течения (реология) и фиксации формы (стеклование, кристаллизация, сшивание, охлаждение) [3]. При этом степень ориентации (анизотропии) будет зависеть от режимов переработки материала в изделие (температура, производительность, время формования, давление формования и др.) [9].

Структура материала в конечном изделии будет определять комплекс эксплуатационных свойств и кинетику процессов деструкции.

Целью настоящей работы являлась демонстрация влияния ориентационной вытяжки на физико-механические свойства и кинетику процессов деструкции на примере биоразлагаемых упаковочных пленок на основе смесей полиолефинов и биополимеров.

## Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования были изготовлены пленки на основе ПЭНП 15803-020, ПЭВП, ПП. В качестве биоразлагаемого полимера были взяты микроволокнистая целлюлоза и полигидроксibuтират (ПГБ) фирмы «Biomer» (Germany) с молекулярной массой 300 kDa. Содержание биополимеров варьировалось от 2 до 10 масс.%. Предварительное смешение осуществляли с помощью смесительной кулачковой камеры установки «Plastograph» («Brabender», Germany) при температурах 180–190 °С и скорости движения кулачков 50 об/мин. Пленки изготавливали методом экструзии с раздувом рукава на полупромышленном экструзионном агрегате АРП-20 (Россия) при постоянной кратности раздува 2 и различных кратностях вытяжки пленочного рукава от 1 до 7. Температуры переработки смесей на основе ПЭНП – 170–180 °С, на основе ПЭНП и ПП – 180–190 °С. Толщина пленок составляла  $70 \pm 10$  мкм.

Исследовали физико-механические свойства пленок при растяжении (в направлении экструзии) – разрушающее напряжение при растяжении, относительное удлинение при разрыве и модуль упругости при растяжении с помощью универсальной разрывной машины «Instron 1122» (USA) при скорости 100 мм/мин – на образцах в виде полосок шириной 10 мм и длиной рабочей зоны 50 мм. Температуру плавления, степень кристалличности исследовали методом дифференциальной сканирующей калориметрии на приборе ДСМ-2 (Россия) при скорости нагревания 20 °С/мин [4]. Кинетику термоокисления пленок проводили с помощью монометрических установок при давлении кислорода 600 Тор [20]. Кинетику фотоокисления пленок проводили с помощью камеры искусственной погоды «Xenotest 1001» (USA) с последовательным измерением концентрации кислородсодержащих групп в процессе фотоокисления и измерением разрушающего напряжения при растяжении [7]. Кинетику биodeградации изучали с помощью экспресс-метода посева спор микрогрибов в капле специального раствора на поверхности пленки с фиксацией роста колонии микроорганизмов в течение определенного времени [5]. Структуру поверхности пленок изучали методами оптической микроскопии в фазовом контрасте и атомно-силовой микроскопии. Кинетика водопоглоще-

ния пленок была оценена гравиметрическим методом. Степень ориентации полимера-матрицы в пленках была определена методом двойного лучепреломления [12]. Морфологию поверхности пленок исследовали методом атомной силовой микроскопии (АСМ) с помощью атомного силового микроскопа «Hitachi S-560».

### Обсуждение результатов

Пленки на основе ПЭВП и ПГБ (10%), полученные методом экструзии с раздувом рукава с различной степенью вытяжки, были исследованы методом двойного лучепреломления. На рисунке 1 представлены зависимости коэффициента двойного лучепреломления

( $\Delta n$ ) от кратности вытяжки ( $\lambda_B$ ) пленок на основе ПЭВП-ПГБ (10%), ПЭВП и ПЭВП-ПГБ (10%). Видно, что степень ориентации представленных пленок, характеризуемая  $\Delta n$ , линейно возрастает с увеличением  $\lambda_B$ .

Однако зависимость не является прямо пропорциональной. Увеличение кратности вытяжки пленки в 8 раз приводит к росту  $\Delta n$  лишь в 2 раза по сравнению с исходной пленкой. Данный эффект связан, по-видимому, с протеканием процесса релаксации напряжений, обусловленным тепловыми флуктуациями макромолекулярных цепей полимеров в состоянии вязко-упругости [3; 15].

На рисунке 2 представлены зависимости степени кристалличности ПЭВП и ПГБ

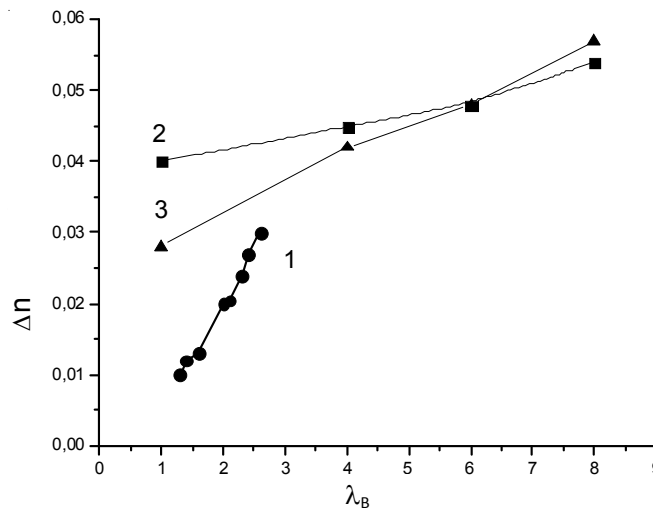


Рис. 1. Зависимость коэффициента двойного лучепреломления ( $\Delta n$ ) от кратности вытяжки ( $\lambda_B$ ) экструзионных пленок ПЭВП-ПГБ (10%) – 1, ПЭВП – 2, ПЭВП-ПГБ (10%) – 3

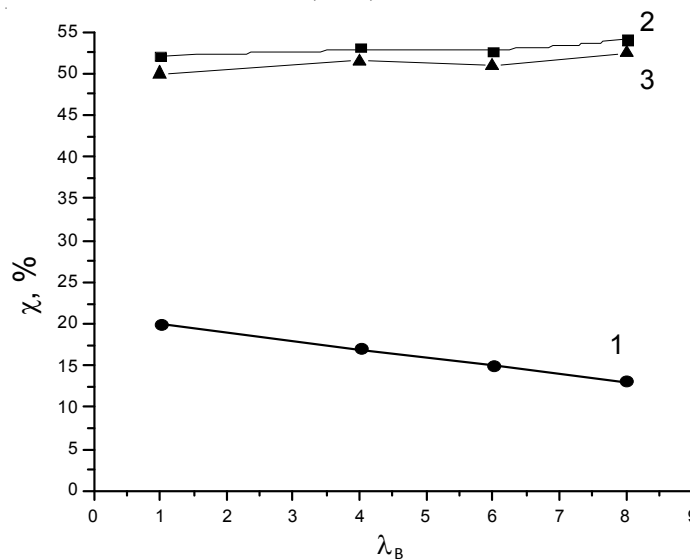


Рис. 2. Зависимости степени кристалличности ( $\chi$ ) экструзионных пленок от кратности вытяжки: пленки ПЭВП-ПГБ (ПГБ-фаза – 1; ПЭВП-матрица – 3); ПЭВП (исходная пленка) – 2

в смесевых пленках от кратности вытяжки. Степень кристалличности ПЭВП монотонно увеличивается с ростом кратности вытяжки, в то время как данный показатель для ПГБ-фазы уменьшается. Зависимости носят линейный характер. Рост степени кристалличности ПЭ фазы незначителен, всего лишь на 3 %, а падение кристалличности ПГБ происходит на 7 %. Увеличение кристалличности ПЭВП связан с процессами ориентационной кристаллизации, механизм которой описан в монографии [13]. При кристаллизации в поле действия растягивающих напряжений происходит образование не сферолитных кристаллитов, а фибриллярных, характеризующихся большой плотностью. На это также указывает рост температуры плавления ПЭ-фазы с увеличением  $\lambda_B$ , представленный на рисунке 3.

Небольшое изменение степени кристалличности ПЭ-матрицы обусловлено сравнительно небольшим содержанием дисперсной фазы ПГБ. Авторами работы [16] было ранее установлено, что в смесях полимеров присутствие дисперсной фазы оказывает небольшое влияние на степень кристалличности материала матрицы, но скорость кристаллизации испытывает сильное воздействие со стороны дисперсной фазы.

Как показано на рисунках 2 и 3, с ростом кратности вытяжки уменьшается степень кристалличности (на 7 %) и температура плавления (на 3 °С) дисперсной фазы ПГБ. По всей

видимости, ориентационная вытяжка оказывает стерические затруднения на процесс сегментальной подвижности макромолекул ПГБ, что и вызывает падение степени кристалличности. При этом образуются более мелкие или дефектные кристаллиты, характеризующиеся более низкой температурой плавления.

Итак, мы показали, что с увеличением кратности вытяжки растет степень ориентации полимерных цепей в пленках, при этом в смесях полимеров изменяется степень кристалличности и параметры кристаллической фазы, что, в свою очередь, несомненно, будет определять уровень физико-механических, диффузионных свойств, а также кинетику окисления, фотоокисления и биodeградации изделий.

На рисунке 4 представлены зависимости предела прочности при растяжении (разрушающего напряжения при растяжении) от кратности вытяжки смесевых пленок ПЭВП-ПГБ с различным содержанием последнего (от 2 до 8 масс.%); а также на основе ПЭВП, ПП и ПГБ (10 масс.%). Из данных зависимостей видно, что с увеличением кратности вытяжки наблюдается практически линейный рост предела прочности смесевых пленок.

На рисунке 5 представлена зависимость модуля упругости при растяжении смесевых пленок на основе ПЭВП-ПГБ (10 масс.%) от кратности вытяжки. Видно, что модуль упругости пленок увеличивается с ростом кратности вытяжки, особенно интенсивно модуль рас-

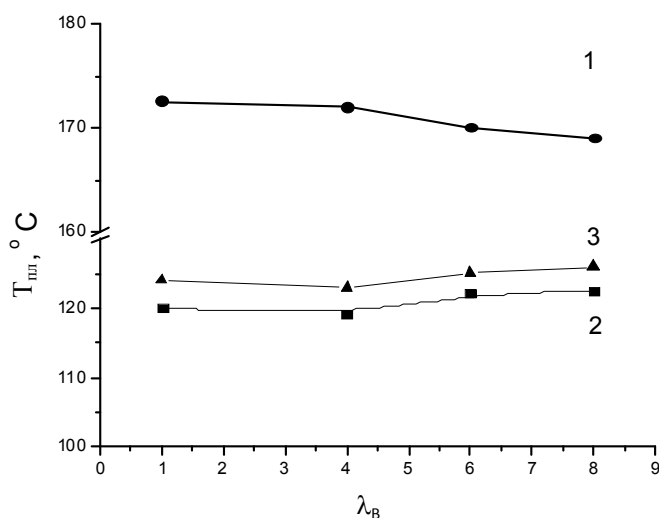


Рис. 3. Зависимости температур плавления ( $T_m$ ) от кратности вытяжки экструзионных пленок: пленки ПЭВП-ПГБ (ПГБ-фаза – 1; ПЭВП-матрица – 3); ПЭВП (исходная пленка) – 2

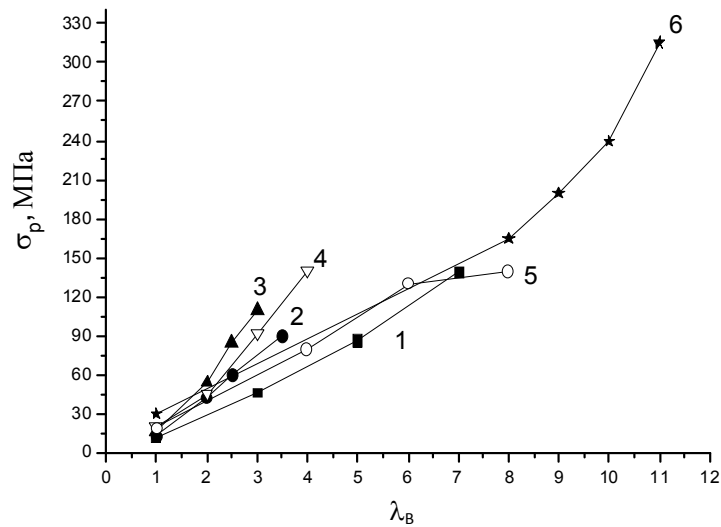


Рис. 4. Зависимости предела прочности при растяжении ( $\sigma_p$ ) экструзионных пленок от кратности вытяжки: ПЭНП – 1; ПЭНП-ПГБ (2 %) – 2; ПЭНП-ПГБ (4 %) – 3; ПЭНП-ПГБ (8 %) – 4; ПЭВП-ПГБ (10 %) – 5; ПП-ПГБ (10 %) – 6

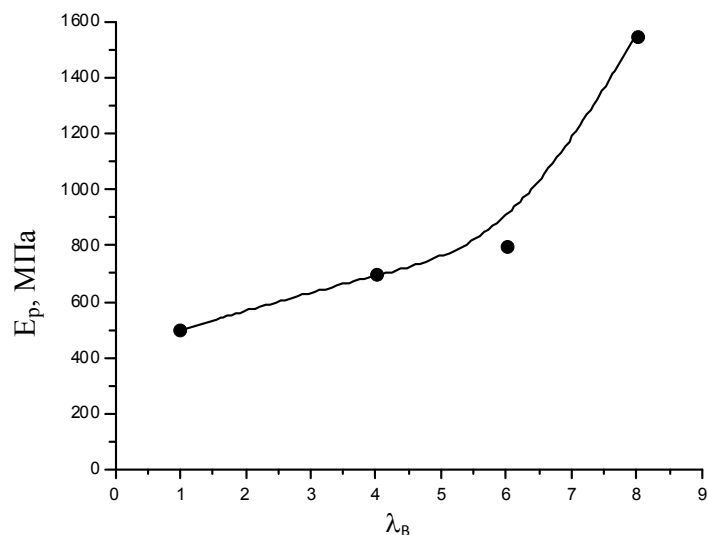


Рис. 5. Зависимость модуля упругости при растяжении ( $E_p$ ) смесевых пленок на основе ПЭВП-ПГБ (10 %) от кратности вытяжки

тет при кратностях вытяжки, близких к предельным. Характер зависимостей на рисунках 4 и 5 можно объяснить тем, что при максимальной степени вытяжки макромолекулы полимеров приобретают вытянутые конформации (в аморфной фазе), что обеспечивает распрямление и уплотнение макроцепей в направлении действия растягивающих сил в данных областях [8].

При исследовании морфологии поверхности пленок ПЭВП-ПГБ с помощью АСМ (см. рис. 6) было обнаружено, что с увеличением кратности вытяжки шероховатость

поверхности анизотропных пленок меняет свою топологию.

Видно, что с увеличением кратности вытяжки рельеф поверхности меняется от мелких локальных неровностей, имеющих размер от 500 до 1000 нм, до протяженных неровностей в виде глубоких поверхностных тяжей с поперечником 200–400 нм и протяженностью до нескольких миллиметров. Такая морфология должна оказывать значительное влияние на диффузионные свойства пленок и, соответственно, на кинетику окисления, фотоокисления и биodeградацию.

На рисунке 7 представлены зависимости скорости окисления смесевых пленок на основе ПЭНП-целлюлозы (10 %) и ПЭНП-ПГБ (10 %) от кратности вытяжки. Данные зависимости имеют экспоненциальный вид. При увеличении кратности вытяжки примерно в 2 раза скорость окисления снижается в 3 и 5 раз для пленок ПЭНП-ПГБ и ПЭНП-целлюлозы соответственно. Такое падение скорости окисления можно объяснить тем, что при ориентации полимеров происходит перестройка надмолекулярной структуры ПЭНП из сферолитной в фибриллярную и дисперсные добавки биополимеров, введенные в полиэтиленовую матрицу, вытесняются в межфибриллярные

области (аморфная фаза), тем самым препятствуя диффузии кислорода в аморфные области ПЭ-матрицы. Дисперсная фаза, окружая аморфную прослойку матрицы со всех сторон, не дает возможности мигрировать локализованным радикалам, тем самым замедляя процесс окисления. Снижение молекулярной подвижности, происходящее при ориентационной вытяжке, приводит к увеличению клеточного эффекта в реакциях инициирования и, соответственно, к уменьшению их скорости. А скорость миграции микро- и макрорадикалов зависит от морфологии матрицы в смесях полимеров и снижается с ростом степени ориентации [19].

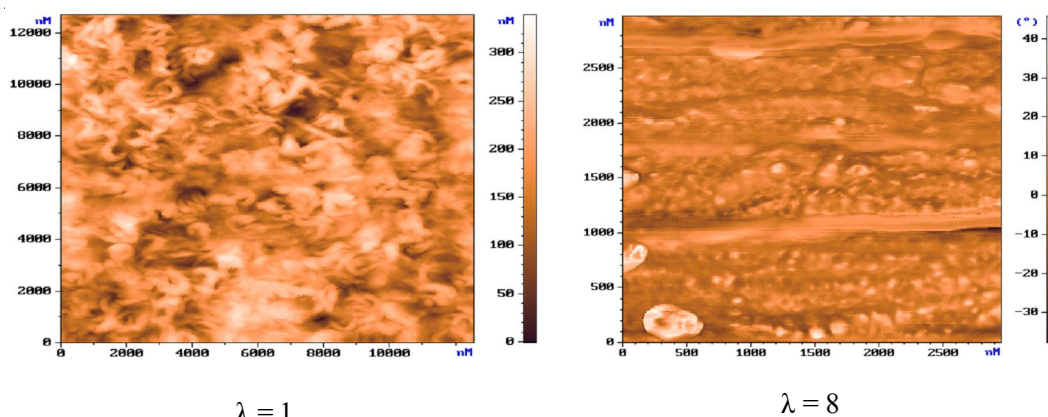


Рис. 6. Изображение топологии поверхности композиционных экструзионных пленок ПЭВП-ПГБ (10 %) при различных кратностях вытяжки

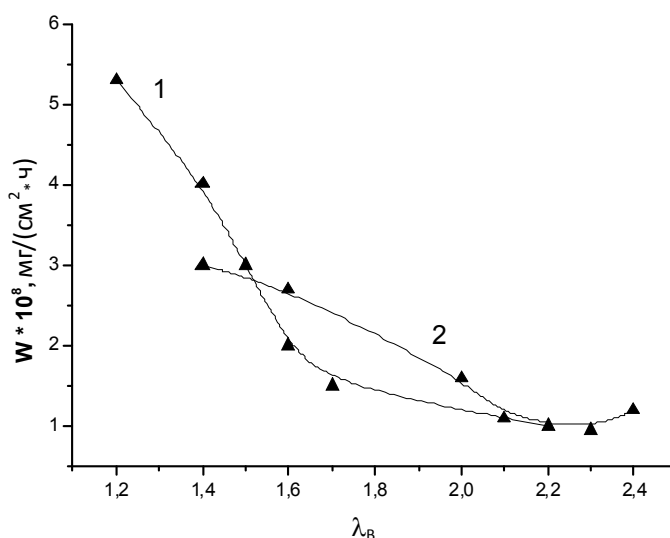


Рис. 7. Зависимости скоростей окисления экструзионных композиционных пленок от кратности вытяжки: ПЭНП-целлюлоза (10 %) – 1; ПЭНП-ПГБ (10 %) – 2. Время окисления до 100 ч

На рисунке 8 представлены зависимости предела прочности при растяжении смесевых пленок ПЭНП-ПГБ (10 %) от кратности вытяжки для исходных пленок и подвергнутых УФ-облучению на воздухе. Видно, что с увеличением кратности вытяжки прочность исходных пленок прямопропорционально растет. После УФ-облучения в течении 30 часов прочность ориентированных пленок упала примерно в 2 раза. Данное падение прочности происходит до кратности вытяжки 3. При дальнейшем увеличении кратности вытяжки прочность пленок при растяжении уменьшается более чем в 2 раза. Это связано с более неравновесной и, соответственно, более напряженной структурой ПЭ-матрицы при кратностях вытяжки более 3. Как известно из литературы, скорость окисления напряженных химических связей (участков макромолекул)

в полимерах выше, чем в изотропном (ненапряженном) состоянии [17].

В таблице представлены данные по биодеградации образцов пленок ПЭНП-ПГБ (10 %) при различных кратностях вытяжки.

Как видно из данных таблицы, ориентационная вытяжка пленок на основе смесей ПЭВП и биополимера ПГБ приводит к замедлению процессов развития микроорганизмов на поверхности пленок и, тем самым, к увеличению сроков их биодеградации.

Выводы:

1. С ростом кратности вытяжки происходит линейное увеличение степени ориентации композиционных экструзионных полиэтиленовых пленок.

2. При увеличении кратности вытяжки пленок ПЭНП-ПГБ степень кристалличес-

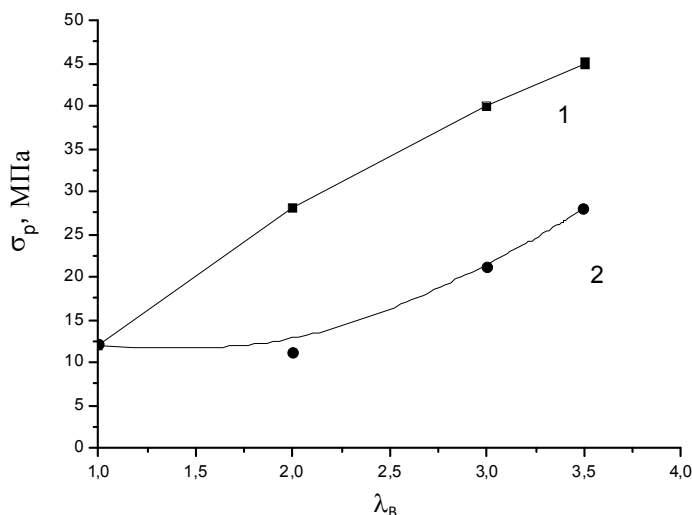


Рис. 8. Зависимости предела прочности при растяжении смесевых пленок ПЭНП-ПГБ (10 %) от кратности вытяжки:

1 – исходная пленка; 2 – подвергнутая УФ-облучению на воздухе

### Грибостойкость ПЭВП-ПГБ (10 %) по ГОСТ 9.049-91

Кратность вытяжки пленки	Оценка степени биоповреждения в баллах		
	5 суток	12 суток	60 суток
1	0/4	4/4	1/5
3	0/2	3/3	1/2
7	0/1	1/1	1/2

*Примечание.* Верхнее значение – среда без сахарозы с  $\text{NaNO}_3$ , нижнее – с сахарозой без  $\text{NaNO}_3$ ; 0 – отсутствие проросших конидий и развитие колоний; 1 – видны лишь мелкие очаги мицелия в виде отдельных пятен, спороношение отсутствует; 2 – поверхностное развитие мицелия в виде многочисленных пятен, спороношение отсутствует; 3 – разрастание мицелия на поверхности среды, начало спороношения; 4 – при визуальном осмотре отчетливо виден сплошной рост мицелия и спороношение; 5 – зарастание мицелием всей площади среды при наличии интенсивного спороношения.

ти полимера-матрицы увеличивается, а полимера – дисперсной фазы уменьшается.

3. Прочность и модуль упругости полимерных композиционных пленок симбатно увеличивается с возрастанием кратности вытяжки.

4. При увеличении кратности вытяжки изменяется топология поверхности композиционных полимерных пленок.

5. С увеличением кратности вытяжки падает скорость окисления полимерных композиционных пленок.

6. Увеличение кратности вытяжки пленок ПЭНП-ПГБ приводит к ускорению процессов фотоиницированного старения пленок.

7. Ориентационная вытяжка приводит к снижению кинетики биоповреждения саморазрушающихся пленок на основе синтетических и биополимеров.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бугоркова, В. С. Основные направления создания фото- и биодеструктурируемых полимерных материалов (обзор) / В. С. Бугоркова, Т. А. Агеева, В. М. Гальперин // Пластические массы. – 1991. – № 9. – С. 13–15.
2. Власов, С. В. Методы оценки степени ориентации и анизотропии полимерных материалов / С. В. Власов, А. А. Ольхов. – М.: ИПЦ МИТХТ, 2004. – 29 с.
3. Вязкоупругая релаксация в полимерах / под ред. М. Шеен. – М.: Мир, 1974. – 270 с. – (Viscoelastic relaxation in polymers / ed. by M. Shen N. Y.: Intersci. Publ. a Division of John Wiley and Sons Inc., 1971).
4. Годовский, Ю. К. Теплофизические методы исследования полимеров / Ю. К. Годовский. – М.: Химия, 1976. – 216 с.
5. ГОСТ 9.049-91. Единая система защиты от коррозии и старения. Материалы полимерные и их компоненты. Методы лабораторных испытаний на стойкость к микрогрибам. – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <http://www.docload.ru/Basesdoc/35/35450/index.htm>. – Загл. с экрана.
6. Деструкция материалов на основе пэвд и природных наполнителей / П. В. Пантюхов, А. В. Хватов, Т. В. Монахова, А. А. Попов, Н. Н. Колесникова // Пластические массы. – 2012. – № 2. – С. 40–42.
7. Климатическое испытание композиционных пленок на основе ПЭНП и полигидроксидибутрата (ПГБ) / А. А. Ольхов, В. Б. Иванов, С. В. Власов, А. Л. Иорданский // Пластические массы. – 1998. – № 6. – С. 19–21.
8. Кулезнев, В. Н. Химия и физика полимеров / В. Н. Кулезнев, В. А. Шершнев. – М.: КолосС, 2007. – 367 с.
9. Марков, А. В. Ориентационные явления при производстве изделий из полимерных материалов / А. В. Марков, С. В. Власов. – М.: МИТХТ, 2008. – 87 с.
10. Ольхов, А. А. Биоразлагаемые полимерные материалы / А. А. Ольхов, С. В. Власов // Полимерные материалы. – 2006. – № 7. – С. 23–27; № 8. – С. 35–37; № 10. – С. 28–34.
11. Ольхов, А. А. Биопластики на основе термопластов / А. А. Ольхов, А. Л. Иорданский, Г. Е. Заиков // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 10, Инновационная деятельность. – 2014. – № 3. – С. 84–92.
12. О методике определения плотности вспененных полимерных композиционных материалов / А. А. Ольхов, Е. А. Григорьева, А. В. Хватов, Н. Н. Колесникова, А. А. Попов, Г. Е. Заиков // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 10, Инновационная деятельность. – 2014. – № 1. – С. 55–60.
13. Ориентационные явления в растворах и расплавах полимеров / под ред. А. Я. Малкина, С. П. Папкова. – М.: Химия, 1980. – 280 с.
14. Основы технологии переработки пластмасс / под ред. В. Н. Кулезнева, В. К. Гусева. – М.: Химия, 2004. – 470 с.
15. Папков, С. П. Физико-химические основы переработки растворов полимеров / С. П. Папков. – М.: Химия, 1971. – 372 с.
16. Полимерные смеси. Т. 2. Функциональные свойства / под ред. Д. Р. Пола и К. Б. Бакнелла. – СПб.: Научные основы и технологии, 2009. – 606 с.
17. Попов, А. А. Окисление ориентированных и напряженных полимеров / А. А. Попов, Н. Я. Рапопорт, Г. Е. Заиков. – М.: Химия, 1987. – 232 с.
18. Фомин, В. А. Биоразлагаемые полимеры, состояние и перспективы использования / В. А. Фомин, В. В. Гузев // Пластические массы. – 2001. – № 2. – С. 21–23.
19. Шибряева, Л. С. Особенности деструкции смесей полимеров с поли-3-оксидибутратом. Структурные эффекты / Л. С. Шибряева, А. А. Ольхов, Ю. В. Тертышная // Пластические массы. – 2010. – № 9. – С. 49–57.
20. Шляпников, Ю. А. Антиокислительная стабилизация полимеров / Ю. А. Шляпников, С. Г. Кирюшкин, А. П. Марьян. – М.: Химия, 1986. – 256 с.
21. Bakhacheva, Yu. S. The method for lifetime estimation through the mechanical properties in tension / Yu. S. Bakhacheva // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 10, Инновационная деятельность. – 2014. – № 2. – С. 27–32.



## REFERENCES

1. Bugorkova V.S., Ageeva T.A., Galperin V.M. Osnovnye napravleniya sozdania foto- i biodestruktiruemykh polimernykh materialov (obzor) [The Main Directions of Creating Photo- and Biodegradable Polymeric Materials (Review)]. *Plasticheskie massy*, 1991, no. 9, pp. 13-15.
2. Vlasov S.V., Olkhov A.A. *Metody otsenki stepeni orientatsii i anizotropii polimernykh materialov* [Methods for Assessing the Degree of Orientation and Anisotropy of Polymer Materials]. Moscow, IPC MITKhT Publ., 2004. 29 p.
3. Shen M., ed. *Vyazkouprugaya relaksatsiya v polimerakh* [Viscoelastic Relaxation in Polymers]. Moscow, Mir Publ., 1974. 270 p.
4. Godovskiy Yu.K. *Teplofizicheskie metody issledovaniya polimerov* [Thermophysical Methods of Studying Polymers]. Moscow, Khimiya Publ., 1976. 216 p.
5. GOST 9-049-91. *Edinaya sistema zashchity ot korrozii i stareniya. Materialy polimernye i ikh komponenty. Metody laboratornykh ispytaniy na stoykost k mikrogribam* [The Unified System of Protection From Corrosion and Aging. Polymeric Materials and Their Components. The Methods of Laboratory Tests on Resistance to Micro-Fungi]. Available at: <http://www.docload.ru/Basesdoc/35/35450/index.htm>.
6. Pantyukhov P.V., Khvatov A.V., Monakhova T.V., Popov A.A., Kolesnikova N.N. Destruktsiya materialov na osnove PEVD i prirodnykh napolniteley [Degradation of Materials Based on LDPE and Natural Fillers]. *Plasticheskie massy*, 2012, no. 2, pp. 40-42.
7. Olkhov A.A., Ivanov V.B., Vlasov S.V., Iordanskiy A.L. Klimaticheskoe ispytanie kompozitsionnykh plenok na osnove PENP i poligidrosibutirata (PGB) [Environmental Testing of Composite Films Based on LDPE and Polyhydroxybutyrate (PHB)]. *Plasticheskie massy*, 1998, no. 6, pp. 19-21.
8. Kuleznev V.N., Shershnev V.A. *Khimiya i fizika polimerov* [Chemistry and Physics of Polymers]. Moscow, KolosS Publ., 2007. 367 p.
9. Markov A.V., Vlasov S.V. *Orientatsionnye yavleniya pri proizvodstve izdeliy iz polimernykh materialov* [Orientation Phenomena in the Manufacture of Plastics]. Moscow, MITKhT Publ., 2008. 87 p.
10. Olkhov A.A., Vlasov S.V. Biorazlagaemye polimernye materialy [Biodegradable Polymeric Materials]. *Polimernye materialy*, 2006, no. 7, pp. 23-27; no. 8, pp. 35-37; no. 10, pp. 28-34.
11. Olkhov A.A., Iordanskiy A.L., Zaikov G.E. Bioplastiki na osnove termoplastov [Bioplastics Based on Thermoplastics]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 10, Innovatsionnaya deyatelnost* [Science Journal of Volgograd State University. Technology and Innovations], 2014, no. 3, pp. 84-92.
12. Olkhov A.A., Grigoryeva E.A., Khvatov A.V., Kolesnikova N.N., Popov A.A., Zaikov G.E. O metodike opredeleniya plotnosti vspenennykh polimernykh kompozitsionnykh materialov [On the Method of Determining the Density of the Foamed Polymer Composite Materials]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 10, Innovatsionnaya deyatelnost* [Science Journal of Volgograd State University. Technology and Innovations], 2014, no. 1, pp. 55-60.
13. Malkin A.Ya., Papkov S.P., eds. *Orientatsionnye yavleniya v rastvorakh i rasplavakh polimerov* [Orientation Phenomena in Solutions and Polymer Melts]. Moscow, Khimiya Publ., 1980. 280 p.
14. Kuleznev V.N., Gusev V.K., eds. *Osnovy tekhnologii pererabotki plastmass* [The Basic Technology of Plastics Processing]. Moscow, Khimiya Publ., 2004. 470 p.
15. Papkov S.P. *Fiziko-khimicheskie osnovy pererabotki rastvorov polimerov* [Physical and Chemical Basics of Processing the Polymer Solutions]. Moscow, Khimiya Publ., 1971. 372 p.
16. Pol D.R., Baknell K.B., eds. *Polimernye smesi. T. 2: Funktsionalnye svoystva* [Polymer Blends. Vol. 2. Functional Properties]. Saint Petersburg, Nauchnye osnovy i tekhnologii Publ., 2009. 606 p.
17. Popov A.A., Rapoport N.Ya., Zaikov G.E. *Okislenie orientirovannykh i napryazhennykh polimerov* [Oxidation-Oriented and Stressed Polymers]. Moscow, Khimiya Publ., 1987. 232 p.
18. Fomin V.A., Guzeev V.V. Biorazlagaemye polimery, sostoyanie i perspektivy ispolzovaniya [Biodegradable Polymers, State and Prospects]. *Plasticheskie massy*, 2001, no. 2, pp. 21-23.
19. Shibryaeva L.S., Olkhov A.A., Tertyshnaya Yu.V. Osobennosti destrukttsii smesey polimerov s poli-3-oksibutiratom. Strukturnye efekty [Peculiarities of the Degradation of Mixtures of Polymers with Poly-3-Oxybutyrate]. *Plasticheskie massy*, 2010, no. 9, pp. 49-57.
20. Shlyapnikov Yu.A., Kiryushkin S.G., Maryin A.P. *Antiokislitel'naya stabilizatsiya polimerov* [Antioxidative Stabilization of Polymers]. Moscow, Khimiya Publ., 1986. 256 p.
21. Bakhacheva Yu.S. The Method for Lifetime Estimation Through the Mechanical Properties in Tension. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 10, Innovatsionnaya deyatelnost* [Science Journal of Volgograd State University. Technology and Innovations], 2014, no. 2, pp. 27-32.

**ORIENTATION STRETCHING AS A FACTOR EFFECTING  
THE DEGRADATION OF BIODEGRADABLE COMPOSITE  
POLYMER FILMS**

**Oikhov Anatoliy Aleksandrovich**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Head of the Laboratory at the Department  
of Chemistry and Technology of Processing Plastics and Polymer Composites,  
Lomonosov Moscow State University of Fine Chemical Technologies  
aolkhov72@yandex.ru  
Prosp. Vernadskogo, 86, 119571 Moscow, Russian Federation

**Iordanskiy Aleksey Leonidovich**

Doctor of Chemical Sciences, Professor,  
Head of the Laboratory,  
N.N. Semenov Institute of Chemical Physics, RAS  
icp@chph.ras.ru  
Kosygina St., 4, 119991 Moscow, Russian Federation

**Zaikov Gennadiy Efremovich**

Doctor of Chemical Sciences, Professor,  
Head of the Department of Biological and Chemical Physics of Polymers,  
Institute of Biochemical Physics named after N.M. Emanuel, RAS  
chembio@sky.chph.ras.ru  
Kosygina St., 4, 119334 Moscow, Russian Federation

**Abstract.** The biodegradable polymeric materials (PM) are of interest because of their complete reproducibility and practical unlimitedness of raw materials. It is becoming more promising due to heavy worldwide use of raw materials (oil and gas) for the production of traditional synthetic polymers. The main task of the researchers of biodegradable polymeric materials is to provide the required level of cost and technological and operational properties at a level close, or corresponding to synthetic polymers.

Currently, there is a growing demand for biodegradable polymeric materials, as evidenced by the fact that in economically developed countries, a large share of disposable packaging are manufactured from similar materials. There are new directions and research on the development of a wide range of materials on the basis of different types of starches, lignins, proteins, cellulose, polyoxyethylenes and polylactide.

With the growth of world production of polymeric materials (PM) we can observe growth of the problem of environmental protection from the polymeric wastes. The paper analyzes the well-known approaches to solving these problems in terms of efficiency.

In the article the influence of orientation stretching of biodegradable polymer composite films based on polyolefins and biopolymers obtained by the method of extrusion of the melt with parison swell, on the processes of oxidation, photo-oxidation and biodegradation. It is shown that the orientation stretching leads to the reduction of kinetics of biodeterioration of self-degradable films based on synthetic and biological polymers.

The growth of stretching multiplicity is accompanied by a linear increase in the degree of orientation of the composite extrusion of polyethylene films. The strength and modulus of elasticity of polymer composite films increase with the increase in the multiplicity of stretching.

**Key words:** orientation stretching, orientation, biodegradable films, biopolymers, oxidation, photo-oxidation, biodegradation.