

**С.И. БУХКАЛО**, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,  
**В.Л. КАВЕРЦЕВ**, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»,  
**А.С. КОСМАЧЕВ**, ст. викл., НТУ «ХПИ»,  
**О.И. ОЛЬХОВСКАЯ**, асс., НТУ «ХПИ», **О. КЛОПОВА**, **С. АРТЁМОВА**,  
**М. ЕМЕЛЬЯНОВА**, **О. ТЕРТИЧНАЯ**, **К. КИНДЕР**, **Т. КРУПИНА**,  
**М. ТОЛСТОПЯТЫХ**, **П. КАНЕВСКАЯ**, **А. БОРХОВИЧ**,  
**Я. ТИМОШЕНКО**, **О. СВЕТЛИЧНАЯ**, студенты НТУ «ХПИ»

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ МОДИФИКАЦИИ ОТХОДОВ ПОЛИМЕРОВ**

В статті наведені можливості вирішення задач підвищення ефективності використання відходів різних галузей промисловості на підприємстві, яке може забезпечувати усі свої енергетичні потреби самостійно

В статье приведены возможности решения задач повышения эффективности использование отходов разных областей промышленности на предприятии, которое может обеспечивать все свои энергетические нужды самостоятельно

The materials are presented the possibilites of solving problems of improving the use of wastes of different industries on a complex enterprise that can provide all its energy needs alone.

Необходимость расширения областей применения инновационной деятельности резко возрастает в современную эпоху, что определяется несколькими новыми обстоятельствами: особым положением, которое наука и образование занимают в современном мире, все более определяющей их ролью в становлении глобальной экономики, в формировании постиндустриального хозяйственного уклада, а также возрастающим уровнем их ответственности за социально-экономические результаты и последствия хозяйственной деятельности в национальных границах и мировом масштабе; все более масштабной коммерциализацией результатов интеллектуальной деятельности, непосредственным их вовлечением в хозяйственный оборот, что повлекло за собой усложнение правовых рамок функционирования этой сферы, изменения в структуре источников ее финансирования, возрастание конкуренции на рынке научно-технических и образовательных услуг; качественными изменениями в организации научно-технической и образовательной деятельности, вызван

ными все более масштабной ее интернационализацией и связанными с этим изменениями механизмов управления наукой и образованием. Следует отметить, что научно-технический и образовательный потенциал нашей страны может быть эффективно использован в качестве основного ресурса ее экономического развития только при реализации точной и выверенной инновационной политики.

**Постановка задачи.** Задача приближения навыков и возможностей молодых специалистов к инновационным требованиям работы в команде над курсовым или дипломным проектом, обуславливает актуальность ряда методических шагов, из которых состоит разработанный и применяемый в НТУ «ХПИ» метод игрового проектирования. Начальным этапом разработки явилась постановка учебных задач игрового проектирования, которые направлены на формирование навыков моделирования, разработки, описания и решения различного уровня сложности прикладных задач.

**Анализ последних исследований и публикаций.** С точки зрения энерго- и ресурсосбережения необходимо рассматривать полимерные материалы как сырье для многократной переработки. Это связано с тем, что, например, в производстве крупнотоннажных полиолефинов – полиэтилена и полипропилена, в частности полиэтиленовой пленки (рис. 1), затраты на сырье составляют более 80 % от общего объема производственных затрат, то есть они оказывают особенно важное влияние на себестоимость получаемого материала.

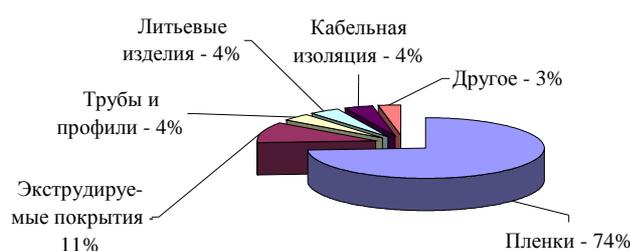


Рис. 1 – Видовая структура потребления полиэтилена низкой плотности в Западной Европе в 2005 г.

Возможности, тенденции и опыт обращения с твердыми бытовыми отходами (ТБО) наглядно характеризует практика поведения с ТБО в странах Евросоюза, в частности, например, опыт Швеции [1]: 1) утилизированы

различными способами с целью получения изделий или других продуктов – 31 %; 2)

сожжены на установках различного типа, которые дают неоднозначные, часто не контролируемые, продукты – 45 %; 3) подвержены биологической утилизации – 10 %; 4) размещены на полигонах для долгосрочного захоронения – 14 %.

В результате использования второго способа – сжигания, получено 9,3 ТВт·ч тепловой и 0,7 ТВт·ч электрической энергии, однако, есть один существенный недостаток этого способа – специалисты оценивают, что 5 % общего выброса диоксинов связано со сжиганием отходов. Справедливости ради, следует отметить, что, несмотря на скептический взгляд многих экспертов на строительство предприятий по сжиганию мусора, они все-таки должны иметь место. Это связано, прежде всего, с тем, что часть ТБО может быть утилизирована только таким способом, а также с тем, что такой способ утилизации позволит снизить долю ТБО размещенных на полигонах. Основная трудноразрешимая проблема таких установок – высокотоксичные выбросы газов и возникновение вторичных отходов – решается выбором соответствующих технологических режимов сжигания с целью получения различных видов топлива на более дешевых установках.

Резкий рост производства тары и упаковки начался в 20 веке и продолжается по настоящее время, меняя приоритеты в используемом сырье для этих целей – полимеры все больше вытесняют другие материалы. Основные тенденции роста производства упаковки в Украине, ее видов с точки зрения сырья для производства можно увидеть, например, из данных приведенных ТОВ «Інформаційно-аналітичний центр «Упаковка»» (табл. 1).

Таблица 1

Тенденции роста упаковки в Украине

Вид материала	Количество используемой упаковки			
	2005 г.		2006 г.	
	Млн. штук	Тыс. т	Млн. штук	Тыс. т
Полимеры	9415,9	258,7	10734,1	294,9
Бумага	7429,8	1167,1	8024,2	1260,5
Стекло	3173,3	1404,0	3649,3	1614,6
Металл	886,5	124,7	939,7	132,2
Дерево	35,5	35,0	34,0	33,5

Министерство ЖКХ Украины подготовило проект распоряжения Кабинета министров «Об одобрении концепции государственной целевой

экономической и научно-технической программы обращения с ТБО на 2010 – 2019 гг.». В результате реализации этого проекта планируется ежегодно получать 800 тыс. т бумаги, 600 тыс. т пластмасс и 800 тыс. т стекла с потенциальными доходами от реализации компонентов ТБО 1 – 1,5 млрд. грн.

Анализ последних исследований и публикаций по теме разрабатываемых задач, показывает, что в настоящее время нет четкой классификации полимерной упаковки для пищевых продуктов с учетом ее нового, быстро развивающегося рынка. Отсутствуют и методы контроля изменения свойств в процессе эксплуатации различных видов полимерной упаковки, которые необходимо разрабатывать. Только комбинация нескольких взаимосвязанных мероприятий по разработке методов сбора различных видов полимерных отходов и выбору научно-обоснованных методов их использования, может способствовать эффективному решению проблемы отходов [2, 3].

**Формулировка целей статьи.** Представлялось целесообразным максимально приблизить характер работы над реальными проектами к требованиям будущей работы специалистов в науке и промышленности, что способствует ускорению адаптации и закреплению молодых кадров на предприятии. Это оказалось возможным благодаря использованию полученных ранее нами данных эксперимента по модификации свойств вторичного полиэтилена. С этой целью были сформированы блоки индивидуальных заданий для каждого студента, которые тесно взаимосвязаны между собой, разработан календарный план работ и выбраны критерии ее оценки.

**Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается данная статья.** При решении задания по игровому курсовому проектированию во второй подгруппе учитывалось то, что по данным оценки образования и использования полиэтиленовых отходов многими зарубежными и украинскими производителями, ежегодный прирост производства полимерных материалов, начиная с 1985 года, составляет 5 %, что по прогнозам сохранится до 2015 года.

При постановке задачи в общем виде и оценке ее связи с важными научно-практическими заданиями необходимо учитывать, что прирост производства полимерных материалов для изготовления различных видов тары и упаковки значительно выше и составляет 10 – 20 % для некоторых видов полимеров.

**Изложение основного материала исследований.** Работа, проводимая студентами, была направлена на определение оптимальных концентраций добавок для получения вторичного полиэтилена (ВПЭ) с улучшенными технологическими показателями. Следует учитывать, что вводимые во вторичные полимеры добавки должны корректировать вновь приобретенные в результате эксплуатации свойства и облегчать их переработку.

Для проведенного процесса модификации вторичного полиэтилена была разработана математическая модель с целью изучения влияния концентрации технологических добавок на возможности и параметры переработки отходов во вторичный материал.

В число влияющих факторов были включены температура экструзии  $T(X1)$ , нагрузка  $(X2)$  и концентрация стеарата бария  $C(X3)$ . Из результатов предыдущих экспериментов следует, что модификацию вторичного полиэтилена технологическими добавками в процессе экструзии необходимо проводить в температурном интервале  $190^{\circ} - 210^{\circ} \text{C}$  при нагрузке  $49,8 - 74,7 \text{ Н}$ , концентрации стеарата бария  $0,3 - 1,5 \%$ .

Последующая обработка опытных данных с целью получения уравнения регрессии, адекватно описывающего исследуемый процесс, произведена на ЭВМ. Проведенные эксперименты и выведенное уравнение регрессии для процесса модификации вторичного полиэтилена стеаратом бария при экструзии указывает на его большую чувствительность к концентрации стеарата бария, давлению при переработке в экструдере и в меньшей степени от температуры переработки, для данных условий опыта.

Введение «смазок» позволяет устранить неравномерность и деформацию струи расплава при переработке вторичного полиэтилена в изделия. Общее повышение технологических свойств при введении модификаторов приводит к увеличению производительности в процессе гранулирования, а также к повышению качества изделий.

После раскодировки получили уравнение регрессии в следующем виде:

$$Y = 17,40 - 0,09T - 0,38G + 6,07C + 0,002T \cdot G - 0,03T \cdot C - 0,16G \cdot C + 0,0008T \cdot G \cdot C$$

Знаки при членах уравнения соответствуют установившимся представлениям о роли основных факторов при модификации, а абсолютные значения коэффициентов регрессии указывают на вклад каждого из членов в формирование величины переменной состояния  $Y$ .

Исследования выявили, что при введении стеарата бария снижается влияние температуры и нагрузки при переработке на относительное удлинение при разрыве образцов в данном интервале варьирования факторов. Полученные данные обрабатывали на ЭВМ в среде статистического пакета STATISTICA 6.0 и EXCEL для их графического анализа (рис. 2).

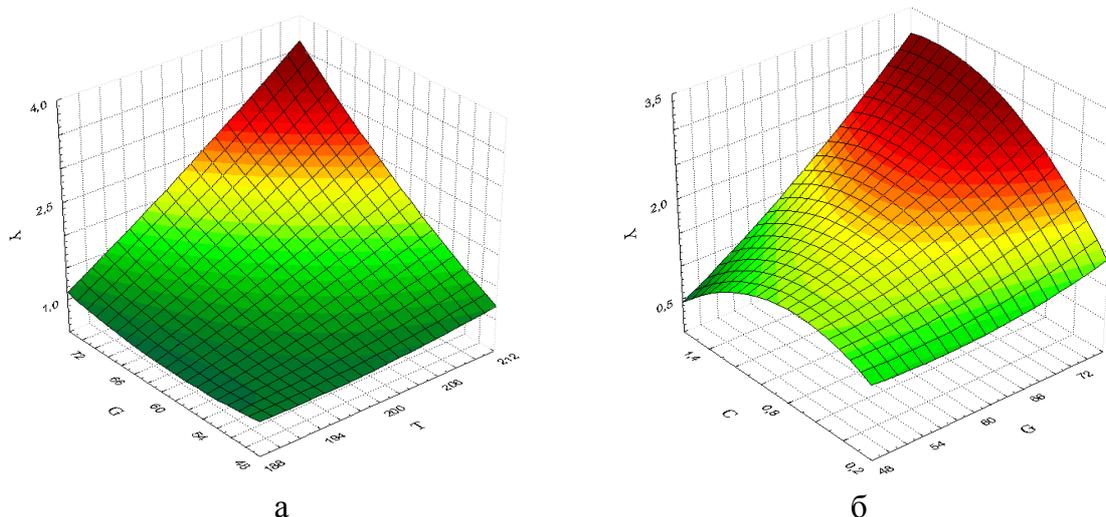


Рис. 2. Зависимость показателя текучести расплава ( $Y$ , %) ВПЭ от: а) температуры экструзии ( $T$ , °C) и давления при переработке ( $G$ ,  $H$ ); б) давления при переработке ( $G$ ,  $H$ ) и концентрации стеарата бария ( $C$ , %)

Каждый студент при выполнении проекта мог освоить различные функции: управления проектом, аналитико-теоретической, практической работы, описания и представления проекта.



Для освоения материала в календарном плане каждой подгруппы были предусмотрены занятия в активной форме, для участия в которых студенты готовили доклады по курсовому проекту и сопровождающую презентацию,

используя в работе методический и графический материал пакета в электронном виде.

Подготовка доклада, сопровождающего доклад слайд-фильма в пакете Power Point, публикации статей – также являются элементами методической работы по приближению результатов учебного проектирования к реальной ситуации разработки и представления оригинального проекта.

### **Выводы по данному исследованию и перспективы дальнейшего развития данного направления.**

Таким образом, из перечисленных методов использования полимерных отходов, наиболее перспективным с точки зрения ресурсосбережения является направление получения и переработки вторичных полимеров. Это позволит расширить сырьевую базу для производства изделий и повысить эффективность использования сырья на основе изучения свойств отходов различного происхождения, их состава, возможности организованного сбора и направленной модификации.

Необходимо отметить одну из основных задач переработки полимерных отходов – организация их отдельного сбора, что позволит извлечь из твёрдых бытовых отходов гораздо больше полимерных материалов, пригодных к повторной переработке.

Для достижения этих целей, а также предотвращение загрязнения окружающей среды миллионами тонн полимерных отходов необходимо решать и один из основных вопросов этой проблемы – выбор методов направленной модификации для улучшения качества вторичного полимерного сырья с помощью методов математического моделирования.

**Список литературы:** 1. Анализ возможности использования в Украине шведского опыта управления отходами : материалы VI Межд. конф. [«Сотрудничество для решения проблемы отходов»], (Харьков, 8 – 9 апреля 2009 г.) / Независимое агентство эколог. инф. – Х., – 2009. – 290 с. 2. Бухкало С.И., Ольховская О.И., Борхович А.А. Оценка качества вторичных полимеров с помощью математической модели // Интегровані технології та енергозбереження. – 2008. № 2. С. 51 – 55. 3. Штарке Л. Использование промышленных и бытовых отходов пластмасс. / Л. Штарке. – Л.: Химия, – 1987. – 176 с.

*Поступила в редколлегию 05.03.10*