

Микулёнок И.О., докт. техн. наук

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев

просп. Победы, 37, 03056 Киев, Украина, e-mail: i.mikulionok@kpi.ua

Ресурсосберегающая технология изготовления древесно-полимерных листов и профильных изделий

Рассмотрены преимущества использования древесного наполнителя в качестве компонента термопластичных композиционных материалов (ТпКМ) с использованием полимерной матрицы. Выполнен анализ конструктивного оформления участка подготовки расплава древесно-полимерной композиции. Определены рациональные варианты конструктивного оформления процесса экструзионного приготовления и формования ТпКМ, показаны их преимущества и недостатки. Приведено описание промышленной линии для производства древесно-полимерных листов. Даны рекомендации по использованию экструзионных установок при переработке ТпКМ (предпочтительным является использование экструзионных линий на базе одночервячного экструдера, а для получения продукции с повышенными требованиями к качеству — каскадных схем с двухчервячным экструдером). Приведены фотоснимки готовой продукции, а также реологические характеристики расплава древесно-полимерной композиции в зависимости от состава и температуры. Показано, что реологические характеристики наполненных ТпКМ с применением вторичного полимерного сырья могут существенно отличаться от соответствующих характеристик первичных полимеров. *Библ. 28, рис. 2.*

Ключевые слова: термопластичный полимер, древесный наполнитель, композиционный материал, экструзия, непрерывное формование.

Практика использования конструктивно-декоративных термопластичных материалов и изделий из них показывает, что потребности в материалах с определенным комплексом свойств зачастую удовлетворяются не разработкой новых полимеров, а созданием на основе уже существующих полимеров новых термопластичных композиционных материалов (ТпКМ) [1–3].

Одним из наиболее доступных и к тому же возобновляемых наполнителей ТпКМ являются частицы растительного происхождения, прежде всего древесные. Стружка, порошок (так называемая древесная мука) либо короткие волокна из различных пород древесины придают композиционным материалам не только необходимые физико-механические свойства, но и неповторимую текстуру поверхности сформованных из этих материалов и готовых изделий [1–4].

Вместе с отходами деревообрабатывающей промышленности в древесно-полимерных композиционных материалах возможно утилизировать и отходы полимерных материалов, что делает указанные ТпКМ чрезвычайно привлекательными для производителя и потребителя. Кроме того, указанные материалы способны ускоренно разлагаться в природных условиях [5].

Несмотря на аналогичное конструктивное оформление процессов переработки композиций с использованием полимеров, а также традиционных «чистых» полимеров параметры указанных процессов переработки композиций, особенно высоконаполненных, когда доля наполнителя в нем достигает 50–60 % и выше, могут существенно различаться [2, 6, 7]. Поэтому практически каждая композиция предполагает определенную конструкцию рабочих органов технологического оборудования и режимы переработки, при которых достигается рациональное использование энергетических и материальных ресурсов, а также необходимое качество продукции [2].

Обзор литературы и постановка проблемы

Вопросам использования возобновляемого сырья растительного происхождения в качестве наполнителей ТпКМ посвящено достаточно много исследований [1, 2, 4, 8]. При этом подавляющее большинство работ касается исследований технологических и эксплуатационных свойств ТпКМ.

В работе [9] рассмотрено моделирование свойств высоконаполненных древесно-полимер-

ных материалов, что важно при теоретическом исследовании режимов переработки указанных материалов в изделия. Однако в работе приведены лишь результаты исследований плотности и водопоглощения ТпКМ, что явно недостаточно для моделирования поведения материала в перерабатывающем оборудовании [10, 11]. Исследованию плотности ТпКМ в зависимости от степени наполнения его древесными частицами (вид древесины не указан) посвящена также работа [12].

В работе [13] приведены результаты исследований механических свойств ТпКМ от степени его наполнения древесными частицами. К сожалению, в работе не указаны характеристики частиц наполнителя (размеры, влажность, тип древесины), что значительно усложняет анализ и использование приведенных данных.

Результаты исследований механических свойств напольных плит и досок от состава ТпКМ приведены в работе [14].

В работе [15] рассмотрена технология теплоизоляционных материалов из древесных отходов. Приведены результаты исследования ограниченного перечня теплофизических свойств полученных материалов.

Аналізу методов формования древесно-полимерных композиций посвящена работа [16], однако рекомендации по выбору рационального метода в ней не приводятся.

В работе [17] приведены результаты исследований физико-механических свойств древесно-полимерных композиций в зависимости от их влажности.

Как видим, большинство работ посвящено исследованию физико-механических свойств древесно-полимерных ТпКМ, полученных в лабораторных, а не промышленных условиях. При этом анализу технологических свойств ТпКМ (прежде всего реологических), а также промышленных технологий различной продукции из ТпКМ внимания практически не уделяется.

С учетом изложенного актуальным является анализ конструктивно-технологического оформления промышленного производства различных изделий из древесно-полимерных композиций, а также их технологических и эксплуатационных характеристик.

Цель и задачи исследований

Цель исследований — анализ конструктивно-технологического оформления промышленного производства конструктивно-декоративных листов из древесно-полимерных композиций, а также разработка соответствующих рекомендаций по ведению технологического процесса.

Материалы и методы исследований

Исследованные материалы

Экспериментальные исследования в производственных условиях осуществляли для первичных и вторичных полиолефинов: полиэтилена высокого давления (ПЭВД), полиэтилена низкого давления (ПЭНД) и полипропилена (ПП), а также их смесей.

В качестве наполнителя была использована фракционированная на ситах древесная стружка с размерами частиц до 1 мм. Содержание наполнителя в перерабатываемом ТпКМ изменяли от 21 до 60 % (мас.). Входной контроль древесного наполнителя осуществляли по его размерам и влагосодержанию.

Общая компоновка линии

Для производства непрерывных и профилейных изделий из термопластичных материалов, в том числе древесно-наполненных, применяют преимущественно экструзионные линии [18, 19]. Такие линии отличаются очевидными преимуществами: совмещением многих функций в одной машине (плавление полимера, смешение, дегазация, формование ТпКМ), возможностью быстрого перехода на выпуск изделий других типоразмеров (заменой формирующего инструмента — экструзионной головки), а также универсальностью (возможностью получения профильных, листовых, рулонных и пленочных изделий).

При этом основными задачами являются правильный выбор базовой машины, определение последовательности подачи в нее компонентов подготавливаемой композиции, а также агрегатного состояния полимера при контакте его с наполнителем.

Анализ современных конструкторских решений в технологии непрерывного формования продукции из ТпКМ позволяет выделить следующие наиболее приемлемые варианты реализации процесса [2, 18]: экструзионная установка на основе одночервячного экструдера; экструзионная установка на основе двухчервячного экструдера; каскадная экструзионная установка на основе дискового экструдера-расплавителя-смесителя и одночервячного экструдера; каскадная экструзионная установка на основе одночервячного экструдера-расплавителя и одночервячного экструдера; каскадная экструзионная установка на базе червячного или дискового экструдера-расплавителя и двухчервячного экструдера [18, 19].

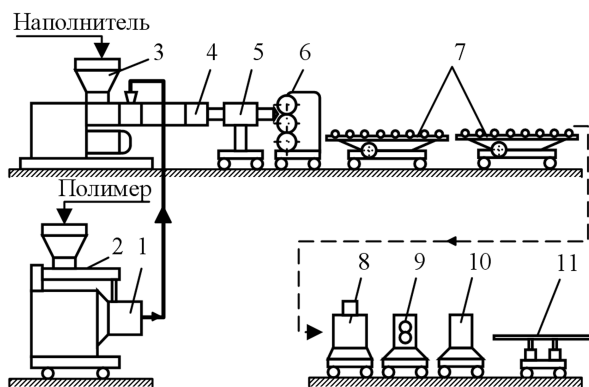


Рис. 1. Схема технологической линии для производства древесно-полимерных листов: 1 — червячно-дисковый расплавитель; 2 — питатель полимера; 3 — дозатор наполнителя; 4 — двухчервячный экструдер; 5 — плоскощелевая экструзионная головка; 6 — трехвалковый гладильный каландр; 7 — охлаждающие устройства; 8 — устройство продольной резки; 9 — тянущее устройство; 10 — устройство поперечной резки; 11 — стопировочное устройство.

Анализ рассмотренных схем конструктивной реализации экструзионной технологии переработки ТпКМ, результаты проведенных специалистами Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» (КПИ им. Игоря Сикорского) исследований, а также опыт промышленной эксплуатации оборудования Публичного акционерного общества «Научно-производственное предприятие „Большевик“» (ПАО «НПП „Большевик“») (г. Киев, Украина) показывают, что наиболее целесообразным является применение схем с предварительным плавлением полимера и дальнейшим введением в наполнитель подготовленного расплава. При этом для производства изделий из ТпКМ с точки зрения соотношения «производительность — качество изделий — цена» предпочтительным является использование экструзионных установок на базе одночервячного экструдера (желательно с использованием специальных смесительно-диспергирующих элементов [20]), а для получения продукции с повышенными требованиями к качеству — каскадных схем с двухчервячным экструдером.

Специалистами ПАО «НПП „Большевик“» в содружестве с научными работниками инженерно-химического факультета КПИ им. Игоря Сикорского было разработано и изготовлено семейство линий для производства древесно-полимерных листов различного назначения (прежде всего для отделки транспортных средств и помещений).

Линия для производства древесно-полимерных листов (рис.1) включает установленный на бункере питателя полимера загрузчик, червячно-

но-дисковый расплавитель полимера, двухчервячный экструдер с установленным на нем питателем древесного наполнителя и присоединенной к экструдеру установкой вакуум-отсоса, а также формующую плоскощелевую головку на подвижной тележке.

В технологической последовательности на направляющем пути располагается оборудование для производства листов из наполненного полимера, включающее трехвалковый гладильный каландр с тепловой станцией, рольганг, на двух секциях которого смонтированы два охлаждающих устройства, далее устройство обрезки кромок, тянущее устройство, устройство для поперечной резки и стопировочное устройство.

В случае использования в качестве компонентов перерабатываемой композиции вторичного сырья линию целесообразно доукомплектовать соответствующим оборудованием, в частности, измельчающим [21].

Основные параметры линии для производства древесно-полимерных листов ЛДПЛ-1000 (индекс 591161) приведены ниже:

производительность, кг/ч:		
по полимеру	—	150
по ТпКМ	—	220
линейная скорость листа, м/мин	—	0,4–5,0
размеры получаемого листа, мм:		
ширина	—	750–1000
толщина	—	1,5–5,0
максимальная длина	—	2000
установленная мощность, кВт	—	196,49
габаритные размеры, мм, не более:		
длина	—	19–900
ширина	—	3600
высота	—	3415
масса, кг, не более	—	29–500

Основные параметры линии для производства древесно-полимерных профильных изделий (индекс 591162) приведены ниже:

производительность, кг/ч:		
по полимеру	—	150
по ТпКМ	—	220
линейная скорость изделия, м/мин	—	0,2–7,8
геометрические параметры получаемых профилей:		
площадь поперечного сечения, мм ²	—	≤ 1500
размеры поперечного сечения, мм	—	≤ 80×60
толщина элементов поперечного сечения, мм	—	≤ 3–15
длина изделия, мм	—	≤ 6000
установленная мощность, кВт	—	146,74
габаритные размеры, мм:		
длина	—	≤ 30430
ширина	—	≤ 4500
высота	—	≤ 2985
масса, кг, не более	—	≤ 14900

Конструкции линий в целом, а также их оборудование защищены патентами Украины 31011А, 31919А, 42546А, 42573А и 1241U и др.

Краткое описание технологического процесса

Древесный наполнитель в виде опилок любых пород дерева с длиной частиц 0,1–3,0 мм, толщиной 0,1–0,6 мм, влажностью не более 3 % и температурой 20–40 °С подается в бункер питателя древесного наполнителя.

Полимер (ПЭВД, ПЭНД, ПП) в виде гранул пневматическим загрузчиком подается в бункер питателя полимера. Далее полимер шнековым питателем подается в загрузочную воронку червячно-дискового расплавителя, захватывается червяком и передается им вдоль оси цилиндра от зоны питания в зону плавления.

В зоне плавления за счет теплоты нагревателей и энергии диссипации в результате вязкого трения происходит плавление полимера. Образовавшийся расплав с остатками нерасплавившихся гранул поступает в зазор между вращающимся вместе с червяком диском и элементами дисковой головки. Здесь расплав перераспределяется по двум дисковым зонам, где происходит его окончательное плавление и гомогенизация. Гомогенизированные потоки расплава полимера объединяются в зоне второго червяка и направляются последним в загрузочное окно двухчервячного экструдера.

Двухчервячный экструдер принимает в первое окно загрузочной части (по ходу экструзии) из питателя древесный наполнитель и одновременно во второе загрузочное окно расплав полимера из червячно-дискового расплавителя.

В двухчервячном экструдере происходят смешение и гомогенизация древесно-полимерной композиции и создается необходимое давление для продавливания ее через формующую плоскощелевую головку.

Сформованный в виде листа материал из головки поступает в зазор между верхним и средним валками гладильного каландра и далее по среднему валку поступает в зазор между средним и нижним валками. Таким образом лист калибруется, охлаждается, глянцеуется и транспортируется далее. С нижнего валка гладильного каландра лист снимается отборными валиками и передается на рольганг для дальнейшего охлаждения за счет естественной конвекции со стороны верхней поверхности и вынужденной конвекции со стороны нижней поверхности потоком воздуха от охлаждающих устройств, закрепленных на двух секциях рольганга.

Далее лист поступает на обрезиненные валки тянущего устройства, которые поддерживают лист в натянутом состоянии до затвердевания его полимерной составляющей и охлаждения до необходимой температуры, при этом производится обрезка кромок. После тянущего устройства лист поступает на устройство поперечной резки, где режется на мерные куски и далее укладчиком укладывается в стопку.

Результаты и их обсуждение

В результате проведенных исследований установлено, что температурный режим переработки зависит от вида полимера и степени его наполнения. С увеличением массовой доли наполнителя от 30 до 60 % (мас.) необходимо увеличивать температуру расплава на 10–30 °С с целью увеличения температуры ТпКМ по сравнению с температурой плавления полимера на 10–20 °С [2].

Исследование реологических свойств проводили для таких композиций, % (мас.):

композиция № 1:

вторичный ПЭВД — 60, дубовые опилки — 40;

композиция № 2:

вторичный ПЭНД — 60, дубовые опилки — 40;

композиция № 3:

вторичный ПЭВД — 30, вторичный ПЭНД — 30, дубовые опилки — 40.

Реологические свойства полимеров исследуемых композиций, которые проводили методом капиллярной вискозиметрии:

вторичный ПЭВД:

$T = 160\text{ °C}; K = 1,15 \cdot 10^4\text{ Па} \cdot \text{с}^n; n = 0,38;$

$T = 180\text{ °C}; K = 3,38 \cdot 10^3\text{ Па} \cdot \text{с}^n; n = 0,72;$

вторичный ПЭНД:

$T = 160\text{ °C}; K = 2,69 \cdot 10^4\text{ Па} \cdot \text{с}^n; n = 0,23;$

$T = 180\text{ °C}; K = 6,96 \cdot 10^3\text{ Па} \cdot \text{с}^n; n = 0,96;$

где K — коэффициент консистенции, определенный при температуре T ; n — индекс течения.

Реологические свойства получаемых ТпКМ были определены в результате обработки экспериментальных данных процесса вальцевания:

композиция № 1:

$T = 117\text{ °C}; K = 1,34 \cdot 10^5\text{ Па} \cdot \text{с}^n; n = 0,245;$

$T = 137\text{ °C}; K = 6,35 \cdot 10^4\text{ Па} \cdot \text{с}^n; n = 0,345;$

композиция № 2:

$T = 131\text{ °C}; K = 1,11 \cdot 10^5\text{ Па} \cdot \text{с}^n; n = 0,305;$

$T = 147\text{ °C}; K = 2,74 \cdot 10^5\text{ Па} \cdot \text{с}^n; n = 0,103;$

композиция № 3:

$T = 143\text{ °C}; K = 5,54 \cdot 10^5\text{ Па} \cdot \text{с}^n; n = 0,027;$

$T = 157\text{ °C}; K = 4,86 \cdot 10^4\text{ Па} \cdot \text{с}^n; n = 0,484.$

Как видим, реологические свойства наполненных ТпКМ с использованием вторичного

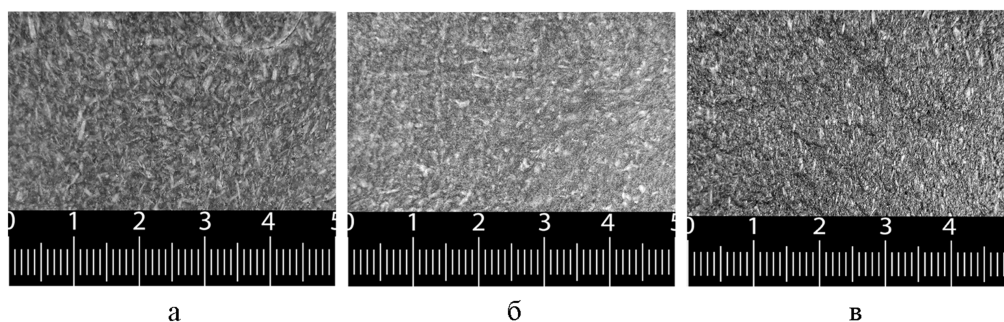


Рис.2. Фотоснимки листов из древесно-полимерных композиций различного состава, % (мас.): а – вторичный ПЭВД/стружка – 40/60; б – вторичный ПЭВД/стружка – 50/50; в – вторичный ПП/стружка – 60/40.

сырья существенно отличаются от характеристик первичных полимеров.

Теплофизические свойства исследованных материалов, относящихся к наполненным ТпКМ, определяли в зависимости от свойств компонентов, состава и структуры материала [11].

На рис.2 приведены фотоснимки поверхности древесно-полимерных листов различного состава.

Физико-механические свойства полученных листов ТпКМ: состав – ПЭВД и древесный наполнитель – по 50 % (мас.); предел прочности при изгибе – 11,8 МПа; предел прочности при растяжении вдоль волокон – 5,8 МПа; то же, поперек волокон – 2,8 МПа; ударная вязкость – 5,2 кДж/м²; влагопоглощение – 5 % (влагопоглощение образца с долей наполнителя 40 % (мас.) составляет всего 0,52 %).

Анализ свойств полученных образцов древесно-полимерных листов позволяет рекомендовать использование листов с содержанием древесного наполнителя до 40 % (мас.) включительно в качестве конструкционных и конструкционно-декоративных элементов конструкций, а свыше 40 % (мас.) – в качестве декоративных и неотчетливых малонагруженных элементов конструкций.

Изготовленные образцы листов, кроме основного назначения (в качестве конструкционно-декоративных элементов транспортных средств и строительных конструкций), также предложено использовать в качестве мишеневых листов в тиражах и на открытых стрельбищах (пат. Украины 35881А, 42652U и 114429U). Предлагаемые мишеневые щиты не только позволяют заменить дорогостоящую фанеру, но и пригодны для восстановления непосредственно в полевых условиях (наваркой поврежденных участков щитов). Кроме того, наличие в составе щитов природного наполнителя способствует ускоренному разложению отколовшихся от них фрагментов непосредственно под воздействием окружающей среды.

Проектирование технологического оборудования и выбор режимов переработки исходного сырья были осуществлены с использованием разработанных математических моделей и методик расчета [22–28].

Выводы

Показано, что наиболее целесообразной технологической схемой производства непрерывных и погонных изделий (прежде всего листов и профилей) из древесно-полимерных композиций является схема с предварительным плавлением полимера и дальнейшим введением в наполнитель подготовленного расплава. При этом с точки зрения соотношения «производительность – цена – качество изделий из ТпКМ» предпочтительным является использование экструзионных установок на базе одночервячного экструдера, а для получения изделий с повышенными требованиями к качеству – каскадных схем с двухчервячным экструдером.

Экспериментальными исследованиями процесса переработки ТпКМ на основе полиэтилена с древесным наполнителем показана возможность получения высококачественных листовых и профильных материалов.

Показано, что реологические характеристики наполненных ТпКМ с применением вторичного полимерного сырья могут существенно отличаться от соответствующих характеристик ТпКМ с применением первичных полимеров.

Анализ свойств полученных образцов древесно-полимерных листов позволяет рекомендовать использование листов с содержанием древесного наполнителя до 40 % (мас.) включительно в качестве конструкционных и конструкционно-декоративных элементов конструкций, а свыше 40 % (мас.) – в качестве декоративных и неотчетливых малонагруженных элементов конструкций.

Список литературы

1. Купчинов Б.И., Немогай Н.В., Мельников С.Ф. Технология конструкционных материалов и изделий на основе измельченных отходов древесины. Минск : Наука і тэхніка, 1992. 199 с.
2. Мікульюнок І.О. Обладнання і процеси переробки термопластичних матеріалів з використанням вторинної сировини : монографія. Київ : Видавництво «Політехніка», 2009. 265 с.
3. Chung D.D.L. Composite Materials: Science and Applications. London : Springer Verlag London Limited, 2010. 349 p.
4. Наполнители для полимерных композиционных материалов : Справ. пособие / Пер. с англ. под ред. П.Г.Бабаевского. М. : Химия, 1981. 736 с.
5. Кириш И.А., Чуткина Е.П. Биоразлагаемые полимерные композиции на основе отходов агропромышленного комплекса. *Пластические массы*. 2010. № 5. С. 45–48.
6. Tadmor Z., Gogos C. G. Principles of polymer processing. Hoboken : John Wiley & Sons, 2006. 961 p.
7. Rauwendaal C. Polymer extrusion. Munich : Carl Hanser Verlag, 2014. 934 p. doi: 10.3139/9781569905395
8. Шкуро А.Е., Глухих В.В., Кривоногов П.С., Стоянов О.В. Наполнители аграрного происхождения для древесно-полимерных композитов (Обзор). *Вопросы химии и химической технологии*. 2014. № 21. С. 160–163.
9. Сафин Р.Г., Галиев И.М., Ахмадиев М.Г. Моделирование свойств высоконаполненных древесно-полимерных композиционных материалов, получаемых методом экструзии. *Вопросы химии и химической технологии*. 2014. № 4. С. 152–154.
10. Микуленок И.О. Определение реологических свойств термопластичных композиционных материалов. *Пластические массы*. 2011. № 7. С. 26–30.
11. Микуленок И.О. Определение теплофизических свойств термопластичных композиционных материалов. *Пластические массы*. 2012. № 5. С. 9–13.
12. Валеев И.А. Исследование влияния наполнителя и связующего на физико-механические свойства древесно-полимерного композита. *Вопросы химии и химической технологии*. 2014. № 10. С. 40–42.
13. Сафин Р.Г., Филиппова Ф.М., Галиев И.М., Хабидулина А.Р. Исследование механических свойств наполненных плит и досок из древесно-полимерного композиционного материала. *Вопросы химии и химической технологии*. 2014. № 8. С. 164–166.
14. Сафин Р.Г., Саттарова З.Г., Галиев И.М., Салдаев В.А. Композиционные материалы на основе древесных частиц и полимеров. *Вопросы химии и химической технологии*. 2015. Т. 18, № 19. С. 184–187.
15. Сафин Р.Г., Степанов В.В., Исхаков Т.Д., Гайнуллина А.А., Степанова Т.О. Новые исследования и разработки в области получения древесно-композиционных материалов на основе древесных отходов. *Вопросы химии и химической технологии*. 2015. Т. 18, № 6. С. 139–142.
16. Файзуллин И.З., Мусин И.Н., Вольфсон С.И. Методы формования изделий из древесно-полимерных композиций. *Вопросы химии и химической технологии*. 2014. № 12. С. 81–84.
17. Захаров В.П., Фахретдинов Р.К., Галиев Л.Р., Мингазова А.Р. Влияние влаги на физико-механические свойства древесно-полимерных композитов на основе вторичного полипропилена. *Пластические массы*. 2018. № 5–6. С. 56–58.
18. Mikulyonok I.O. Equipment for preparing and continuous molding of thermoplastic composites. *Chemical and Petroleum Engineering*. 2013. Vol. 48, No. 11–12. P. 658–661. doi: 10.1007/s10556-013-9676-x
19. Mikulionok I. O. Classification of Processes and Equipment for Manufacture of Continuous Products from Thermoplastic Materials. *Chemical and Petroleum Engineering*. 2015. Vol. 51, No. 1–2. P. 14–19. doi: 10.1007/s10556-015-9990-6.
20. Mikulionok I.O. Screw extruder mixing and dispersing units. *Chemical and Petroleum Engineering*. 2013. Vol. 49, No. 1–2. P. 103–109. doi: 10.1007/s10556-013-9711-y
21. Mikulionok I.O. Pretreatment of Recycled Polymer Raw Material. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2011. Vol. 83, No. 6. P. 1105–1113. doi: 10.1134/S1070427211060371
22. Mikulionok I.O., Radchenko L.B. Simulation of Disk Extruder Operation. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2012. Vol. 85, No. 9. P. 1475–1481. doi: 10.1134/S1070427212090273
23. Mikulionok I.O. Modeling of the Heat Processing of Continuously Molded Product. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2012. Vol. 85, No. 9. P. 1482–1492. doi: 10.1134/S1070427212090285.
24. Микуленок И.О. Моделирование процесса охлаждения полимерных листов на гладильном каландре. *Химическая промышленность*. 2012. Т. 89, № 8. С. 398–407.
25. Mikulionok I.O., Radchenko L.B. Screw Extrusion of Thermoplastics: I. General Model of the Screw Extrusion. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2012. Vol. 85, No. 3. P. 489–504. doi: 10.1134/S1070427211030305
26. Mikulionok I.O., Radchenko L.B. Screw Extrusion of Thermoplastics: II. Simulation of Feeding Zone of the Single Screw Extruder. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2012. Vol. 85, No. 3. P. 505–514. doi: 10.1134/S1070427211030317
27. Mikulionok I., Gavva O., Kryvoplias-Volodina L. Modeling of melting process in a single screw extruder for polymer processing. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 2/5. С. 4–11. doi: 10.15587/1729-4061.2018.127583
28. Mikulionok I., Gavva O., Kryvoplias-Volodina L. Modeling the process of polymer processing in twin-screw extruders. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. No. 4/5. С. 35–44. doi: 10.15587/1729-4061.2018.139886

Поступила в редакцию 26.09.18

Мікульонюк І.О., *докт. техн. наук*

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ

просп. Перемоги, 37, 03056 Київ, Україна, e-mail: i.mikulionok@kpi.ua

Ресурсоощадна технологія виготовлення деревно-полімерних листів та профільних виробів

Розглянуто переваги використання деревного наповнювача як компонента термопластичних композиційних матеріалів (ТпКМ) з використанням полімерної матриці. Зроблено аналіз конструктивного оформлення ділянки підготовки розплаву деревно-полімерної композиції. Визначено раціональні варіанти конструктивного оформлення процесу екструзійного приготування та формування ТпКМ, показано їхні переваги й недоліки. Наведено опис промислової лінії для виробництва деревно-полімерних листів. Надано рекомендації з використання екструзійних установок для перероблення ТпКМ (кращими є екструзійні лінії на базі однокерв'ячного екструдера, а у разі одержання продукції з підвищеними вимогами до якості — каскадні схеми з двокерв'ячним екструдером). Наведено фотознімки готової продукції, а також реологічні характеристики розплаву деревно-полімерної композиції залежно від складу й температури. Показано, що реологічні характеристики наповнених ТпКМ із застосуванням вторинної полімерної сировини можуть суттєво відрізнятися від відповідних характеристик первинних полімерів. *Бібл. 28, рис. 2.*

Ключові слова: термопластичний полімер, деревний наповнювач, композиційний матеріал, екструзія, безперервне формування.

Mikulionok I.O., *Doctor of Technical Sciences*

**National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky
Kyiv Polytechnic Institute», Kiev**

37, Peremohy Ave., 03056 Kiev, Ukraine, e-mail: i.mikulionok@kpi.ua

Simulation of Cooling Process Double-Layer Corrugated Plastic Pipes

Advantages of use of a wood filler as a component of thermoplastic composite materials (TpCM) with use of a polymeric matrix are considered. The analysis of design of an area of preparation of wood and polymeric composition melt is made. Rational options of design of process of extrusion preparation and formation of TpCM are defined, their advantages and disadvantages are shown. The description of the industrial line for production of wood and polymeric sheets is provided. Recommendations about use of extrusive installations for processing TpCM are made (use of extrusion lines on the basis of a single-screw extruder, and for receiving production with increased requirements to quality — cascade schemes with a twin-screw extruder is preferable). Pictures of finished goods, and also rheological characteristics of wood and polymeric composition melt depending on structure and temperature are given. It is also shown that rheological characteristics of the filled TpCM with use of secondary polymeric raw materials can significantly differ from the corresponding characteristics of primary polymers. *Bibl. 28, Fig. 2.*

Key words: thermoplastic polymer, wood filler, composite material, extrusion, continuous formation.

References

1. Kupchinov B.I., Nemogay N.V., Melnikov S.F. (1992). *Tekhnologiya konstruktsionnykh materialov i izdeliy na osnove izmelchennykh otkhodov drevesiny.* [Technology of constructional materials and products on the basis of the crushed wood waste]. Minsk : Navuka i tekhnika, 199 p. (Rus.)
2. Mikulionok I.O. (2009). *Obladnannia i protsesy pererobky termoplastychnykh materialiv z vykorys-*

- tanniam vtorynnoi syrovyny [The equipment and processes of processing of thermoplastic materials with use of secondary raw materials]. Kiev : Vydavnytstvo «Politekhnik», 265 p. (Ukr.)
3. Chung D.D.L. (2010). Composite Materials: Science and Applications. London : Springer Verlag London Limited, 349 p.
 4. Napolniteli dlya polimernykh kompozitsionnykh materialov : sprav. posobie (1981). [Fillers for polymeric composite materials : reference book]. Per. s angl. ed. P.G. Babaevskogo. Moscow : Khimiya, 736 p. (Rus.)
 5. Kirsh I.A., Chutkina E.P. (2010). Biorazлагаемые полимеры на основе отходов агропромышленного комплекса [Biodegradable polymeric compositions on the basis of waste of agro-industrial complex]. *Plasticheskie massy*, No. 5, pp. 45–48. (Rus.)
 6. Tadmor Z., Gogos C.G. (2006). Principles of polymer processing. 2nd ed. Hoboken, John Wiley & Sons, 961 p.
 7. Rauwendaal C. (2014). Polymer extrusion. 5th ed. Munich, Carl Hanser Verlag, 934 p. doi: 10.3139/9781569905395
 8. Shkuro A.E., Glukhikh V.V., Krivonogov P.S., Stoyanov O.V. (2014). Napolniteli agrarnogo proizvodstva dlya drevesno-polimernykh kompozitov (Obzor) [Fillers of an agrarian origin for wood and polymeric composites (Review)]. *Voprosy khimii i khimicheskoy tekhnologii*, No. 21, pp. 160–163. (Rus.)
 9. Safin R.G., Galiev I.M., Akhmadiev M.G. (2014). Modelirovaniye svoystv vysokonapolnennykh drevesno-polimernykh kompozitsionnykh materialov, poluchaemykh metodom ekstruzii [Modeling of properties of the high-filled wood and polymeric composite materials received by an extrusion method]. *Voprosy khimii i khimicheskoy tekhnologii*, No. 4, pp. 152–154. (Rus.)
 10. Mikulionok I.O. (2011). Opredeleniye reologicheskikh svoystv termoplastichnykh kompozitsionnykh materialov [Determination of rheological properties of thermoplastic composite materials]. *Plasticheskie massy*, No. 7, pp. 26–30. (Rus.)
 11. Mikulionok I.O. (2012). Opredeleniye teplofizicheskikh svoystv termoplastichnykh kompozitsionnykh materialov [Determination of thermophysical properties of thermoplastic composite materials]. *Plasticheskie massy*, No. 5, pp. 9–13. (Rus.)
 12. Valeev I.A. (2014). Issledovaniye vliyaniya napolnitelya i svyazuyushchego na fiziko-mekhanicheskiye svoystva drevesno-polimernogo kompozita [Research of influence of a filler and binder on physical-mechanical properties of wood and polymeric composite]. *Voprosy khimii i khimicheskoy tekhnologii*, No. 10, pp. 40–42. (Rus.)
 13. Safin R.G., Filippova F.M., Galiev I.M., Khabibulina A.R. (2014). Issledovaniye mekhanicheskikh svoystv napolnykh plit i dosok iz drevesno-polimernogo kompozitsionnogo materiala [Research of mechanical properties of floor plates and boards from wood and polymeric composite material]. *Voprosy khimii i khimicheskoy tekhnologii*, No. 8, pp. 164–166. (Rus.)
 14. Safin R.G., Sattarova Z.G., Galliev I.M., Saldaev V.A. (2015). Kompozitsionnyye materialy na osnove drevesnykh chastits i polimerov [Composite materials on the basis of wood particles and polymers]. *Voprosy khimii i khimicheskoy tekhnologii*, 18 (19), pp. 184–187. (Rus.)
 15. Safin R.G., Stepanov V.V., Iskhakov T.D., Gaynullina A.A., Stepanova T.O. (2015). Novye issledovaniya i razrabotki v oblasti polucheniya drevesno-polimernykh materialov na osnove drevesnykh otkhodov [New researches and developments in the field of producing wood and composite materials on the basis of wood waste]. *Voprosy khimii i khimicheskoy tekhnologii*, 18 (6), pp. 139–142. (Rus.)
 16. Fayzullin I.Z., Musin I.N., Volfson S.I. (2014). Metody formovaniya izdeliy iz drevesno-polimernykh kompozitsiy [Methods of formation of products from wood and polymeric compositions]. *Voprosy khimii i khimicheskoy tekhnologii*, No. 12, pp. 81–84. (Rus.)
 17. Zakharov V.P., Fakhretdinov R.K., Galliev L.R., Mingazova A.R. (2018). Vliyaniye vlagi na fiziko-mekhanicheskiye svoystva drevesno-polimernykh kompozitov na osnove vtorichnogo polipropilena [Influence of moisture on physical-mechanical properties of wood and polymeric composites on the basis of secondary polypropylene]. *Plasticheskie massy*, No. 5–6, pp. 56–58. (Rus.)
 18. Mikulyonok I.O. (2013). Equipment for preparing and continuous molding of thermoplastic composites. *Chemical and Petroleum Engineering*, 48 (11–12), pp. 658–661. doi: 10.1007/s10556-013-9676-x
 19. Mikulionok I.O. (2015). Classification of Processes and Equipment for Manufacture of Continuous Products from Thermoplastic Materials. *Chemical and Petroleum Engineering*, 51 (1–2), pp. 14–19. doi: 10.1007/s10556-015-9990-6
 20. Mikulionok I.O. (2013). Screw extruder mixing and dispersing units. *Chemical and Petroleum Engineering*, 49 (1–2), pp. 103–109. doi: 10.1007/s10556-013-9711-y
 21. Mikulionok I.O. (2011). Pretreatment of Recycled Polymer Raw Material, *Russian Journal of Applied Chemistry*, 83 (6), pp. 1105–1113. doi: 10.1134/S1070427211060371
 22. Mikulionok I.O., Radchenko L.B. (2012). Simulation of Disk Extruder Operation. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 85 (9), pp. 1475–1481. doi: 10.1134/S1070427212090273
 23. Mikulionok I.O. (2012). Modeling of the Heat Processing of Continuously Molded Product. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 85 (9), pp. 1482–1492. doi: 10.1134/S1070427212090285
 24. Mikulionok I.O. (2012). Modelirovaniye protsessa okhlazhdeniya polimernykh listov na gladilnom kalandre [Modeling of process of cooling of polymeric sheets on an ironing calender]. *Chimicheskaya promyshlennost*, 89 (8), pp. 398–407. (Rus.)
 25. Mikulionok I.O., Radchenko L.B. (2012). Screw Extrusion of Thermoplastics: I. General Model of the Screw

- Extrusion. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 85 (3), pp. 489–504. doi: 10.1134/S1070427211030305
26. Mikulionok I.O., Radchenko L.B. (2012). Screw Extrusion of Thermoplastics: II. Simulation of Feeding Zone of the Single Screw Extruder. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 85 (3), pp. 505–514. doi: 10.1134/S1070427211030317
27. Mikulionok I., Gavva O., Kryvoplias-Volodina L. (2018). Modeling of melting process in a single screw extruder for polymer processing. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, No. 2/5. pp. 4–11. doi: 10.15587/1729-4061.2018.127583
28. Mikulionok I., Gavva O., Kryvoplias-Volodina L. (2018). Modeling the process of polymer processing in twin-screw extruders. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. No. 4/5. pp. 35–44. doi: 10.15587/1729-4061.2018.139886

Received September 26, 2018

Засідання круглого столу «Перспективи впровадження інновацій у атомній енергетиці України»



Головними організаторами круглого столу були Рада молодих вчених (далі РМВ) при Відділенні фізико-технічних проблем енергетики НАНУ та молодіжна секція УкрЯТ. Співорганізатори заходу — РМВ Інституту газу НАНУ, РМВ Інституту проблем безпеки АЕС НАНУ та РМВ Інституту ядерних досліджень НАНУ.

Засідання круглого столу відбувалося у форматі двох частин: науково-технічних доповідей та експертної дискусії. Відкрив першу частину круглого столу голова молодіжної секції УкрЯТ, начальник зміни блоку Хмельницької АЕС Олександр Хомич з доповіддю про важливість наукового супроводу атомної енергетики. Доповідь про інноваційні технології, які використовуються при знятті з експлуатації Чорнобильської АЕС та перетворенні об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему зробив молодший науковий співробітник Інституту проблем безпеки АЕС, аспірант НТУУ «КПІ» Сергій Купріячук, аспірант Інституту газу НАНУ Микола Сидоренко виступив з доповіддю про розробку енергоефективної та екологічно чистої технології одержання графіту ядерної чистоти, а докторант цього ж Інституту, к.т.н. Костянтин Сімейко розповів про розробку технології нанесення піровуглецевих захисних покриттів для потреб атомної енергетики, зокрема для виробництва мікротвелів (вид ядерного палива з підвищеними ступенями безпеки) та іммобілізації радіоактивних матеріалів. Молодший науковий співробітник Інституту ядерних досліджень Микола Голяк виступив з доповіддю на тему «Можливість подовження періоду безпечної експлуатації корпусів реакторів ВВЕР-1000 у понадпроектний термін».

Окрім наукової молоді, до заходу долучилися видатні українські вчені. Завідуючий відділом плазмових технологій Інституту газу НАНУ, чл.-кор. НАНУ, д.ф.-м.н., проф. Віктор Жовтянський розповів про використання плазми для верифікації радіоактивних речовин. Директор Інституту газу НАНУ, акад. НАНУ, д.т.н., проф. Борис Бондаренко розповів про проведені дослідження в Інституті газу НАНУ для потреб атомно-промислового комплексу та виступив з доповіддю «Нанорідини для екстремального охолодження ядерного реактору», яка напередодні отримала відзнаку на конференції у Китайській Народній Республіці.

Після завершення доповідей учасники круглого столу перейшли до експертної дискусії, на якій обговорювали можливості впровадження розробок українських вчених у атомно-промисловий комплекс України, а також обмінялися досвідом та знайшли точки перетину для можливої подальшої співпраці. Під час дискусії к.ф.-м.н., науковий співробітник Інституту ядерних досліджень НАНУ Юрій Степаненко підкреслив, що, окрім розробки інновацій для атомної енергетики в Україні, на високому рівні проводяться дослідження в інших напрямках використання ядерної фізики, зокрема у медицині.

Даний захід має посприяти налагодженню співпраці між науковцями та спеціалістами атомної енергетики України.