

22. Yuu Hasegawa, Mitsunori Mori, Keiichi Koda, and Yasumitsu Uraki (2019) Effect of Vapor-Phase Surface Acetylation of Japanese Cedar Wood on Fungal Degradation and Dimensional Stability/ Journal of wood chemistry and technology 2020, vol. 40, no. 1, 1-14.
23. Samuel L. Zelinka and Leandro Passarini (2018) Corrosion of metal fasteners embedded in acetylated and untreated wood at different moisture contents, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, Rouyn-Noranda, Canada, Pages 182-189.
24. Andris Morozovs & Edgars Bukšāns (2009) Fire performance characteristics of acetylated ash (Fraxinus excelsior L.) wood, Wood Material Science and Engineering, 4:1-2, 76-79.
25. B. Kristoffer Segerholm, Pernilla Walkenström, Birgitha Nyström, Magnus E. P. Wålinder & Pia Larsson Brelid (2007) Micromorphology, moisture sorption and mechanical properties of a biocomposite based on acetylated wood particles and cellulose ester, Wood Material Science and Engineering, 2:3-4, 106-117.
26. F. Bongers, T. Meijerink, B. Lütke-meier, C. Lankveld, J. Alexander, H. Militz & C. Lehringer (2016) Bonding of acetylated wood, International Wood Products Journal, 7:2, 102-106.
27. Roger M. Rowell (2007) Vapor Phase Acetylation of Southern Pine, Douglas Fir, and Aspen Wood Flakes, Journal of Wood Chemistry and Technology, 6:2, 293-309.
28. A. Pizzi, X. Zhou, P. Navarrete, C. Segovia, H.R. Mansouri, M.I. Placentia Pena & F. Pichelin (2013) Enhancing water resistance of welded dowel wood joints by acetylated lignin, Journal of Adhesion Science and Technology, 27:3, 252-262.
29. Roger M. Rowell, Anne-Marie Tillman & Rune Simonson (2007) A Simplified Procedure for the Acetylation of Hardwood and Softwood Flakes for Flakeboard Production, Journal of Wood Chemistry and Technology, 6:3, 427-448. DOI: 10.1080/02773818608085236.
30. Roger M. Rowell, Richard H. S. Wang & John A. Hyatt (1986) Flakeboards Made From Aspen and Southern Pine Wood Flakes Reacted with Gaseous Ketene, Journal of Wood Chemistry and Technology, 6:3, 449-471.
31. Fatemeh Bavaneghi & Maryam Ghorbani (2016) Mechanical behavior and springback of acetylated particleboard made in different press times, Wood Material Science & Engineering, 11:1, 57-61.

©Prokopiev A.A. – Assistant of the Department of Architecture and design of wood products, Kazan National Research Technological University (KNRTU), e-mail: prokopev.anatolij@mail.ru; Salimgaraeva R.V. – PhD of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Architecture and design of wood products, KNRTU, e-mail: reginka.danilova@mail.ru; Safin R.R. – Grand PhD of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Architecture and design of wood products, KNRTU, e-mail: cfaby@mail.ru.

УДК 678

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛАСТИФИКАТОРОВ НА СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА И ДРЕВЕСНОЙ МУКИ

В.А. Незнанов, В.В. Глухих, А.Е. Шкуро, П.С. Кривоногов

Настоящее исследование посвящено оценке влияния различных типов пластификаторов на свойства полимерных композиционных материалов (ПКМ) на основе поливинилхлорида и древесной муки. Целью работы являлось определение влияния типа и содержания пластификатора на физико-механические свойства ПКМ, а также на динамику биоразложения образцов ПКМ в грунте. Было изучено действие следующих пластификаторов: диметилфталата, дибутилфталата, диоктилтерефталата и трихлорэтилфосфата. Оценка способности образцов ПКМ к биоразложению производилась по величине потери массы после выдержки в активном грунте, а также по изменению (падению) показателей прочности при изгибе и ударной вязкости. Для образцов полученных композитов были определены значения показателей ключевых физико-механических свойств: твердость по Бринеллю, контактный модуль упругости при сжатии, прочность при изгибе, ударная вязкость и водопоглощение после 24, 7 и 30 суток часов выдержки. Установлено, что увеличение содержания

изученных пластификаторов в материале приводит к снижению показателей твердости, модуля упругости при сжатии, а также прочности при изгибе. В то же время наблюдалось увеличение показателей водопоглощения и ударной вязкости (прочности). Присутствие в композиции всех типов рассмотренных пластификаторов ускоряет процессы биоразложения ПКМ в грунте. Проведенные исследования показывают, что изменение типа и содержания пластификатора в композите с полимерной фазой ПВХ может быть эффективным способом регулирования скорости их биоразложения в грунте и изменения показателей их физико-механических свойств при погружении в грунт.

Ключевые слова: композит, ПКМ, поливинилхлорид, ПВХ, пластификатор, физико-механические свойства, биоразложение.

Введение

Поливинилхлорид (ПВХ) – один из шести наиболее распространенных термопластичных полимеров в мире. В промышленности ПВХ применяется в жесткой и гибкой форме. Жесткая форма используется в производстве труб и профилей (двери и окна), упаковки (непищевая упаковка и листы для покрытия пищевых продуктов) и карт (банковские или членские карты). Гибкая форма изготавливается путем добавления пластификаторов и используется в сантехнике, кожзаменителе и многих других областях. Ассортимент продукции из ПВХ и ее свойства настолько различаются благодаря использованию пластификаторов [1]. Пластификаторы – это низкомолекулярные нелетучие соединения, которые широко используются в полимерной промышленности в качестве добавок, вводимых в состав материала для повышения его пластичности и удобства переработки [2]. Молекулы пластификатора при смешивании с полимером диспергируются между полимерными цепями. Внутри полимера они снижают межмолекулярное притяжение между цепями, позволяя им легко скользить и снижая жесткость полимера [3-5].

Существует множество теорий, пытающихся объяснить, как пластификатор снижает жесткость полимерного материала. Теория вязкости была разработана М. Килпатриком [6]. Он утверждает, что пластификатор в ПВХ действует как молекулярная смазка, позволяя полимерным цепям свободно перемещаться друг над другом при приложении силы к пластифицированному полимеру. Предполагается, что не пластифицированные полимерные цепи не могут свободно перемещаться из-за неровностей поверхности. В этой модели один сегмент пластификатора сильно притягивается к полимеру, а другие сегменты – нет. Первый действует как растворитель для полимера, а второй действует как смазка [6].

Теория пластификации геля была развита Айкеном [6]. Считается, что молекулы полимера слабо связаны вместе с различными интервалами. Добавленный пластификатор увеличивает беспорядочное движение полимерных цепей в неассоциированных областях полимера. Айкен считал, что структура геля может быть образована либо постоянными межмолекулярными связями, либо связями, которые образуются и исчезают динамически, когда сольваты пластификатора десольватируют эти области. Эта теория объясняет, почему внешне пластифицированные ПВХ компаунды при повышении температуры размягчаются больше, чем пластифицированные внутри компаунды. Внешние пластификаторы могут сольватировать и десольватировать различные участки молекулы полимера, к которым они притягиваются и к которым другие молекулы полимера могут притягиваться. Внутренне пластифицированные системы лишены этой свободы. Точно так же теория гелей объясняет, как не являющиеся растворителями для ПВХ пластификаторы могут ее смягчить. Они увеличивают пространство между молекулами полимера, тем самым уменьшая взаимодействие полимер-полимер на участках, где могут связываться полимерные цепи.

Теория пластификации со свободным объемом пыталась объяснить снижение температуры стеклования полимера при добавлении пластификатора. Было замечено, что удельный объем полимеров линейно уменьшался с понижением температуры до достижения температуры стеклования (T_g), после чего удельный объем уменьшался медленнее. Предполагалось, что повышенный удельный объем выше температуры стеклования объясняется «свободным объемом», пространством между молекулами. Сегодня свободный объем обычно определяется как разница в удельном объеме при определенной интересующей температуре и некоторой эталонной температуре, обычно абсолютном нуле. Свободный объем в полимере может происходить из нескольких источников: движения концевых групп полимера, движения боковых групп полимера и внутренних движений полимера. Ниже их температуры стеклования

полимеры демонстрируют ограниченные движения этих типов. Поэтому не пластифицированный ПВХ твердый и жесткий. При добавлении пластификатора к полимеру движения в молекуле пластификатора, как и движения в полимере, создают свободный объем [6].

Кинетические или механистические теории пластификации рассматривают связь между полимером и пластификатором и между пластификатором и пластификатором как временную и постоянно меняющуюся: ассоциации образуются, исчезают, а затем реформируются. Некоторые пластификаторы образуют более сильные ассоциации с полимером ПВХ, чем другие. При низких содержаниях пластификатора в ПВХ преобладают ассоциации пластификатор-полимер. При высоких уровнях пластификатора преобладают ассоциации пластификатор-пластификатор.

Математические модели пластификации, разработанные Маурицем и Стори [6], пытаются предсказать T_g пластифицированного ПВХ по температурам стеклования полимера и пластификатора. Эффективность пластификатора при снижении температуры стеклования основана на структурных особенностях пластификатора, таких как длина и разветвленность боковых цепей.

Все модели пластификации ПВХ предполагают химическое взаимодействие пластификатора с полимером. Это взаимодействие позволяет полярным частям молекулы пластификатора (например, ароматическому кольцу) взаимодействовать с полимером через силы Ван-дер-Ваальса и дипольные взаимодействия. В пластифицированном ПВХ эти взаимодействия позволяют пластификатору сольватировать аморфную часть полимера. Образующиеся поперечные связи между молекулами полимера являются аналогами, поперечных связей в эластомерах или термопластичных полиолефинах и увеличивают модуль упругости материала.

Доля пластификатора в составе ПВХ может быть существенной. Так, например, при получении некоторых изделий из ПВХ необходимо добавлять к полимеру до 30 мас. % пластификаторов. Такое количество ПВХ оказывает значительную роль на свойства материала. В том числе на свойства полимерных композиционных материалов (ПКМ), полученных на основе поливинилхлорида и наполнителей растительного происхождения.

Использование натуральных волокон для армирования поливинилхлорида имеет несколько целей, в том числе: разработку материалов на основе возобновляемых ресурсов; снижение стоимости композиционного материала по сравнению с исходным полимером; уменьшение усадки; увеличение показателей некоторых эксплуатационных свойств материала, например, предела прочности при изгибе и ударной вязкости. Термопласты, армированные волокнами природного происхождения, сочетают в себе такие качества как жесткость, механическая прочность и возможность вторичной переработки [7-9]. Основным типом лигноцеллюлозного наполнителя для крупнотоннажных термопластов традиционно является древесная мука [7]. Кроме того, наполнение ПВХ волокнами растительного происхождения приводит к значительному снижению себестоимости материала, а также повышает его потенциал к биоразложению при утилизации в грунте.

Целью настоящего исследования являлась оценка влияния пластификаторов различного состава на физико-механические свойства ПКМ, полученных на основе ПВХ и древесной муки, а также оценка динамики их биоразложения в активном грунте.

Экспериментальная часть

В качестве полимерной матрицы для композиционного материала в настоящей работе был использован поливинилхлорид марки СИ-67 (ПВХ СИ-67, ТУ 2212-012-46696320-2008). В качестве пластификаторов использовались диметилфталат (ДМФ, ГОСТ 8728-88), дибутилфталат (ДБФ, ГОСТ-8728-77), диоктилтерефталат (ДОТФ, ТУ 2493-003-641238436-2013) и трихлорэтилфосфат (ТХЭФ, CAS 115-96-8). В качестве лубриканта применялся полиэтиленовый воск ПВ-200 (ТУ 201610-001-26924977-2018). В качестве наполнителя была использована древесная мука марки 180 (ДМ-180). Рецептуры композиционных материалов, исследованных в настоящей работе представлены в таблице 1.

Смешение компонентов ПКМ производилось на лабораторном одношнековом экструдере при температуре 170 °С. Полученные композиции охлаждались до комнатной температуры. После этого методом горячего прессования при температуре 170 °С и давлении 5 МПа были получены образцы композитов в виде плит толщиной 4 мм. Из полученных плит изготавливались стандартные образцы для испытаний физико-механических свойств.

Таблица 1 – Рецепттура компонентов ПКМ

Номер образца композита	Пластификатор	Доля компонента в образце композита, мас. %			
		ПВХ	ДМ-180	Пластификатор	Воск
1	-	49,3	49,3	0,0	1,4
2	ДМФ	44,8	44,8	9,0	1,4
3		42,9	42,9	12,9	1,3
4		41,2	41,2	16,5	1,1
5	ДБФ	44,8	44,8	9,0	1,4
6		42,9	42,9	12,9	1,3
7		41,2	41,2	16,5	1,1
8	ДОТФ	44,8	44,8	9,0	1,4
9		42,9	42,9	12,9	1,3
10		41,2	41,2	16,5	1,1
11	ТХЭФ	44,8	44,8	9,0	1,4
12		42,9	42,9	12,9	1,3
13		41,2	41,2	16,5	1,1

Оценка способности образцов ПКМ к биоразложению производилась по величине потери массы после выдержки в активном грунте, а также по изменению (падению) таких физико-механических свойств материала, как прочность при изгибе и ударная вязкость [10]. Для проведения эксперимента был подготовлен грунт активированный микробиологический препаратом «Тамир» (ТУ 9291-002-70213832-2007) – 1 об. %. Перед проведением эксперимента активный грунт выдерживался при комнатной температуре в течение 21 суток. Во время проведения эксперимента влажность грунта поддерживалась на уровне 30 мас. %.

Стандартный образец для испытаний в активном грунте представлял собой прямоугольную пластину размерами 15×10×5 мм. Перед экспонированием в грунте образцы композитов высушивались в сушильном шкафу при температуре 105 °С до постоянной массы. После чего погружались в активный грунт на глубину не менее 2 см. Через фиксированные промежутки времени образцы композитов извлекались из грунта, тщательно очищались и промывались этиловым спиртом, а затем высушивались до постоянной массы, после чего определялось изменение массы (потеря) относительно исходных значений образцов и их физико-механические свойства.

Результаты

Результаты испытаний физико-механических свойств образцов ПКМ представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-механические свойства полученных композитов

Свойство	Номер образца композита						
	1	2	3	4	5	6	7
Плотность, кг/м ³	1470	1232	1284	1274	1392	1299	1178
Твердость, МПа	118,1	106,2	35,8	21,4	36,4	22,4	11,9
Число упругости, %	67,1	65	55,1	57,8	53,7	58,1	66,6
Пластичность, %	32,9	35	44,9	42,2	46,3	41,9	33,4
Модуль упругости при сжатии, МПа	1447,9	1290,1	406,7	208,6	415,0	221,3	92,7
Прочность при изгибе, МПа	73,3	66,2	24,3	15	24,6	15,6	8,7
Ударная вязкость кДж/м ²	4,2	3,9	4,3	5,2	6,6	7,2	11,2
Водопоглощение за 24 ч, %	0,8	0,7	0,9	1,1	1,1	1,1	1,4
Водопоглощение за 7 суток, %	2	1,6	2,2	2,6	2,6	2,5	3,5
Водопоглощение за 30 суток, %	3,9	3,5	4,5	5,3	5,4	5,2	6,2
Свойство	Номер образца композита						
	8	9	10	11	12	13	-
Плотность, кг/м ³	1409	1329	1274	1286	1142	1235	
Твердость, МПа	57,4	34,7	16,8	69,1	83,5	56,8	
Число упругости, %	59,6	60,0	54,9	60,9	73,2	61,7	
Пластичность, %	40,4	40,0	45,1	39,1	26,8	38,3	
Модуль упругости при сжатии, МПа	712,2	390,1	150,7	873,1	1060,4	703,1	
Прочность при изгибе, МПа	37,6	23,5	12,0	44,7	53,2	37,2	
Ударная вязкость кДж/м ²	6,5	6,7	9,8	4	5,1	7,6	
Водопоглощение за 24 ч, %	0,9	1,1	1,3	1,2	1,2	1,1	
Водопоглощение за 7 суток, %	2,3	2,4	2,8	2,6	2,5	2,7	
Водопоглощение за 30 суток, %	4,7	4,9	5,4	5,1	4,9	5,3	

С увеличением доли пластификатора в композите до 16,5 мас. % возрастают показатели ударной вязкости и водопоглощения композитов за 30 суток (рисунок 1) и уменьшается их прочность при изгибе (рисунок 2). На величины этих показателей оказывают влияние вид пластификатора и его доля в композите.

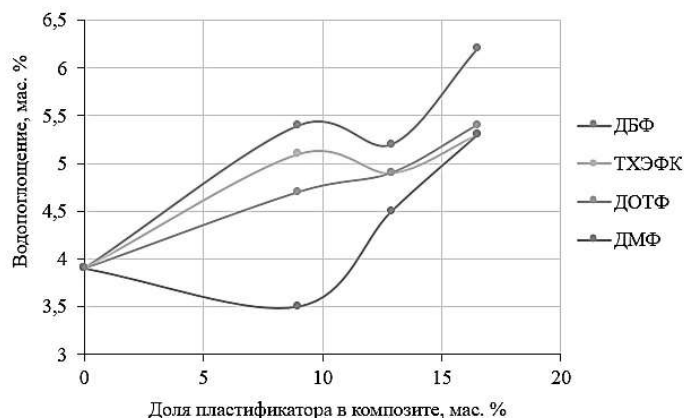


Рис. 1. Зависимость водопоглощения за 30 суток композитов от типа пластификатора и его доли

Крайними членами ряда влияния пластификаторов на физико-механические свойства композитов с полимерной фазой ПВХ являются дибутилфталат (ДБФ) и диметилфталат (ДМФ).

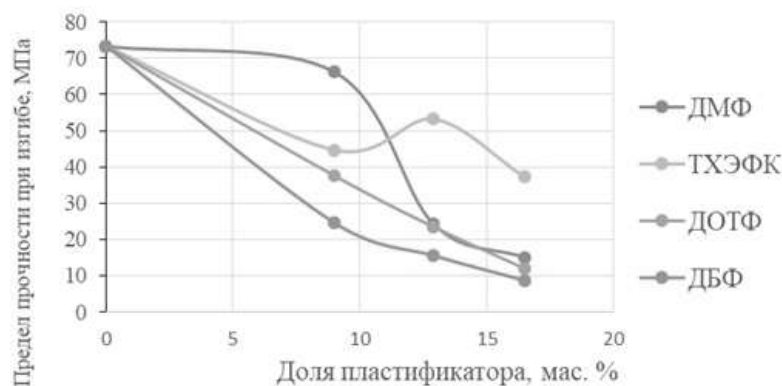


Рис. 2. Зависимости прочности при изгибе от типа пластификатора и его доли

Наибольшие величины ударной вязкости и водопоглощения демонстрируют композиты с пластификатором дибутилфталатом (ДБФ), а наименьшие – с пластификатором диметилфталатом (ДМФ). Эти вещества находятся в противоположных концах ряда влияния пластификаторов на потерю массы образцов композитов при их выдержке в активном грунте в течение 120 суток (рисунок 3).

Возможно, что одна из причин эффекта влияния ДБФ и ДМФ на водопоглощение и потерю массы композитов при выдержке в активированном грунте связана с их способностью растворяться в воде и миграцией из композита в воду и грунт.



Рис. 3. Зависимости потери массы композита (при выдержке в активном грунте 120 суток) от типа пластификатора и его доли

При выдержке композитов в активном грунте 120 суток вид пластификатора и его доля в композите тоже оказывают заметное влияние на изменения их некоторых физико-механических свойств. Если у композита без пластификаторов ударная вязкость снижается на 82,2 %, а прочность при изгибе - на 52,8 % (рисунок 4), то у композитов с пластификаторами проявляются другие тенденции с различными лидерами среди пластификаторов для конкретного свойства (рисунки 5 и 6).

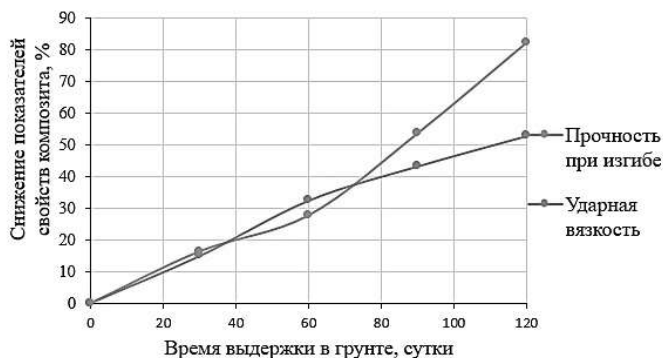


Рис. 4. Зависимости уменьшения показателей свойств композита с полимерной фазой ПВХ без пластификатора от времени выдержки в активном грунте

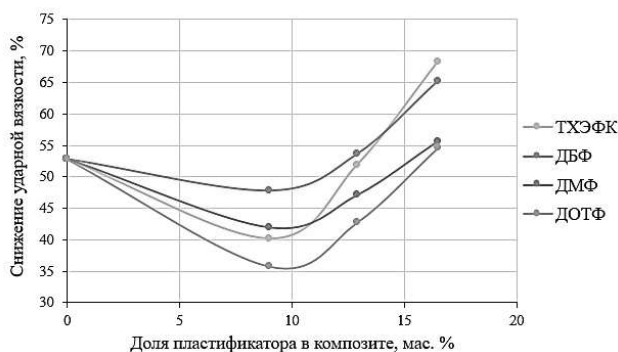


Рис. 5. Зависимости уменьшения ударной вязкости композитов (после их выдержки в активном грунте 120 суток) от типа пластификатора и его доли

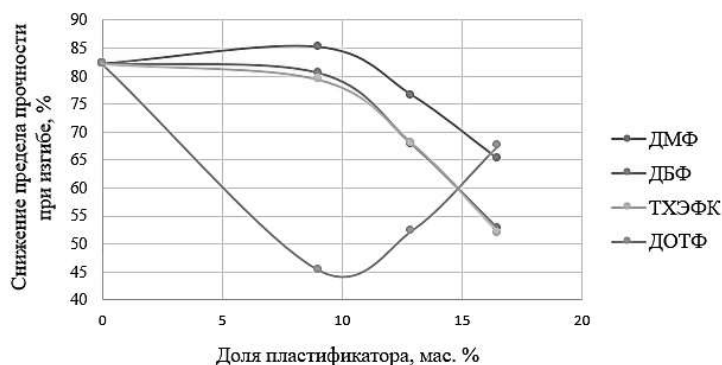


Рис. 6. Зависимости уменьшения прочности при изгибе композитов (после их выдержки в активном грунте 120 суток) от типа пластификатора и его доли

Исходя из полученных результатов можно считать, что вид и доля пластификаторов в композите с полимерной фазой ПВХ может быть одним из инструментов регулирования скорости их биоразложения в грунте и изменения показателей их физико-механических свойств при погружении в грунт.

Заключение

В ходе исследования была получена серия образцов полимерных композиционных материалов на основе ПВХ и древесной муки с использованием в качестве пластификаторов диметилфталата, дибутилфталата, диоктилтерефталата и трихлорэтилфосфата. Для полученных образцов были

определены зависимости ключевых физико-механических свойств от содержания пластификатора в полимерной фазе, а также оценена динамика биоразложения в активном грунте.

Установлено, что увеличение содержания изученных пластификаторов в материале приводит к снижению показателей твердости, модуля упругости при сжатии, а также прочности при изгибе. В тоже время наблюдалось увеличение показателей водопоглощения и ударной вязкости (прочности). Присутствие в композиции всех типов рассмотренных пластификаторов ускоряет процессы биоразложения ПКМ в грунте.

Проведенные исследования показывают, что изменение типа и содержания пластификатора в композите с полимерной фазой ПВХ может быть эффективным способом регулирования скорости их биоразложения в грунте и изменения показателей их физико-механических свойств при погружении в грунт.

Литература

1. Салмерс Д. Поливинилхлорид / Д. Салмерс; перевод с английского под редакцией Заикова Г.Е.. – СПб: Профессия, 2007 – 736 с.
2. Zhang, Z. Research progress of novel bio-based plasticizers and their applications in poly(vinyl chloride) / Z. Zhang, P. Jiang, D. Liu, // J Mater Sci. – V. 56. P. 10155-10182 (2021).
3. Wypych G. PVC Formulary / G. Wypych. –ChemTec Publishing, 2020. — 419 p.
4. Schiller M. PVC Stabilizers/Additive / M. Schiller. – Hanser, 2013. – 414 p.
5. Wilkes C.E. PVC handbook / C.E. Wilkes, J. W. Summers, C.A. Daniels, M.T. Berard. – Hanser, 2005. – 701 p.
6. Wypych G. Handbook of Plasticizers / G. Wypych. – ChemTec Publishing, 2017. – 870 p.
7. Klason C. The efficiency of cellulosic fillers in common termoplastics / C. Klason, Kubat and H.E.Stromvall // Filling without processing aids or coupling agents. International J. of Polymeric materials. – Part 1. – 1994. – PP. 159-187.
8. Глухих В.В. Получение и применение изделий из древесно-полимерных композитов с термопластичными полимерными матрицами: уч. Пособие / В.В. Глухих, Н.М. Мухин, А.Е. Шкуро, В.Г. Бурындин. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2014. – 84 с.
9. Мусин И.Н. Влияние добавок на свойства древесно-полимерных композитов / И.Н. Мусин, И.З. Файзуллин, С.И. Вольфсон // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т.15. – №. 24. – С. 97-99.
10. Мухин Н.М. Определение реологических и физико-механических свойств полимерных материалов: метод.указ. / Н.М. Мухин, В.Г. Бурындин. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2011. – 32 с.

© **Незнанов В.А.** – студент кафедры технологии ЦБП и переработки полимеров, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (ФГБОУ ВО «УГЛТУ»), e-mail: neznanovva@m.usfeu.ru; **Шкуро А.Е.** – канд.техн.наук, доцент кафедры технологии ЦБП и переработки полимеров, ФГБОУ ВО «УГЛТУ», e-mail: shkuroae@m.usfeu.ru; **Глухих В.В.** – д-р техн. наук, профессор кафедры технологии ЦБП и переработки полимеров, ФГБОУ ВО «УГЛТУ», e-mail: gluhihvv@m.usfeu.ru; **Кривоногов П.С.** – канд. техн. наук, доцент кафедры технологии ЦБП и переработки полимеров, ФГБОУ ВО «УГЛТУ», e-mail: krivonogovp.s@m.usfeu.ru.

UDC 678

STUDY OF THE PLASTICIZERS INFLUENCE ON THE POLYVINYLCHLORIDE AND WOOD FLOUR-BASED POLYMERIC COMPOSITE'S PROPERTIES

V.A. Neznanov, V.V. Glukhikh, A.E. Shkuro, P.S. Krivonogov

In this work, the possibility of using waste PVC ceiling panels as a polymer matrix to produce wood-polymer composites was investigated. Suspension polyvinyl chloride brand SI-67 and polyvinyl chloride obtained by grinding and subsequent granulation of out-of-service ceiling panels were used as polymer matrices. Phthalic acid dibutyl ester (dibutyl phthalate) was used as a plasticizer. For samples of the obtained composites, the values of such physical and mechanical properties as Brinell hardness, compressive modulus, flexural strength, elasticity number, plasticity, impact strength (strength), as well as water absorption after 24 hours and seven

days of exposure in an aqueous medium were determined. Experimental-statistical dependences of the indicators of bending strength, impact strength, and water absorption on This study is devoted to assessing the effect of various types of plasticizers on the properties of polymer composite materials (PCM) based on polyvinyl chloride and wood flour. The aim of the work was to determine the effect of the type and content of the plasticizer on the physical and mechanical properties of PCM and the dynamics of biodegradation of PCM samples in the soil. The effect of the following plasticizers has been studied: dimethyl phthalate, dibutyl phthalate, dioctyl terephthalate, and trichloroethylene phosphate. The biodegradability of PCM samples was assessed by the value of weight loss after exposure to active soil and the change (decrease) in flexural strength and impact strength. For samples of the obtained composites, the values of indicators of key physical and mechanical properties were determined: Brinell hardness, contact modulus of elasticity in compression, flexural strength, impact strength, and water absorption after 24, 7, and 30 days of exposure hours. It has been established that an increase in the content of the studied plasticizers in the material leads to a decrease in hardness, compressive modulus, and bending strength. At the same time, an increase in water absorption and impact strength (strength) was observed. The presence in the composition of all types of the considered plasticizers accelerates the processes of PCM biodegradation in the soil. The conducted studies show that changing the type and content of a plasticizer in a composite with a PVC polymer phase can be an effective way to control the rate of their biodegradation in soil and change their physical and mechanical properties when immersed in soil.

Keywords: composite, PCM, polyvinyl chloride, PVC, plasticizer, physical and mechanical properties, biodegradation.

References

1. Salmers D. Polyvinyl chloride / D. Salmers; translation from English, edited by Zaikov G.E. - St. Petersburg: Profession, 2007 - 736 p.
2. Zhang, Z. Research progress of novel bio-based plasticizers and their applications in poly(vinyl chloride) / Z. Zhang, P. Jiang, D. Liu, // J Mater Sci. - V. 56. P. 10155-10182 (2021).
3. Wypych G. PVC Formulary / G. Wypych. - ChemTec Publishing, 2020. - 419 p.
4. Schiller M. PVC Stabilizers/Additive / M. Schiller. - Hanser, 2013. - 414 p.
5. Wilkes C.E. PVC handbook / C.E. Wilkes, J.W. Summers, C.A. Daniels, M.T. Berard. - Hanser, 2005. - 701 p.
6. Wypych G. Handbook of Plasticizers / G. Wypych. - ChemTec Publishing, 2017. - 870 p.
7. Klason C. The efficiency of cellulosic fillers in common thermoplastics / C. Klason, Kubat and H.E. Stromvall // Filling without processing aids or coupling agents. International J. of Polymeric materials. - Part 1. - 1994. - PP. 159-187.
8. Glukhikh V.V. Obtaining and application of products from wood-polymer composites with thermoplastic polymer matrices: Uch. Allowance / V.V. Glukhikh, N.M. Mukhin, A.E. Shkuro, V.G. Buryndin. - Yekaterinburg: UGLTU, 2014. - 84 p.
9. Musin I.N. Influence of additives on the properties of wood-polymer composites / I.N. Musin, I.Z. Faizullin, S.I. Wolfson // Bulletin of the Kazan Technological University. - 2012. - V.15. - no. 24. - S. 97-99.
10. Mukhin N.M. Determination of rheological and physico-mechanical properties of polymeric materials: metod.ukaz. / N.M. Mukhin, V.G. Buryndin. - Yekaterinburg: UGLTU, 2011. - 32 p.

©Neznanov V.A. – student of the Department of PPI and Polymer Processing, Ural State Forest Engineering University (USFEU), e-mail: neznanovva@m.usfeu.ru; Shkuro A.E. – PhD in Engineering sciences, Associate Professor of the Department of PPI and Polymer Processing, USFEU, e-mail: shkuroae@m.usfeu.ru; Glukhikh V.V. – Grand PhD in Engineering sciences, Professor of the Department of PPI and Polymer Processing, USFEU, e-mail: gluhihvv@m.usfeu.ru; Krivonogov P.S. – PhD in Engineering sciences, Associate Professor of the Department of PPI and Polymer Processing, USFEU, e-mail: shkuroae@m.usfeu.ru.