

Исследование свойств композитов на основе ацетата целлюлозы, полиакрилата натрия и измельченных стеблей подсолнечника

К.А. Усова^a, А.Е. Шкуро^b, П.С. Захаров^c, В.В. Глухих^d

Уральский государственный лесотехнический университет, Сибирский тракт, 37, Екатеринбург, Россия

^a usovaka@m.usfeu.ru, ^b shkuroae@m.usfeu.ru, ^c zazaver@mail.ru, ^d gluhihvv@m.usfeu.ru

^a <https://orcid.org/0000-0002-6237-955X>, ^b <https://orcid.org/0000-0002-0469-2601>,

^c <https://orcid.org/0000-0003-4016-2269>, ^d <https://orcid.org/0000-0001-6120-1867>

Статья поступила 02.12.2024, принята 27.12.2024

В аграрном секторе существует потребность в биоразлагаемых материалах, обладающих способностью удерживать влагу. Эти материалы помогают увеличить срок действия водорастворимых удобрений, сохраняя их в почве на протяжении периода своего разложения. В качестве основы для таких композитов рассматривается ацетат целлюлозы. Он характеризуется высокими физико-механическими свойствами и способностью к разложению под воздействием биологических факторов, что делает его подходящим для использования в сельском хозяйстве. Водоудерживающие свойства композиционных материалов достигаются за счет введения в состав матрицы биоразлагаемого полимера специальных добавок – суперсорбентов. Эти добавки способны удерживать большие объемы воды и изменять структуру почвы путем связывания ее частиц. Одним из распространенных типов суперсорбентов является полиакрилат натрия (ПАН). Благодаря высокой способности сердцевин стеблей подсолнечника к водопоглощению этот материал может быть использован при производстве композитов в качестве природного сорбента. Были определены закономерности влияния содержания ПАН и стеблей подсолнечника на физико-механические свойства, водопоглощение и разложение в грунте композитов на основе ацетата целлюлозы. Установлено, что совместное использование ПАН и стеблей подсолнечника позволяет получать композиты с высоким потенциалом к биодegradации и водоудерживающими свойствами. Такие композиты представляют собой перспективный материал для производства биоразлагаемой тары с эффектом подкормки. Разработаны экспериментально-статистические модели влияния содержания ПАН и стеблей подсолнечника на свойства материала, которые могут быть использованы для регулирования свойств изделий из композитов на основе ацетата целлюлозы.

Ключевые слова: композит; полиакрилат натрия; стебли подсолнечника; ацетат целлюлозы; прессование; биоразлагаемые материалы; пластификаторы; триацетин; трибутилфосфат.

Composites based on cellulose acetate, sodium polyacrylate and crushed sunflower stems

K.A. Usova^a, A.E. Shkuro^b, P.S. Zakharov^c, V.V. Glukhikh^d

Ural State Forest Engineering University; 37, Sibirsky Trakt St., Ekaterinburg, Russia

^a usovaka@m.usfeu.ru, ^b shkuroae@m.usfeu.ru, ^c zazaver@mail.ru, ^d gluhihvv@m.usfeu.ru

^a <https://orcid.org/0000-0002-6237-955X>, ^b <https://orcid.org/0000-0002-0469-2601>,

^c <https://orcid.org/0000-0003-4016-2269>, ^d <https://orcid.org/0000-0001-6120-1867>

Received 02.12.2024, accepted 27.12.2024

In the agricultural sector, there is a need to use biodegradable materials that have the ability to retain moisture. These materials help to increase the life of water-soluble fertilizers, preserving them in the soil throughout the entire period of decomposition. Cellulose acetate is considered as a basis for such composites. This polymer is characterized by high physical and mechanical properties and the ability to decompose under the influence of biological factors, which make it suitable for use in agriculture. Water-retaining properties of composite materials are achieved by introducing special additives, namely, supersorbents, into the biodegradable polymer matrix. These additives are able to retain large volumes of water and change the structure of the soil by binding its particles. One of the common types of supersorbents is sodium polyacrylate (PAN). Due to the high capacity of sunflower stem cores for water absorption, this material can be used in the production of composites as a natural sorbent. The patterns of influence of PAN and sunflower stems on physical and mechanical properties, water absorption and decomposition of cellulose acetate-based composites in soil are determined. It has been found that the combined use of PAN and sunflower stems allows obtaining composites with high biodegradation potential and water-retaining properties. Such composites are a promising material for the production of biodegradable containers with a fertilizing effect. Experimental and statistical models of the influence of PAN and sunflower stems on the properties of the material are developed, which can be used to regulate the properties of products made of cellulose acetate-based composites.

Keywords: composite, sodium polyacrylate, sunflower stems, cellulose acetate, pressing, biodegradable materials, plasticizers, triacetin, tributyl phosphate.

Введение. Подсолнечник масличный (*Helianthus annuus*) – однолетнее растение из семейства Астровые (*Asteraceae*). Это широко распространенное в сельском хозяйстве растение, поскольку масло, получаемое из его семян, пользуется большим спросом во всем мире. Поля, занятые подсолнечником, занимают более 16 % от общей площади всех сельскохозяйственных угодий на Земле [1]. В России подсолнечник выращивается на территориях, превышающих 9 млн га [2]. Основное внимание промышленных предприятий сосредоточено на семенах подсолнечника, в то время как стебли растения в основном не используются.

Известно, что кора и сердцевина стеблей подсолнечника существенно различаются по клеточному составу, морфологии (пористости), и, как следствие, свойствам [3, 4]. Кора характеризуется высокой жесткостью, а сердцевина – гидрофильностью. Масса образца коры после экспонирования в водной среде может в несколько десятков раз превышать его начальную массу. Очевидно, что такие характеристики сердцевины стеблей подсолнечника являются предпосылкой использования этого материала в качестве основы для производства сорбентов. Так, в работе [4] была проанализирована зависимость между сорбционными свойствами, условиями обработки и структурой сорбента, полученного из сердцевины стеблей подсолнечника. Испытания показали, что стебли подсолнечника обладают высокой эффективностью в качестве сорбента и способны к регенерации, что позволяет использовать их многократно.

Возможность применения стеблей подсолнечника в качестве частичной или полной замены минеральных заполнителей в производстве бетона подтверждается результатами многочисленных исследований [4–6]. Показано, что использование необработанных стеблей приводит к снижению прочности бетонов, а их предварительная обработка (например, силикатом натрия), позволяет получить материалы с высокими эксплуатационными характеристиками, за счет улучшения адгезионного взаимодействия между компонентами бетонной смеси.

Перспективным направлением использования стеблей подсолнечника представляется применение в качестве наполнителей для полимерных композитов. Композиты со стеблями подсолнечника демонстрируют высокие теплоизоляционные [7] и шумоизоляционные свойства [8]. Показана [9] возможность использования стеблей подсолнечника в качестве наполнителей для композитов на основе поливинилхлорида. Установлено, что при увеличении доли стеблей подсолнечника наблюдается рост плотности, пластичности и способности материала впитывать воду. Хотя в плане жесткости композиты со стеблями подсолнечника уступают аналогам на основе ПВХ и древесной муки, они демонстрируют гораздо более высокую ударную прочность [9].

Сегодня в агрономической сфере растет потребность в биоразлагаемых материалах с возможностью удержания влаги [10]. Такие материалы способны выступать в качестве носителей для водорастворимых удобрений, а также продлевать их действие и регулировать темпы их эмиссии в почву в течение всего периода собственной биодеградации [11]. Синтетические биоразлагаемые полимеры достаточно дороги, что яв-

ляется значимым препятствием для их применения в данной области человеческой деятельности. Существенно снизить стоимость биоразлагаемого полимера можно при введении в его состав наполнителей растительного происхождения. Грамотный выбор типа наполнителя и степени наполнения полимера может привести, помимо прочего, к увеличению как вододерживающих свойства материала, так и его потенциала к разложению под действием биологических факторов. Использование ацетата целлюлозы в качестве полимерной матрицы для таких материалов обусловлено его высокими физико-механическими свойствами и потенциалом к биоразложению [12], широкой доступностью, возобновляемостью сырьевой базы и достаточно низкой стоимостью по сравнению с синтетическими биоразлагаемыми полимерами.

Водоудерживающие свойства композиционных материалов обеспечиваются введением в состав матрицы биоразлагаемого полимера специальных добавок – суперсорбентов. Такие добавки могут удерживать значительные объемы воды и изменять структуру почвы путем связывания ее частиц [13, 14]. К распространенным типам суперсорбентов относится полиакрилат натрия (ПАН). Благодаря известной способности сердцевины стеблей подсолнечника к высокому водопоглощению, этот лигноцеллюлозный ресурс может быть использован при получении композиционных материалов в качестве природного суперсорбента.

Основной целью исследования было определение влияния содержания ПАН и стеблей подсолнечника на свойства композитов на основе пластифицированного АЦ. В рамках исследования планировалось получить серию образцов с разным соотношением ПАН и стеблей подсолнечника, с целью определения их механические и водоудерживающих свойства, а также потенциала к разложению в грунте под действием биологических факторов.

Экспериментальная часть. В качестве полимерной матрицы использовали ацетат целлюлозы (АЦ, ТУ 6-05-943-75), в качестве пластификаторов – триацетин (ТУ 2435-070-00203521-2001) и трибутилфосфат (ТБФ, ТУ 2435-305-05763458-2001). Состав полимерной фазы оставался постоянным во всех экспериментах и может быть представлен следующим массовым соотношением компонентов: АЦ – 66,7 %, триацетин – 26,7, ТБФ – 6,6 %. В качестве наполнителя применялись стебли подсолнечника, предоставленные Уральским государственным аграрным университетом. Стебли высушивались в сушильном шкафу до постоянной массы при 105 ± 2 °С, после чего их измельчали до состояния порошка с диаметром частиц не более 0,7 мм. Для удержания влаги в материале использовался полиакрилат натрия (ПАН, ТУ-2219-501-00208947-2008).

Чтобы оценить влияние содержания ПАН (Z_1) и стеблей подсолнечника (Z_2) на свойства композитов с полимерной фазой пластифицированного АЦ, был проведен двухфакторный эксперимент по методике Бокса-Уилсона. Составы композитов, полученные в соответствии с выбранным планом, представлены в табл. 1. Композиты были получены вальцеванием при 160–170 °С. Образцы для испытаний формировались горячим прессованием при 170 °С.

Таблица 1. Рецептуры композитов

№ образца	Содержание компонентов, мас. %		
	Пластифицированный АЦ	ПАН (Z ₁)	Стебли подсолнечника (Z ₂)
1	100	2,9	57,3
2	100	2,9	92,7
3	100	17,1	57,3
4	100	17,1	92,7
5	100	0,0	75,0
6	100	20,0	75,0
7	100	10,0	50,0
8	100	10,0	100,0
9	100	10,0	75,0

У композитов выявляли твердость по Бринеллю (ГОСТ 4670-67), модуль упругости при сжатии (ГОСТ 9550-81), прочность при изгибе (ГОСТ 17036-7) и водопоглощение (ГОСТ 19592), ударную вязкость (ГОСТ 14235-69). Пластичность определялась как отношение пластической деформации к полной после вдавливания в образец индентора твердомера БТШПСР У42 при нагрузке 36,5 кгс. Биостойкость материалов рассчитывалась по методике, приведенной в работе [15], по потере образцами массы после выдержки в грунте в течение. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Анализ результатов. Композиты на основе пластифицированного АЦ с добавками ПАН и измельченными стеблями подсолнечника демонстрируют высокий уровень механических характеристик, сопоставимый с уровнем ангелов на основе поливинилхлорида и превосходящий показатели композитов на основе ПЭВП и древесной муки (ДПК).

Для установления закономерностей влияния содержания ПАН (Z₁) и стеблей подсолнечника (Z₂) на свойства композитов был проведен регрессионный анализ. Полученные экспериментально-статистические модели свойств композитов и соответствующие им параметры регрессионной статистики приведены в табл. 3. Графические интерпретации разработанных моделей представлены на рисунках 1–8.

Плотность (см. рис.1) и прочность при изгибе (см.

Таблица 2. Результаты определения свойств образцов композитов

№ опыта	Плотность, кг/м ³	Твердость, МПа	Модуль упругости при сжатии, МПа	Пластичность, %	Прочность при изгибе, МПа	Ударная вязкость кДж/м ²	Водопоглощение за 7 суток, %	Потеря массы после за 90 суток выдержки, %
1	1063	39,5	915	61,5	43,3	10,6	27,4	15,0
2	1497	69,2	544	54,8	39,5	17,9	31,0	13,8
3	1111	56,9	1061	52,6	41,3	19,3	77,9	31,9
4	1539	31,1	1117	28,8	43,2	21,5	62,0	63,7
5	1377	41,9	652	38,7	44,4	20,3	50,5	33,1
6	1331	52,8	944	45,6	51,7	20,4	45,9	33,5
7	1497	57,2	1090	55,0	50,9	24,6	32,4	24,4
8	1033	58,3	1204	53,6	44,6	19,6	56,8	45,9
9	1455	61,1	684	60,9	46,9	19,3	25,4	15,3

рис. 2) образцов изучаемых композитов увеличиваются и практически не зависят от содержания ПАН. В тоже время влияние содержания стеблей подсолнечника на эти показатели носит экстремальный характер. Предложенные математические модели предсказывают максимальную плотность для композитов, содержащих порядка 75 мас. ч., и максимальную прочность при изгибе для композитов, содержащих 70 мас. ч. измельченных стеблей подсолнечника. При дальнейшем увеличении содержания наполнителя показатели плотности и прочности при изгибе существенно уменьшаются. Рост этих показателей при относительно небольшом количестве введенного наполнителя объясняется его равномерным распределением в полимерной фазе, высокой собственной плотностью и прочностью при изгибе. При превышении степени наполнения порядка 70-75 мас. ч. на АЦ 100 мас. ч. равномерность распределения частиц наполнителя в полимерной фазе начинает снижаться. Вместе с этим растет размер кластеров наполнителя и количество дефектов в структуре материала, эффективность распределения изгибающих нагрузок между матрицей и наполнителем снижается, плотность и прочность композита уменьшаются.

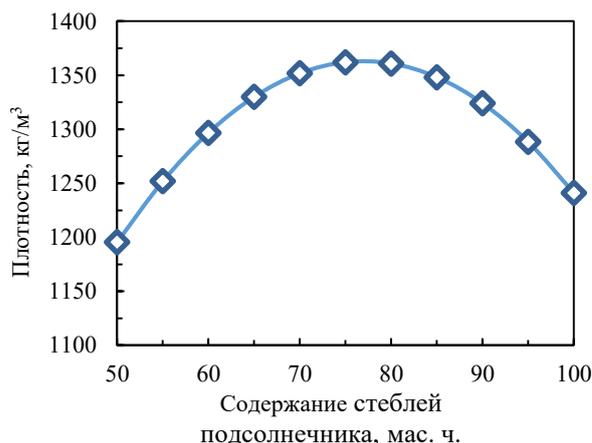
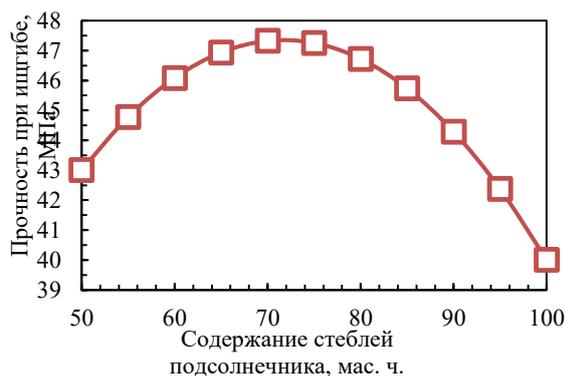


Рис. 1. Зависимость плотности от содержания в композите измельченных стеблей подсолнечника

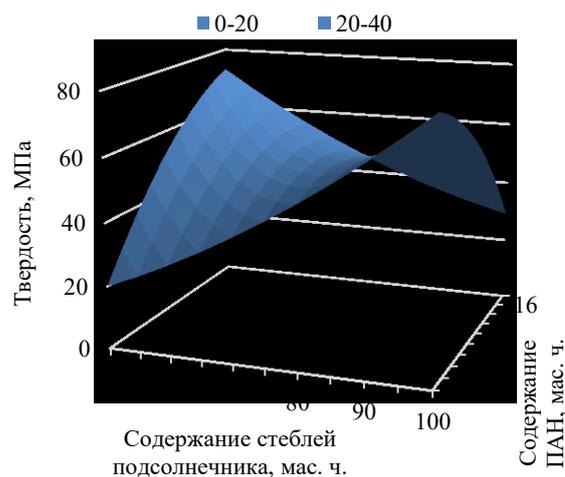
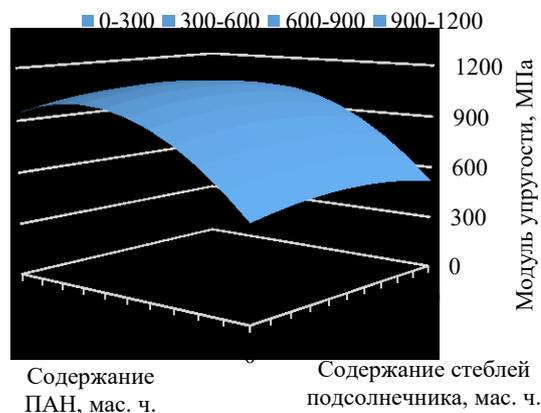
Таблица 3. Экспериментально-статистические модели влияния содержания ПАН (Z_1) и стеблей подсолнечника (Z_2) на свойства композитов

Свойство	Регрессионная зависимость (Y_i)	Статистические параметры регрессионной зависимости Y_i для доверительной вероятности 0,95		
		Значение F	Коэффициент детерминации R^2	Стандартная ошибка
Плотность, г/см ³ (Y_1)	$Y_1 = 35,41 \cdot Z_2 - 0,23 + Z_2^2$	0,001	0,98	207 кг/м ³
Твердость по Бринеллю, МПа (Y_2)	$Y_2 = 10,49 \cdot Z_1 - 0,1 \cdot Z_1^2 + 0,008 \cdot Z_2^2 - 0,115 \cdot Z_1 \cdot Z_2$	0,001	0,99	7,2 МПа
Модуль упругости при сжатии, МПа (Y_3)	$Y_3 = 71,19 \cdot Z_1 + 15,54 \cdot Z_2 - 2,51 \cdot Z_1^2 - 0,103 \cdot Z_2^2$	0,002	0,97	235 МПа
Пластичность, % (Y_4)	$Y_4 = 3,34 \cdot Z_1 + 1,49 \cdot Z_2 - 0,19 \cdot Z_1^2 - 0,011 \cdot Z_2^2$	0,001	0,98	9,3 %
Прочность при изгибе, МПа (Y_5)	$Y_5 = 1,32 \cdot Z_2 - 0,0092 \cdot Z_2^2$	0,001	0,99	4,6 МПа
Ударная вязкость, кДж/м ² (Y_6)	$Y_6 = 0,254 \cdot Z_2 + 0,045 \cdot Z_1^2 - 0,009 \cdot Z_1 \cdot Z_2$	0,0008	0,95	5,5 кДж/м ²
Водопоглощение за 7 суток, % (Y_7)	$Y_7 = 1,98 \cdot Z_1 + 0,004 \cdot Z_2^2$	0,001	0,88	18,9 %
Потеря массы после выдержки в грунте в течение 30 суток, % (Y_8)	$Y_8 = 0,238 \cdot Z_2 + 0,017 \cdot Z_1 \cdot Z_2$	0,0005	0,91	11,9 %

**Рис. 2.** Зависимость прочности при изгибе от содержания в композите измельченных стеблей подсолнечника

Увеличение содержания измельченных стеблей подсолнечника в составе композитов на основе пластифицированного АЦ приводит к росту твердости материала вследствие высокой твердости коры стеблей, содержащих большое количество лигнина (см. рис. 3). При низком содержании наполнителя (50 мас. ч.) введение ПАН в состав материала также приводит к росту показателя твердости, однако при максимальной степени наполнения (100 мас. ч.) эффект меняется на противоположный. Негативное влияние ПАН при высоком уровне содержания лигноцеллюлозного наполнителя очевидно связано с невозможностью его равномерного распределения в полимерной фазе АЦ.

Изменения содержания ПАН и стеблей подсолнечника в материале влияет на показатели модуля упругости при сжатии (см. рис. 4) и пластичности (см. рис. 5) схожим образом. Добавление ПАН снижает жесткость и пластичность материала. Влияние измельченных стеблей подсолнечника на эти показатели относительно невелико, при этом максимальные значения рассматриваемых показателей наблюдаются при их содержании на уровне 75 мас. ч.

**Рис. 3.** Зависимость твердости по Бринеллю от содержания в композите ПАН и измельченных стеблей подсолнечника**Рис. 4.** Зависимость модуля упругости при сжатии от содержания в композите ПАН и измельченных стеблей подсолнечника

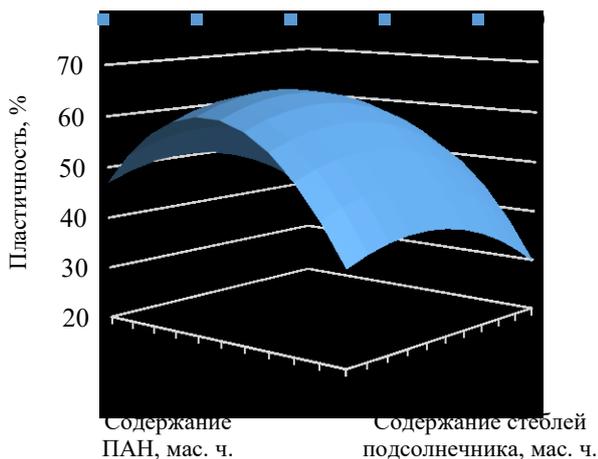


Рис. 5. Зависимость пластичности от содержания в композите ПАН и измельченных стеблей подсолнечника

Увеличение содержания как ПАН, так и стеблей подсолнечника приводит к росту ударной прочности материала (см. рис. 6). Присутствие в композите и более пластичного полиакрилата натрия позволяет равномерно распределять ударные нагрузки по всему объему материала. Положительный эффект стеблей подсолнечника основывается на волокнистой структуре этого наполнителя и на высоком содержании целлюлозы в сердцевинах стеблей. В целом материалы на основе АЦ, ПАН и стеблей подсолнечника демонстрируют высокий уровень ударной прочности, превосходящий как уровень композитов с полимерной фазой ПВХ и этим же наполнителем [9], так и ненаполненных ацетилцеллюлозных этролов.

Совместное использование ПАН и измельченных стеблей подсолнечника оказывает значительное влияние на водопоглощение (см. рис. 7) и показатель потери массы после выдержки в грунте в течение 90 суток (см. рис. 8) композитов на основе пластифицированного АЦ.

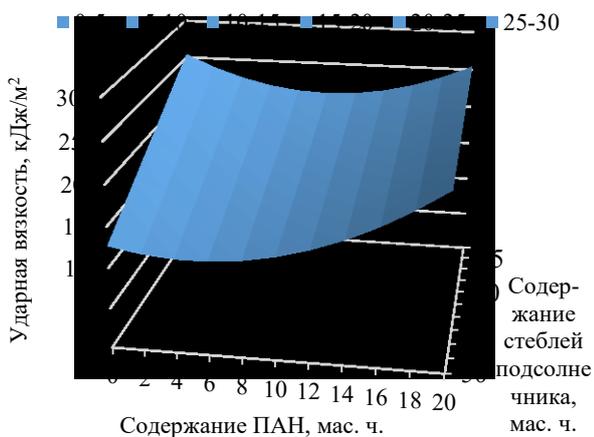


Рис. 6. Зависимость ударной вязкости от содержания в композите ПАН и измельченных стеблей подсолнечника

Примечательно, что при длительной (более 7 суток) выдержке в воде образцы композитов начинают разрушаться. Показатели водопоглощения за 7 суток выдержки и потери массы после выдержки в грунте воз-

растают пропорционально содержанию ПАН и измельченных стеблей подсолнечника в материале. Согласно разработанным экспериментально-статистическим моделям, при совместном использовании изучаемых добавок в рассмотренном интервале их содержаний можно увеличить водопоглощение материала за 7 суток до 80 %, а потерю массы после 90 суток выдержки в активном грунте – до 60 %

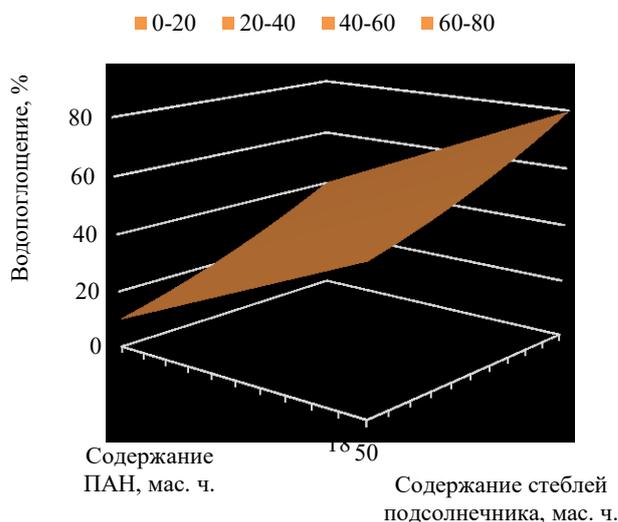


Рис. 7. Зависимость водопоглощения за 7 суток от содержания в композите ПАН и измельченных стеблей подсолнечника

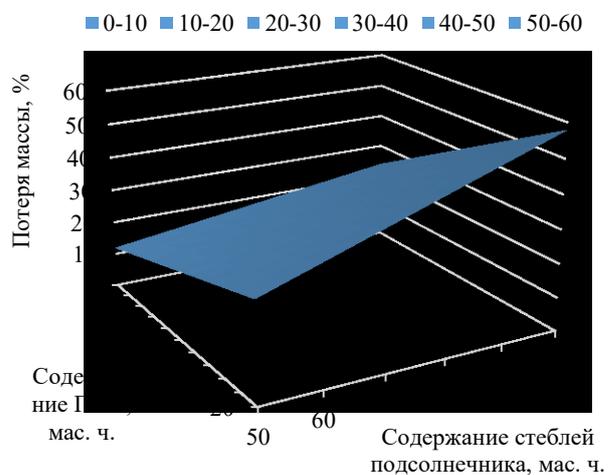


Рис. 8. Зависимость потери массы после выдержки в грунте в течение 90 суток от содержания в композите ПАН и измельченных стеблей подсолнечника

Таким образом, использование ПАН и стеблей подсолнечника в качестве добавок в пластифицированному АЦ позволяет получать композиты с высоким потенциалом к биоразложению и повышенным водопоглощением.

Заключение. В результате работы были установлены закономерности влияния содержания ПАН и стеблей подсолнечника в композитах на основе пластифицированного АЦ на их основные физико-механические свойства, водопоглощение и разложение в грунте.

Установлено, что совместное использование ПАН и стеблей подсолнечника в качестве добавок в пластифицированному АЦ позволяет получать композиты с высоким потенциалом к биodeградации и водоудерживающими свойствами. Такие композиты являются перспективными для применения в сельском хозяйстве,

в частности для производства биоразлагаемой тары с эффектом подкормки.

Разработаны экспериментально-статистические модели влияния содержания ПАН и стеблей подсолнечника на свойства материала. Предложенные модели могут быть использованы для регулирования свойств изделий из композитов на основе АЦ.

Литература

1. Sun S. Hygromechanical characterization of sunflower stems // *Industrial Crops and Products*. 2013. Vol. 46. P. 50-59.
2. В России ожидается рекордный урожай подсолнечника // Рамблер-финансы. [Электронный ресурс]. finance.rambler.ru/realty/46801690-v-rossii-ozhidaetsya-rekordnyy-urozhay-podsolnechnika (дата обращения 01.02.2022).
3. Ma X., Liu Y., Zhang Q. et al. A novel natural lignocellulosic biosorbent of sunflower stem-pith for textile cationic dyes adsorption // *Journ. of Cleaner Production*. 2022. Vol. 331. P. 129878. DOI 10.1016/j.jclepro.2021.129878
4. Brouard Y. Mechanical and hygrothermal behavior of clay – Sunflower (*Helianthus annuus*) and rape straw (*Brassica napus*) plaster bio-composites for building insulation // *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 161. P. 196-207.
5. Helepciuc C.M. Characterization of a lightweight concrete with sunflower aggregates // *Procedia Manufacturing*. 2018. Vol. 22. P. 154-159.
6. Nozahic V. Influence of sunflower aggregates surface treatments on physical properties and adhesion with a mineral binder // *Composites*. 2012. Vol. 43, Part A. P. 1837-1849.
7. Binici H. An environmentally friendly thermal insulation material from sunflower stalk, textile waste and stubble fibres // *Construction and Building Materials*. 2014. Vol. 51. P. 24-33.
8. Mati-Baouche N. Mechanical, thermal and acoustical characterizations of an insulating bio-based composite made from sunflower stalks particles and chitosan // *Industrial Crops and Products*. 2014. Vol. 58. P. 244-250.
9. Захаров П.С., Чирков Д.Д., Шкуро А.Е., Усова К.А., Биктимирова О.Е., Кривоногов П.С. Исследование свойств полимерного композиционного материала на основе поливинилхлорида и стеблей подсолнечника // *Вестн. Технологич. ун-та*. 2022. Т. 25, № 3. С. 51-56. DOI 10.55421/1998-7072_2022_25_3_51
10. Захаров П.С. Исследование свойств наполненных ацетилцеллюлозных этролов // *Вестн. Технологич. ун-та*. 2020. Т. 23, № 2. С. 50-53.
11. Крамаренко Е.Ю., Хохлов А.Р. // *Высокомолекуляр. соединения*. 2006. Т. 48, № 7. С. 1216-1240.
12. Ach A. Biodegradable Plastics Based on Cellulose Acetate // *Journ. of Macromolecular Science*. 1993. Vol. 30, Part A. P. 733-740.
13. Шкуро А.Е. Наполнители аграрного происхождения для древесно-полимерных композитов (обзор) // *Вестн. Казан. технологич. ун-та*. 2014. Т. 17, № 21. С. 160-163.
14. Браннон-Пеппас Л. *Технология абсорбирующих полимеров*. Ч. 1. Амстердам: Elsevier, 1990. 201 с.
15. Мичуров Д.М. Исследование физико-механических свойств композитов с полимерной фазой полилактида и кострой конопли // *Вестн. Технологич. ун-та*. 2024. № 1. С. 59-63. DOI: 10.55421/1998-7072_2024_27_1_59

References

1. Sun S. Hygromechanical characterization of sunflower stems // *Industrial Crops and Products*. 2013. Vol. 46. P. 50-59.
2. A record sunflower harvest is expected in Russia // *Rambler-finance*. [Electronic resource]. finance.rambler.ru/realty/46801690-v-rossii-ozhidaetsya-rekordnyy-urozhay-podsolnechnika (date of address 01.02.2022).
3. Ma X., Liu Y., Zhang Q. et al. A novel natural lignocellulosic biosorbent of sunflower stem-pith for textile cationic dyes adsorption // *Journ. of Cleaner Production*. 2022. Vol. 331. P. 129878. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.129878
4. Brouard Y. Mechanical and hygrothermal behavior of clay – Sunflower (*Helianthus annuus*) and rape straw (*Brassica napus*) plaster bio-composites for building insulation // *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 161. P. 196-207.
5. Helepciuc C.M. Characterization of a lightweight concrete with sunflower aggregates // *Procedia Manufacturing*. 2018. Vol. 22. P. 154-159.
6. Nozahic V. Influence of sunflower aggregates surface treatments on physical properties and adhesion with a mineral binder // *Composites*. 2012. Vol. 43, Part A. P. 1837-1849.
7. Binici H. An environmentally friendly thermal insulation material from sunflower stalk, textile waste and stubble fibres // *Construction and Building Materials*. 2014. Vol. 51. P. 24-33.
8. Mati-Baouche N. Mechanical, thermal and acoustical characterizations of an insulating bio-based composite made from sunflower stalks particles and chitosan // *Industrial Crops and Products*. 2014. Vol. 58. P. 244-250.
9. Zakharov P.S., Chirkov D.D., Shkuro A.E., Usova K.A., Biktimirova O.E., Krivonogov P.S. Investigation of properties of polymer composite material based on polyvinyl chloride and sunflower stalks // *Bulletin of Technological University*. 2022. Vol. 25, № 3. P. 51-56. DOI 10.55421/1998-7072_2022_25_3_51
10. Zakharov P.S. Investigation of properties of filled acetylcellulose ethers // *Vestn. Tekhnologicheskiiy Usta. Bulletin of Technological University*. 2020. Vol. 23, № 2. P. 50-53.
11. Kramarenko E.Yu., Khokhlov A.R. // *High-molecular compounds*. 2006. Vol. 48, № 7. P. 1216-1240.
12. Ach A. Biodegradable Plastics Based on Cellulose Acetate // *Journ. of Macromolecular Science*. 1993. Vol. 30, Part A. P. 733-740.
13. Shkuro A.E. Fillers of agrarian origin for wood-polymer composites (review) // *Bulletin of Kazan Technological University*. 2014. Vol. 17, № 21. P. 160-163.
14. Brannon-Peppas L. *Technology of absorbent polymers*. Part 1. Amsterdam: Elsevier, 1990. 201 p.
15. Michurov D.M. Investigation of physical and mechanical properties of composites with polymer phase of poly-lactide and hemp bark // *Vestnik. Tekhnologicheskiiy Usta*. 2024. № 1. С. 59-63. DOI: 10.55421/1998-7072_2024_27_1_59