

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.1.7>

УДК 677.494

¹ПЛАВАН В. П., ¹ЩЕНКО О. В., ²ТАРАСЕНКО Н. В.,
¹БУДАШ Ю. О., ¹КОЛОДІЙ А. І.

¹ Київський національний університет технологій і дизайну, Україна

² Національний технічний університет КПІ ім. І. Сікорського, Київ, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ НАПОВНЕНИХ ДИСПЕРСІЙ ВОДОРОЗЧИННИХ ПОЛІМЕРІВ ДЛЯ ФУНКЦІОНАЛІЗАЦІЇ ВОЛОКНИСТИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета дослідження – визначення впливу типу та концентрації полімерної сполучної речовини та кількості введеного адсорбенту на реологічні характеристики наповнених полімерних дисперсій і фізико-механічні властивості комбінованих волокнистих матеріалів для технологій водоочищення.

Методика. Як основа для отримання волокнистих сорбційних матеріалів в роботі був використаний голкопробивний нетканий матеріал з поверхневою щільністю 227 г/м² (ПУ/ПА-6,6), отриманий з еластичних волокнистих відходів текстильної промисловості. Для підвищення сорбційної здатності матеріалів вводили порошок глини монтморилітового типу в кількості до 5–10% від маси. Як водорозчинні полімери для просочення волокнистої основи було обрано полівініловий спирт і крохмаль. Досліджували вплив концентрації полімерних розчинів на реологічні характеристики наповнених полімерних дисперсій. Реологічні властивості наповнених полімерних композицій визначалися за допомогою ротаційного віскозиметра NDJ-9S (КНР). Механічні характеристики нетканних матеріалів визначали на розривній машині типу РМ-30, відповідно стандарту ДСТУ ISO 9073-3:2003.

Результати. Встановлено, що концентрація полімерного сполучного та кількість мінерального сорбенту впливають на поверхневу щільність волокнистих матеріалів, просочених дисперсіями крохмалю і ПВС. Введення глини до 10% від маси сполучного призводить до значного зростання поверхневої щільності волокнистих матеріалів, хоча одночасно спостерігається зниження їх міцності. Нанесення наповненої дисперсії ПВС призводить до зниження розривного навантаження майже вдвічі із збільшенням кількості введеної глини. Розривне навантаження знижується майже на чверть із збільшенням кількості введеної глини в розчині крохмалю вищої концентрації.

Нанесення 3% дисперсії ПВС або 2–3% дисперсії крохмалю з введенням 5% глини забезпечує отримання достатньо еластичних волокнистих матеріалів з хорошими показниками міцності. А враховуючи раніше отримані результати про те, що обробка волокнистої основи 3%-вими дисперсіями ПВС і крохмалю, наповненими глинистими мінералами, сприяє підвищенню сорбційної здатності отриманих матеріалів, ці волокнисті композити для технологій водоочищення можуть бути рекомендовані.

Наукова новизна. Визначили раціональні умови отримання наповнених полімерних дисперсій з необхідними реологічними властивостями для просочення нетканних матеріалів на основі волокнистих відходів і отримання волокнистих композитів з сорбційними властивостями з відповідними фізико-механічними властивостями.

Практична значимість. Сорбційні матеріали, отримані на основі волокнистих відходів ПУ/ПА-6,6, просочені наповненими дисперсіями водорозчинних полімерів, можуть бути в подальшому використані для очищення стічних вод підприємств легкої і хімічної промисловості від іонів важких металів, що може мати важливе значення для захисту довкілля і здоров'я людей.

Ключові слова: полімерні дисперсії; неткані матеріали; глинисті мінерали; фізико-механічні властивості; волокнисті композити; сорбційні властивості; технології водоочищення.

Вступ. Сучасні технології вимагають застосування матеріалів, що відповідають вимогам, яким не можуть задовольнити звичайні металеві сплави, кераміка чи полімерні матеріали. Особливо це стосується матеріалів спеціального призначення, зокрема теплоізоляційних [1], звукоізоляційних чи для технологій водоочищення [2]. Наприклад, збільшується попит на матеріали, які мають низьку щільність, міцні, жорсткі, стійкі до стирання та ударів і не піддаються корозії. Це досить нетипове поєднання характеристик,

оскільки дуже часто збільшення міцності або жорсткості призводить до зниження ударної в'язкості [3]. Удосконалені матеріали, залежно від функцій, які виконують, володіють специфічними властивостями, унікальними для них.

Є багато прикладів використання волокнистих матеріалів у процесах водоочищення [4]. Це розділові мембрани, виготовлені із ультратонкого волокна, іонообмінні волокна, мембрани з порожнистих волокон і ароматичні поліаміди у мембранних матеріалах зворотного осмосу. Ці мембранні технології використовуються в багатьох галузях застосування від невеликого очищення води в домашніх умовах до широкомасштабної фільтрації прісної води з морських джерел. Мікротонка фільтрація з використанням ультратонких мембран та мембрани зворотного осмосу використовуються для видалення дрібних домішок, таких як червона іржа, бактерії, хімічні продукти та солі з води. Багато видів фільтрації використовують натуральні, неорганічні, металеві та синтетичні волокна. Неткані матеріали успішно використовуються в промисловості для підсилення мембран для мікротонкого, ультратонкого та зворотного осмосу чи фільтрації. У фільтрації гарячого газу використовуються як фільтрувальні матеріали мінеральні, керамічні або металеві волокна.

Характеристики сучасного обладнання дозволяють інтенсифікувати процес формування волокнистих композиційних матеріалів. Мета такої інтенсифікації – прискорення фізико-хімічних процесів, що лежать в основі просочення, сушіння та термообробки волокнистих матеріалів, при цьому необхідно забезпечити збереження і покращення їх властивостей, за умов зниження енерговитрат і підвищення екобезпеки виробництва.

Дієвими способами інтенсифікації процесів просочування є: підвищення змочувальної здатності просочувальної рідини та її температури, примусова фільтрація розчину через товщу нетканого полотна, видалення повітря з матеріалу перед просочуванням, підвищення гідрофільності оброблюваного матеріалу.

Зокрема для покращення гідрофільності текстильного матеріалу використовували попередню його обробку в низькотемпературній плазмі [5]. Найбільш ефективним способом покращення поглинальної здатності волокон і наповнювача та полегшення проникнення полімерного сполучного розчину є фізична модифікація під впливом ультразвукових коливань високої інтенсивності. Ультразвукова технологія просочення, яка дозволяє вводити в структуру текстильного матеріалу наночастинки мінералів або благородних металів [6], ефективна при створенні щільних текстильних полімерних матеріалів для авіа- і ракетобудування.

Поєднання нетканних матеріалів та полімерного сполучного призводить до утворення нової волокнистої системи, властивості якої кардинально відрізняються від властивостей кожної із складових. Ознакою композиційного, комбінованого волокнистого матеріалу є значний взаємний вплив складових елементів композиту, їхні нові якості чи ефекти [7].

Повнота та ефективність перебігу основних процесів, що забезпечують формування комбінованих волокнистих матеріалів, визначається [8]:

- властивостями полімерного сполучного (здатність до змочування, в'язкість);
- властивостями волокнистих компонентів (природа волокнистого матеріалу, пористість та структура);
- вибором режимів формування (тривалість, температура).

Волокнисті матеріали мають пористу структуру, шорсткувату поверхню і велику кількість виступаючих волокон, завдяки чому створюються сприятливі умови для просочування або склеювання. Наявність у нитках, пряжі, волокнах та тканинах системи пор дозволяє полімерному сполучному затікати в них, що покращує площу контакту, збільшує змочування та дифузю, при цьому якість просочення та міцність адгезійного з'єднання також покращуються за рахунок механічної складової [9].

Вид полімерного сполучного та його склад вибираються в залежності від виду нетканого матеріалу і призначення готового виробу. Додатки, що вводяться в полімерну

композицію, можуть кардинально впливати на властивості полімерного сполучного: регулювати в'язкість, знижувати температуру розм'якшення, надавати спеціальні властивості (вогне-, термостійкість, антистатичні, бактерицидні властивості, водовідштовхування тощо).

Неткані матеріали фільтрувального призначення [10], отримані переважно за механічною технологією, знайшли застосування для очищення рідких і газоподібних середовищ від домішок методом механічного уловлювання нерозчинних і твердофазних частинок.

Найбільш перспективним, з точки зору вимог до очищення стічних вод, є метод фізичної (структурної) модифікації за допомогою введення в волокнисту основу різних типів твердих наповнювачів-адсорбентів, що дозволить поєднувати сорбційні і фільтрувальні властивості матеріалів, забезпечить потрібну селективність і підвищить ефективність водоочищення.

Постановка завдання. Мета дослідження – визначення впливу типу та концентрації полімерної сполучної речовини та кількості введеного адсорбенту на реологічні характеристики наповнених полімерних дисперсій і фізико-механічні властивості комбінованих волокнистих матеріалів для технологій водоочищення.

Методологія досліджень. Як основа для отримання волокнистих сорбційних матеріалів в роботі був використаний голкопробивний нетканий матеріал з поверхневою щільністю 227 г/м² (ПУ/ПА-6,6), отриманий з еластичних волокнистих відходів текстильної промисловості. Складається з комплексних волокон Lycra 162C (лінійна густина 4,4 текс) (ПУ), та волокон Nylon 6.6 f20/1 (лінійна густина 3,3 текс) (ПА-6,6) у співвідношенні 70/30 мас. %.

Для підсилення сорбційної здатності до волокнистих матеріалів вводили порошок глини в кількості 5 та 10% від маси. В результаті попередніх досліджень було визначено, що кращі сорбційні властивості мають неткані матеріали, наповнені глиною монтморилонітового типу [11]. Тому для подальших досліджень використали саме цю глину.

Глина М-3 (Монтморилоніт) – це шаруватий силікат із загальною формулою $(Ca,Na)(Al,Mg,Fe)_2(OH)_2[(Si,Al)_4O_{10}] \cdot nH_2O$. Хімічний склад мінералу: SiO₂ – 51,9%, Al₂O₃ – 17,10%, Fe₂O₃ – 7,92%, MgO – 1,18%, Na₂O, K₂O і CaO до 2% і H₂O – 8,78%. Глина М-3 – глина формовочна вогнестійка маломіцна за межею міцності при стисканні у вологому стані та малов'язка у сухому стані (ГОСТ 3226-93).

Як водорозчинні полімери для просочування волокнистої основи обрали полівініловий спирт (ПВС) і крохмаль (Кр). Вибір крохмалю як сполучного полімерного компоненту обумовлений його екологічністю, хорошою розчинністю у воді, стійкістю до мікробіологічних уражень, наявністю певних поверхнево-активних та сорбційних властивостей.

В практиці отримання полімерних покриттів методом поливу є необхідність використовувати розчини полімерів з різним значенням в'язкості, що визначається характеристиками устаткування та властивостями отримуваних матеріалів. Регулювання в'язкості відбувається шляхом зміни концентрації полімеру в розчині. Тому в роботі досліджували вплив концентрації полімерних розчинів на реологічні характеристики наповнених полімерних дисперсій.

В'язкість η визначається як коефіцієнт пропорційності між напругою зсуву τ та градієнтом швидкості зсуву γ :

$$\eta = \tau / \gamma.$$

Для більшості полімерних розчинів значення η залежить від швидкості та напруження зсуву. В досліджуваному інтервалі швидкостей зсуву, в'язкість розчинів полімерної композиції відповідає ступеневому закону та описується рівнянням Оствальда–де Вілла:

$$\eta = K \cdot \gamma^{n-1}$$

де K – коефіцієнт консистенції, що залежить як від природи матеріалу, так і від виду вимірювальної апаратури; n – індекс течії. Коефіцієнт K найбільш чутливий, в порівнянні з n , до зміни температури розчину. Константи рівняння справедливі тільки для певного діапазону швидкостей зсуву. Для ньютонівських рідин $n = 1$, але з ростом структурованості розчину та збільшенням аномальної в'язкості течії, показник n знижується [12].

Реологічні властивості наповнених полімерних композицій визначалися за допомогою ротаційного віскозиметра NDJ-9S (КНР).

Спочатку готували водні розчини полімерних сполучних речовин різних концентрацій, в які вводили глинисті мінерали, а потім отриману дисперсію наносили ракульним ножом на поверхню волокнистих матеріалів. Після нанесення наповненої дисперсії водорозчинного полімеру на поверхню волокнистого матеріалу візуально оцінювали стан зразків: рівномірність нанесення наповнювача, міцність його утримування зразком матеріалу, пористість структури. Результати оцінювання зразків наведені в табл. 1.

Механічні характеристики нетканих матеріалів визначали на розривній машині типу РМ-30, відповідно до стандарту [13]. Розривне навантаження нетканого матеріалу (P , Н) визначали для елементарної проби шириною 5 см, при попередньому навантаженні 100 сН та швидкості опускання нижнього затискача 100 мм/хв. Питоме розривне навантаження нетканого матеріалу (P_0 , Н·м/г) розраховували за формулою:

$$P_0 = P / M \cdot B$$

де P – розривне навантаження, Н; M – поверхнева щільність нетканого матеріалу, г/м²; B – ширина елементарної проби, м; Результати визначення фізико-механічних характеристик наведені в табл. 2.

Результати та їх обговорення. Характеристики зразків нетканого матеріалу складу ПУ/ПА-6,6, на які нанесли дисперсії водорозчинних полімерів різної концентрації (від 1 до 3%), наповнені глинистими мінералами наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати нанесення дисперсії водорозчинних полімерів з наповнювачем на поверхню нетканого матеріалу складу ПУ/ПА-6.6

Варіант	Полімерна сполучна речовина*	Концентрація розчину полімерної сполучної речовини %	Фактичний приріст маси зразка після нанесення дисперсії, %	Поверхнева щільність матеріалу M , г/ м ²	Якісна характеристика зразка**
1	Кр	1	68,6	347	4
2	Кр	2	80,4	374	4
3	Кр	3	107,8	383	5
4	ПВС	2	146,3	493	5
5	ПВС	3	190,2	525	5
6	Кр	1	137,3	449	3
7	Кр	2	139,8	467	4
8	Кр	3	159,1	486	5
9	ПВС	2	231,5	693	4
10	ПВС	3	258,4	863	5

* Кількість глини в розчині полімерної сполучної речовини 5% для варіантів 1–5; 10% – для варіантів 6–10;

** Якісна характеристика зразка вказується в балах від 1 до 5, де 5 – рівномірно нанесена наповнена дисперсія полімерів; однорідна пориста структура волокнистого матеріалу, міцно зафіксовані частинки глини у волокнистому матеріалі без просипання.

Як видно із наведених даних, підвищення концентрації полімерної сполучної речовини призводить до ущільнення структури волокнистих матеріалів і, як наслідок, до зростання їх поверхневої щільності. Також на величину поверхневої щільності впливає кількість мінерального сорбенту, нанесеного на волокнисту основу у складі дисперсії водорозчинних полімерів.

Зокрема, якщо поверхнева щільність волокнистого матеріалу вихідного становить 227 см/м^2 , то введення 5% глини з 1% розчином крохмалю призводить до зростання поверхневої щільності більше ніж на 50% (347 см/м^2), а введення 10% глини з 1% розчином крохмалю призводить до зростання поверхневої щільності майже на 100% (449 см/м^2 , табл. 1). Спостерігається безпосередній зв'язок між поверхневою щільністю матеріалів і кількістю введеної глини, про що свідчить значення фактичного приросту маси зразка, %.

Дослідження реологічних властивостей полімерних композицій. Реологічні властивості полімерних композицій на основі крохмалю і ПВС обумовлюються особливостями їх структури та становлять практичний інтерес, зокрема визначають найбільш раціональний спосіб формування волокнистого композиту. На в'язкість полімерної композиції впливають концентрація, температура, спорідненість полімеру до розчинника, тощо.

На рис. 1–2 наведена залежність в'язкості розчинів полімерних композицій на основі 2% розчинів крохмалю і ПВС, наповнених глиною, від градієнту швидкості зсуву. Як і для більшості високомолекулярних систем, зі збільшенням швидкості зсуву відбувається аномальне зниження в'язкості.

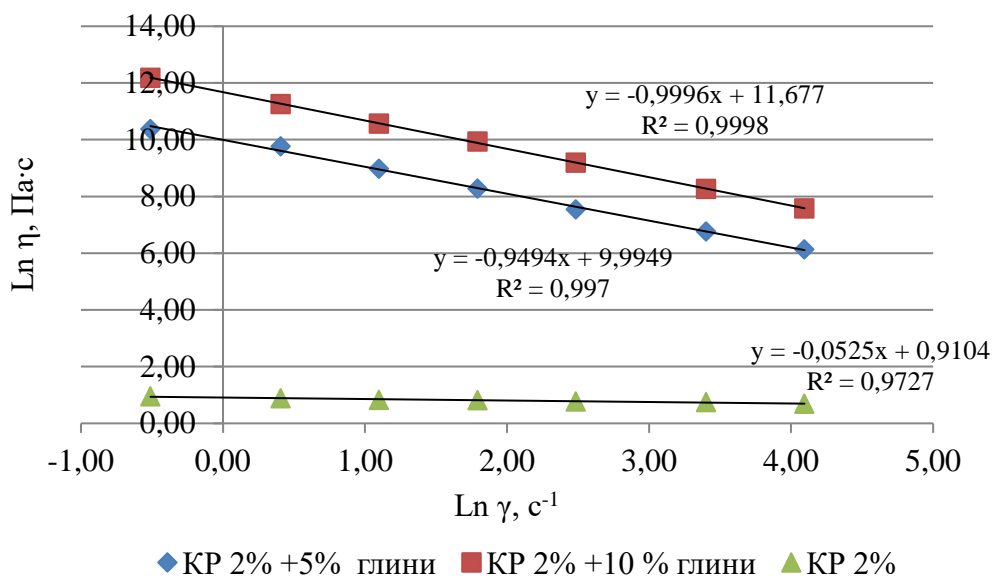


Рис. 1. Залежність в'язкості розчину полімерної композиції на основі крохмалю 2% з глиною від швидкості зсуву

З отриманих даних можна зробити висновок про те, що зі збільшенням вмісту глини в полімерній композиції відбувається зростання показника в'язкості.

Визначали константи K та n рівняння Оствальда–де Вілла для наповнених дисперсій крохмалю, ПВС з різним вмістом глини (табл. 2). Отримані експериментальні дані вказують на те, що дисперсії крохмалю та ПВС з додаванням глини 5 та 10% відносяться до псевдопластичних систем, але індекс течії вказує на низький ступінь псевдопластичності. Чисті розчини крохмалю різної концентрації (1–3%) та ПВС (2–3%) за показниками індексу течії $n = 0,93 - 0,96$ наближаються до ньютонівських рідин з $n = 1$, таким чином, швидкість зсуву фактично не впливає на в'язкість розчинів.

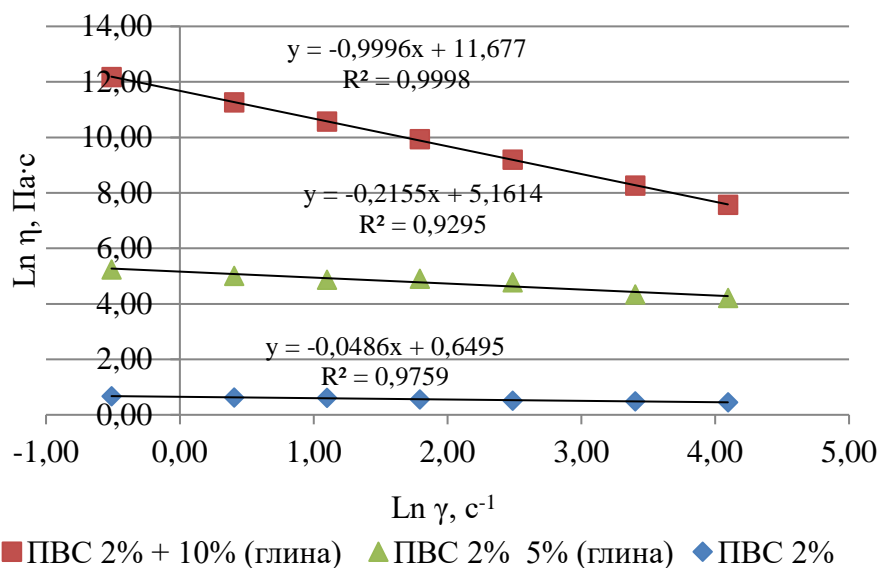


Рис. 2. Залежність в'язкості розчину полімерної композиції на основі ПВС 2% з глиною від швидкості зсуву

Таблиця 2

Значення констант K та n рівняння Оствальда–де Вілла для наповнених дисперсій крохмалю, ПВС з різним вмістом глини

Склад композицій	K , Па*с	n
Кр 1% без глини	0,77	0,96
Кр 1% + 5% глини	8,87	0,14
Кр 1% + 10% глини	11,53	0,05
Кр 2% без глини	0,91	0,95
Кр 2% + 5% глини	9,99	0,06
Кр 2% + 10% глини	11,67	0,01
Кр 3% без глини	1,27	0,93
Кр 3% + 5% глини	10,28	0,01
Кр 3% + 10% глини	11,67	0,01
ПВС 2% без глини	0,65	0,96
ПВС 2% + 5% глини	5,16	0,79
ПВС 2% + 10% глини	11,67	0,01
ПВС 3% без глини	1,51	0,88
ПВС 3% + 5% глини	5,16	0,79
ПВС 3% + 10% глини	11,67	0,01

Аналізуючи отримані дані (табл. 2), бачимо, що при додаванні глини індекс течії розчину n знижується порівняно з ПВС та крохмалем без глини, що свідчить про зростання структурованості системи. У більш концентрованих розчинах крохмалю з додаванням однакової кількості глини зниження індексу течії n відбувається більш помітно: $n = 0,14$ для розчину крохмалю 1% з додаванням 5% глини, відповідно 0,06 і 0,01 для розчинів крохмалю 2 і 3%. Це в свою чергу вказує на те, що наповнені дисперсії крохмалю мають достатньо розвинуту просторову структуру.

Для полімерної композиції крохмалю та ПВС з додаванням 10% глини спостерігаємо зниження індексу течії до 0,01, що свідчить про зростання структурованості системи та високий ступінь псевдопластичності.

Екстраполюючи отримані дані, для наповнених полімерних композицій на основі крохмалю і ПВС розрахували в'язкість за нульової швидкості зсуву η_0 та встановили її зміну залежно від вмісту глини (рис. 3).

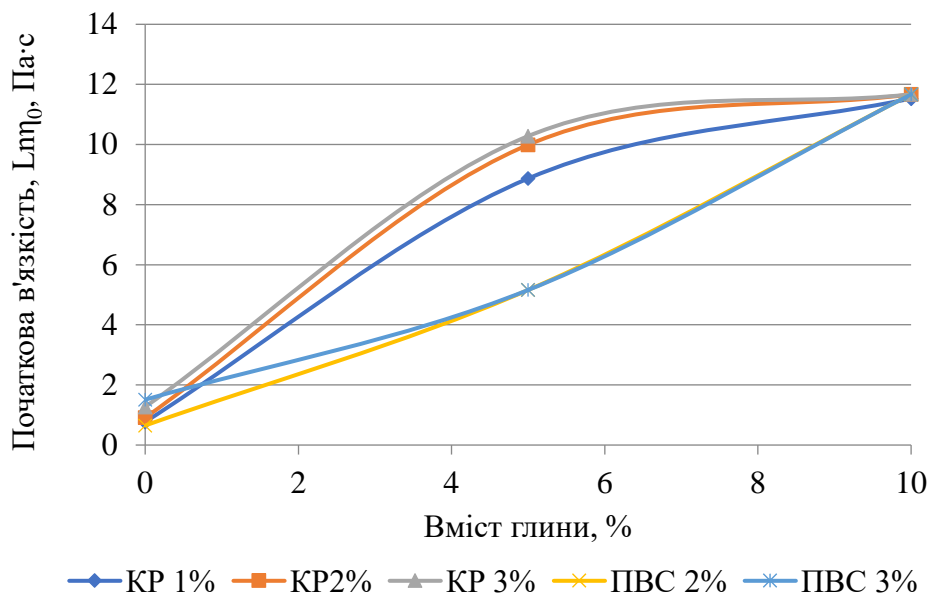


Рис. 3. Залежність в'язкості за нульової швидкості зсуву від вмісту глини в наповнених полімерних композиціях на основі крохмалю і ПВС

Встановлено, що мінімальна в'язкість характерна для розчинів ненаповнених композицій крохмалю і ПВС. В наповнених полімерних композиціях на основі ПВС з додаванням глини спостерігається поступове рівномірне зростання в'язкості. Для полімерних композицій на основі крохмалю спостерігається різке збільшення початкової в'язкості в присутності глини. При вмісті глини 10% в'язкість для всіх композицій однакова. Тобто встановлено, що при вмісті глини 10% в'язкість композиції не залежить від типу полімеру.

Результати визначення показників фізико-механічних властивостей волокнистих матеріалів, просочених наповненими дисперсіями крохмалю, наведені на рис. 4–6 і в табл. 3 (для зразків нетканих матеріалів ПУ/ПА-6,6, отриманих із волокнистих відходів).

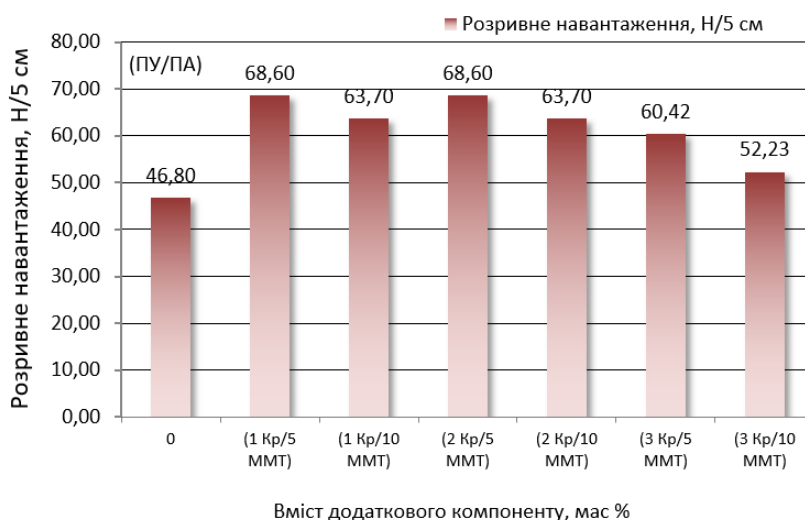


Рис. 4. Результати визначення розривного навантаження для зразків нетканих матеріалів, отриманих із волокнистих відходів ПУ/ПА-6.6

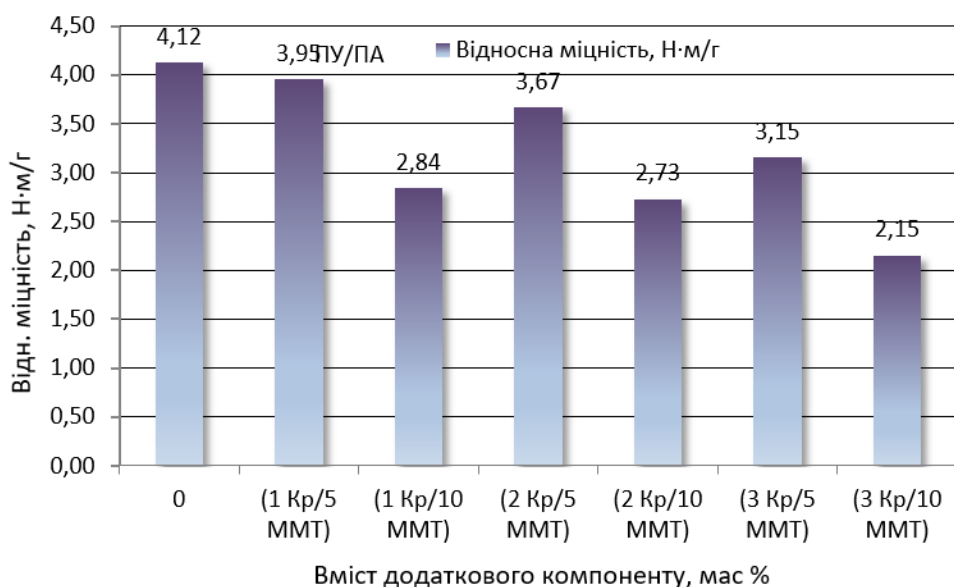


Рис. 5. Результати визначення відносної міцності, Н·м/г, для зразків нетканих матеріалів, отриманих із волокнистих відходів ПУ/ПА-6.6

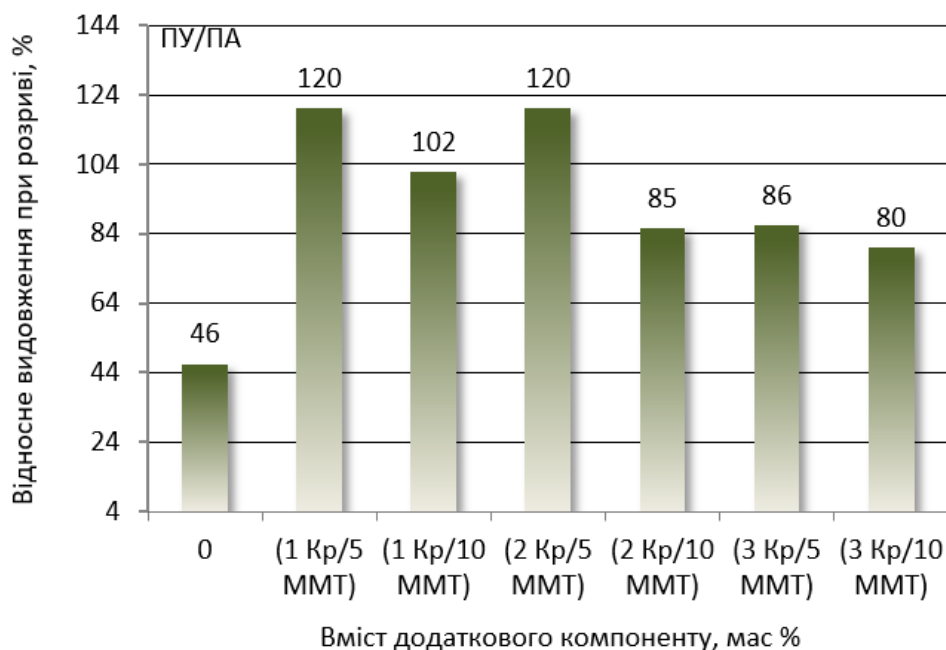


Рис. 6. Результати визначення відносного видовження при розриві, %, для зразків нетканих матеріалів, отриманих із волокнистих відходів ПУ/ПА-6.6

Як видно із наведених даних (рис. 4–6), для зразків нетканого матеріалу на основі волокнистих відходів ПУ/ПА-6,6 в результаті просочення розчинами ПВС спостерігається підвищення розривного навантаження майже втричі (з 49,0 до 140,14 Н/5 см). Нанесення наповненої дисперсії ПВС призводить до зниження розривного навантаження майже вдвічі із збільшенням кількості введеної глини (76,44 проти 140,14 Н/5 см). Підвищення концентрації розчину ПВС призводить до підвищення міцності просоченого волокнистого матеріалу майже втричі (202,37 проти 76,44 Н/5 см). Тобто нанесення 3% дисперсії ПВС з введенням 5% глини забезпечує отримання волокнистого матеріалу з хорошими показниками міцності.

Таблиця 3

Результати визначення фізико-механічних властивостей волокнистих матеріалів

Додатковий компонент, мас. %	Поверхнева щільність, г/м ²	Розривне навантаження			Відносна міцність, Н·м/г	Розривне видовження, %
		Н	Н/5 см	Н/м		
Вихідний нетканий матеріал	227	9,36	46,80	935,90	4,12	46
1% Кр 5% ММТ	347	13,72	68,60	1372,00	3,95	120
1% Кр 10% ММТ	449	12,74	63,70	1274,00	2,84	102
2% Кр 5% ММТ	374	13,72	68,60	1372,00	3,67	120
2% Кр 10% ММТ	467	12,74	63,70	1274,00	2,73	85
3% Кр 5% ММТ	383	12,08	60,42	1208,34	3,15	86
3% Кр 10% ММТ	486	10,45	52,23	1044,68	2,15	80
2% ПВС без глини	285	9,80	49,00	980,00	3,44	13,0
2% ПВС 5% ММТ	493	28,03	140,14	2802,80	5,69	64,2
2% ПВС 10% ММТ	893	15,29	76,44	1528,80	1,71	63,3
3% ПВС без глини	253	15,68	78,40	1568,00	6,20	9,4
3% ПВС 5% ММТ	525	45,67	228,34	4566,80	8,70	37,8
3% ПВС 10% ММТ	664	40,47	202,37	4047,40	6,10	50,0

У випадку застосування дисперсій крохмалю спостерігаються дещо інші закономірності. В результаті просочування дисперсіями 1% крохмалю при додаванні 10% глини замість 5%, спостерігається підвищення розривного навантаження майже на 50% (з 49,0 до 68,6 Н/5 см). Збільшення кількості введеної глини в дисперсії крохмалю вищої концентрації призводить до зниження розривного навантаження майже на чверть (52,2 проти 68,6 Н/5 см). Тобто нанесення 2–3% дисперсії крохмалю з введенням 5% глини забезпечує отримання волокнистого матеріалу з хорошими показниками міцності та еластичності.

Відносна міцність зразків, яку розраховували з урахуванням поверхневої щільності зразків, очікувано знижується в результаті нанесення наповненої дисперсії крохмалю. Підвищення міцності зразків, яке відбувається в результаті нанесення наповнених дисперсій крохмалю і ПВС на поверхню волокнистих матеріалів, супроводжується зростанням показника відносного видовження при розриванні майже втричі (з 46 до 120% для крохмалю та з 13 до 64,2% для ПВС). По мірі збільшення кількості введеної глини, відносне видовження при розриванні знижується, що пов'язано з втратою еластичності матеріалів в результаті структурування, причому ступінь структурування в разі застосування наповнених дисперсій ПВС вища.

Як було зазначено в роботі [14], обробка волокнистої основи 3%-вими дисперсіями ПВС і крохмалю, наповненими глинистими мінералами, сприяє підвищенню сорбційної здатності отриманих матеріалів. Про що свідчить вищий ступінь поглинання метиленового синього із розчину, 78,4 і 77,1%, відповідно. А введення 5% монтморилонітової глини в 3%-ві дисперсії полімерного сполучного дозволяє отримати матеріали з кращими фізико-механічними характеристиками. Сорбційні матеріали, модифіковані глинистими мінералами, можуть бути в подальшому використані для очищення стічних вод підприємств легкої і хімічної промисловості від іонів важких металів.

Висновки. В результаті досліджень було встановлено, що концентрація полімерного сполучного та кількість мінерального сорбенту впливають на поверхневу щільність волокнистих матеріалів, просочених дисперсіями крохмалю і ПВС.

Встановлено, що мінімальна в'язкість характерна для розчинів ненаповнених композицій крохмалю і ПВС. В дисперсіях наповнених полімерних композицій на основі ПВС

з додаванням глини спостерігається поступове рівномірне зростання в'язкості. Для полімерних композицій на основі крохмалю спостерігається різке збільшення початкової в'язкості в присутності глини. При вмісті глини 10% в'язкість всіх композицій однакова. Тобто встановлено, що при вмісті глини 10% в'язкість композиції не залежить від типу полімеру, а зниження індексу течії до 0,01 свідчить про зростання структурованості системи. Введення глини до 10% від маси сполучного призводить до значного зростання поверхневої щільності волокнистого матеріалу. Одночасно спостерігається зниження міцності отриманих волокнистих матеріалів. Нанесення наповненої дисперсії ПВС призводить до зниження розривного навантаження майже вдвічі із збільшенням кількості введеної глини, а збільшення кількості введеної глини в розчини крохмалю вищої концентрації призводить до зниження розривного навантаження майже на чверть.

За результатами досліджень визначили, що нанесення 3% дисперсії ПВС або 2–3% дисперсії крохмалю з введенням 5% глини забезпечує отримання достатньо еластичних волокнистих матеріалів з хорошими показниками міцності. А враховуючи раніше отримані результати про те, що обробка волокнистої основи 3%-вими дисперсіями ПВС і крохмалю, наповненими глинистими мінералами, сприяє підвищенню сорбційної здатності отриманих матеріалів, можна рекомендувати ці волокнисті композити для технологій водоочищення.

Сорбційні матеріали, отримані на основі відходів ПУ/ПА6-6 і просочені наповненими дисперсіями водорозчинних полімерів, можуть бути в подальшому використані для очищення стічних вод підприємств легкої і хімічної промисловості від іонів важких металів, що може мати важливе значення для захисту довкілля і здоров'я людей.

References

Література

1. Kucherenko, Y., Plavan, V., Budash, Y., Romanyuk, O. (2019). Analysis of thermal-physical properties of fibrous nonwoven materials of different composition. [Analysis of thermophysical properties of fibrous non-woven materials of different composition]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dizainu. Seriya: Tekhnichni nauky = Bulletin of the Kyiv National University of Technology and Design. Series: Technical sciences*, No. 3, P. 94–101. <https://doi.org/10.30857/1813-6796.2019.3.10> [in Ukrainian].
1. Кучеренко Є. В., Плаван В. П., Будащ Ю. О., Романюк О. О. Аналіз теплофізичних властивостей волокнистих нетканих матеріалів різного складу. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія: Технічні науки*. 2019. № 3. С. 94–101. <https://doi.org/10.30857/1813-6796.2019.3.10>.
2. Tarasenko, N. V., Plavan, V. P., Budash, Yu. O., Koliada, M. K., Rachynska, O. V. (2019). Doslidzhennia khemosorbtsiinykh vlastyvostei voloknystykh sorbentiv dlia ochyshchennia stichnykh vod vid ioniv Fe³⁺. [Investigation of chemisorption properties of fibrous sorbents for wastewater treatment from Fe³⁺ ions]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dizainu. Seriya Tekhnichni nauky = Bulletin of the Kyiv National University of Technology and Design. Series: Technical sciences*, No. 5 (138), P. 150–159 [in Ukrainian].
2. Тарасенко Н. В., Плаван В. П., Будащ Ю. О., Коляда М. К., Рачинська О. В. Дослідження хемосорбційних властивостей волокнистих сорбентів для очищення стічних вод від іонів Fe³⁺. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія Технічні науки*. 2019. № 5 (138). С. 150–159.
3. Moy, S. (2013). Advanced fiber-reinforced polymer (FRP) composites for civil engineering applications in Developments in Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Composites for Civil Engineering by Woodhead. Publishing Series in Civil and Structural Engineering, pp. 177–204.
3. Moy S. Advanced fiber-reinforced polymer (FRP) composites for civil engineering applications in Developments in Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Composites for Civil Engineering by Woodhead. Publishing Series in Civil and Structural Engineering. 2013. P. 177–204. <https://doi.org/10.1533/9780857098955.2.177>.

4. Jinlian Hu, Md A. Jahid, Narayana Harish Kumar, Venkatesan Harun (2020). Fundamentals of the Fibrous Materials. In: *Handbook of Fibrous Materials*. 1st ed. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Published by Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. URL: https://application.wileyvch.de/books/sample/3527342206_c01.pdf.
5. Kim, H. N., Joo, J. Y., Lee, K. R., Lee, Y. W., Im, S. S., Kim, S. J., Lee, Y. H. (2013). Low-temperature plasma modification of cotton for improving its hydrophilicity. *Fibers and Polymers*, Vol. 14, No. 4, P. 1044–1067.
6. Vasylyev, M. A., Chenakin, S. P., Yatsenko, L. F. (2016). Ultrasonic impact treatment induced oxidation of Ti6Al4V alloy. *Acta Materialia*, Vol. 103, P. 761–774.
7. Sportiagin, E. O., Varlan, K. Ye. (2012). Teoretychni osnovy ta tekhnolohiia vyrobnytstva polimernykh kompozytsiinykh materialiv: navch. posib [Theoretical principles and technology of production of polymer composite materials: a textbook]. Dnipropetrovsk: DNU Publishing [in Ukrainian].
8. Kogan, A. G., Yasinskaya N. N., Skobova N. V., Medvetskii S. S. (1999). Same possibilities for expanding the assortment of chemical fibres and filaments of new structures. *Fibre Chemistry*, Vol. 31, No. 2, P. 102–104.
9. Khokhotva, O. P., Kondratenko, O. I., Shkel, K. O. (2016). Vykorystannia kompozytsiinoho sorbentu tseolitu-huminovi kysloty dlia vyliuchennia ioniv midi z vodnykh rozchyniv [Use of zeolite-humic acid composite sorbent for extraction of copper ions from aqueous solutions]. *Visnyk NTU "KhPI". Novi rishennia v suchasnykh tekhnolohiiah = Bulletin of NTU "KhPI". New solutions in modern technologies*, No. 18 (1102), P. 180–185 [in Ukrainian].
10. Mao, N. (2016). Nonwoven fabric filters. In: *Advances in Technical Nonwovens, Woodhead Publishing Series in Textiles*, pp. 273–310.
11. Tarasenko, N. V., Plavan, V. P., Budash, Yu. O., Tkachenko, I. M. (2021). Doslidzhennia sorbttsiinykh vlastyvoستي voloknystykh materialiv, modyfikovanykh hlynystymy mineralamy [Study of sorption properties of fibrous materials modified with clay minerals]. *Tekhnolohii ta inzhynirynh = Technologies and engineering*, No. 3, P. 70–78. <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2021.3.7> [in Ukrainian].
12. Morrison, F. A. (2001). Understanding Rheology. New York: Oxford University Press. 560 p.
13. Derzhavnyi standart Ukrainy (DSTU) ISO 9073-3:2003 Materialy Tekstyl'ni. Metody vyprobuvannya netkanykh materialiv. Chastyna 3. Vyznachennya rozryval'noho navantazhennya ta vydovzhennta pid chas rozryvu [State
4. Jinlian Hu, Md A. Jahid, Narayana Harish Kumar, Venkatesan Harun. Fundamentals of the Fibrous Materials. In: *Handbook of Fibrous Materials*. 1st ed. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Published by Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2020. URL: https://application.wileyvch.de/books/sample/3527342206_c01.pdf.
5. Kim H. N., Joo J. Y., Lee K. R., Lee Y. W., Im S. S., Kim S. J., Lee Y. H. Low-temperature plasma modification of cotton for improving its hydrophilicity. *Fibers and Polymers*. 2013. Vol. 14, No. 4. P. 1044–1067.
6. Vasylyev M. A., Chenakin S. P., Yatsenko L. F. Ultrasonic impact treatment induced oxidation of Ti6Al4V alloy. *Acta Materialia*. 2016. Vol. 103. P. 761–774.
7. Спорягін Е. О., Варлан К. Є. Теоретичні основи та технологія виробництва полімерних композиційних матеріалів: навч. посіб. Дніпропетровськ: Вид-во ДНУ, 2012. С. 190.
8. Kogan A. G., Yasinskaya N. N., Skobova N. V., Medvetskii S. S. Same possibilities for expanding the assortment of chemical fibres and filaments of new structures. *Fibre Chemistry*. 1999. Vol. 31, № 2. P. 102–104.
9. Хохотва О. П., Кондратенко О. І., Шкель К. О. Використання композиційного сорбенту цеоліт-гумінові кислоти для вилучення іонів міді з водних розчинів. *Вісник НТУ «ХПІ». Нові рішення в сучасних технологіях*. 2016. № 18 (1102). С. 180–185.
10. Mao N. Nonwoven fabric filters. In: *Advances in Technical Nonwovens, Woodhead Publishing Series in Textiles*, 2016. P. 273–310.
11. Тарасенко Н. В., Плаван В. П., Будащ Ю. О., Ткаченко І. М. Дослідження сорбційних властивостей волокнистих матеріалів, модифікованих глинистими мінералами *Технології та інжиніринг*. 2021. № 3. С. 70–78. <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2021.3.7>.
12. Morrison F. A. Understanding Rheology. New York: Oxford University Press, 2001. P. 560.
13. Державний стандарт України (ДСТУ) ISO 9073-3:2003 Матеріали текстильні. Методи випробування нетканних матеріалів. Частина 3. Визначення розривального

Standard of Ukraine (DSTU) ISO 9073-3:2003 TEXTILES. Test methods for nonwovens. Part 3. Determination of tensile strength and elongation] [in Ukrainian].

14. Plavan, V. P., Tarasenko, N. V., Dutchyn, T., Budash, Yu. O. (2021). Rehuliuвання sorbtsiinoi zdatnosti kombinovanykh voloknystykh materialiv, napovnenykh hlynystymy mineralamy [Regulation of the sorption capacity of combined fibrous materials filled with clay minerals]. *Tekhnolohii ta inzhynirynh = Technologies and engineering*, No. 4 (26), P. 113–120. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-4\(26\)-113-120](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-4(26)-113-120) [in Ukrainian].

навантаження та видовження під час розриву.

14. Плаван В. П., Тарасенко Н. В., Дутчин Т., Будаш Ю. О. Регулювання сорбційної здатності комбінованих волокнистих матеріалів, наповнених глинистими мінералами. *Технічні науки і технології*. 2021. № 4 (26). С. 113–120. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-4\(26\)-113-120](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-4(26)-113-120).

PLAVAN VIKTORIIA

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of Department of Chemical Technologies and
Resource Saving, Kyiv National University of
Technologies and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-9559-8962>
Scopus Author ID: 6603130130
Researcher ID: I-5852-2015
E-mail: plavan.vp@knutd.edu.ua

ISHCHENKO OLENA

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
Department of Chemical Technologies and Resource
Saving, Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9510-6005>
SCOPUS Author ID: 57200013816
Researcher ID: GYV-0809-2022
E-mail: ishhenko.ov@knutd.com.ua

TARASENKO NATALIA

Assistant, Department of General and Inorganic
Chemistry, National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-1062-5533>
Researcher ID: J-7632-2017
E-mail: tarasenko.nv@ukr.net

BUDASH YURII

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Department of Chemical Technologies and Resource
Saving, Kyiv National University
of Technologies and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-8718-1577>
Scopus Author ID: 9134072100
Researcher ID: H-6012-2018
E-mail: budash.yo@knutd.edu.ua

KOLODII ARTEM

PhD student, Department of Chemical Technologies and Resource Saving,
Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine
E-mail: artem.kolodii@w-chem.com.ua

**¹PLAVAN V. P., ¹ISHCHENKO O. V., ²TARASENKO N. V.,
¹BUDASH Yu. O., ¹KOLODII A. I.**

¹ Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

² National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine

**APPLICATION OF FILLED DISPERSIONS OF WATER-SOLUBLE POLYMERS
FOR FUNCTIONALIZATION OF FIBROUS MATERIALS**

Purpose. Determination of the influence of the type and concentration of the polymer binder and the amount of introduced adsorbent on the rheological characteristics of filled polymer dispersions and the physical and mechanical properties of combined fibrous materials for water purification technologies.

Methodology. As a basis for obtaining fibrous sorption materials in the work, a needle-punched non-woven material with a surface density of 227 g/m² (PU/PA-6.6) obtained from elastic fibrous waste of the textile industry was used. To increase the sorption capacity of materials, montmorillonite-type clay powder was introduced in an amount of up to 5 and 10% by mass. Polyvinyl alcohol and starch were chosen as water-soluble polymers for impregnating the fibrous base. The influence of the concentration of polymer solutions on the rheological characteristics of filled polymer dispersions was studied. The rheological properties of the filled polymer compositions were determined using a rotary viscometer NDJ-9S (China). The mechanical

characteristics of nonwoven materials were determined on a PM-30 type breaking machine, in accordance with the standard DSTU ISO 9073-3:2003.

Findings. It was established that the concentration of the polymer binder and the amount of mineral sorbent affect the surface density of fibrous materials impregnated with dispersions of starch and PVA. The introduction of clay up to 10% of the mass of the binder leads to a significant increase in the surface density of fibrous materials. At the same time, there is a decrease in their strength. Applying the filled dispersion of PVA leads to a decrease in the breaking load almost by half with an increase in the amount of added clay. The breaking load decreases by almost a quarter with an increase in the amount of added clay in starch solutions of higher concentration.

The application of 3% PVA dispersion or 2-3% starch dispersion with the added of 5% clay minerals provides sufficiently elastic fibrous materials with good strength properties. And taking into account the previously obtained results that the treatment of the fibrous base by 3% dispersions of PVA and starch filled with clay minerals helps to increase the sorption capacity of the obtained materials, these fibrous composites for water treatment technologies can be recommended.

Originality. Rational conditions for obtaining filled polymer dispersions with the necessary rheological properties for impregnation of non-woven materials based on fibrous waste to obtain fibrous composites with sorption properties with appropriate physical and mechanical properties were determined.

Practical value. Sorption materials obtained on the basis of fibrous waste PU/PA-6,6, impregnated with filled dispersions of water-soluble polymers, can be used in the future for the purification of wastewater of chemical industry enterprises from heavy metals ions, which can be important for the protection of the environment and people's health.

Keywords: polymer dispersions; nonwoven materials; clay minerals; physical and mechanical properties; fibrous composites; sorption properties; water purification technologies.