

Визначення впливу складу алюмосилікатного зв'язуючого на реотехнологічні властивості адгезивів для деревини

С. Г. Гузій, П. В. Кривенко, О. І. Гузій, С. В. Юшкевич

Досліджено основні реотехнологічні властивості алюмосилікатних адгезивів для склеювання масивів деревини. Відзначено, що для адгезивів на основі лужного алюмосилікатного зв'язуючого складу $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 4,5\text{SiO}_2\cdot 17,5\text{H}_2\text{O}$ динамічна в'язкість в діапазоні швидкостей від 0 до 200 RPM змінюється від 6933 сП до 368,4 сП, а середня пластична в'язкість становить величину 86,27 сП. При однаковому значенні поверхневого натягу і роботи когезії, найменшим кутом змочування ($\cos\Theta=0,7973$) і найбільшими коефіцієнтами змочування ($s=0,8986$) і млинності ($f=-6,5$ мН/м), а також роботами сил адгезії ($W_a=58,23$ мН/м), змочування ($W_w=25,83$ мН/м) характеризується підкладка бука, надалі - вільхи, ясеню, сосни, берези і дубу.

Для адгезивів на основі лужного алюмосилікатного зв'язуючого складу $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2\cdot 20\text{H}_2\text{O}$ динамічна в'язкість в діапазоні швидкостей від 0 до 200 RPM змінюється від 5340 сП до 374,4 сП, а середня пластична в'язкість становить величину 85,72 сП. При однаковому значенні поверхневого натягу і роботи когезії, найменшим кутом змочування ($\cos\Theta=0,5876$) і найбільшими коефіцієнтами змочування ($s=0,7938$) і млинності ($f=-19,34$ мН/м), а також роботами сил адгезії ($W_a=74,46$ мН/м), змочування ($W_w=27,56$ мН/м) характеризується підкладка вільхи, надалі - сосни, дубу, берези, бука і ясеню.

Для адгезиву складу $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 4,5\text{SiO}_2\cdot 17,5\text{H}_2\text{O}$ при малих значеннях швидкості зсуву від 0,0378 до 1,05 1/сек зусилля зсуву збільшується від 26,21 дупе/см² до 48,64 дупе/см². Отримані дані значно перевищують ці ж показники рідинного скла при великих швидкостях зсуву від 14 до 39 1/сек. Для адгезиву складу $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2\cdot 20\text{H}_2\text{O}$ на малих швидкостях зсуву спостерігається різкий сплеск зусилля зсуву від 40 до 110 дупе/см². Це пов'язано з процесами диспергації кремнеземистої складової. При збільшенні значень швидкості зсуву від 5 до 42 1/сек зусилля зсуву збільшується від 110 до 158 дупе/см². Це пов'язано зі стабілізацією значень в'язкості з утворенням однорідної структури адгезиву.

Ключові слова: алюмосилікатний адгезив, динамічна і пластична в'язкість, поверхневий натяг, кут змочування, зусилля зсуву, дерев'яна підкладка.

1. Вступ

У будівництві клеєні дерев'яні конструкції набули широкого поширення, насамперед завдяки своїм високим характеристикам міцності, вологостійкості і порівняно невисокими витратами при монтажі [1, 2]. Ще одна перевага клеєних конструкцій полягає у використанні некондиційної деревини [3]. Для склеювання деревини в основному використовують органічні клеї на полівінілаце-

татній емульсії з показниками водостійкості D2...D4 [4], фенолформальдегідні [5], акрилові [6], епоксидні [7], поліуретанові [8] та інші.

Доля мінеральних клеїв незначна і вони, в основному, використовуються для склеювання целюлозовмісних матеріалів. Для склеювання масивів деревини перспективним є використання мінеральних клеїв (адгезивів) на алюмосилікатній основі [9]. Вони, на рівні з органічними повинні забезпечувати міцність клейового шва не нижче міцності деревини на сколювання вздовж волокон і на розтягнення поперек волокон. Також повинні мати необхідну атмосферостійкість та здатність витримувати достатні навантаження.

Мінеральні клеї уявляють собою гетерогенні фізико-хімічні системи (суспензії). Вони складаються з трьох та більше фаз, розділених поверхнею розділу. Рідка фаза – дисперсійне середовище і розподілених в ньому завислих твердих частинок (дисперсійних фаз) розмірами від 0,5 до 100 мкм. Фази можуть відрізнятися одна від одної за складом та властивостям, компонентністю, термодинамічністю та ступенями свободи. Зазвичай тверді компоненти в дисперсійному середовищі зв'язані правилом фаз [10].

У випадку, коли в якості дисперсійного середовища виступає високонаповнена функціональними добавками лужна алюмосилікатна в'язуча речовина, то проявляється її неоднорідність та схильність до седиментації зі зміною динамічної вязкості у часі.

Тому актуальним, з точки зору колоїдної хімії, є регулювання агрегатної стійкості і процесів структуроутворення лужних алюмосилікатних суспензій як основи мінеральних клеїв із технологічної точки зору.

Для регулювання процесів структуроутворення і реологічних властивостей алюмосилікатних клеїв-адгезивів застосовують розріджуючі та стабілізуючі хімічні добавки. Ці добавки дозволяють цілеспрямовано змінювати їх як електроповерхневі, так і реологічні характеристики в напрямку модифікування поверхні розділу фаз “тверде тіло-розчин”.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Робіт по вивченню реотехнологічних властивостей алюмосилікатних адгезивів для масивів деревини не виявлено. Враховуючи той факт, що алюмосилікатний адгезив у своєму складі має метакаолін, мікрокремнезем і рідинне скло, то доцільно проаналізувати наукові праці щодо реології визщезазначених складових.

В роботі [11] наведені результати гелеутворення композиційної колоїдно-кремнеземної системи. Показано, що вони відбуваються за рахунок гідроксилізації частинок кремнезему з утворенням первинних агрегатів хімічно скріпленних гелеподібною кремнеземистою фазою. Нез'ясованими залишились питання впливу іонів Cl^- , NH_4^+ , OH^- рідкої фази на формування скелета кремнезему з реокінетичної точки зору.

У роботі [12] методом ротаційної віскозиметрії вивчено динаміку руйнування дисперсних структур аеросилу А-175 у воді й у водних розчинах неіоногенного поліетиленоксиду. З'ясовано, що наявність газових (повітряних) включень спричиняє структурну та гідродинамічну нестабільність дисперсій. Дисперсії аеросилу, модифіковані поліетиленоксидом, належать до тиксотроп-

но структурованих систем. Підвищення концентрації поліетиленоксиду призводить до суттєвого підвищення структурованості системи і зміни реологічної поведінки дисперсії. За концентрацій поліетиленоксиду СПЕО $< 1,25 \cdot 10^{-4}$ моль/л дисперсії виявляють квазіньютонівський характер течії. При СПЕО $> 2,5 \cdot 10^{-3}$ моль/л течія дисперсій набуває ознак, характерних для високоструктурованих твердоподібних (за Ребіндером) систем.

У роботі [13] досліджені електрокінетичні та реологічні властивості каолінових дисперсій з об'ємними частками твердих фаз $\varphi=0,20$ і $\varphi=0,47$ в присутності диспергатора силікату натрію ($X_s=0,075$ мг диспергатора/м² і $X_s=0,225$ мг диспергатора/м²). Дисперсії з $X_s \leq 0,075$ мг диспергатора/м² показали пластичну поведінку (у випробуванні на зсув) і характеристики гелю (при коливальних випробуваннях) завдяки великій агрегації частинок каолініту. Дисперсії з дисперсантом $X_s \geq 0,105$ мг/м² демонстрували характеристики розрідження при зсуві і вели себе як в'язкопружні рідини при коливальних випробуваннях. Така поведінка характерна для щільних дисперсій з пластинчатими колоїдними частинками, які добре стабілізуються електростатичним відштовхуванням, що характерно стабілізованих висококонцентрованих дисперсій.

У роботах [14, 15] наведені результати щодо регулювання реотехнологічних властивостей каолінових і каоліно-гідрослюдистих глинистих суспензій і керамічних шлікерів. Показано, що регулювання можливе за рахунок ефективних органо-мінеральних розріджувачів. Дія розріджувачів пов'язана зі зміною електрокінетичного потенціалу системи завдяки паралельному протіканню двох процесів – катіонного обміну та фізичної адсорбції аніонів. Не виченно вплив розріджувачів на реокінетику дисперсій у часі.

Відмічено [16], що неводні шаруваті силікатні суспензії проявляють складну поведінку реології через чутливість структури до течії. Природа нерівноважних і метастабільних структур, викликаних плином, в досліджуваних шаруватих силікатних суспензіях з їх лінійними та нелінійними в'язко пружними властивостями, ґрунтується на теорії фрактального скейлінга, згідно якої простір перколяційних мереж, що складаються з кластерів з мас-фрактальною розмірністю $D_f \approx 2$, що дозволяє виявити утворення агрегатів в потоці дисперсійного середовища. Відмічено, що швидкість зсуву суспензії пов'язана з процесом оборотної агрегації. Після припинення течії спостерігаються тиксотропні властивості суспензії, що пов'язані локальними перебудовами на нанорівні.

Так як основними фазами в процесі поліконденсації алюмосилікатних структур є цеолітоподібні новоутворення [17, 18], то в роботі [19] проведено дослідження реологічних характеристик водних суспензій природних цеолітів. Показано, що при рН7 при концентрації твердих часток до 20%, суспензії демонстрували ньютонівську поведінку і витримували при зсуві більш високі навантаження. При вмісті твердої фази більше 35% суспензії проявляли гістерезис і мали межу плинності, котра експоненціально збільшувалась при збільшенні твердої речовини. Поява межі текучості та її швидке наростання при відносно низькій концентрації твердої речовини, в порівнянні з іншими концентраціями твердих частинок суспензій, пояснювалась поміжчастковою взаємодією.

З технологічної точки зору розрідження та збільшення плинності алюмосилікатних суспензій можливе в умовах кавітаційної обробки [20–23], після якої динамічна в'язкість композицій характеризувалась псевдопластичністю та однорідністю.

3. Мета і задачі досліджень реотехнологічних властивостей алюмосилікатних адгезивів

Метою роботи є визначення впливу складу лужного алюмосилікатного зв'язуючого на реотехнологічні властивості алюмосилікатних адгезивів для деревини, що надасть можливість у виробничих умовах керувати часом як нанесення, так і склеювання масивів деревини.

Для досягнення мети вирішувались наступні задачі:

– визначити реотехнологічні характеристики натрієвого розчинного скла, як дисперсійної фази алюмосилікатного адгезиву;

– визначити реотехнологічні характеристики алюмосилікатного адгезиву на основі лужного алюмосилікатного зв'язуючого складу $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\times 4,5\text{SiO}_2\cdot 17,5\text{H}_2\text{O}$;

– визначити реотехнологічні характеристики алюмосилікатного адгезиву на основі лужного алюмосилікатного зв'язуючого складу $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\times 6\text{SiO}_2\cdot 20\text{H}_2\text{O}$.

4. Матеріали для отримання та методи досліджень реотехнологічних алюмосилікатних адгезивів

Для отримання лужного алюмосилікатного зв'язуючого складу $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot(4,5-6)\text{SiO}_2\cdot(17,5-20)\text{H}_2\text{O}$ в якості модельної системи використовували: метакаолін, мікрокремнезем та натрієве рідинне скло. Розрахунок оптимального співвідношення оксидів здійснювали з урахуванням рекомендацій [24–26]. Коригування складу зв'язуючого по лужним оксидам виконували за допомогою їх водних розчинів.

По даним роботи [9], адгезиви при співвідношенні основних структуруючих оксидів $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=4,5$ і $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}=17,5$ доцільно використовувати для склеювання масивів деревини. Адгезиви при співвідношенні $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=6$ і $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}=20$ – як більш пружної системи [27–31] доцільно використовувати для склеювання фанери та конструктивних елементів з підвищеною вогнестійкістю клейового шва.

Для отримання алюмосилікатного адгезиву для склеювання масивів деревини в склад доцільно вводили ряд функціональних органо-мінеральних добавок [32]. Добавки сприятимуть регулюванню реологічних характеристик – в'язкості, млинності, кута змочування та інших. Комплекс органо-мінеральних добавок є предметом “ноу-хау” і в цій роботі не розкривається.

Приготування лужного алюмосилікатного зв'язуючого та адгезиву на його основі здійснювали в лабораторному дисольвері.

Умовну в'язкість суспензій визначали за допомогою віскозиметру ВЗ 246 з діаметром отвору 4–6 мм при температурі $20\pm 2^\circ\text{C}$.

Реологічні характеристики знімали за допомогою віскозиметра Брукфільда марки LV D2T в діапазоні швидкостей від 0 до 200 RPM з використанням шпінделей LV-2C(66) і LV-3C(67).

Коефіцієнт поверхневого натягу суспензій алюмосилікатних адгезивів визначали методом відриву капель [5, 33]:

$$\gamma = \frac{mg}{nD}, [\text{мН/м}]$$

де: m – маса суспензії, г; g – прискорення сили тяжіння, м/см^2 ; n – число капель, $n=25$; D – діаметр капіляру, мм ($D=5$ мм).

Роботу сил адгезії (W_a), когезії (W_k), змочування (W_w) і коефіцієнтів змочування (S) і розтічності (f) визначали згідно даних роботи [34].

Кут змочування визначали за допомогою цифрової зйомки з подальшою обробкою зображення в програмах paint.net і КОМПАС.

У якості дерев'яних підкладів використовували деревину вільхи, берези, сосни, ясеню, дуба і бука. Зразки деревини характеризувались рівноважною вологістю 12% і шорсткістю поверхні 80 мкм. В якості критеріїв оцінки реотехнологічних характеристик суспензій алюмосилікатних адгезивів було обрано: динамічну в'язкість, пластичну в'язкість, косинус кута змочування, поверхневий натяг і зусилля зсуву.

В якості об'єкту для порівняння реотехнологічних характеристик було обрано натрієве рідинне скло с силікатним модулем $M_c=2,84$ густиною $1,383 \text{ г/см}^3$.

5. Результати досліджень реотехнологічних властивостей алюмосилікатних адгезивів

Основним дисперсійним середовищем як лужного алюмосилікатного зв'язуючого, так і адгезиву на його основі, є натрієве рідинне скло. Визначення його реотехнологічних характеристик важливо для розуміння змін реотехнологічних характеристик алюмосилікатних адгезивів по змочуванні ними поверхні дерев'яних підкладів з різних порід деревини в процесі нанесення та склеювання.

На рис. 1 – 3 наведені результати зміни динамічної та пластичної в'язкості натрієвого рідинного скла та адгезивів, отриманих на основі зв'язуючих зв'язуючих складу $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 4,5\text{SiO}_2\cdot 17,5\text{H}_2\text{O}$ і $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2\cdot 20\text{H}_2\text{O}$, в залежності від швидкості обертання шпинделю та та моменту, а на рис. 4, зусиль зсуву від швидкості зсуву.

На рис. 5 – рис. 7 наведені результати по змочуванню поверхні підкладів з деревини різних порід натрієвим рідинним склом та адгезивами, отриманих на основі зв'язуючих зв'язуючих складу $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 4,5\text{SiO}_2\cdot 17,5\text{H}_2\text{O}$ і $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2\cdot 20\text{H}_2\text{O}$.

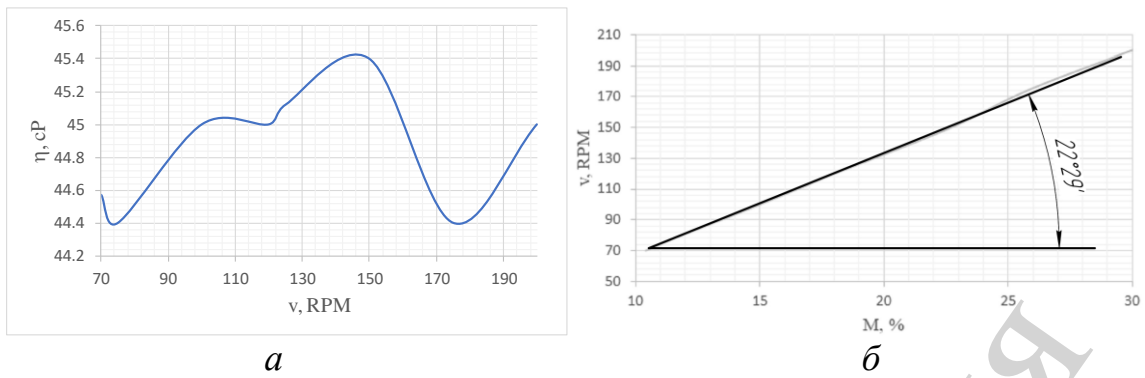


Рис. 1. Зміна в'язкостей в залежності від швидкості обертання шпинделю та моменту: *a* – динамічної; *б* – пластичної

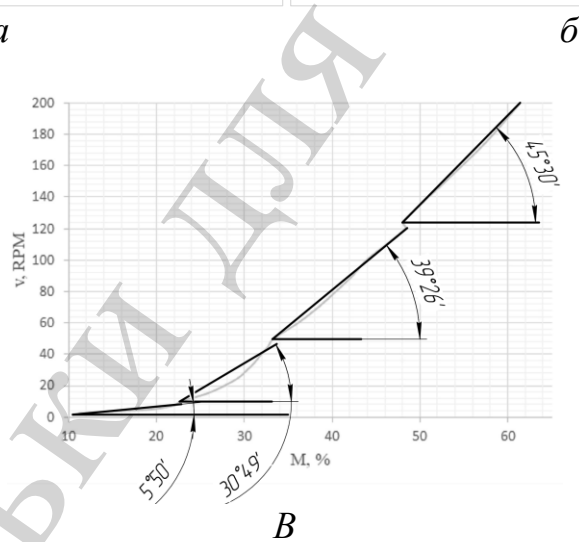
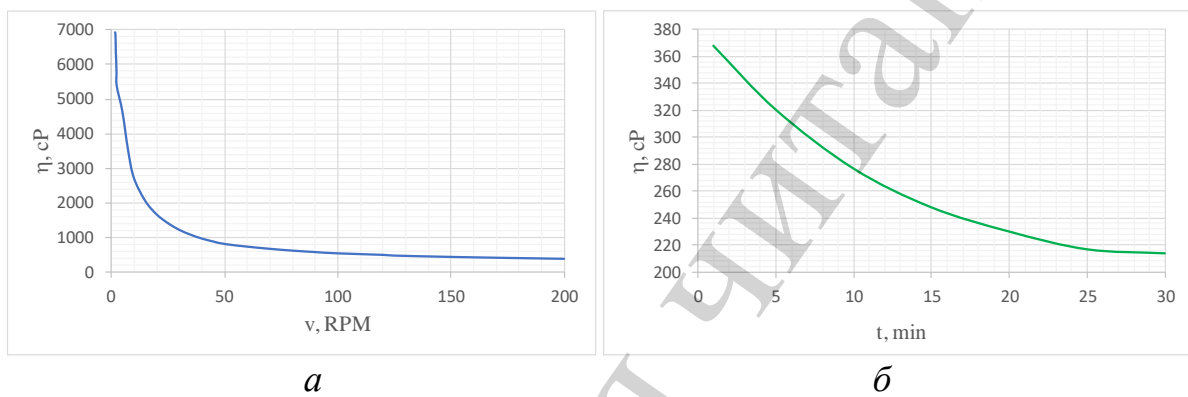
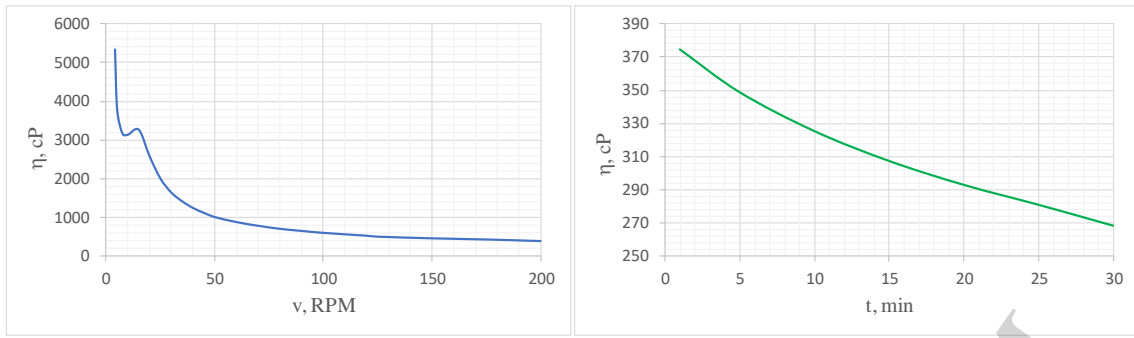
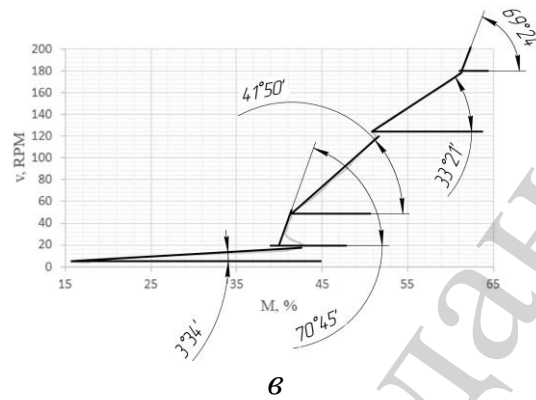


Рис. 2. Зміна в'язкостей алюмосилікатного зв'язуючого складу $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4,5\text{SiO}_2 \cdot 17,5\text{H}_2\text{O}$ в залежності від швидкості та часу обертання шпинделю і моменту: *a*, *б* – динамічної; *в* – пластичної



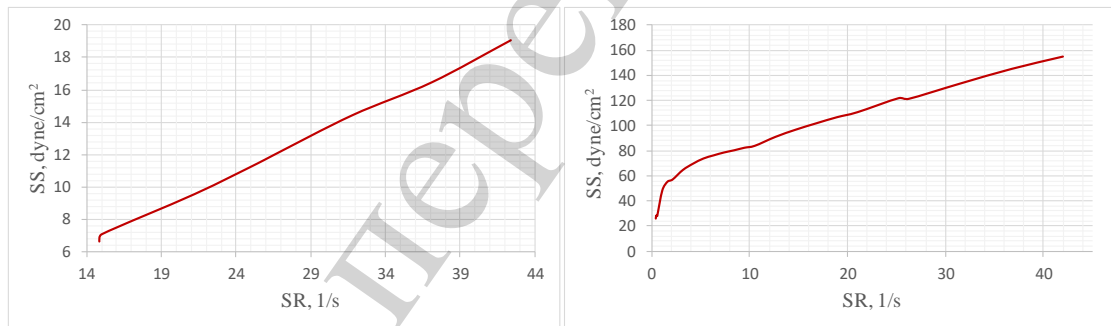
a

б



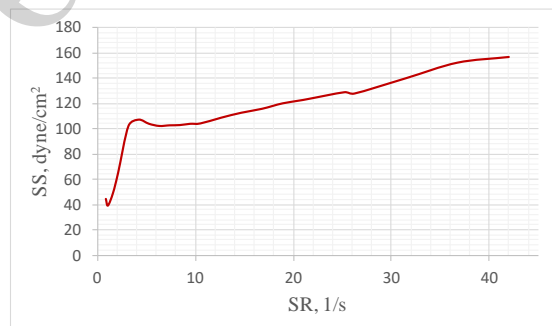
в

Рис. 3. Зміна в'язкостей алюмосилікатного зв'язуючого складу $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2\cdot 20\text{H}_2\text{O}$ в залежності від швидкості та часу обертання шпинделю і моменту: *a*, *б* – динамічної; *в* – пластичної



a

б



в

Рис. 4. Залежності зусиль зсуву від швидкості зсуву суспензій адгезиву, отриманих на основі: *a* – чисте рідинне скло; *б* – на зв'язуючого складу $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 4,5\text{SiO}_2\cdot 17,5\text{H}_2\text{O}$; *в* – на зв'язуючого складу $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2\cdot 20\text{H}_2\text{O}$

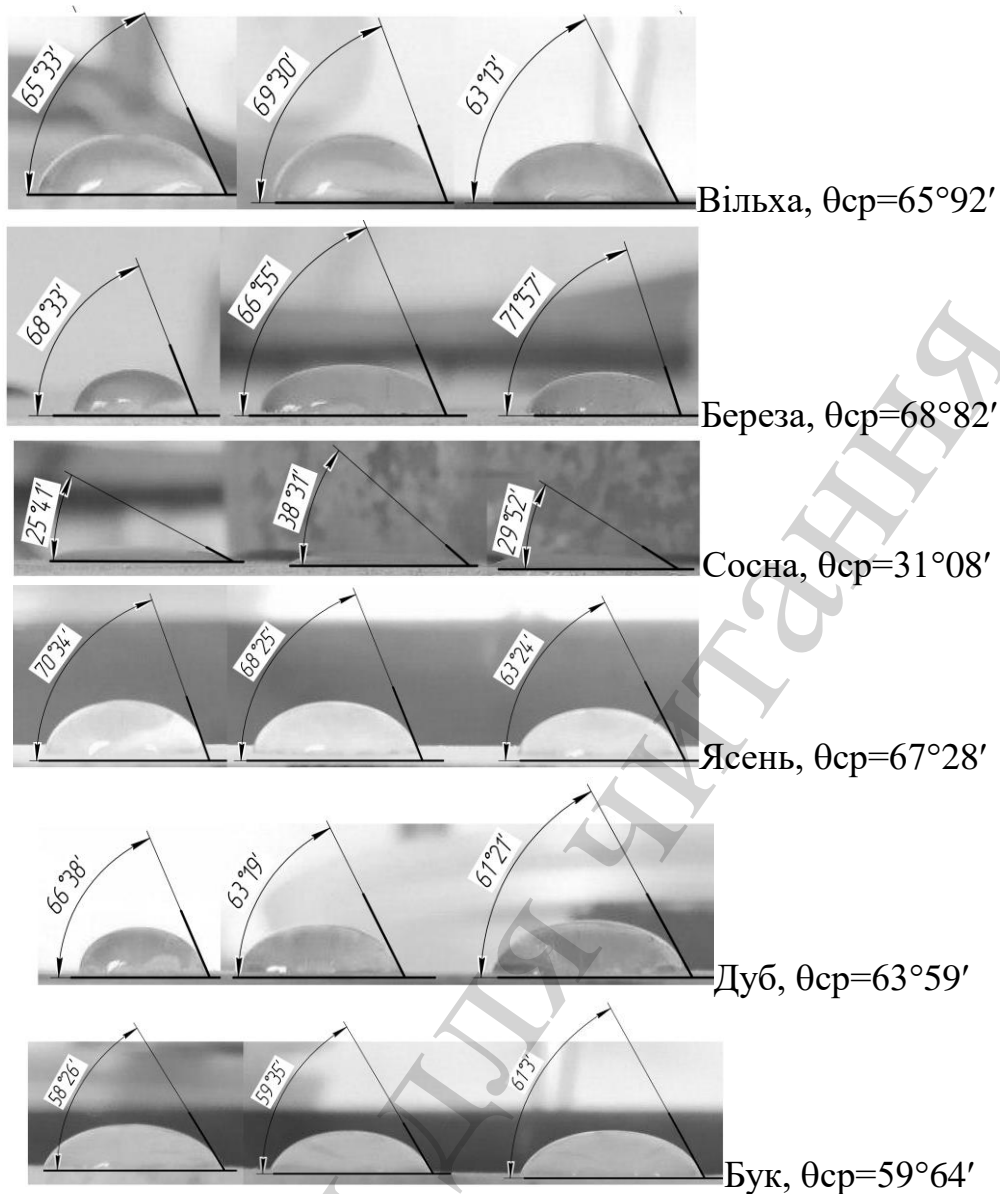


Рис. 5. Кут змочування рідинного скла на дерев'яних підкладах

Колоїдно-хімічні характеристики натрієвого рідинного скла та суспензії адгезивів на основі лужного алюмосилікатного зв'язуючого складів $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4,5\text{SiO}_2 \cdot 17,5\text{H}_2\text{O}$ і $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 20\text{H}_2\text{O}$ наведені в табл. 1–3.

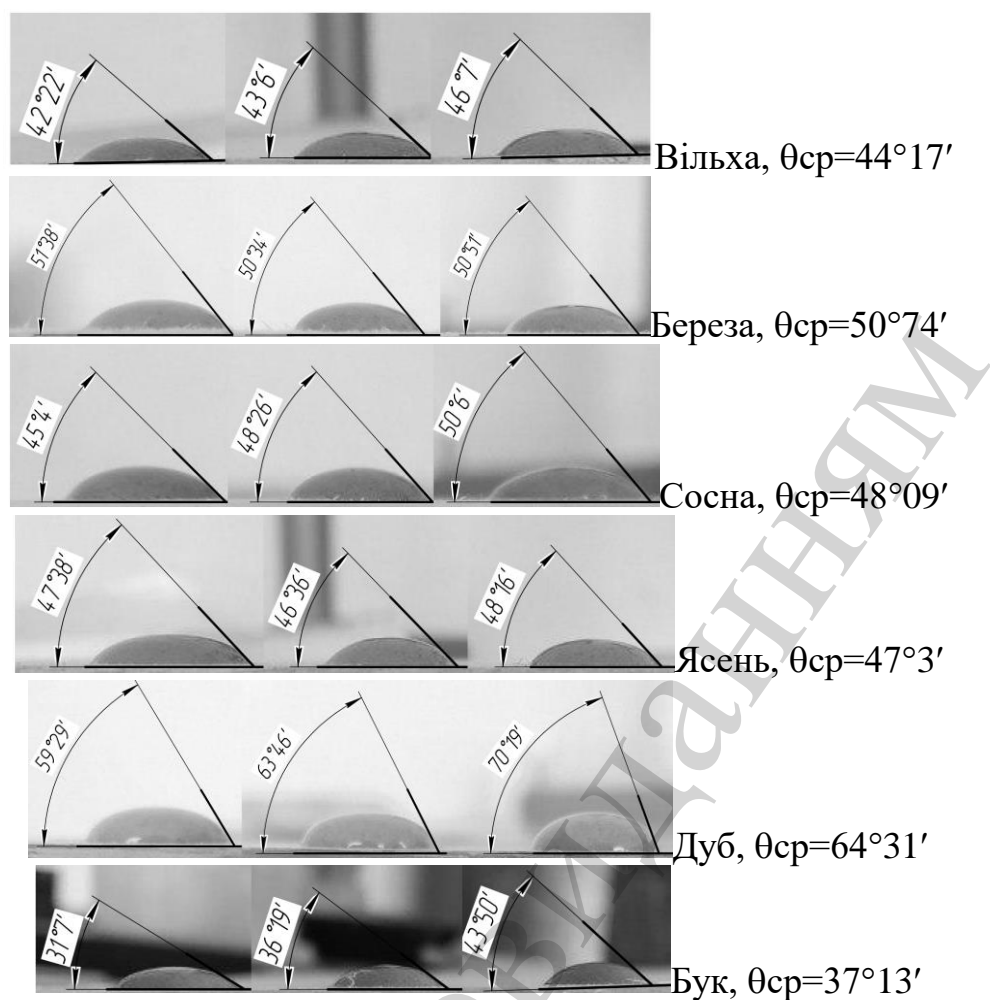


Рис. 6. Кут змочування суспензії адгезиву на основі лужного алюмосилікатного зв'язуючого складу $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4,5\text{SiO}_2 \cdot 17,5\text{H}_2\text{O}$ на дерев'яних підкладах

Таблиця 1

Колоїдно-хімічні властивості рідинного скла

Показники	ОВ	Підклад із порід деревини					
		вільхи	берези	сосни	ясеня	дуба	бука
Мс=2,84, густина 1,383 г/см ³ , поверхневий натяг $\gamma=54,3$ мН/м, умовна в'язкість $\nu=14$ сек							
cos θ	—	0,408	0,3613	0,8564	0,3862	0,4448	0,5054
Wa	мН/м	76,46	73,92	100,81	75,27	78,45	81,74
Wk	мН/м	108,6	108,6	108,6	108,6	108,6	108,6
Ww	мН/м	22,15	19,62	46,5	20,97	24,15	27,44
s	—	0,7041	0,6807	0,9283	0,69,31	0,7228	0,7527
f	мН/м	-32,14	-34,68	-7,79	-33,33	-30,15	-26,86

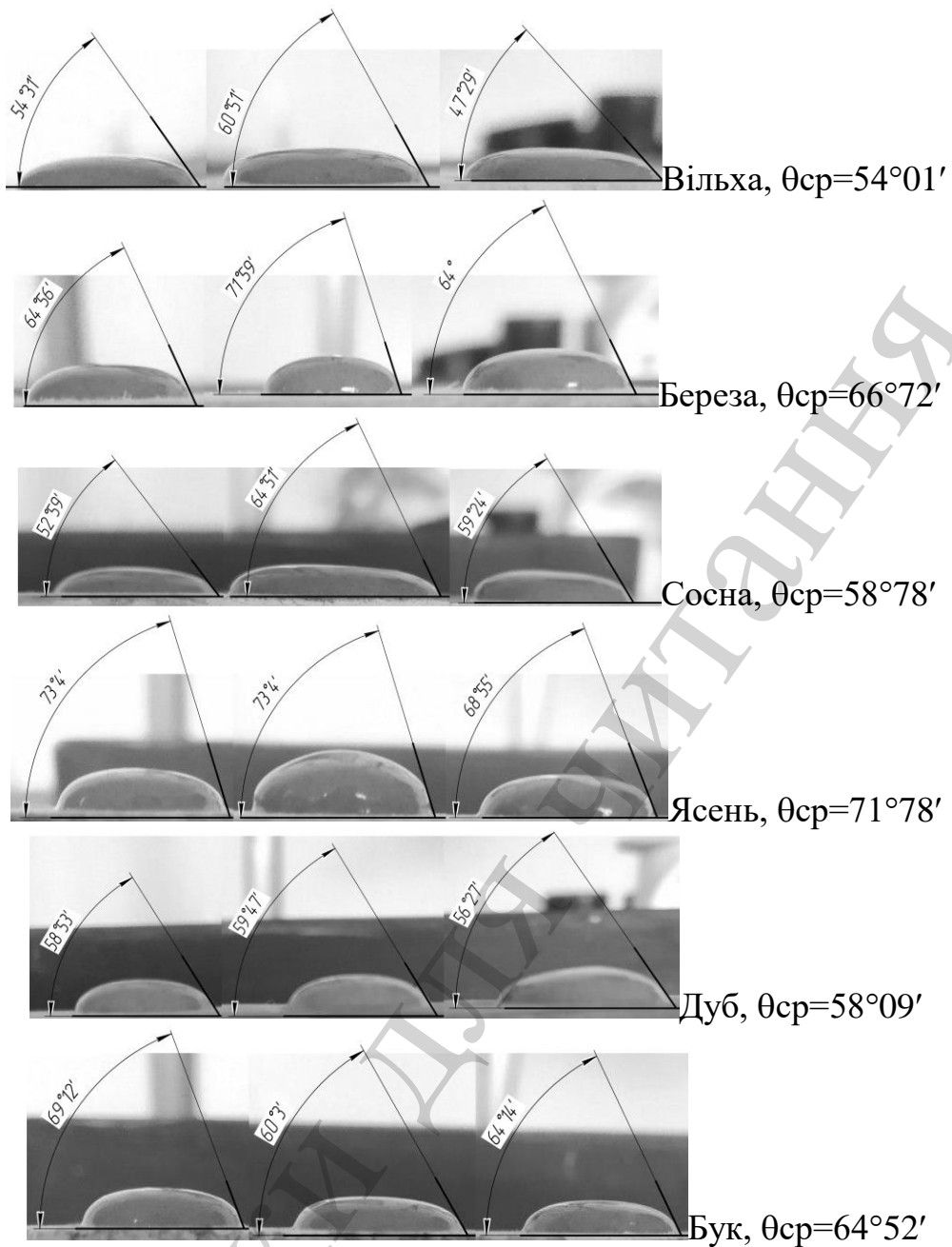
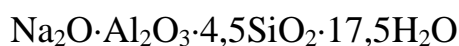


Рис. 7. Кут змочування суспензії адгезиву на основі лужного алюмосилікатного зв'язуючого складу $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 20\text{H}_2\text{O}$ на дерев'яних підкладах

Таблиця 2

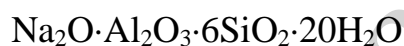
Колоїдно-хімічні властивості алюмосилікатного зв'язуючого складу



Показники	ОВ	Підклад із порід деревини					
		вільхи	берези	сосни	ясеня	дуба	бука
густина 1,427 г/см ³ , поверхневий натяг $\gamma=32,4$ мН/м, умовна в'язкість $\nu=65$ сек							
cos θ	–	0,7173	0,6328	0,66796	0,6782	0,4335	0,7973
Wa	мН/м	55,64	52,9	54,04	54,37	46,45	58,23
Wk	мН/м	64,8	64,8	64,8	64,8	64,8	64,8
Ww	мН/м	23,24	20,5	21,64	21,97	14,05	25,83
s	–	0,8586	0,8164	0,834	0,839	0,717	0,8986
f	мН/м	–9,16	–11,9	–10,76	–10,43	–19,35	–6,5

Таблиця 3

Колоїдно-хімічні властивості алюмосилікатного зв'язуючого складу



Показники	ОВ	Підклад із породи деревини					
		вільхи	берези	сосни	ясеня	дуба	бука
густина 1,463 г/см ³ , поверхневий натяг $\gamma=46,9$ мН/м, умовна в'язкість $\nu=32$ сек							
cos θ	–	0,5876	0,3952	0,5183	0,3127	0,5286	0,4302
Wa	мН/м	74,46	65,43	71,21	61,56	71,69	67,08
Wk	мН/м	93,8	93,8	93,8	93,8	93,8	93,8
Ww	мН/м	27,56	18,53	24,31	14,67	24,79	20,18
s	–	0,7938	0,6975	0,7592	0,6563	0,7643	0,7151
f	мН/м	–19,34	–28,37	–22,59	–32,34	–22,11	–26,72

6. Обговорення результатів експерименту по вивченню реотехнологічних властивостей алюмосилікатних адгезивів

Із рис. 1, а видно, що в діапазоні швидкостей від 70 до 200 RPM динамічна в'язкість натрієвого рідинного змінюється в нелінійній залежності та становить величину $45\pm 0,4$ Па·с.

Пластична в'язкість рідинного скла, яка визначена по котангенсу кута нахилу прямої в залежності $\nu=f(M)$, становить величину 84,43 сП в діапазоні швидкостей від 70 до 200 RPM. Відмінність значень між динамічною та пластичною в'язкостями можна пояснити за рахунок упорядочення структурних складових скла, а саме колоїдних часток орто-, ди- та трисилікатів натрію в дисперсійному середовищі [35].

Як видно з рис. 2, а, в діапазоні швидкостей від 0 до 200 RPM динамічна в'язкість суспензії адгезиву на основі лужного алюмосилікатного зв'язуючого складу $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 4,5\text{SiO}_2\cdot 17,5\text{H}_2\text{O}$ змінюється по експонентній залежності, що характеризує псевдопластичний тип рідини. Та ж сама залежність спостерігається для зміни значень динамічної в'язкості ($\nu=200$ RPM=const) d залежності від часу обертання шпинделю (рис. 2, б).

Пластична в'язкість адгезиву складу $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 4,5\text{SiO}_2\cdot 17,5\text{H}_2\text{O}$ визначена по котангенсу кута нахилу прямої в залежності $v=f(M)$. В діапазоні швидкостей від 0 до 200 RPM її величина становить 86,27 сП (рис. 2, в). Зростання значень пластичної в'язкості, в порівнянні з цим же показником для рідинного скла, пояснюється більшим наповненням дисперсійного середовища дисперсійною фазою, що підтверджується збільшенням моменту обертання шпинделю.

Як видно з рис. 3, поз. а, в діапазоні швидкостей від 0 до 200 RPM динамічна в'язкість суспензії адгезиву на основі лужного алюмосилікатного зв'язуючого складу $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2\cdot 20\text{H}_2\text{O}$ змінюється по експонентній залежності, що характеризує псевдопластичний тип рідини. Та ж сама залежність спостерігається для зміни значень динамічної в'язкості ($v=200 \text{ RPM}=\text{const}$) d залежності від часу обертання шпинделю (рис. 3, б).

Пластична в'язкість суспензії адгезиву на основі лужного алюмосилікатного зв'язуючого складу $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 4,5\text{SiO}_2\cdot 17,5\text{H}_2\text{O}$, яка визначена по котангенсу кута нахилу прямої в залежності $v=f(M)$, становить величину 85,72 сП в діапазоні швидкостей від 0 до 200 RPM. Зростання значень пластичної в'язкості, в порівнянні з цим же показником для рідинного скла, пояснюється більшим наповненням дисперсійного середовища дисперсійною фазою, що підтверджується збільшенням моменту обертання шпинделю.

Зміна деформаційних характеристик рідинного скла та суспензій адгезивів наведено на рис. 4. Із отриманих експериментальних слідує, що для рідинного скла, зусилля зсуву пропорційне швидкості зсуву і носить лінійний характер (рис. 4, а). Для адгезиву складу $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 4,5\text{SiO}_2\cdot 17,5\text{H}_2\text{O}$ (рис. 4, б) характер зміни залежності подібний до рідинного скла. Спостерігається аномальність при малих значеннях швидкості зсуву від 0,0378 до 1,05 1/сек. Зусилля зсуву збільшується від 26,21 dyne/cm² до 48,64 dyne/cm², що перевищує ці ж самі показники рідинного скла при більших швидкостях зсуву від 14 до 39 1/сек. Для адгезиву складу $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2\cdot 20\text{H}_2\text{O}$ (рис. 4, в) на малих швидкостях зсуву спостерігається різкий всплеск зусилля зсуву від 40 до 110 dyne/cm². При збільшенні значень швидкості зсуву від 5 до 42 1/сек зусилля зсуву збільшується від 110 до 158 dyne/cm².

Отримані реотехнологічні характеристики композицій, що досліджувались, сприяють розумінню зміни їх колоїдно-хімічних характеристик при змочуванні поверхні деревини.

При нанесенні крапель рідинного скла на дерев'яні підклади з різних порід деревини, видно, що при однакових параметрах шорсткості поверхні, кут змочування різний, і скоріше за все, він залежить від в'язкості, заряду поверхні та щільності породи деревини (рис. 5).

Найменше значення кута змочування $\theta_{\text{ср}}=31^{\circ}08'$ характерне для сосни, що пояснюється меншим значенням її щільності, характеристик пористості та ін.

У берези значення кута змочування найбільше $\theta_{\text{ср}}=68^{\circ}82'$ і вона достатньо щільна в порівнянні з іншими підкладами. Найменше значення кута змочування $\theta_{\text{ср}}=37^{\circ}13'$ характерне для деревини бука, найбільше – $\theta_{\text{ср}}=64^{\circ}31'$ для деревини

ни бука, що пояснюється меншим значенням її щільності, характеристик пористості та ін.

Як видно з даних табл. 1, при однаковому значенні поверхневого натягу та роботи когезії, найменшим кутом змочування ($\cos\theta=0,8564$) і найбільшими коефіцієнтами змочування ($s=0,9283$) і розтікання ($f=-7,79$ мН/м), а також роботами сил адгезії ($W_a=100,81$ мН/м), змочування ($W_w=46,5$ мН/м) для рідинного скла характеризується підклад сосни.

При нанесенні крапель адгезиву на основі лужного алюмосилікатного зв'язуючого складу $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 4,5\text{SiO}_2\cdot 17,5\text{H}_2\text{O}$ на дерев'яні підклади з різних порід деревини, видно, що при однакових параметрах шорсткості поверхні, кут змочування різний, і скоріше за все, він залежить від заряду поверхні та щільності породи деревини (рис. 6). Найменше значення кута змочування $\theta_{\text{ср}}=54^\circ 01'$ характерне для деревини вільхи, найбільше – $\theta_{\text{ср}}=71^\circ 78'$ для деревини ясеню, що пояснюється більшим значенням її щільності, характеристик пористості та ін.

Відмічено, що при однаковому значенні поверхневого натягу та роботи когезії (табл. 2), найменшим кутом змочування ($\cos\theta=0,7973$) і найбільшими коефіцієнтами змочування ($s=0,8986$) і розтічності ($f=-6,5$ мН/м), а також роботами сил адгезії ($W_a=58,23$ мН/м), змочування ($W_w=25,83$ мН/м) характеризується підклад бука, надалі – вільхи, ясеню, сосни, берези та дубу.

При нанесенні крапель адгезиву на основі лужного алюмосилікатного зв'язуючого складу $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 4,5\text{SiO}_2\cdot 17,5\text{H}_2\text{O}$ на дерев'яні підклади з різних порід деревини, видно, що при однакових параметрах шорсткості поверхні, кут змочування різний, і скоріше за все, він залежить від заряду поверхні та щільності породи деревини (рис. 7). Найменше значення кута змочування $\theta_{\text{ср}}=54^\circ 01'$ характерне для деревини вільхи, найбільше – $\theta_{\text{ср}}=71^\circ 78'$ для деревини ясеню, що пояснюється більшим значенням її щільності, характеристик пористості та ін.

Показано, що при однаковому значенні поверхневого натягу та роботи когезії (табл. 3), найменшим кутом змочування ($\cos\theta=0,5876$) характеризується підклад вільхи, надалі – сосни, дуба, берези, бука та ясеню.

Така поведінка суспензій має чіткий прояв тиксотропності, добре узгоджується з даними робіт [36, 37] і дає змогу впливати на склеювання масивів деревини різних порід з певним часом живучості, що дає можливість розробити механізми подачі алюмосилікатних адгезивів до мість склеювання, передбачити умови теплової обробки клеєних масивів, тощо. Особливістю даного дослідження є те, що, по-перше, алюмосилікатний адгезив має мінеральну природу та проявляє стійкість до дії вогню, так і інших чинників; по-друге, за рахунок керування реотехнологічними властивостями його можливо використовувати на автоматичних лініях по виготовленню дерев'яних піддонів.

Подальші дослідження будуть направлені на вивчення межі текучості алюмосилікатних адгезивів за рахунок зменшення розмірів дисперсійних часток, надання однорідності з підвищенням клейової спроможності за умов кавітаційної обробки алюмосилікатних суспензій.

6. Висновки

1. Встановлено, що в діапазоні швидкостей від 70 до 200 RPM динамічна і пластична в'язкості натрієвого рідинного змінюється лінійно і становлять величину $45 \pm 0,4$ сП і 84,43 сП. Відмічено, що при однаковому значенні поверхневого натягу та роботи когезії, найменшим кутом змочування ($\cos\theta=0,8564$) характеризується підклад сосни.

2. Для адгезиву на основі лужного алюмосилікатного зв'язуючого складу $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4,5\text{SiO}_2 \cdot 17,5\text{H}_2\text{O}$ динамічна в'язкість в діапазоні швидкостей від 0 до 200 RPM змінюється від 6933 сП до 368,4 сП, а середня пластична становить величину 86,27 сП. При малих значеннях швидкості зсуву від 0,0378 до 1,05 1/сек зусилля зсуву збільшується від 26,21 dyne/cm² до 48,64 dyne/cm², що перевищує ці ж показники рідинного скла при великих швидкостях зсуву від 14 до 39 1/сек. Відмічено, що при однаковому значенні поверхневого натягу та роботи когезії, найменшим кутом змочування змочування ($\cos\theta=0,7973$) характеризується підклад бука, надалі – вільхи, ясеню, сосни, берези та дубу.

3. Для адгезиву на основі лужного алюмосилікатного зв'язуючого складу $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 20\text{H}_2\text{O}$ динамічна в'язкість в діапазоні швидкостей від 0 до 200 RPM змінюється від 5340 сП до 374,4 сП, а середня пластична становить величину 85,72 сП. Виявлено, що на малих швидкостях зсуву спостерігається різкий сплеск зусилля зсуву від 40 до 110 dyne/cm², що пов'язано з процесами диспергації кремнеземистої складової, а при збільшенні значень швидкості зсуву від 5 до 42 1/сек зусилля зсуву збільшується від 110 до 158 dyne/cm², що пов'язано зі стабілізацією значень в'язкості і однорідністю структури адгезиву. Відмічено, що при однаковому значенні поверхневого натягу та роботи когезії, найменшим кутом змочування ($\cos\theta=0,5876$) характеризується підклад вільхи, надалі – сосни, дуба, берези, бука та ясеню.

Подяки

Автори висловлюють подяку за фінансову підтримку роботи, яка виконувалась в рамках бюджетного фінансування № 2ДБ-2017, а також за розвиток теми досліджень у програмі наукового співробітництва COSTActionCA15202 "Self Healing concrete: the path to sustainable construction" рамкової програми Європейського Союзу HORIZON2020.

Література

1. Хрулев, В. М. (Ред.) (1983). Деревянные конструкции и детали. М.: Стройиздат, 288.
2. Вернигорова, В. Н., Саденко, С. М. (2014). Клеи и склеивание. Пенза: ПГУАС, 120.
3. Тамби, А. А., Чубинский, А. Н., Чаузов, К. В., Кульков, А. М. (2016). Исследование клеевых соединений древесины. Лесной вестник, 2, 120–126.
4. Rindler, A., Hansmann, C., Konnerth, J. (2019). The effect of moisture on the mechanical response of wood, adhesive and their interphase by means of

nanindentation. *Wood Science and Technology*, 53 (4), 729–746. doi: <https://doi.org/10.1007/s00226-019-01100-4>

5. Ülker, O. (2016). *Wood Adhesives and Bonding Theory. Adhesives - Applications and Properties*. doi: <https://doi.org/10.5772/65759>

6. Pizzi, A. (1994). *Advanced Wood Adhesives Technology*. New York, 304.

7. Frihart, C. R. (2015). Introduction to Special Issue: Wood Adhesives: Past, Present, and Future. *Forest Products Journal*, 65 (1-2), 4–8. doi: <https://doi.org/10.13073/65.1-2.4>

8. Liu, X., Zhang, X., Long, K., Zhu, X., Yang, J., Wu, Y. et. al. (2012). PVA wood adhesive modified with sodium silicate cross-linked copolymer. *Proceedings of 2012 International Conference on Biobase Material Science and Engineering*. doi: <https://doi.org/10.1109/bmse.2012.6466192>

9. Krivenko, P., Petropavlovsky, O., Vozniuk, G. (2018). Alkaline Aluminosilicate Binder for Gluing Wood Board Materials. *Key Engineering Materials*, 761, 11–14. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.761.11>

10. Сычев, М. М. (1986). *Неорганические клеи*. Л.: Химия, 152.

11. Подденежный, Е. Н., Бойко, А. А., Паховчишин, С. В. (2003). Реология композиционных кремнеземсодержащих коллоидных систем и моделирование процессов их дестабилизации. *Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого*, 3, 20–27.

12. Закордонський В., Лазарук Б. (2014). Процеси агрегування та реологія дисперсій аеросилу А-175, модифікованих поліетиленоксидом. *Вісник Львівського університету. Серія хімічна*, 55 (2), 472–485.

13. Amorós, J. L., Beltrán, V., Sanz, V., Jarque, J. C. (2010). Electrokinetic and rheological properties of highly concentrated kaolin dispersions: Influence of particle volume fraction and dispersant concentration. *Applied Clay Science*, 49 (1-2), 33–43. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2010.03.020>

14. Здоренко, Н. М. (2009). Реотехнологические свойства каолиновых и каолинит-гидрослюдистых глинистых масс с комплексной органоминеральной добавкой. *Белгород*, 140.

15. Климош, Ю. А., Левицкий, И. А. (2011). Реологические свойства шликеров на основе полиминеральных глин с добавкой электролитов. *Стекло и керамика*, 4, 19–22.

16. McIntyre, E. C., Filisko, F. E. (2009). Squeeze Flow Rheology of Zeolite Suspensions. *Applied Rheology*, 19 (4), 44322-1–44322-8. doi: <https://doi.org/10.1515/arh-2009-0016>

17. Provis, J. L., van Deventer, S. J. (2009). *Geopolymers: Structures, Processing, Properties and Industrial Applications*. Elsevier, 464. doi: <https://doi.org/10.1533/9781845696382>

18. Krivenko, P., Guzii, S. (2018). The effect of modifying additives on the modulus of elasticity and strength of adhesives based on an alkaline aluminosilicate binder. *Proceed. of the 20. Ibausil. Internationale Baustofftagung. Weimar*, 2-1213–2-1218.

19. Zacahua-Tlacuatl, G., Pérez-González, J., Javier Castro-Arellano, J., Balmori-Ramírez, H. (2010) *Rheological Characterization and Extrusion of Suspensions*

sions of Natural Zeolites. *Applied Rheology*, 20 (3), 34037-1–34037-10. doi: <http://doi.org/10.3933/ApplRheol-20-34037>

20. Guzii, S., Hela, R., Kyrychok, V. (2013). Rehabilitation of Concrete Surfaces of Hydropower Engineering Structures Deteriorated by Soft Corrosion and Cavitation. *Advanced Materials Research*, 688, 107–112. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.688.107>

21. Krivenko, P., Guziy, S., Abdullah Al Musa, J. (2015). The Influence of Cavitation Treatment on Amorphization of Kaolinite in the Dispersion of the “Kaolin–Na₂O · nSiO₂ · mH₂O–NaOH–H₂O” Composition. *Calcined Clays for Sustainable Concrete*, 387–393. doi: https://doi.org/10.1007/978-94-017-9939-3_48

22. Krivenko, P. V., Guzii, S., Hela, R. (2017). The Influence of Cavitation Treatment on Nano Structuring of Alkali Aluminosilicate Binder for Intumescent Coatings. *Materials Science Forum*, 908, 63–70. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.908.63>

23. Martyntsev, V., Guzii, S., Nazarenko, I., Glyva, V., Guzii, O. (2017). Investigation of rheo-mechanical properties of cement suspensions activated in a hydrodynamic cavitator. *Technology Audit and Production Reserves*, 6 (3 (38)), 18–25. doi: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.119479>

24. Kryvenko, P., Volodymyr, K., Guzii, S. (2016). Influence of the ratio of oxides and temperature on the structure formation of alkaline hydro-aluminosilicates. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (5 (83)), 40–48. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.79605>

25. Barrer, R. (1982). *Hydrothermal chemistry of zeolites*. Academic Press, 360.

26. Mejía de Gutiérrez, R., Trochez, J. J., Rivera, J., Bernal, S. A. (2015). Synthesis of geopolymer from spent FCC: Effect of SiO₂/Al₂O₃ and Na₂O/SiO₂ molar ratios. *Materiales de Construcción*, 65 (317), e046. doi: <https://doi.org/10.3989/mc.2015.00814>

27. Kravchenko, A., Guzii, S. (2015). Determining the fire resistance properties of timber, protected by geocement-based coatings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (5 (73)), 38–41. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.36843>

28. Krivenko, P. V., Guzii, S. G., Bodnarova, L., Valek, J., Hela, R., Zach, J. (2016). Effect of thickness of the intumescent alkali aluminosilicate coating on temperature distribution in reinforced concrete. *Journal of Building Engineering*, 8, 14–19. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2016.09.003>

29. Krivenko, P. V., Guzii, S. G., Bondarenko, O. P. (2019). Alkaline Aluminosilicate Binder-Based Adhesives with Increased Fire Resistance for Structural Timber Elements. *Key Engineering Materials*, 808, 172–176. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.808.172>

30. Guzii, S. G., Krivenko, P. V., Bondarenko, O. P., Kopylova, T. (2019). Study on Physico-Mechanical Properties of the Modified Alkaline Aluminosilicate Adhesive-Bonded Timber Elements. *Solid State Phenomena*, 296, 112–117. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.296.112>

31. Krivenko, P. V., Guzii, S. G., Bodnarova, L., Valek, J., Hela, R., Zach, J. (2016). Effect of thickness of the intumescent alkali aluminosilicate coating on temperature distribution in reinforced concrete. *Journal of Building Engineering*, 8, 14–19. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2016.09.003>
32. Ершов, Ю. А. (2013). Коллоидная химия. Физическая химия дисперсных систем. М.: ГЭОТАР-Медиа, 352.
33. Глазачева, Е. Н., Успенская, М. В. (2015). Коллоидная химия. Методические указания к выполнению лабораторных работ. СПб.: Университет ИТМО, 62.
34. Guzii, S. (2017). Investigation of the influence of organomineral additives on the colloid-chemical properties of geocement dispersion. *Technology Audit and Production Reserves*, 3 (1 (35)), 38–43. doi: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.105678>
35. Фиговский, О. Л., Кудрявцев, П. Г. (2014). Жидкое стекло и водные растворы силикатов, как перспективная основа технологических процессов получения новых нанокomпозиционных материалов. *Инженерный вестник Дона*. URL: [https://cyberleninka.ru/article/n/zhidkoe-steklo-i-vodnye-rastvory-silikatov-kak-perspektivnaya-osnova-tehnologicheskikh-protsessov-polucheniya-novykh](https://cyberleninka.ru/article/n/zhidkoe-steklo-i-vodnye-rastvory-silikatov-kak-perspektivnaya-osnova-tehnologicheskikh-protsessov-polucheniya-novykh-nanokompozitsionnykh-materialov)
36. Панахов, Г. М., Аббасов, Э. М., Юзбашиева, А. О., Расулова, С. Р., Гусейнов, В. Г. (2016). Реологические свойства структурообразующих дисперсных систем. *Нефтегазовое дело*, 15 (2), 133–140.
37. Малкин, А. Я., Исаев, А. И. (2007). Реология: концепции, методы, приложения. СПб.: Профессия, 560.