

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНИХ МОДИФІКАТОРІВ НА ФІЗИЧНІ ТА РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ АЛЮМОСИЛІКАТНИХ АДГЕЗИВІВ ДЛЯ СКЛЕЮВАННЯ ДЕРЕВИНИ

**Гузій С.Г.**, к.т.н., с.н.с.,

sguziy2@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0147-5035

ТОВ "ГЕОФІП",

офіс 402, пл. Дружби Народів, 3, м. Кропивницький, 25015, Україна

**Гузій О.І.**, технік,

gusiy.elena777@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9618-295

Київський національний університет будівництва і архітектури

Повітрофлотський проспект, 31, м. Київ, 03680, Україна

**Юшкевич С.В.**, інженер,

mars970909@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8471-7652

ТОВ "ГЕОФІП",

офіс 402, пл. Дружби Народів, 3, м. Кропивницький, 25015, Україна

**Бажелко І.К.**, к.т.н., доцент,

bikbstu@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7599-6944

Білоруський державний технологічний університет,

вул. Свердлова, 13а, м. Мінськ, 220006, Республіка Білорусь

**Анотація.** Досліджено вплив органо-мінеральних модифікаторів на фізичні та реологічні властивості алюмосилікатних адгезивів для склеювання деревини. В результаті оптимізації встановлено область допустимих концентрацій органо-мінеральних добавок по мінімальних критеріям густини, динамічної в'язкості, поверхневому натягу та по куту змочування, а саме: вміст алюмінату кальцію від 6,5 до 8,3%, вміст борату цинку від 1,3 до 1,6%, вміст карбаміду від 3 до 3,5%. Показано роль кожного модифікатору на посилення чи зниження властивостей, що досліджувались.

**Ключові слова:** алюмосилікатний адгезив, деревина, органо-мінеральні добавки, реологічні властивості.

**Введення.** В технології склеювання масивів із деревини використовують різноманітні клеї, які повинні відповідати наступним вимогам: міцно склеювати, бути простими у використанні, мати життєздатність і великий термін зберігання; бути водостійкими (для виробів, що працюють в умовах високої вологості) [1, 2] і біостійкими (чинити опір руйнівній діяльності мікроорганізмів) [3]; не руйнувати волокно деревини і не змінювати її природного забарвлення; бути порівняно дешевими, не викликати затуплення різальних інструментів при обробці матеріалів; бути нешкідливими для людського організму і не займатися.

Масово застосовують клеї на основі ПВА-дисперсій та карбамідформальдегідні [4, 5]. Альтернативою клеям на органічній основі є алюмосилікатні клеї, котрі, від вище приведених вимог, характеризуються негорючістю [6, 7].

Для регулювання показників середньої густини, динамічної в'язкості, поверхневого натягу та кута змочування, в їх склад доцільно вводити мінеральні та органічні модифікатори.

**Аналіз останніх публікацій.** Згідно даних [8] певним вирішенням проблеми щодо водостійкості алюмосилікатних адгезивів є введення і їх склад СаО-вміщуючих добавок, в тому числі і алюмінатів кальцію як складових глиноземних цементів. Одним із прийомів підвищення водостійкості композицій на основі розчинних силікатів натрію є використання в якості добавок бор-цинк-вміщуючих добавок, т.ч. і антипіреного типу. Хімічний механізм пов'язаний зі здібністю атомів В, Zn заміщувати атоми кремнію в кремнійкисневих тетраедрах рідинного скла з утворенням кислотних центрів, котрі ведуть себе подібно нерозчинній у воді натрієвої солі сильної кислоти, відміну від силікатного, такий натрій на

здатен до гідролітичного вилуговування, що різко підвищує водостійкість матеріалу [9–11].

По даним [12-15] уведення карбаміду в розчинні силікати натрію значно підвищує їх липкість (адгезію) до субстрату, але достатньо знижує водостійкість мінеральних композицій.

В вище наведених роботах не відмічено впливу зазначених добавок на реологічні властивості клейових алюмосилікатних матеріалів з точки зору використання отриманих даних в технології склеювання масивів із деревини. Тому актуальним є проведення досліджень в цьому напрямку по вивченню впливу комплексу розглянутих добавок на реологічні властивості клеїв на основі лужних алюмосилікатів.

**Мета та завдання.** Метою роботи є визначення впливу орґано-мінеральних модифікаторів на фізичні та реологічні властивості алюмосилікатних адгезивів для склеювання деревини. Для досягнення мети вирішувалась задача по визначенню комплексного впливу модифікаторів алюмосилікатних адгезивів на їх властивості з подальшим використанням в технології склеювання виробів з деревини.

**Матеріали та методика дослідження.** Для отримання алюмосилікатного адгезиву використовували зв'язуюче виду  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot (4,5-6)\text{SiO}_2 \cdot (17,5-20)\text{H}_2\text{O}$  при співвідношенні основних структуроутворюючих оксидів  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=6$  і  $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}=20$ . Розрахунок оптимального співвідношення оксидів здійснювали з урахуванням рекомендацій [16, 17]. Коригування складу зв'язуючого по лужним оксидам виконували за допомогою їх водних розчинів.

Для регулювання фізичних та реологічних характеристик алюмосилікатного адгезиву в його склад вводили функціональні орґано-мінеральні добавки, а саме: алюмінати кальцію виду  $m\text{CaO} \cdot n\text{Al}_2\text{O}_3$ , борат цинку та карбамід. Загальна сума всіх компонентів адгезивної суміші складала 1.

Оптимізацію складу адгезиву з орґано-мінеральними модифікаторами проводили згідно 3-факторного симплекс-центрального плану експерименту в математичному середовищі STATISTICA. Фактори варіювання та матриця планування експерименту наведені в табл. 1 та табл. 2.

Таблиця 1 – Фактори варіювання

Фактори, вигляд	натуральний	кодований	Рівні варіювання		Інтервал варіювання
			0	1	
АС	%	$X_1$	5	12,5	7,5
ZnB	%	$X_2$	0,5	4,5	4
Carbamide	%	$X_3$	1,5	4,5	3

Примітка: АС – алюмінати кальцію виду  $m\text{CaO} \cdot n\text{Al}_2\text{O}_3$ , як складові глиноземних цементів; ZnB –  $\text{ZnO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , Carbamide – карбамід  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ .

Таблиця 2 – Матриця планування експерименту

Точки плану	План матриці в кодованому вигляді			План матриці в натуральному вигляді		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	АС, %	ZnB, %	Carbamide, %
1	0	1,0	0	5	4,5	1,5
2	0,33	0,33	0,33	7,5	1,83	2,5
3	1,0	0	0	12,5	0,5	1,5
4	0,5	0,5	0	8,75	2,5	1,5
5	0	0	1,0	5	0,5	4,5
6	0,5	0	0,5	8,75	0,5	3
7	0	0,5	0,5	5	2,5	3

Приготування алюмосилікатного адгезиву з функціональними добавками здійснювали в лабораторному дисольвері. Для аналізу впливу модифікаторів на фізичні та реологічні властивості в якості вихідних параметрів обрано: середня густина, динамічна в'язкість, поверхневий натяг та кут змочування на підкладці сосни, обробленої до шорсткості Rz80. Числові значення вихідних параметрів отримували на приладах згідно методик, що

застосовуються в ЛФМ. Динамічну в'язкість визначали на віскозиметрі Брукфільда LVDV2T при швидкості обертання шпинделя LV-3C(67) 0,3 RPM [18–20].

За критерій оцінки властивостей обрано мінімальні значення вихідних параметрів.

**Результати досліджень.** На підставі статистичної обробки даних, представлених на рис. 1-2 можна отримати рівняння регресії (1–4), що враховують залежність властивостей алюмосилікатного адгезиву при різних концентраціях органо-мінеральних добавок в його складі:

– середня густина, г/см<sup>3</sup>:

$$\rho = 1,689x_1 + 1,654x_2 + 1,608x_3 - 0,154x_1x_2 - 0,05x_1x_3 - 0,008x_2x_3 + 0,114x_1x_2x_3 \quad (1)$$

– динамічна в'язкість, сП:

$$\eta = 399800x_1 + 239400x_2 + 399860x_3 + 1080000x_1x_2 - 1720x_1x_3 + 1121480x_2x_3 - 5318220x_1x_2x_3 \quad (2)$$

– поверхневий натяг, мН/м:

$$\gamma = 77,4x_1 + 68,66x_2 + 62,42x_3 + 37,44x_1x_2 - 15x_1x_3 + 7,48x_2x_3 + 123,72x_1x_2x_3 \quad (3)$$

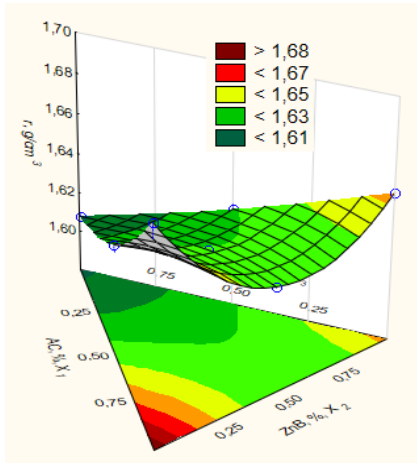
– середній кут змочування  $\Theta$ , °:

$$\Theta_{cp} = 91,67x_1 + 100x_2 + 88,33x_3 + 19,34x_1x_2 - 20x_1x_3 - 68,66x_2x_3 - 52,95x_1x_2x_3 \quad (4)$$

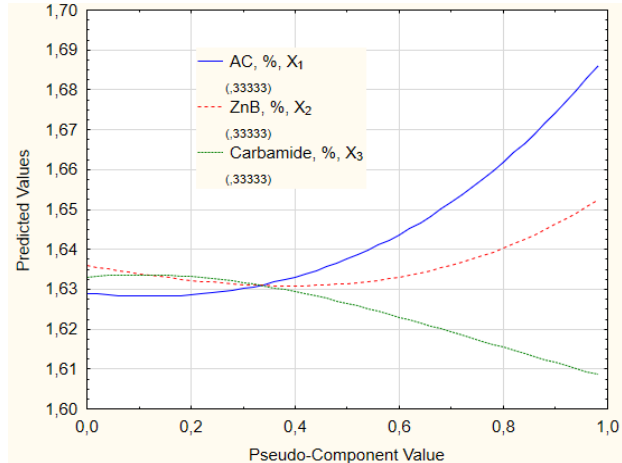
Аналіз рівнянь (1–4) показує, що на зміну вихідних параметрів мають вплив основні фактори варіювання –  $X_1$ ,  $X_2$  і  $X_3$ , а також їх сумісна дія, а саме: для значень середньої густини  $x_1x_2x_3$ ; динамічної в'язкості –  $x_1x_2$ ; поверхневого натягу –  $x_1x_1$  і  $x_1x_2x_3$ ; кута змочування –  $x_1x_2$ .

Мінімальні значення середньої густини алюмосилікатного адгезиву (1,61-1,63 г/см<sup>3</sup>) знаходяться в області факторного простору, обмеженого концентраціями по  $X_1$  – алюмініату кальцію від 5 до 6,5%, по  $X_2$  – борату цинку від 1,5 до 3,5%, по  $X_3$  – карбаміду від 3,5 до 4,5% (рис. 1, а).

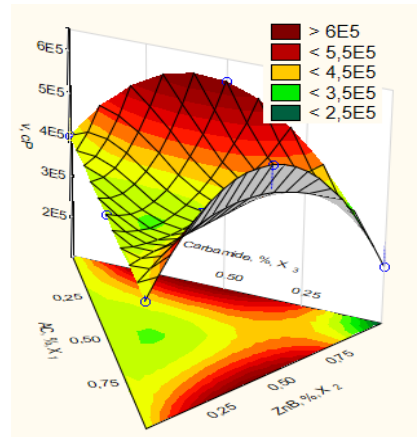
а)



б)



в)



г)

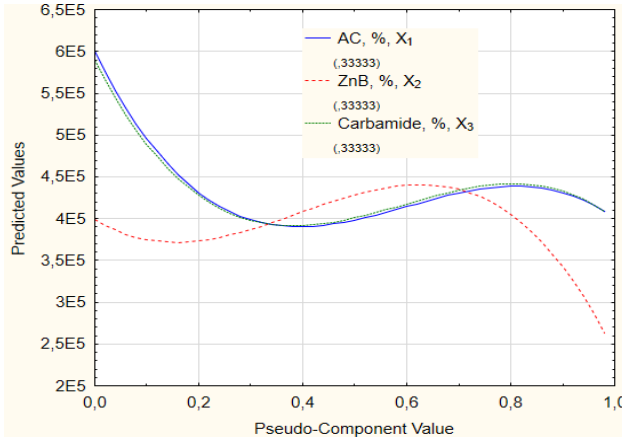


Рис. 1. Ізопараметричні діаграми зміни вихідних параметрів від кількості добавок-модифікаторів: а, в – середньої густини та динамічної в'язкості; б, г – графіки очікуваних реакцій

Із графіку очікуваних реакцій (рис. 1, б) слідує, що на зменшення значень середньої густини найбільш впливає збільшення концентрації карбаміду в складі адгезиву.

Мінімальні значення динамічної в'язкості алюмосилікатних адгезивів ( $<3,5 \cdot 10^5$  сП) знаходяться в області, обмеженої концентраціями по  $X_1$  – алюмінату кальцію від 7,5 до 9,5%, по  $X_2$  – борату цинку від 1, до 2%, по  $X_3$  – карбаміду від 2,8 до 3% (рис. 1, в). Із графіку очікуваних реакцій (рис. 1, г) слідує, що на зменшення значень динамічної в'язкості найбільш впливає збільшення концентрації карбаміду в складі адгезиву.

Мінімальні значення поверхневого натягу алюмосилікатних адгезивів ( $<67$  мН/м) характерні для області факторного простору, яка обмежена концентраціями добавок по  $X_1$  – від 5 до 8,75%, по осі  $X_2$  – борату цинку від 0,7 до 4%,  $X_3$  – карбаміду від 2 до 4,5% (рис. 2, а).

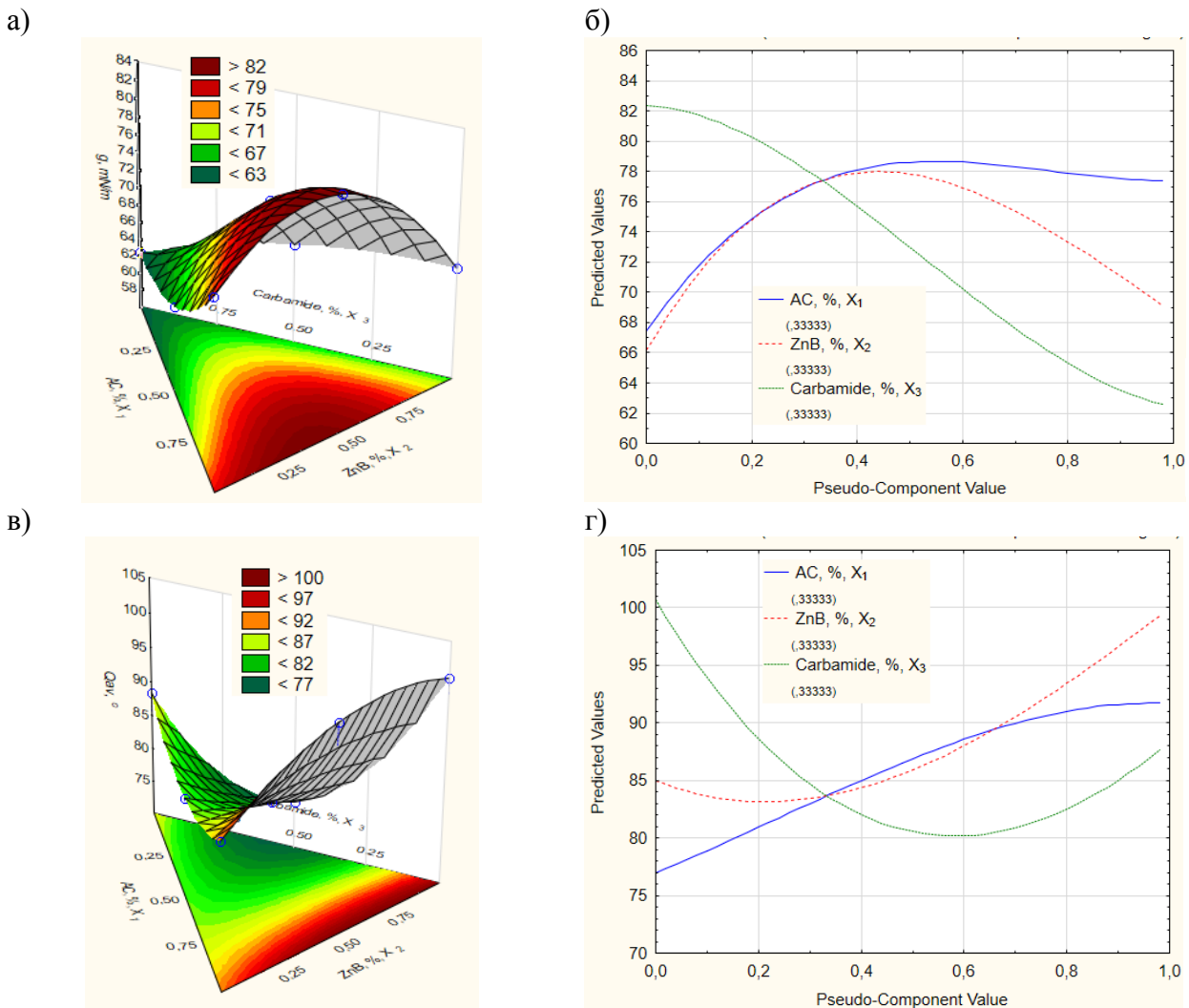


Рис. 2. Ізопараметричні діаграми зміни вихідних параметрів від кількості добавок-модифікаторів: а, в – поверхневого натягу та кута змочування; б, г – графіки очікуваних реакцій

Із графіку очікуваних реакцій (рис. 2, б) слідує, що на зменшення значень поверхневого натягу алюмосилікатних адгезивів найбільш впливають збільшення концентрацій борату цинку та карбаміду.

Мінімальні значення кута змочування алюмосилікатних адгезивів ( $<82^\circ$ ) характерні для області факторного простору, яка обмежена концентраціями добавок по  $X_1$  – від 6,85 до 9,65%, по осі  $X_2$  – борату цинку від 3,5 до 4,5%,  $X_3$  – карбаміду від 2,25 до 3,75% (рис. 2, в).

Із графіку очікуваних реакцій (рис. 2, г) слідує, що на зменшення значень кута змочування алюмосилікатних адгезивів найбільш впливає збільшення концентрацій карбаміду.

Методом накладання ізопараметричних діаграм досліджених параметрів встановлена область допустимих концентрацій органо-мінеральних модифікаторів алюмосилікатних адгезивів, котра відповідає мінімальним критеріям густини, динамічної в'язкості, поверхневого натягу та кута змочування, а саме: вміст алюмінату кальцію від 6,5 до 8,3%, вміст борату цинку від 1,3 до 1,6%, вміст карбаміду від 3 до 3,5%.

**Висновки.** Досліджено вплив органо-мінеральних модифікаторів на фізичні та реологічні властивості алюмосилікатних адгезивів для склеювання деревини. В результаті оптимізації встановлено область допустимих концентрацій органо-мінеральних добавок по мінімальних критеріям густини, динамічної в'язкості, поверхневому натягу та по куту змочування, а саме: вміст алюмінату кальцію від 6,5 до 8,3%, вміст борату цинку від 1,3 до 1,6%, вміст карбаміду від 3 до 3,5%. Показано роль кожного модифікатору на посилення чи зниження властивостей, що досліджувались.

### Література

1. Шилдз Дж. Клеящие материалы: справочник; перевод с англ. под ред. В.П. Батизата. М.: Машиностроение, 1980. 368 с.
2. Ковальчук Л.М. Производство деревянных клееных конструкций. М.: Лесная промышленность, 1987. 248 с.
3. Гузій С.Г. Дослідження біологічної стійкості алюмосилікатних адгезивів для склеювання деревини. *Вісник ОДАБА*. 2019. Вип. 77. С. 126-134.
4. Gaiduk S.S.. Investigation of thixotropic properties of adhesive materials based on polyvinyl acetate. *Proc. of BSTU*. 2013. No. 2. pp. 130-134.
5. Korobko E.V.. Viscous-plastic and thixotropic properties of modified polyvinyl acetate adhesives. *Proc. of BSTU*. 2016. No. 2. pp. 219-224.
6. Krivenko P., Guzii S., Bondarenko, O. Alkaline aluminosilicate binder-based adhesives with increased fire resistance for structural timber elements. *Key Engineering Materials*. 2019. Vol. 808 KEM. pp. 172-176.
7. Guzii Sergii, Krivenko Pavel, Bondarenko Olga, Kopylova Tamara. Study on Physico-Mechanical Properties of the Modified Alkaline Aluminosilicate Adhesive-Bonded Timber Elements. *Solid State Phenomena Submitted*. 2019. Vol. 296. pp 112-117.
8. Kyrychok V., Kryvenko P., Guzii, S. Influence of the caocontaining modifiers on the properties of alkaline alyumosilicate binders. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 2(6-98). pp. 36-42.
9. Милявский Н.И. Щелочносиликатные утеплители. *Свойства и химические основы производства*. Рос. Хим. Ж., 2003, т. XLVII, № 4. С. 39-45.
10. Фиговский О.Л., Кудрявцев П.Г. Жидкое стекло и водные растворы силикатов, как перспективная основа технологических процессов получения новых нанокпозиционных материалов. *Инженерный вестник Дон*. 2014. №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2448](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2448).
11. Иващенко Ю.Г., Павлова И.Л., Кочергина М.П. Роль цинкосодержащих добавок в формировании структуры силикатнатриевых композиционных материалов. *Инженерный вестник Дона*. 2015. № 2. ч. 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3012](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3012).
12. Лисовский В.В. и др. О влиянии некоторых технологических параметров приготовления жидкостекольных целлюлозосодержащих композиций на водостойкость. *Пластические массы*. 1997. № 4. С. 23–25.
13. Григорьев Г.Н., Матвеев М.А. Растворимое стекло. М.: ГИЛСМ, 1956. 443 с.
14. Кизбер С.А. Современные клеи для брошюровочно-переплетных процес сов. М.: Книга по требованию, 1966. 54 с.
15. Власенко П.И., Кулик В.М. Минеральное связующее для отделочных материалов по древесине. *Деревообработка*. 1989. № 12. С. 6-23.
16. Kryvenko P., Kyrychok V., Guzii S. Influence of the ratio of oxides and temperature on the structure formation of alkaline hydro-aluminosilicates. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 5(5-83). pp. 40-48.

17. Barrer R. *Hydrothermal chemistry of zeolites*. London Academic Press., UK, 1982.
18. Guzii S. Investigation of the influence of organomineral additives on the colloid-chemical properties of geocement dispersion. J., *Technology audit and production reserves*. 2017. No. 3/1(35). pp. 38-43.
19. Guzii S., Kryvenko P., Guzii O., Yushkevych S. Determining the effect of the composition of an aluminosilicate binder on the rheotechnological properties of adhesives for wood. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 6/6(102). pp. 30-37.
20. Глазачева Е.Н., Успенская М.В. Коллоидная химия. Методические указания к выполнению лабораторных работ. Учебное пособие. СПб: Университет ИТМО, 2015. 62 с.

### References

- [1] Dzh. Shildz, *Kleyashchiye materialy: spravochnik; perevod s angl. pod red. V.P. Batizata*. M.: Mashinostroyeniye, 1980.
- [2] L.M. Koval'chuk, *Proizvodstvo derevyannykh kleyenykh konstruksiy*. M.: Lesnaya promyshlennost', 1987.
- [3] S.G. Guzii, "Doslidzhennya biolohichnoyi stiykosti alyumosylikatnykh adhezyviv dlya skleyuvannya derevyny", *Visnik Odes'koï derzhavnoi akademii budivnictv ta arhitekturi*, vol. 77, pp. 126-134, 2019.
- [4] S.S. Gaiduk, "Investigation of thixotropic properties of adhesive materials based on polyvinyl acetate", *Proc. of BSTU*, no. 2, pp. 130-134, 2013.
- [5] E.V. Korobko, "Viscous-plastic and thixotropic properties of modified polyvinyl acetate adhesives", *Proc. of BSTU*, no. 2, pp. 219-224, 2016.
- [6] P. Krivenko, S. Guzii, O. Bondarenko, "Alkaline aluminosilicate binder-based adhesives with increased fire resistance for structural timber elements", *Key Engineering Materials*, vol. 808 KEM, pp. 172-176, 2019.
- [7] Sergii Guzii, Pavel Krivenko, Olga Bondarenko, Tamara Kopylova, "Study on Physico-Mechanical Properties of the Modified Alkaline Aluminosilicate Adhesive-Bonded Timber Elements", *Solid State Phenomena Submitted*, vol. 296, pp. 112-117, 2019.
- [8] V. Kyrychok, P. Kryvenko, S. Guzii, "Influence of the caocontaining modifiers on the properties of alkaline alyumosilicate binders", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 2(6-98), pp. 36-42, 2019.
- [9] N.I. Milyavskiy, "Shchelochnosilikatnyye utepliteli", *Svoystva i khimicheskiye osnovy proizvodstva*, Ros. Khim. ZH., t. XLVII, no. 4, pp. 39-45, 2003.
- [10] O.L. Figovskiy, P.G. Kudryavtsev, "Zhidkoye steklo i vodnyye rastvory silikatov, kak perspektivnaya osnova tekhnologicheskikh protsessov polucheniya novykh nanokompozitsionnykh materialov", *Inzhenernyy vestnik Dona*, no. 2, 2014. Available: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2448](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2448).
- [11] YU.G. Ivashchenko, I.L. Pavlova, M.P. Kochergina, "Rol' tsinkosoderzhashchikh dobavok v formirovanii struktury silikatnatriyevykh kompozitsionnykh materialov", *Inzhenernyy vestnik Dona*, no. 2, ch. 2, 2015. Available: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3012](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3012).
- [12] V.V. Lisovskiy i dr., "O vliyaniy nekotorykh tekhnologicheskikh parametrov prigotovleniya zhidkostekol'nykh tsellyulozosoderzhashchikh kompozitsiy na vodostoykost", *Plasticheskiye massy*, no. 4, pp. 23-25, 1997.
- [13] G.N. Grigor'yev, M.A. Matveyev, *Rastvorimoye steklo*. M.: GILSM, 1956.
- [14] S.A. Kizber, *Sovremennnyye klei dlya broshyurovochno-perepletnykh protsessov*. M.: Kniga po trebovaniyu, 1966.
- [15] P.I. Vlasenko, V.M. Kulik, "Mineral'noye svyazuyushcheye dlya otdelochnykh materialov po drevesine", *Derevoobrabotka*, no. 12, pp. 6-23, 1989.
- [16] P. Kryvenko, V. Kyrychok, S. Guzii, "Influence of the ratio of oxides and temperature on the structure formation of alkaline hydro-aluminosilicates", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 5(5-83), pp. 40-48, 2016.
- [17] R. Barrer, *Hydrothermal chemistry of zeolites*. London Academic Press., UK, 1982.

- [18] S. Guzii, "Investigation of the influence of organomineral additives on the colloid-chemical properties of geocement dispersion", *J., Technology audit and production reserves*, no. 3/1(35), pp. 38-43, 2017.
- [19] S. Guzii, P. Kryvenko, O. Guzii, S. Yushkevych, "Determining the effect of the composition of an aluminosilicate binder on the rheotechnological properties of adhesives for wood", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 6/6(102), pp. 30-37, 2019.
- [20] Ye.N. Glazacheva, M.V. Uspenskaya, "Kolloidnaya khimiya", Metodicheskiye ukazaniya k vypolneniyu laboratornykh rabot. Uchebnoye posobiye. SPb: Universitet ITMO, 2015.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫХ МОДИФИКАТОРОВ НА ФИЗИЧЕСКИЕ И РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ АДГЕЗИВОВ ДЛЯ СКЛЕИВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

**Гузий С.Г.**, к.т.н., с.н.с.,

sguziy2@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0147-5035

ООО "ГЕОФИП",

офис 402, пл. Дружбы Народов. 3, г. Кропивницкий, 25015, Украина

**Гузий О.И.**, техник,

gusiy.elena777@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9618-295

*Киевский национальный университет строительства и архитектуры*

пр. Воздухофлотский, 31, г. Киев, 03037, Украина

**Юшкевич С.В.**, инженер,

mars970909@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8471-7652

ООО "ГЕОФИП",

офис 402, пл. Дружбы Народов. 3, г. Кропивницкий, 25015, Украина

**Бажелко И.К.**, к.т.н., доцент,

bikbstu@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7599-6944

*Белорусский государственный технологический университет,*

ул. Свердлова, 13а, г. Минск, 220006, Республика Беларусь

**Аннотация.** Алюмосиликатные адгезивы являются новыми негорючими клеющими веществами для древесины. Они по химико-минералогическому (гетерогенная смесь), по водостойкости (отверждение в диапазоне температур 60-80°), по глубине проникновения в структуру субстрата и другим характеристикам значительно отличаются от мономолекулярных клеев на органических смолах. Важным для таких клеев является вопрос водостойкости клеевого шва при обычных температурах твердения, жизнеспособность – открытое время без потери вязкости, скорость отверждения и многое другое. Существует ряд добавок как органической, так и неорганической природы, введение которых в алюмосиликатный адгезив, позволяет направленно регулировать их свойства в сторону повышения водостойкости. Однако эти же добавки могут существенно повлиять и на реологические свойства клеев, а именно: загустить их, перевести в разряд вязких жидкостей с низкой клеющей способностью, влиять на растекаемость и угол смачивания. Поэтому данная работа посвящена исследованию влияния органо-минеральных модификаторов на физические и реологические свойства алюмосиликатных адгезивов для склеивания древесины. В результате оптимизации установлено область допустимых концентраций органо-минеральных добавок по минимальным критериям плотности ( $\rho < 1,65 \text{ г/см}^3$ ), динамической вязкости ( $\eta < 3,5 \cdot 10^5 \text{ сП}$ ), поверхностному натяжению ( $\gamma < 71 \text{ мН/м}$ ) и по углу смачивания ( $\Theta_{\text{ср}} < 80^\circ$ ), а именно: содержание алюмината кальция от 6,5 до 8,3%, содержание бората цинка от 1, 3 до 1,6%, содержание карбамида от 3 до 3,5%. Показана роль каждого модификатора на усиление или снижение свойств, которые исследовались. Из графика ожидаемых реакций следует, что на уменьшение значений средней плотности наиболее влияет увеличение концентрации карбамида в составе адгезива; на уменьшение значений динамической вязкости наиболее влияет увеличение концентрации карбамида в составе адгезива; на уменьшение значений поверхностного натяжения алюмосиликатных адгезивов наиболее влияют увеличение концентраций бората цинка и карбамида; на уменьшение значений угла смачивания алюмосиликатных адгезивов наиболее сильно влияет увеличение

концентраций карбамида. По степени влияния органо-минеральных добавок на свойства алюмосиликатного адгезива их можно ранжировать в ряд: карбамид>алюминаты кальция>борат цинка.

**Ключевые слова:** алюмосиликатный адгезив, древесина, органо-минеральные добавки, реологические свойства.

### STUDY OF THE INFLUENCE OF ORGANIC AND MINERAL MODIFIERS ON PHYSICAL AND RHEOLOGICAL PROPERTIES OF ALUMINOSILICATE ADHESIVES FOR GLUING OF WOOD

**Guzii S.G.**, Ph.D., Senior Researcher,  
sguziy2@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0147-5035

*GEOFIP LLC,*

off. 402, 3, Sq. Druzhby Narodiv, Kropyvnytskyi, 25015, Ukraine

**Guzii O.I.**, technician,

gusiy.elena777@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9618-295

*Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture*

31, Povitroflotsky ave., Kyiv, 03037, Ukraine

**Yushkevich S.V.**, engineer,

mars970909@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8471-7652

*GEOFIP LLC,*

off. 402, 3, Sq. Druzhby Narodiv, Kropyvnytskyi, 25015, Ukraine

**Bazhelka I.K.**, Ph.D., Associate Professor,

bikbstu@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7599-6944

*Belarusian State Technological University,*

13a, Sverdlova str., Minsk, 220006, Republic of Belarus

**Abstract.** Aluminosilicate adhesives are new non-combustible adhesives for wood. According to chemical and mineralogical (heterogeneous mixture), water resistance (curing in the temperature range 60-80°C), depth of penetration into the structure of the substrate and other characteristics significantly differ from monomolecular adhesives on organic resins. An important issue for such adhesives is the water resistance of the adhesive joint at ordinary hardening temperatures, viability - open time without loss of viscosity, curing speed and much more. There is a number of additives of both organic and inorganic nature, the introduction of which into the aluminosilicate adhesive allows you to directionally adjust their properties in the direction of increasing water resistance. However, the same additives can significantly affect the rheological properties of adhesives, namely: thicken them, transfer them to the category of viscous fluids with low adhesive ability, and affect the spreadability and wetting angle. Therefore, this work is devoted to the study of the influence of organic-mineral modifiers on the physical and rheological properties of aluminosilicate adhesives for gluing wood. As a result of optimization, the range of permissible concentrations of organic-mineral additives was established by the minimum density criteria ( $\rho < 1.65 \text{ g/cm}^3$ ), dynamic viscosity ( $\eta < 3.5 \cdot 10^5 \text{ cP}$ ), surface tension ( $\gamma < 71 \text{ mN/m}$ ) and wetting angle ( $\Theta_{av} < 80^\circ$ ), namely: the content of calcium aluminate from 6.5 to 8.3%, the content of zinc borate from 1.3 to 1.6%, the content of urea from 3 to 3.5%. The role of each modifier in enhancing or reducing the properties that were investigated is shown. From the graph of the expected reactions it follows that the decrease in the average density is most affected by an increase in the concentration of urea in the adhesive; a decrease in dynamic viscosity is most affected by an increase in the concentration of urea in the adhesive; a decrease in the surface tension of aluminosilicate adhesives is most affected by an increase in the concentrations of zinc borate and urea; The decrease in the wetting angle of aluminosilicate adhesives is most strongly affected by an increase in urea concentrations. According to the degree of influence of organo-mineral additives on the properties of aluminosilicate adhesive, they can be ranked in a row: urea > calcium aluminates > zinc borate.

**Keywords:** aluminosilicate adhesive, wood, organo-mineral additives, rheological properties.