

ВИВЧЕННЯ СПІВВІДНОШЕННЯ ОКСИДІВ У СКЛАДІ ЛУЖНОГО АЛЮМОСИЛІКАТНОГО ЗВ'ЯЗУЮЧОГО НА ЙОГО МОДУЛЬ ПРУЖНОСТІ**Кривенко П.В.**, д.т.н., професор,

pavlo.kryvenko@gmail.com, ORCID:0000-0001-7697-2437

Гузій С.Г., к.т.н.,

sguziy@ukr.net, ORCID: 0000-0003-0147-5035

*Київський національний університет будівництва і архітектури,**Науково-дослідний інститут в'язучих речовин і матеріалів ім. В.Д. Глуховського*

Анотація. В роботі представлені дослідження впливу співвідношення основних оксидів зв'язуючого на його модуль пружності при вигині після затвердіння при температурі 125°C. З використанням симетричного некомпозиційного трирівневого плану другого порядку (план Боксу-Бенкіна), в якому в якості факторів варіювання брали співвідношення оксидів в межах $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3=0,6-1,0$, $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=3,9-5,0$ і $\text{H}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3=14-20$ отримані рівняння регресії значень модуля пружності при вигині. Встановлено, що оптимальне його значення, близьке до модуля пружності сосни величиною 12-12,8 ГПа, забезпечується при співвідношенні $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3=0,6...0,8$, $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=3,9$ і $\text{H}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3=17...20$.

Ключові слова: лужне алюмосилікатне зв'язуюче, математичне планування, модуль пружності при згині, співвідношення оксидів.

Вступ. У наш час у всьому світі зводяться будівлі і споруди з застосуванням дерев'яних клеєних конструкцій, що мають прольоти від 20 до 120 м! При розрахунку таких конструкцій (визначенні внутрішніх зусиль від дії зовнішніх навантажень і впливів) в обов'язковому порядку враховується їх деформований стан. Як правило, розрахунки виконуються з використанням програмних комплексів, де однією з багатьох вихідних даних є величина модуля пружності деревини та клею. Залежно від величини модуля пружності можна отримувати різні значення внутрішніх зусиль в стиснутих і стиснуто-зігнутих елементах дерев'яних конструкцій і, як наслідок, розміри поперечних перерізів. Обґрунтований вибір величини модуля пружності деревини та клею є однією з важливих задач при проектуванні дерев'яних конструкцій, який посилюється ще і такими її властивостями, як анізотропія і повзучість[1-4].

Конструкція клейового з'єднання, як правило, залежить від двох основних чинників:

1) напрямлення дії всіх прикладених навантажень і сил, які з'єднання повинне витримувати в процесі експлуатації;

2) легкості, з якою може бути сформовано з'єднання. Це залежить від способів виготовлення елементів, що склеюються і від використовуваних матеріалів.

При розробці клейового з'єднання слід мати на увазі кілька важливих аспектів. Модуль пружності і міцність полімерних матеріалів, використовуваних в якості адгезивів, істотно нижче, ніж у металів, кераміки і наповнених композитів. Крім того, значення модуля пружності полімерних матеріалів істотно розрізняються в склоподібного і високоеластичному стані. Проектування клейових з'єднань зводиться до прагнення знизити концентрацію напружень, а також трансформувати прикладені зовнішні навантаження в стискаючі, які значно зменшують напруги в клейовому шві [4].

Маломіцні матеріали, наприклад, деякі сорти деревини, можуть бути менш міцними, ніж адгезійна міцність між клеєм і склеюваним матеріалом, в результаті чого руйнування клейового з'єднання відбувається по елементах, що склеюються. У таких випадках, як правило, можна експлуатувати клейову конструкцію в будь-яких умовах, які буде витримувати склеєний елемент. Застосування високоміцного клею значно розширює асортимент матеріалів, що склеюються.

Важливими характеристиками елементів, що склеюються, є їх товщина і міцність, особливо в тих випадках, коли для отримання справжнього клейового з'єднання від клею потрібно достатня еластичність. Для склеювання гнучких матеріалів, які в умовах експлуатації піддаються вигину, не слід використовувати жорсткі клеї.

Відмінності в коефіцієнтах термічного розширення між клеєм і склеюваними матеріалами можуть привести до появи в клейовому шві внутрішньої напруги. Ці напруги можуть зруйнувати з'єднання перш, ніж до нього буде докладено будь-які зовнішні навантаження. Наявність внутрішньої напруги особливо небезпечно при експлуатаційних температурах нижче 0 °С. Певною мірою внутрішні напруження можна знизити за рахунок зміни конструкції клеєного з'єднання або використовувати клею з модулем пружності по величині меншим, чи наближеним до значення модуля пружності деревини.

По даним робіт [5-7], клеї на основі органічним смол мають наступні значення модуля пружності, МПа: фенолформальдегідна – 3...5 ГПа, резорційноформальдегідні – 1...2,6 ГПа, карбамідоформальдегідні – 3,5...5,5 ГПа, меламіноформальдегідні – 3...4,5 ГПа, в той час, як найбільш поширена в будівництві сосна, характеризується модулем пружності від 6 до 12 ГПа.

Але враховуючи останні тенденції щодо емісії формальдегіду, яка обмежується значеннями не більше 8 мг на 100 г клеєного матеріалу (клас E1, EN-120), в промисловості існує прагнення виробників отримати клеєні деревні плитні матеріали з мінімальною емісією формальдегіду або на основі неорганічних зв'язуючих.

Альтернативою використання неорганічних адгезивів для виробництва клеєних дерев'яних матеріалів є використання алюмосилікатних зв'язуючих в системі $R_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$, які після термообробки здатні утворювати штучний водостійкий камінь з рядом унікальних властивостей [8-11]. Однак недоліком при їх застосуванні для склеювання деревини є більш високий модуль пружності (низька еластичність) в порівнянні з модулем пружності деревини, що значно знижує ефективність їх застосування.

Метою даної роботи є вивчення впливу співвідношення оксидів у складі лужного алюмосилікатного зв'язуючого на максимальне зниження модуля пружності при згині.

Сировинні матеріали та методи досліджень. В даній роботі використовували лужні алюмосилікатні зв'язуючі складу $R_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$, які відрізнялися між собою співвідношенням оксидів: $Na_2O/Al_2O_3 = 0,8...1,0$ $SiO_2/Al_2O_3 = 4...5$ і $H_2O/Al_2O_3 = 15...20$ (ТУ. У 23.5-02070909-001:2016 «Зв'язуючі алюмосилікатні лужні»).

Для приготування лужного алюмосилікатного зв'язуючого використовували метакаолін Західної каолінової компанії (м. Рівне) із питомою поверхнею 8500 cm^2/g за Блейном.

У якості лужного компоненту використовували силікат натрію розчинний (ГОСТ 13078-81) з силікатним модулем $M_s = 2,9...3,0$, густиною $\rho = 1400 \pm 10$ kg/m^3 .

Регулювання складу зв'язуючого за кількістю лужних оксидів здійснювали шляхом введення натрію гідроксиду (NaOH) за ГОСТ 4328-77 та аморфного SiO_2 (біла сажа марки БС-100 (ГОСТ 18307-78) із середнім розміром часток 23...34 нм), хімічний склад яких наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Хімічний склад сировинних матеріалів

Найменування	Вміст оксидів і елементів, %												
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	S	Al	C	SO ₃	в.п.в.
Метакаолін	53,67	43,61	0,77	0,74	0,52	-	0,75	0,25	-	-	-	0,14	<0,50
БС-100	86	0,10	0,17	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	5-7

Модуль пружності при згині зв'язуючих визначали згідно методики, наведеної в роботах [4-6], у якості заповнювача при випробуваннях використовували дніпровський кварцовий пісок за ДСТУ Б В.2.7-32 фракцій 0,315 та 0,64 мм.

Питому поверхню порошоків визначали за допомогою приладу Блейна за ДСТУ Б В.2.7-

188. Планування і постановка експерименту, а також математичну обробку результатів виконували з використанням програми Statistica 12.

Результати досліджень. На основі попередніх даних [8, 9, 12-14] з впливу складових на технологічні та фізико-механічні властивості визначено оптимальне співвідношення оксидів $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 3\dots 5$. Зменшення або збільшення даного співвідношення оксидів у складі зв'язуючого технічно та технологічно є недоцільним внаслідок зниження клеючих властивостей при співвідношенні $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 2,5$ або різкого підвищення в'язкості при $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 5$ та прояву здатності до спучування при нагріванні [10, 11, 15].

Відношення між оксидами у складі зв'язуючого приймалося $\text{R}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,8\dots 1,0$ що за даними [13-15] забезпечує протікання процесів структуроутворення при твердінні у напрямку синтезу гідроалюмосилікатів і формування штучного каменю високої міцності, водостійкості та пониженого модуля пружності. Співвідношення оксидів $\text{H}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ у складі досліджуваних зв'язуючого було обмежено областю оптимальної технологічної в'язкості (в'язкість за ВЗ-246 90...180 °С), що також дозволяє забезпечити можливість введення наповнювачів, добавок-модифікаторів, спрямованих на достатнє протікання мікрореологічних процесів на границі розділу фаз «зв'язуюче – деревина».

В дослідженнях по вивченню впливу співвідношення оксидів та властивостей зв'язуючих використовували симетричний некомпозиційний трирівневий план другого порядку (план Бокса-Бенкена) постановки експерименту [16]. Де, в якості факторів варіювання приймали наступні показники: співвідношення оксидів $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 = 1$ (X_1) при зміні вмісту Na_2O у межах 0,6...1,0, $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=3,9\dots 5,0$ (X_2) та зміні відношення $\text{H}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3=14,0\dots 20,0$. Останнє обумовлено отримання технологічної в'язкості зв'язуючого в межах 90...180 °С за віскозиметром ВЗ-246.

В якості функцій відгуку було прийнято модуль пружності зв'язуючого при згині.

План експерименту представлено в табл. 2, а матриця планування та результати експерименту в табл. 3.

Таблиця 2 – Інтервали варіювання факторів

Фактори, вид		Рівні варіювання			Крок варіювання
натуральний	кодований	нижчий -1	середній 1	верхній +1	
$\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$	X_1	0,6	0,8	1	0,2
$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	X_2	3,9	4,45	5	0,55
$\text{H}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$	X_3	14,0	17,0	20,0	3,0

В результаті математичної обробки експериментальних даних були отримані рівняння регресії, що характеризують вплив співвідношення оксидів у складі лужної алюмосилікатного зв'язуючого на його властивості. При цьому, зразки зв'язуючого тверділи в умовах термічної обробки при 125 °С.

Отримані наступні рівняння регресії значень модуля пружності модуль пружності при згині, ГПа:

для співвідношення оксидів $\text{H}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3=14$:

$$z_{10}=-82,707+132,587x-42,813x^2+37,043y-3,099y^2-46,88xy+ +2,893xy^2+12,45x^2y; \quad (1)$$

для співвідношення оксидів $\text{H}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3=17$:

$$z_{11}=-85,754+134,837x-42,812x^2+37,226y-3,099y^2-46,880xy+ +2,893xy^2+12,5x^2y; \quad (2)$$

для співвідношення оксидів $\text{H}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3=20$:

$$z_{12}=-88,373+137,087x-42,813x^2+37,409y-3,1y^2-46,88xy+2,893xy^2+12,5x^2y \quad (3)$$

Залежність модуля пружності при згині зв'язуючого після твердіння при температурі 125 °С від співвідношення оксидів представлені на ізопараметричних діаграмах (рис. 1-3).

Аналіз результатів показує, що модуль пружності при згині зразків зв'язуючого після затвердіння змінюється в межах значень 12...15,8 ГПа.

Таблиця 3 – Матриця планування та результати експерименту

№ п.п.	Фактори			Вихідні параметри властивостей лужного алюмосилікатного зв'язуючого модуль пружності, ГПа
	X_1 $\frac{Na_2O}{Al_2O_3}$	X_2 $\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	X_3 $\frac{H_2O}{Al_2O_3}$	
1	0,60	3,90	17,00	12,0
2	1,00	3,90	17,00	14,2
3	0,60	5,00	17,00	13,6
4	1,00	5,00	17,00	15,3
5	0,60	4,45	14,00	14,1
6	1,00	4,45	14,00	14,8
7	0,60	4,45	20,00	12,8
8	1,00	4,45	20,00	15,3
9	0,80	3,90	14,00	13,4
10	0,80	5,00	14,00	14,0
11	0,80	3,90	20,00	12,8
12	0,80	5,00	20,00	13,8
13	0,80	4,45	17,00	13,5
14	0,80	4,45	17,00	13,6
15	0,80	4,45	17,00	13,4

Максимальним модулем пружності при згині (15,8 ГПа) характеризується склад зв'язуючого з співвідношенням оксидів $SiO_2/Al_2O_3=4,45$, $Na_2O/Al_2O_3=1,0$ при $H_2O/Al_2O_3=17$.

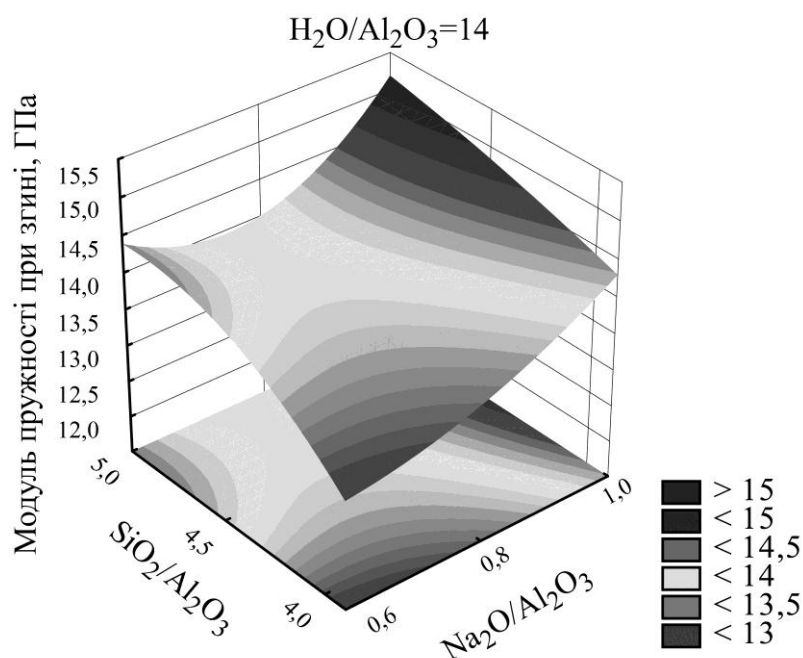


Рис. 1. Зміна модуля пружності при згині зв'язуючого після твердіння при 125 °С від співвідношення оксидів SiO_2/Al_2O_3 і Na_2O/Al_2O_3 при співвідношенні $H_2O/Al_2O_3 = 14$

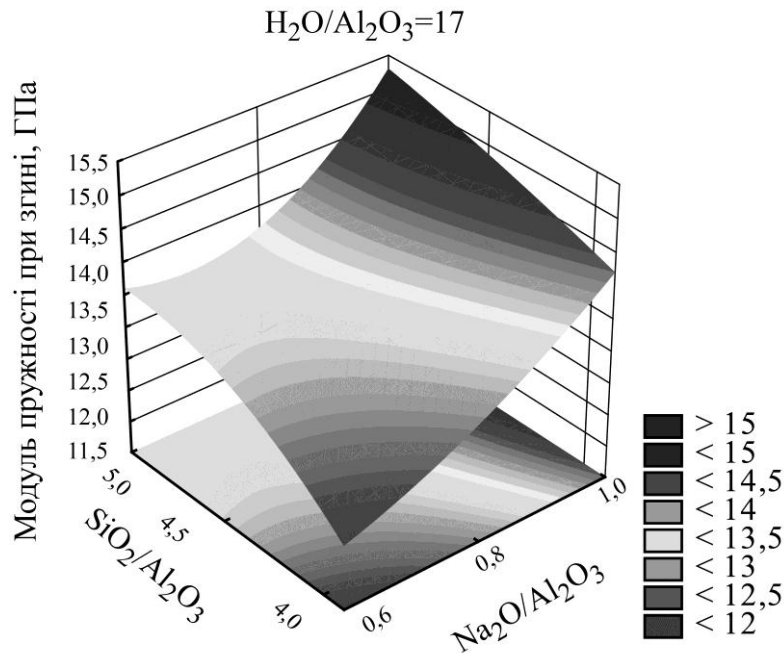


Рис. 2. Зміна модуля пружності при згині зв'язуючого після твердіння при 125 °С від співвідношення оксидів SiO_2/Al_2O_3 і Na_2O/Al_2O_3 при співвідношенні $H_2O/Al_2O_3 = 17$

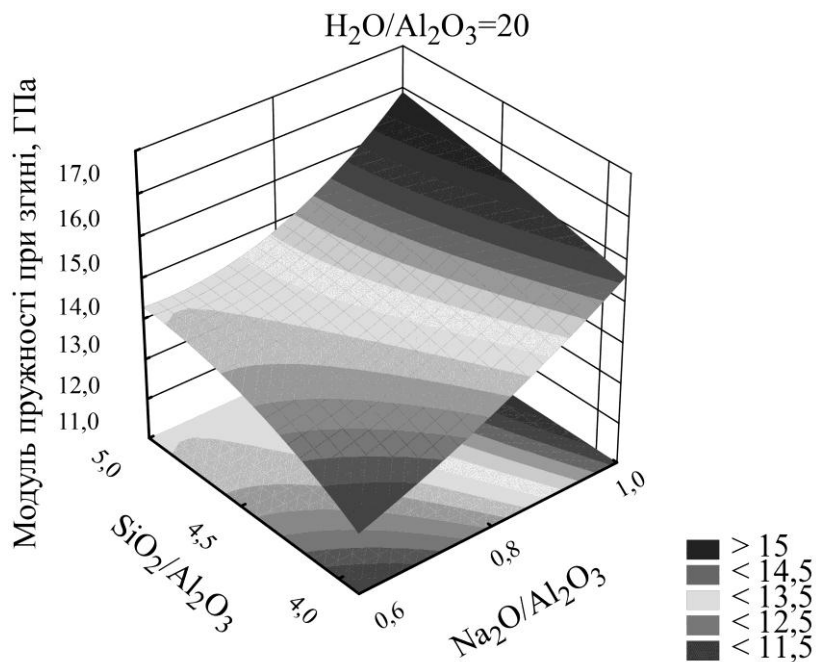


Рис. 3. Зміна модуля пружності при згині зв'язуючого після твердіння при 125 °С від співвідношення оксидів SiO_2/Al_2O_3 і Na_2O/Al_2O_3 при співвідношенні $H_2O/Al_2O_3 = 20$

Визначено, що на модуль пружності при згині штучного каменю впливає, як кількість лужної складової у складі зв'язуючого, так і відношення оксидів SiO_2/Al_2O_3 . Так, зменшення кількості Na_2O/Al_2O_3 з 1,0 до 0,6 призводить до зниження модуля пружності зв'язуючого на 22 %, а збільшення кількості SiO_2/Al_2O_3 з 3,9 до 5 призводить до збільшення модуля пружності зв'язуючого на 10 %.

Збільшення кількості Na_2O/Al_2O_3 приводить до зниження в'язкості силікату натрію за рахунок посилення трансляційного руху найближчих молекул води, що сприяє більш рівномірній гідратації частинок метаксаоліну в складі зв'язуючого та призводить до формування підвищеної щільності упаковки структурних з'єднань у штучному каменю.

Таким чином, мінімальні значення модуля пружності при згині (12...12,8 ГПа) досягаються оптимальним співвідношенням оксидів $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,6...0,8$, $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 3,9$ і $\text{H}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 = 17...20$.

Висновки:

1. У результаті досліджень отримані математичні залежності і побудовані ізопараметричні діаграми, які показують вплив співвідношення оксидів $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ і $\text{H}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ у складі зв'язуючого на модуль пружності при згині після його затвердження за температури 125 °С.

2. Визначено, що оптимальне значення модуля пружності при згині – 12...12,8 ГПа забезпечується співвідношенням оксидів $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3=0,75...0,85$, $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3= 4,4...4,6$ і $\text{H}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3=18...20$.

3. Подальші дослідження будуть направлені на визначення ступеню наповнення алюмосилікатного зв'язуючого добавками органічної і неорганічної природи для зниження модуля пружності клейової композиції при склеюванні масивів із деревини в діапазоні температур 60...90°С.

Подяка. Робота виконувалась у рамках державного фінансування за темою «Фізико-хімічні основи управління структурою та властивостями мінеральних клейових композицій для виготовлення екологічних виробів з деревини різного призначення (№ держ. реєстр 0117U004842) та підтримки європейської програми COST FP1407, Forests, their Products and Services «Understanding wood modification through an integrated scientific and environmental impact approach» (ModWoodLife).

Література

1. Темкина Р.З. Синтетические клеи в деревообработке / Р.З. Темкина. – М.: Лесная промышленность, 1971. – 288 с.
2. Кейгл С. Клеевые соединения / С. Кейгл. – М.: Мир, 1971. – 205 с.
3. Шилдз Дж. Клеящие материалы: справочник / Дж. Шилдс; перевод с англ. под ред. В.П. Батизата. – М.: Машиностроение, 1980. – 368 с.
4. Фрейдин А.С. Прочность и долговечность клеевых соединений / А.С. Фрейдин. – М.: Химия, 1981. – 272 с.
5. Вакула В.Л. Физическая химия адгезии полимеров / В.Л. Вакула, Л.М. Притыкин. – М.: Химия, 1984. – 277 с.
6. Вольнский В.Н. Технология клееных материалов: учебное пособие / В.Н. Вольнский. – Архангельск: Изд-во Архан. гос. техн. ун-та, 2003. – 280 с.
7. Кардашов Д.А. Синтетические клеи / Д.А. Кардашов. – М.: Химия, 1976. – 504 с.
8. Krivenko P. Alkaline aluminosilicate binder for gluing wood board materials / P. Krivenko, O. Petropavlovsky, G. Vozniuk // KEM, Vol. 761, pp. 11 – 16, 2018. Doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.761.11
9. Petranek V. Use of Thermal Insulating Perlite Composite Materials Based on Geocement to Protect Technological Equipment / [V. Petranek, S. Guzii, P. Krivenko, K. Sotiriadis, J. Maňák] // Advanced Materials Research, Vol. 860-863, pp. 1342-1345, 2014.
10. Sukhanevich M.V. The effect of technological factors on properties of alkali aluminosilicate systems used for preparation of fireproof coatings / [M.V. Sukhanevich, S. G. Guzii,] // Refractories and Industrial Ceramics May 2004, Volume 45, Issue 3, pp. 217–219, 2004.
11. Kyrychok V. Influence of the ratio of oxides and temperature on the structure formation of alkaline hydro-aluminosilicates / [V. Kyrychok, R. Drochytka, P. Kryvenko] // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 5, Issue 5, pp. 40-48, 2016.
12. Скурчинская Ж.В. Синтез аналогов природных минералов с целью получения

искусственного камня: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.17.11 / Скурчинская Жанна Витальевна. Львовский политехнический национальный университет. – Львов, 1973. – 16 с.

13. Гончар В.П. Износо-термостойкие композиционные материалы на основе щелочных алюмосиликатных вяжущих: автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.23.05 / Гончар Вадим Петрович. Киевский национальный университет строительства и архитектуры. – К., 2000. – 18 с.

14. Суханевич М.В. Неорганічні матеріали, що спучуються, на основі лужних в'язучих систем: автореф. дис... канд. техн. наук : спец. 05.23.05 / Суханевич Марина Владимировна. Киевский национальный университет строительства и архитектуры. – К., 1997. – 18 с.

15. Kriven W.M. Inorganic polysialates or'geopolymers. American Ceramic Society Bulletin, Vol. 89, Issue 4, pp. 31-34, 2010.

16. Боровиков В. Statistica: искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов / В. Боровиков. – М.: Питер, 2003. – 334 с.

References

1. Temkyna R.Z. Syntetycheskye kley v derevoobrabotke [Synthetic adhesives in woodworking]. Moscow: Lesnaya promushlennost, 1971.

2. Kejgl S. Kleevue soedynenyya [Adhesive joints]. Moscow: Mir, 1971.

3. Shyldz Dzh. Kleyashhye materyal: spravochnyk [Adhesives: Handbook]. Moscow: Mashynostroenye, 1980.

4. Frejdyn A.S. Prochnost y dolgovechnost kleevux soedynenyj [Strength and durability of adhesive joints]. Moscow: Хымыа, 1981.

5. Vakula V.L. Fyzycheskaya хымыа adgezyy polymerov [Physical chemistry of adhesion of polymers]. Moscow: Хымыа, 1984.

6. Volunskiy V.N. Texnologyya kleenux materyalov [Technology of glued materials]. Arkhangelsk: Arkhangelsk State Technical University, 2003.

7. Kardashov D.A. Syntetycheskye kley [Synthetic adhesives]. Moscow: Хымыа, 1976.

8. Krivenko P., Petropavlovsky O., Vozniuk G. Alkaline aluminosilicate binder for gluing wood board materials. KEM, Vol. 761, pp. 11–14, January 2018 [Online]. Available: Doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.761.11

9. Petranek V., Guzii S., Krivenko P., Sotiriadis K., Maňák J. Use of Thermal Insulating Perlite Composite Materials Based on Geocement to Protect Technological Equipment. Advanced Materials Research, Vol. 860-863, pp. 1342-1345, 2014.

10. Sukhanevich M.V, Guzii S.G. The effect of technological factors on properties of alkali aluminosilicate systems used for preparation of fireproof coatings. Refractories and Industrial Ceramics, Vol. 45, Issue 3, pp. 217-219, 2004.

11. 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, Vol. 5, Issue 5, pp. 40-48, 2016.

12. Skurchynskaya Zh.V. Syntez analogov pryrodnux myneralov s celyu poluchenyya yskusstvennogo kamnya [Synthesis of analogues of natural minerals in order to obtain artificial stone]. dis. Cand. tech. Sciences., Lviv Polytechnic National University, Lviv, 1973.

13. Gonchar V.P. Yznoso-termostojkye kompozycyonnye materyalu na osnove shhelochnux alyumosylykatnux vyazhushhyx [Wear-heat-resistant composite materials based on alkaline aluminosilicate binders]. dis. Cand. tech. Sciences., Kyiv National University of Construction and Architecture, Kiev, 2000.

14. Suxanevych M.V. Neorganichni materialy, shho spuchuyutsya, na osnovi luzhnyx v'yazhuchyx system [Inorganic intumescent materials on the basis of alkaline binder systems]. dis. Cand. tech. Sciences., Kyiv National University of Construction and Architecture, Kiev, 1997.

15. Kriven W.M. Inorganic polysialates or'geopolymers. American Ceramic Society Bulletin, Vol. 89, Issue 4, pp. 31-34, 2010.

16. Borovykov V., Statistica: yskusstvo analiza dannux na kompyutere. Dlya professionalov [Statistica: the art of analyzing data on a computer. For professionals]. Moscow: Piter, 2003.

ИЗУЧЕНИЕ СООТНОШЕНИЯ ОКСИДОВ В СОСТАВЕ ЩЕЛОЧНЫХ АЛЮМОСИЛИКАТНОГО СВЯЗУЮЩЕГО НА ЕГО МОДУЛЬ УПРУГОСТИ

Кривенко П.В., д.т.н., профессор,

pavlo.kryvenko@gmail.com

pavlo.kryvenko@gmail.com, ORCID:0000-0001-7697-2437

Гузий С.Г., к.т.н.,

sguziy@ukr.net, ORCID: 0000-0003-0147-5035

Киевский национальный университет строительства и архитектуры,

Научно-исследовательский институт вяжущих веществ и материалов им. В.Д. Глуховского

Аннотация. Одним из решений по улучшению экологической и пожарной безопасности склеенных деревянных материалов является замена органических клеев неорганическими связующими системы $R_2O - Al_2O_3 - SiO_2 - H_2O$. Однако, последние обладают повышенной жесткостью (низкой эластичностью) в сравнении с древесиной, на величину которой влияет, в первую очередь, композиционный состав связующего.

Отличия в коэффициентах термического расширения между клеем и склеиваемыми материалами могут привести к появлению в клеевом шве внутреннего напряжения. Эти напряжения могут разрушить соединения до того как к нему будут приложены какие либо внешние нагрузки. Наличие внутреннего напряжения особенно опасно при эксплуатационных температурах ниже $0^\circ C$. В определенной степени внутренние напряжения можно снизить за счет изменения конструкции клеевого соединения или использованием клея с меньшим по величине модулем упругости, либо приближением к значению модуля упругости древесины.

Клеи на основе органических смол имеют следующие значения модуля упругости: фенолформальдегидные – 3...5 ГПа, резорционноформальдегидные – 1...2,6 ГПа, карбамидоформальдегидные – 3,5...5,5 ГПа, меламиноформальдегидные – 3...4,5 ГПа, в то же время, как наиболее распространенная в строительстве сосна, характеризуется модулем упругости от 6 до 12 ГПа.

В работе представлены исследования влияния соотношения основных оксидов связующего на его модуль упругости при изгибе после отверждения при температуре $125^\circ C$. С использованием симметричного не композиционного трехуровневого плана второго порядка (план Бокса-Бенкина), в котором в качестве факторов варьирования принимали соотношения оксидов в пределах $Na_2O/Al_2O_3 = 0,6...1,0$, $SiO_2/Al_2O_3 = 3,9...5,0$ и $H_2O/Al_2O_3 = 14...20$ получены уравнения регрессии значений модуля упругости при изгибе. Установлено, что оптимальное его значение, близкое к модулю упругости сосны величиной 12...12,8 ГПа, обеспечивается при соотношении $Na_2O/Al_2O_3 = 0,6...0,8$, $SiO_2/Al_2O_3 = 3,9$ и $H_2O/Al_2O_3 = 17...20$.

Ключевые слова: щелочное алюмосиликатное связующее, математическое планирование, модуль упругости при изгибе, соотношение оксидов.

**STUDY OF THE RELATIONSHIP OF OXIDES IN THE COMPOSITION OF
ALKALINE ALUMOSILICATE BINDER ON ITS MODULE OF ELASTICITY**

Kryvenko P., DSc, Professor,
pavlo.kryvenko@gmail.com, ORCID:0000-0001-7697-2437

Guzii S., PhD.,
sguziy@ukr.net, ORCID: 0000-0003-0147-5035
*Kyiv National University of Construction and Architecture,
Scientific Research Institute for Binders and Materials named after V.D.Glukhovsky*

Abstract. One of the solutions to improve environmental and fire safety of glued wooden materials is to replace organic glues by inorganic binders of the $R_2O - Al_2O_3 - SiO_2 - H_2O$ system. However, the latter have the increased rigidity (low elasticity) compared to wood, the value of which is influenced, first of all, by the composition of the binder. Differences in coefficients of thermic expansion of the glue itself and glued materials can result in the occurrence in the glued connection of inner stresses. These stresses can destroy the connections before any external loads are applied. Internal stresses are especially dangerous at use temperatures below $0\text{ }^\circ\text{C}$.

These inner stresses can be eliminated to some extent by changing a design of the glued connection, by using glue with the lower modulus of elasticity or by bringing the value of modulus of elasticity to that of the wood.

The organic resin-based glues are known to have the following values of modulus of elasticity: made with phenol- formaldehyde resin – 3...5 GPa, resorcinol-formaldehyde resin – 1...2.6 GPa, carbamide-formaldehyde – 3.5...5.5 GPa, melamine- formaldehyde – 3...4.5 GPa, whereas a pine, the most widely used in construction, is characteristic of the modulus of elasticity between 6 and 12 GPa.

The work presents the results of the study of the influence of the ratio of basic oxides of the binder on its modulus of elasticity in bending after solidification at $T = 125\text{ }^\circ\text{C}$. Using a symmetric non-compositional three-level experimental design of the second order (Box–Behnken design) under which the following ratio of oxides, these were: $Na_2O/Al_2O_3 = 0.6...1.0$, $SiO_2/Al_2O_3 = 3.9...5.0$ and $H_2O/Al_2O_3 = 14...20$ were taken as variables, the regression equations of the values of modulus of elasticity in bending were obtained. The results allowed to conclude that its optimal value, close to the modulus of elasticity of the pine (12...12.8 GPa), can be achieved with the following ratios: $Na_2O/Al_2O_3 = 0.6...0.8$, $SiO_2/Al_2O_3 = 3.9$, and $H_2O/Al_2O_3 = 7...20$.

Keywords: alkaline aluminosilicate binder, experimental design, modulus of elasticity in bending, oxide ratio.

Стаття надійшла 22.10.2018