

рассчитана трехмерная регрессия обобщенных переменных параметров. Составлена и проанализирована многофакторная регрессивная модель взаимодействия градостроительных систем.

Ключевые слова: *застроенная территория, обобщенный параметр, природная и антропогенная градостроительные системы, корреляционный анализ, результирующий признак, трехмерная регрессия, многофакторная регрессивная модель.*

A. Banakh, M. Poltavets

Multifactorial regression model of natural and anthropogenic urban systems interaction

In the article the generalized parameters of natural and anthropogenic urban systems are defined, their correlation analysis is made, the resulting factor is selected. On the basis of actual data of field surveys, a three-dimensional regression of generalized variables is calculated. A multifactorial regressive model of the natural and anthropogenic urban systems interaction is formed and analyzed.

Key words: *urban area, generalized parameter, natural urban system, anthropogenic urban system, correlation analysis, resultant indicator, three-dimensional regression, multifactorial regression model.*

УДК 691.678.544

О.С. Барабаш,

канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-9871-0312

Ю.М. Данченко,

канд. техн. наук, доцент

ORCID: 0000-0003-3865-2496

Харківський національний університет будівництва та архітектури

ЕФЕКТИВНІ ЕПОКСИДНІ ЗВ'ЯЗУЮЧІ І СКЛОПЛАСТИКИ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ТА ПОСИЛЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Проведено дослідження ефективності застосування поверхнево-активних та кремнійорганічних речовин для покращення технологічних властивостей епоксидного зв'язуючого, адгезійно-міцнісних властивостей та зниження залишкових напружень отверджених епоксиполімерів з метою створення епоксидного зв'язуючого для виготовлення склопластиків. Розроблений оптимальний склад, що дозволив отримати склоармовані матеріали з підвищеними деформаційно-міцнісними властивостями.

Ключові слова: *епоксидні зв'язуючі, склопластики, змочувальна здатність, адгезійна міцність, залишкові напруження.*

Вступ. На даний час композиційні матеріали на основі епоксидних зв'язуючих, що твердіють за звичайної температури, знаходять все більше застосування для відновлення, посилення і продовження терміну експлуатації різних будівельних деталей і виробів, конструкцій будівель і споруд. Відомо[1, 2], що одним з ефективних способів посилення кам'яних конструкцій є посилення склопластиковим армуванням. Для цієї мети використовуються складжути і склотканини, просочені епоксидним зв'язуючим, які приформовуються до місць

(елементів) відновлення і посилення кам'яної конструкції (тріщини та інші дефекти).

Аналіз досліджень і публікацій. Виходячи з умов проведення робіт з підсилення та експлуатації споруд, матеріали для відновлення і ремонту повинні характеризуватися комплексом необхідних технологічних і експлуатаційних властивостей. Зв'язуючі повинні мати низьку в'язкість, достатню життєздатність і одночасно здатність структуруватися до високих ступенів твердіння в умовах проведення робіт без виникнення великих залишкових напружень, як в процесі твердіння, так і в процесі експлуатації під час коливання температури навколишнього середовища [3, 4]. Затверділі зв'язуючі і склоармовані матеріали на їх основі повинні характеризуватися високими адгезійно- та деформаційно-міцнісними властивостями, достатньою деформаційною теплостійкістю, низькою водопроникністю і високою атмосферостійкістю.

Основним недоліком немодифікованих епоксидних зв'язуючих є висока в'язкість, в результаті чого відбувається неповне змочування частинок наповнювача, скловолокна чи склотканини [5]. Крім того, підвищений рівень залишкових напружень і недостатня стабільність властивостей в затверділому стані, а також інші фактори стримують більш широке застосування в будівельних технологіях. Для підвищення технологічних, фізико-механічних та експлуатаційних характеристик епоксиолімерів застосовується метод модифікації зв'язуючого малими добавками хімічно не пов'язаних з основною речовиною з'єднань: пластифікаторів, реакційно здатних олігомерів, поверхнево-активних речовин (ПАР), що локалізуються в дефектах структури і заповнюють мікропористий простір терморективної сітки [6,7].

До цього часу для посилення склоармуванням використовується епоксидне зв'язуюче на основі смоли ЕД-20, твердника ПЕПА та інертного модифікатора-пластифікатора дибутилфталата (ДБФ) [8]. Головними недоліками цього зв'язуючого є те, що будучи не пов'язаним хімічно з полімерною матрицею, ДБФ може мігрувати на поверхню в процесі експлуатації, а також низька деформаційна теплостійкість в результаті пластифікуючого ефекту [9].

Якісне просочення наповнювачів зв'язуючим є однією з основних стадій технологічного процесу виготовлення наповнених пластиків, що визначає якість кінцевого виробу. Епоксидний олігомер характеризується високою в'язкістю, через яку відбувається ускладнення процесу просочування скловолокна, а також недостатнє змочування скловолокна зв'язуючим. Достатньо висока змочувальна здатність зв'язуючого є однією із основних умов формування адгезійного контакту системи з наповнювачем [10]. Задля покращення змочувальної здатності епоксидного зв'язуючого широко використовують модифікування малими домішками ПАР і КОС [11, 12].

Постановка завдання.

Метою роботи є розробка епоксидного зв'язуючого з поліпшеними технологічними і адгезійно-міцнісними властивостями і створення на його основі склопластиків з високими деформаційно-міцнісними і експлуатаційними властивостями.

Основна частина.

В якості об'єктів дослідження було обрано зв'язуючі на основі епоксидіанового олігомеру марки ЕД-20 і твердника амінного типу – поліетиленполіаміну (ПЕПА). В якості модифікуючих добавок обрано: поверхнево-активні речовини (ПАР) різної хімічної природи: неіоногенний – Амірол М; катіоноактивний – алкілтриметиламоній хлорид (АМА); аніоноактивний – алкілбензолсульфонат На

(АБС); а також кремнійорганічні сполуки (КОС): поліметилсилоксани марок ПМС-10 і ПМС-400. В якості реакційно здатних модифікуючих добавок (РЗО) використовували: олігоефітріепоксид марки Лапроксид-503 і олігоефітріциклокарбонат марки Лапролат-803.

Було вивчено вплив ПАР і КОС різної природи на змочувальну здатність епоксидного зв'язуючого на підложці з алюмоборсилікатного скла (матеріал, що використовують для виробництва скловолокна), а також на адгезійну міцність композицій до скла [13]. Встановлено, що, кращою змочувальною здатністю до поверхні скла характеризуються епоксидні композиції, модифіковані олігометилсилоксанами, такими як ПМС-400 і ПМС-10, при додаванні яких, крайовий кут змочування зменшився в 1,5-2 рази. Адгезійна міцність немодифікованої епоксиамінної композиції до скла невелика і становить 2,33 МПа. Результати дослідження впливу ПАР і КОС на адгезійну міцність епоксидних композицій до скла показали, що модифікація малими добавками кремнійорганічного ПМС-400, а також аніоноактивного АБС адгезійна міцність збільшується у 2,5 рази.

Встановлено [14], що при додаванні до епоксиамінного зв'язуючого кремнійорганічної речовини ПМС-400 процес твердіння композиції проходить зі зниженим значенням енергії активації, що сприяє утворенню однорідної менш напруженої структури полімеру.

Рівень адгезійно-міцнісних і фізико-механічних властивостей [15] полімерних композиційних матеріалів, адгезійних з'єднань, багато в чому визначається утвореними в матриці внутрішніми залишковими напруженнями ($\sigma_{зал}$). Тому, при розробці складів епоксидного зв'язуючого необхідно було оцінити вплив малих добавок ПАР та КОС на величину $\sigma_{зал}$.

Для оцінювання величини $\sigma_{зал}$ використовували консольний метод, який полягає у вимірюванні деформації консольно закріпленої пружної підложки, що згинається під дією напружень в полімерному покритті, що нанесений з однієї сторони підложки. В якості пружної підложки використовували скляну пластину з алюмоборсилікатного скла товщиною 80-100 мкм і розмірами 75×15 мм, яку попередньо знежирювали ацетоном та чотирьох хлористим вуглецем.

Режим твердіння для всіх композицій здійснювався послідовно: 24 години за температури 20 - 22 °С і 4 години за 100 °С і охолодження до кімнатної температури зі швидкістю 1,5 - 2,0 °С/хв.

Результати досліджень наведено на рис. 1.

З графіку видно, що залишкові напруження для всіх композицій після 24 годин твердіння за кімнатної температури мають значення близько 0,2 - 0,3 МПа. Введення добавок незалежно від хімічної природи приводить до зниження залишкових напружень вихідного покриття. Найбільше зниження залишкових напружень спостерігається в присутності поліметилсилоксану ПМС-400, а найменше – при введенні АБС.

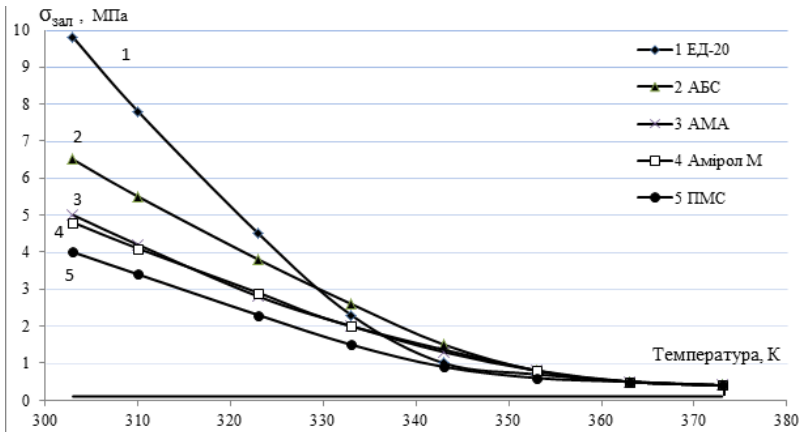


Рис. 1. Температурна залежність величини залишкових напружень у епоксидних композиціях, модифікованих малими добавками ПАР та КОС: 1 – чиста ЕД-20, 2– АБС, 3 – АМА, 4 – Амірол М, 5 – ПМС-400

Як відомо, значення $\sigma_{зал}$ залежать від рівня адгезійної взаємодії покриття з підлогою і від релаксаційної здатності полімерної плівки. У даному випадку, дані визначених залишкових напружень і руйнівне напруження клейового з'єднання зі склом корелюють між собою. Так, введення до композиції АБС призводить до зростання адгезійної міцності до скла (6,4 МПа), але при цьому рівень залишкових напружень достатньо високий. При введенні неіоногенного ПАР Аміролу М спостерігається зниження залишкових напружень і зменшення адгезійної міцності (3,1 МПа). У разі ж зі ПМС-400 можна бачити високе значення адгезійної міцності (5,7 МПа) за низького рівня залишкових напружень. У даному випадку це, швидше за все, пов'язано із сприятливими до цього умовами твердіння і кращою релаксаційною здатністю епоксиполімеру, модифікованого поліметилсилоксанами. Таким чином, результати дослідження показали, що застосування малих домішок ПАР і КОС незалежно від хімічної природи дозволяє знизити рівень залишкових напружень та підвищити адгезійну міцність системи «епоксиполімер-склонаповнювач». Найбільш ефективними та універсальними добавками для зниження залишкових напружень є поліметилсилоксани.

Для підвищення фізико-механічних властивостей епоксидних композицій: напруги при вигині ($\sigma_{виг}$), ударної в'язкості (α) та показника зносостійкості (v_i) епоксидних зв'язуючих найбільш ефективними є такі активні модифікатори, як гліциділові ефіри олігооксикаленгліколей [16, 17] та трициклокарбонатні олігомери [18, 19]. Тому в якості модифікуючих реакційно здатних олігомерів використовували олігоефіртриепоксид Лапроксид-503 і олігоефір-трициклокарбонат Лапролат-803 в кількості 5 мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного олігомеру ЕД-20. Фізико-механічні показники отриманих композитів представлено в табл.1.

Таблиця 1

Фізико-механічні властивості модифікованих епоксинамінних полімерів.

Добавка	v_i , мм ³ /м	$\sigma_{виор}$, МПа	α , кДж/м ²
ЕД-20 без добавки	0,75	30,49	2,8
Лапроксид-503	0,7	34,03	6,6
Лапролат-803	0,55	43,137	7,8

Введення до олігомеру ЕД-20 5 мас.ч. Лапроксиду-503 призводить до незначного зниження показника стирання, у той час як додавання Лапролату-803 покращує зносостійкість на 27 %. Модифікування епоксидного олігомеру триепоксидною та циклокарбонатною добавками підвищує його руйнівну напругу при вигині на 10 і 30 % та ударну в'язкість у 2,3 і 2,8 рази відповідно.

На основі отриманих даних, було розроблено композицію ЕДЛАТ-СП на основі епоксинамінного олігомеру, модифікованого Лапролат-803 та ПМС-400, яка характеризується підвищеною змочувальною здатністю скляної поверхні, адгезійною міцністю до скла, зниженими залишковими напруженнями та задовольняє вимогам, яким має відповідати зв'язуюче для склоармованих матеріалів для посилення будівельних конструкцій.

Для визначення можливості використання розробленого складу зв'язуючого проведено порівняльні дослідження деформаційно-міцнісних властивостей склоармованих матеріалів. З цією метою були виготовлені зразки двох видів склопластиків: на основі відпаленої склотканини Е-3-200 і односпрямованого склопластику на основі відпаленого складжугута діаметром близько 10 мм і довжиною 450 мм. В якості зв'язуючих використовували відомий склад [20] та ЕДЛАТ-СП (табл. 2).

Таблиця 2

Рецептура та властивості зв'язуючих для склопластиків

Найменування компонента, властивості	Кількість компонента, мас.ч.	
	Розроблений ЕДЛАТ-СП	Відомий [20]
Епоксидіанова смола ЕД-20	100	100
Олігоефітрициклокарбонат марки Лапролат-803	5	-
Дибутилфталат (ДФБ)	-	12
Олігодиметилсилоксан ПМС-400	0,5	-
ПЕПА	12,5	10
Адгезійна міцність до алюмоборсилікатного скла, $\sigma_{виор}$, МПа	11,7	
Залишкові напруження	3,5	3,8
Теплостійкість за Мартенсом, °С	64	70
T_g , °С	70	75

Склопластики отримували методом контактного (ручного) формування. Режим твердіння для всіх зразків був однаковий: 24 години – 8-20 °С,

4 години – 80 °С. З листових склопластиків уздовж основи склотканини вирізали зразки прямокутної форми товщиною 1,4-1,6 мм за ГОСТ 11262-80 (тип 3). Зразки склопластику із складжугута у вигляді стрижня мали діаметр в межах 1,2-1,4 мм. Міцність склопластиків при розтягуванні визначали на розривній машині типу Р-5 при швидкості розсування захоплень 5 мм/хв за температури 18 °С. При випробуванні проводили запис діаграм розтягування. Модуль пружності при розтягуванні визначали тільки для плоских зразків склопластику за ГОСТ 9550-81. Для фіксації деформацій склопластику встановлювалися тензометри Гугенбергера на базі 20 мм з ціною розподілу 0,01 мм. Під час випробування стрижневих зразків арматури деформацію визначали за допомогою прогноміра Максимова з ціною розподілу 0,001 мм, який встановлювався на станині розривної машини і фіксував деформації рухомого захвату.

Результати випробувань склопластиків при розтягненні у вигляді діаграм « σ - ϵ » представлені на рис. 2 та в таблиці 3.

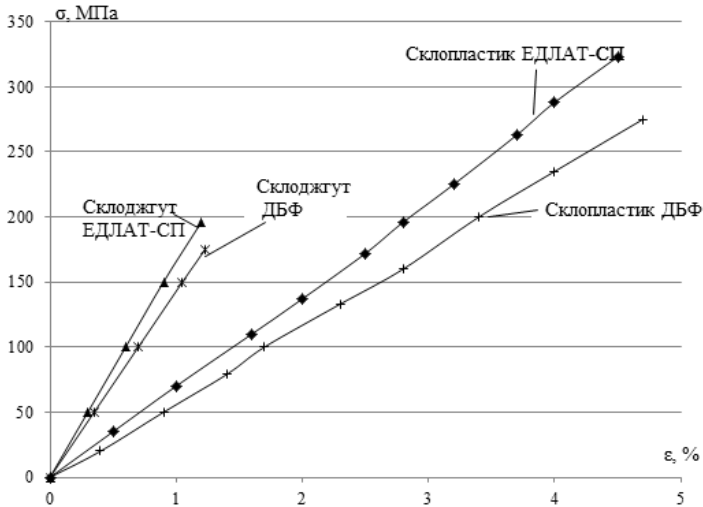


Рис. 2 Діаграма « σ - ϵ » для склопластиків

Таблиця 3

Порівняльні фізико-механічні характеристики зразків склопластиків

Властивості	Із складжугута		Із склотканини	
	Відомий	ЕДЛАТ-СП	Відомий	ЕДЛАТ-СП
Міцність при розтягуванні, МПа	175	196	275	323
Відносне подовження, %	1,23	1,20	4,7	4,5
Модуль пружності, ГПа	-	-	5,75	7,1
Вміст скловолокна, %	43,2	44,8	53,2	54,1

З діаграм розтягування виходить, що для досліджуваних склопластиків виявляється прямолінійна залежність деформації від напруження. Це свідчить про пружну поведінку зразків аж до руйнування і про крихкий характер руйнування зразків. Показано, що орієнтований склопластик для обох зв'язуючих має більш низькі значення міцності в порівнянні зі склопластиком на тканинній основі, що очевидно пов'язано з меншим вмістом скловолокна. Найбільшу міцність при розтягуванні мають склокомпозити на зв'язуючому ЕДЛАТ-СП, для яких підвищення міцності, порівняно з відомим, для орієнтованого композиту і склопластику становить 12% і 18% відповідно. Значення модуля пружності скло композиту на зв'язуючому ЕДЛАТ-СП також мають великі значення (табл.3). Це, очевидно, можна пояснити тим, що розроблений склад зв'язуючого характеризується кращою змочувальною здатністю і більш високою адгезійною міцністю до скла, більш високою температурою склування, низькими залишковими напруженнями і більш щільною структурою.

З огляду на отримані результати можна стверджувати, що розроблене зв'язуюче ЕДЛАТ-СП може бути використано для отримання склоармованих композитів для ефективного відновлення і посилення будівельних конструкцій.

Висновки. Проведено дослідження впливу поверхнево-активних і кремнійорганічних речовин на змочувальну здатність епоксидного зв'язуючого і адгезійну міцність до поверхні скла, залишкові напруження епоксидних полімерів. Встановлено, що найбільш ефективними для покращення технологічних властивостей є кремнійорганічна речовина поліметилсилоксан ПМС-400. Досліджено ефективність модифікування епоксидного зв'язуючого реакційно здатними олігомерами з метою підвищення фізико-механічних характеристик полімерів. Показано, що модифікування епоксидного олігомеру триепоксидною (Лапроксидом-503) та циклокарбонатною (Лапролатом-803) добавками підвищує руйнівну напругу при вигині на 10 і 30 % та ударну в'язкість у 2,3 і 2,8 рази відповідно.

Розроблено модифіковане трициклокарбонатом і поліметилсилоксаном зв'язуюче ЕДЛАТ-СП для виготовлення склопластиків. Показано, що застосування розробленого зв'язуючого, у порівнянні з відомим, дозволило підвищити їх міцність при розтягуванні на 18% (з 275 МПа до 323 МПа) і модуль пружності на 23% (з 5,75 до 7,1 ГПа).

Список літератури:

1. *Копейко А.Е., Бондаренко Ю.В., Сушко Е.Н.* Опыт использования стеклопластика для восстановления каменных конструкций // *Научный вестник будівництва*. Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. – 2003. – Вип. 23. – С. 161-165
2. *Шагин А.Л.* Локальное усиление каменных стен // *Научный вестник будівництва*. – 2000. – № 10. – С. 45-79.
3. *Ли Г., Невилл. М.* Справочное руководство по эпоксидным смолам. –М: Энергия, 1973. –416 с.
4. *Амирова Л.М, Ганиев М.М., Амиров Р.Р.* Композиционные материалы на основе эпоксидных олигомеров: учеб. пособие. – Казань: ЗАО "Новое знание", 2002. – 167 с.
5. *Алентьев А.Ю., Яблокова М.Ю.* Связующие для полимерных композиционных материалов / *Учебное пособие для студентов по специальности «Композиционные наноматериалы»*. – МОСКВА: МГУ им. М. В. Ломоносова, 2010. – 69 с.

6. *Кестельман, В.Н.* Физические методы модификации полимерных материалов. – М.: Химия, 1980. – 224 с.
7. *Андрянов Г.П., Бакеев Н.Ф., Козлов П.В.* Структурная пластификация полимеров // *Высокомолекулярные соединения.*– 1971. – Т.А13. – № 2. – С. 266-275
8. *Козлов П.В., Панков С.П.* Физико-химические основы пластификации полимеров. – М.: Химия, 1982. – 224 с.
9. *Краснокобский Ю.Н., Дущенко В.Н.* Теплофизические исследования пластифицированных эпоксидных композиций // *Инженерно-физический журнал.* – 1973. – Т. 24. – № 3. – С. 499-506.
10. *Сумм Б. Д., Горюнов Ю. В.* Физико-химические основы смачивания и растекания. – М.: Химия, 1976. – 232 с.
11. *Веселовский Р.А.* Регулирование свойств клеев с помощью поверхностно-активных веществ / *В кн.: Полимеры-80.* Киев: Наук. Думка, 1980. – С. 121-129.
12. *Ефремов А. А., Загидуллин А. И., Колпакова М. В. и др.* Использование кремнийорганических соединений в качестве модификаторов эпоксидных композиций // *Клеи. Герметики. Технологии.* – 2008. – № 4. – С. 12-17.
13. *Барабаш Е. С., Попов Ю.В., Данченко Ю.М.* Влияние модифицирующих добавок на адгезионную способность эпоксиаминных связующих к алюмоборсиликатному стеклу // *Науковий вісник будівництва: зб. наук. праць.* Харків: ХНУБА ХОТВ АБУ. – 2015. – № 4. – С. 122-127.
14. *Барабаш О.С, Попов Ю.В., Данченко Ю.М.* Вивчення впливу малих домішок поверхнево-активних та кремнійорганічних речовин на процеси твердіння епоксиамінних зв'язуючих // *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту.* – 2017. – Вип. 170. – С. 104–111.
15. *Petersen C, Heldmann C., Johannsmann D.* Internal stresses during film formation of polymer lattices // *Langmuir article.* – 1999. – № 15. – P. 7745 -7751.
16. *Зарубина А. Ю., Кожевников В. С., Симонов-Емельянов И. Д.* Влияние активного разбавителя на реологические свойства эпоксидных связующих для теплостойких армированных пластиков // *Материалы XIV Международной научно-технической конференции «Наукоемкие химические технологии-2012».* – Тула. – 2012. – С.420.
17. *Potapochkina I. I., Korotkova N. P., Tarasov V. N., Lebedev V. S.* Modifying Agents for Epoxy Resins Produced by NPP Makromer // *Polymer Science.* – 2007. – Vol. – № 1. – P. 37 – 41.
18. *Филипович А.Ю., Остаюк С.Н., Бусько Н.А., Грищенко В.К. и др.* Особенности модификации эпоксидных полимеров олигоциклокарбонатами // *Полимерный журнал.* – 2009. – Т.31. – №3. – С. 251-255.
19. *Кобзева Т. И., Кочергин Ю. С, Зайцев Ю. С. и др.* Олигокарбонаты для модифицирования эпоксидных смол./ *Пластические массы.* – 1986. – № 1. – С. 39 - 43.
20. *Бондарь Е. Н.* Способ локального усиления каменных конструкций: дис...канд. техн. наук: 05.23.01. – Х.:ХГТУСА, 2006. – 167 с.

Е.С. Барабаш, Ю.М. Данченко

Эффективные эпоксидные связующие и стеклопластики для восстановления и усиление строительных конструкций

Проведено исследование эффективности применения поверхностно-активных и кремнийорганических веществ для повышение технологических свойств эпоксидного связующего, адгезионно-прочностных свойств и снижения остаточных напряжений отвержденных эпоксиолимеров с целью создания

епоксидного зв'язуючого для изготовления стеклопластиков. Разработан оптимальный состав, который позволил получить стеклоармированные материалы с повышенными деформационно-прочностными свойствами.

Ключевые слова: *эпоксидные связующие, стеклопластики, смачивающая способность, адгезионная прочность, остаточные напряжения.*

E.S. Barabash, Yu, M. Danchenko

Effective epoxy binders and fiberglass for the restoration and strengthening of building structures.

A study of the effectiveness of surfactants and organosilicon substances use to improve the technological properties of epoxy binder, adhesion and strength properties and reduce the residual stresses of cured epoxy polymers in order to create an epoxy binder for the manufacture of the fiberglass. The optimal composition has been developed, which allowed to obtain glass-reinforced materials with high deformation and strength properties.

Keywords: *epoxy binders, glass plastics, wetting ability, adhesive strength, residual stresses.*

УДК 69.032.22:658.512.4

В. В. Ковальов,

канд. техн. наук, доцент
ORCID: 0000-0001-6731-4192

Т. С. Кравчуновська,

докт. техн. наук, професор
ORCID: 0000-0002-0986-8995

Т. В. Данилова,

канд. техн. наук, доцент
ORCID: 0000-0002-0297-9473

С. В. Єпіфанцева,

здобувач
ORCID: 0000-0001-9296-8745

Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

ФОРМУВАННЯ ВИМОГ ДО ОБ'ЄКТІВ БУДІВНИЦТВА ПРОТЯГОМ ЇХ ПОВНОГО ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ

Обґрунтовано основні вимоги до об'єктів будівництва протягом їх життєвого циклу – проектування, будівництво, експлуатація – для подальшої формування і формалізації множини визначальних факторів та кількісного оцінювання їх впливу на вартість та тривалість будівництва, прогнозування крапич значень техніко-економічних показників проектів, із урахуванням ефективного використання ресурсів, енергоефективності, екологічної безпеки і цінності міських територій.

Ключові слова: *об'єкт будівництва, життєвий цикл, якість, енергоефективність, екологічність, вартість.*

Вступ. Аналіз містобудівного розвитку міст України, особливо великих міст, таких як Київ, Дніпро, Харків, Одеса, Запоріжжя, Львів, дозволяє стверджувати про наявність диспропорцій їхнього розвитку, погіршення умов життєдіяльності, транспортно та соціального обслуговування населення. Разом із тим слід