

УДК 691:628.2

**ВПЛИВ КИСЛОТНО-ОСНОВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОКСИДНИХ
НАПОВНЮВАЧІВ НА ВІЛЬНУ ПОВЕРХНЕВУ ЕНЕРГІЮ ЕПОКСИПОЛІМЕРНИХ
МАТЕРІАЛІВ**

Кандидати техн. наук Ю. М. Данченко, Т. М. Обіженко, М. П. Качоманова,
асп. М. Г. Тесленко (ХНУБА)

**ВЛИЯНИЕ КИСЛОТНО-ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ОКСИДНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ
НА СВОБОДНУЮ ПОВЕРХНОСТНУЮ ЭНЕРГИЮ ЭПОКСИПОЛИМЕРНЫХ
МАТЕРИАЛОВ**

Кандидаты техн. наук Ю. М. Данченко, Т. М. Обиженко, М. П. Качоманова,
асп. М. Г. Тесленко (ХНУСА)

**INFLUENCE OF ACID-BASE PROPERTIES OF OXIDE FILLERS ON THE FREE
SURFACE ENERGY OF EPOXY-POLYMER MATERIALS**

Yu. M. Danchenko, PhD (Tech.), T. M. Obigenko, PhD (Tech.), M. P. Kachomanova,
PhD (Tech.), M. H. Teslenko

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.178.2018.139015>

Методом Ван Осса – Чодері – Гуда (ВОЧГ) визначено складові вільної поверхневої енергії (ВПЕ) епоксидних полімерних композиційних матеріалів, сталі і скла. Встановлено, що розраховані з використанням комп'ютерної програми значення ВПЕ задовільно корелюють з даними інших авторів. Показано, що при зростанні загальної кількості активних центрів оксидних наповнювачів значення складових ВПЕ (повної γ_s , дисперсійної γ^d та кислотно-основної γ^{ab}) композитів зростає прямо пропорційно. Встановлено, що неоднозначний вплив поверхневих властивостей оксидних наповнювачів на кислотну γ^a та основну γ^b компоненти ВПЕ пов'язаний з міжфазними кислотно-основними взаємодіями.

Ключові слова: епоксидний матеріал, оксидний наповнювач, вільна поверхнева енергія, метод ВОЧГ, кислотно-основні властивості.

Методом Ван Осса – Чодэри – Гуда (ВОЧГ) определены составляющие свободной поверхностной энергии (СПЭ) оксидных полимерных композиционных материалов, стали и стекла. Установлено, что рассчитанные с использованием компьютерной программы значения СПЭ удовлетворительно коррелируют с данными других авторов. Показано, что при росте общего количества активных центров оксидных наполнителей значение составляющих СПЭ (полной γ_s , дисперсионной γ^d и кислотно-основной γ^{ab}) композитов растет прямо пропорционально. Установлено, что неоднозначное влияние поверхностных свойств оксидных наполнителей на кислотную γ^a и основную γ^b компоненты СПЭ композитов связано с межфазными кислотно-основными взаимодействиями.

Ключевые слова: епоксидний матеріал, оксидний наповнювач, вільна поверхнева енергія, метод ВОЧГ, кислотно-основні властивості.

The Van Oss-Chaudari-Hood (VOCH) method were used to determine the free surface energy (FSE) components of epoxy polymer composite materials, steel and glass. The research was carried out on the basis of experimental determination of boundary angle of wetting of solid surfaces with test liquids. Test liquids were used: distilled water, formamide and α -bromonaphthalene. It is

established that the FSE values calculated using the computer program of calculations "Least Square Wetting Analyzer" correlate satisfactorily with the data of other authors. As materials for research, selected filled polymeric compositions based on epoxy resin of the brand ED-20 and aliphatic amine curing agent of diethylenetriamine DETA brand. The compositions solidified in the air (293-298 K) for at least 72 hours, at a temperature of 373 K - 4 hours. Oxide fillers were air-dry disperse materials based on oxides of different chemical nature of Fe_2O_3 , TiO_2 , CaO . For fillers, studies were performed using scanning electron microscopy and X-ray diffraction analysis. To determine the spectrum pK_a and the number of active centers on the surface of the fillers, the method of adsorption Gamet color indicators from aqueous solutions was used. It is established that the nature of the surface of the fillers is directly proportional to the acid-base properties of oxides. It is shown that with the growth of the total number of active centers of oxide fillers, the value of the constituents of the FSE (total γ_s , dispersion γ^d and acid-base γ^{ab}) of composites grows in direct proportion. The presence of acid-base active centers on the surface of oxide fillers affects the values of all constituents of FSE filled composites. It was found that the ambiguous effect of the surface properties of oxide fillers on acidic γ^a and basic γ^b components of the FSE of composites is related to interphase acid-base interactions. The determined regularities will allow predicting the change of surface energy characteristics of epoxy polymer composite materials and their properties when modified with oxide fillers of different chemical nature.

Key words: epoxy material, oxide filler, free surface energy, VOCH method, acid-base properties.

Вступ. Вільна поверхнева енергія (ВПЕ) характеризує енергетичний стан твердої поверхні і може бути критерієм оцінки захисних властивостей та експлуатаційних характеристик полімерних композиційних матеріалів. У деяких випадках ВПЕ є незамінною характеристикою властивостей полімерних покриттів і плівок, адгезійних контактів і адсорбції полімерів. У результаті порівняння ВПЕ полімерних матеріалів, що отримані різними методами, можна припустити можливість використання ВПЕ у практичних цілях з достатнім ступенем надійності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Кореляція величин ВПЕ із властивостями полімерних матеріалів зумовлена безпосереднім зв'язком з міжмолекулярними взаємодіями і енергією когезії [1, 2]. В роботах [3-6] проведено експериментальне визначення енергетичних поверхневих характеристик широкого спектра різних полімерних композиційних матеріалів. Установлено, що дослідження ВПЕ дає змогу прогнозувати і спрямовано регулювати адгезійні взаємодії між поверхнями різних матеріалів. У роботі [3]

показано, що критерієм вибору модифікувальних поверхнево-активних добавок для регулювання адгезійної міцності в системі «епоксиполімер – сталь» може бути кислотно-основна (полярна) складова ВПЕ епоксиполімерів.

На відміну від ненаповнених полімерів, ВПЕ матеріалів з наповнювачами досліджено недостатньо. Відомо, що при наповненні, на міжфазній поверхні між функціональними групами молекул полімерів та поверхнею наповнювачів утворюються низькоенергетичні міжмолекулярні зв'язки, які можуть впливати на енергетичний стан поверхні композиту [5-8]. Вплив природи поверхні, розміру частинок і вмісту наповнювача на величину ВПЕ композиційних матеріалів зазначались у роботах [4, 9, 10]. Теоретичне та експериментальне обґрунтування зв'язку ВПЕ з міжфазними взаємодіями в наповнених полімерних матеріалах розглянуто у [8]. У роботі [9] здійснено математичне моделювання впливу вмісту та енергетичних поверхневих характеристик наповнювачів на ВПЕ епоксидних матеріалів. Модель побудовано

на уявленні про адгезійну кислотно-основну міжфазну взаємодію між епоксидною полімерною матрицею та поверхнею наповнювача. Показано можливість прогнозування складових ВПЕ епоксидних наповнених матеріалів. Запропонована модель підтверджується експериментальними дослідженнями [11]. Однак подані в літературі результати не дають змоги зробити узагальнюючі висновки про закономірності впливу кислотно-основних поверхневих властивостей наповнювачів на величину ВПЕ полімерних композитів. Тому подальші дослідження, прогнозування і регулювання ВПЕ епоксидних полімерних композитів, які містять наповнювачі з певними кислотно-основними властивостями, є важливими науково-практичними завданнями. Встановлення цих закономірностей надасть можливість отримувати композиційні матеріали з заданими властивостями та характеристиками.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою роботи є дослідження ВПЕ епоксидних полімерних композиційних матеріалів із дисперсними оксидними неорганічними наповнювачами.

Для досягнення мети роботи сформульовано такі задачі:

- дослідження фізико-хімічних та поверхневих кислотно-основних властивостей оксидних наповнювачів;
- визначення складових ВПЕ для епоксидних матеріалів, сталі і скла методом Ван Осса – Чодері – Гуда (ВОЧГ);

- установлення взаємозв'язків між компонентами ВПЕ наповнених епоксидних полімерних композиційних матеріалів та кислотно-основними поверхневими властивостями оксидних наповнювачів.

Основна частина дослідження. Матеріалами для дослідження обрано наповнені полімерні композиції на основі епоксидіанової смоли марки ЕД-20 (ДСТУ 2093-92) і стехіометричної кількості аліфатичного амінного твердника діетилен-триаміну марки ДЕТА (ТУ 6-02-91486). Композиції тверділи на повітрі (293–298 К) не менше 72 год, при температурі 373 К – 4 год. Наповнені композиції готувались у певній технологічній послідовності. Смола ЕД-20 змішувалась з твердником ДЕТА до однорідної суміші, при цьому в'язкість смоли зменшувалась. Потім в епоксидноаміну систему додавався наповнювач у кількості 10 об. % і перемішувався до однорідної суміші. Оксидними наповнювачами були повітряно-сухі дисперсні матеріали на основі оксидів різної хімічної природи Fe_2O_3 , TiO_2 , CaO . Питома поверхня наповнювачів визначалась методом БЕТ (Брунауера, Еммета, Теллера). Для обраних наповнювачів проводились дослідження морфології поверхні та розміру частинок за допомогою електронно-мікроскопічних знімків, що виконані сканувальним електронним мікроскопом марки JSM-6390LV. Рентгенофазовий аналіз здійснювався на рентгенофазовому дифрактометрі ДРОН-2. Досліджені властивості оксидних наповнювачів наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Властивості дисперсних оксидних наповнювачів

Наповнювач	Питома поверхня, $S_{\text{пит}}$, m^2/g	Середній розмір частинок, μm	Мінеральний склад
Рутил, ГОСТ 22938-78 (РТ)	1,30	10	Рутил (TiO_2) Анаказ (TiO_2)
Кальцит, ГОСТ 4530-76 (КЦ)	7,95	30	Кальцит ($CaCO_3$)
Червоний шлам*, ТУ У 8785-028-200 (ШН)	11,35	3	Гематит ($\alpha-Fe_2O_3$) Гетит ($FeOOH$)

* Як супутні мінерали виявлено лимоніт, чотирикальцієвий алюмоферит і еtringіт.

Для визначення спектра pK_a та кількості активних центрів на поверхні наповнювачів користувались методом адсорбції кольорових індикаторів Гамета з водних розчинів [12]. При цьому визначалась кількість кислотних q_{acid}

($pK_a < 7$), основних q_{base} ($pK_a > 7$) та загальна сума активних центрів q_{sum} . За результатами розраховувався кислотно-основний показник $Q = q_{acid} / q_{base}$. Досліджені властивості наповнювачів подано на рис. 1 і в табл. 2.

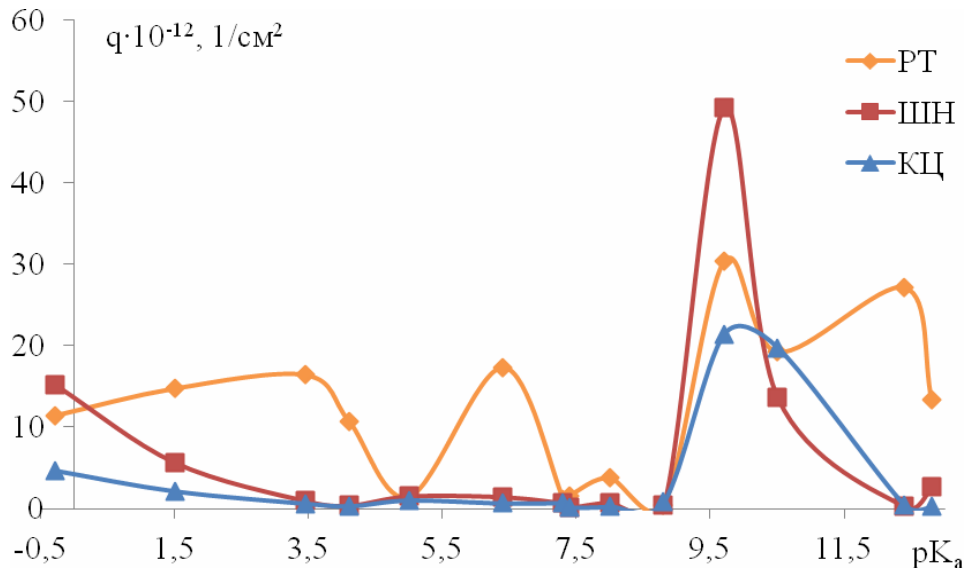


Рис. 1. pK_a -спектр кислотно-основних активних центрів на поверхні рутилу (РТ), червоного шламу (ШН) та кальциту (КЦ)

Таблиця 2

Кислотно-основні властивості оксидних наповнювачів

Наповнювач	$q_{acid} \cdot 10^{-12}, 1/см^2$	$q_{base} \cdot 10^{-12}, 1/см^2$	$q_{sum} \cdot 10^{-12}, 1/см^2$	Q
РТ	73,2	95,8	169,0	0,76
КЦ	10,1	43,0	53,1	0,23
ШН	25,9	67,1	92,9	0,39

Як бачимо з поданих результатів дослідження оксидних наповнювачів РТ (TiO_2), ШН (Fe_2O_3) і КЦ (CaO), кислотність поверхні та загальна питома кількість активних поверхневих центрів зростають у ряду: КЦ ($Q \approx 0,23$) < ШН ($Q \approx 0,39$) < РТ ($Q \approx 0,76$). Таким чином, очевидно, що характер поверхні наповнювача прямо пропорційно залежить від кислотно-основних властивостей оксиду. Отримані дані підтверджуються результатами

квантово-хімічного моделювання кислотно-основних властивостей активних центрів на поверхні оксидів [13]. У результаті моделювання встановлено, що кислотність центрів Бренстеда на поверхні оксидів зростає в ряду: $CaO < Fe_2O_3 < TiO_2$.

Дослідження складових ВПЕ зразків епоксиполімерних композитів, сталі і скла здійснювалось методом ВОЧГ на основі експериментального визначення крайових кутів змочування твердих поверхонь

тестовими рідинами. Як тестові рідини використовувались: дистильована вода (ДВ), формамід (ФА) і α -бромнафталін (БН), енергетичні характеристики яких відомі [4,11]. Вимірювались крайові кути змочування поверхонь: сталі, скла, епоксидного композиту ЕД-20+ДЕТА (ЕП)

та композитів, що наповнені рутилом (ЕП+РТ), кальцитом (ЕП+КЦ) і червоним шلامом (ЕП+ШН). Для оцінки достовірності результатів обчислювався довірчий інтервал. Результати вимірювань та розрахунків подано в табл. 3.

Таблиця 3

Величини крайових кутів змочування поверхонь тестовими рідинами

Поверхня	Крайовий кут змочування поверхонь θ тестовими рідинами, град		
	ДВ	ФА	БН
ЕП	78,4±1,6	63,1±2,3	41,1±2,6
ЕП+РТ	70,6±3,0	50,9±1,2	37,5±2,2
ЕП+КЦ	74,0±1,6	57,4±1,5	40,5±3,6
ЕП+ШН	77,5±3,0	69,5±3,0	39,9±2,4
Сталь	83,9±1,8	77,8±1,4	36,4±1,7
Скло	39,9±2,1	24,4±1,3	39,9±0,8

З поданих результатів випливає, що довірчий інтервал вимірювань крайових кутів змочування з вірогідністю 0,95 не перевищує $\pm 3,0$ град.

За отриманими значеннями крайових кутів змочування були розраховані компоненти ВПЕ для досліджуваних поверхонь. Розраховувались значення: γ_s – повної ВПЕ; γ^d – дисперсійної складової; γ^{ab} – кислотно-основної (полярної) складової, яка

поділяється на γ^a – кислотну та γ^b – основну компоненти. Розрахунок проводився з використанням автоматизованої системи вимірювань, що включає комп'ютерну програму обчислень «Least Square Wetting Analyzer» [11]. Результати розрахунків порівнювались з результатами, які були отримані іншими вітчизняними та зарубіжними авторами. Результати розрахунків подано в табл. 4.

Таблиця 4

Компоненти ВПЕ для ненаповнених епоксидних композитів, сталі і скла, мДж/м²

Поверхня	γ^d	γ^{ab}	γ^a	γ^b	γ_s
ЕП	34,3	0,8	0,02	9,7	35,0
ЕД-20+ДЕТА [4]	32,4	6,0	7,5	1,2	39,1
ЕД-20+ДЕТА [5]	36,1	6,8	-	-	42,9
ЕП+РТ	35,9	4,9	0,4	10,5	41,3
ЕП+КЦ	34,6	3,1	0,2	10,9	37,6
ЕП+ШН	34,8	4,4	0,3	15,0	39,2
Сталь	35,9	13,0	2,7	16,6	49,3
Сталь [14]	35–49	19–26	-	-	61–69
Сталь [4]	32,5	0	8,8	0	32,5
Сталь [5]	22–26	8–19	-	-	34–39
Скло	34,8	18,0	2,5	32,5	52,8
Скло [15]	32,7	17,6	1,7	45,3	50,1

Під час порівняння величин компонентів ВПЕ ненаповнених епоксидних композитів ЕД-20+ДЕТА виявлено задовільну кореляцію з відомими даними величин повної ВПЕ та дисперсійної складової (табл. 4). Суттєва різниця в значеннях полярної i , відповідно, кислотної та основної складових може пояснюватись різницею у режимах твердіння композицій. Так, у [4,5] твердіння композитів здійснювалось на повітрі за звичайних умов (293–298К). Для досліджуваних композицій, окрім твердіння на повітрі, проводилась термообробка при $T=373K$ протягом 4 год. При цьому в процес твердіння, очевидно, залучається додаткова кількість полярних функціональних груп олігомерів та твердників, і кислотно-основна складова ВПЕ може зменшуватись. Цей висновок підтверджується дослідженнями роботи [16], де показано, що збільшення температури твердіння епоксидних композицій призводить до зменшення ВПЕ та її складових.

Необхідно зазначити задовільну кореляцію отриманих значень ВПЕ з відомими даними для скла. Незначні відхилення пояснюються використанням різних наборів тестових рідин. Так, у роботі [15] використовувались: дистильована вода, формамід і дийодометан.

Найбільш суперечливі результати отримані для ВПЕ сталі (табл. 4). Під час порівняння відомих та отриманих результатів встановлено, що величини ВПЕ сталі змінюються в широких межах. Це пов'язано з тим, що ВПЕ сталевих зразків суттєво залежить від хімічного складу сплаву та наявності на поверхні продуктів окислення (оксидних плівок) [4]. Водночас відомо, що ступінь шорсткості сталевих пластин практично не впливає на значення складових ВПЕ [14]. Проте отримані значення компонентів ВПЕ сталевих зразків перебувають у межах, окреслених іншими авторами. Таким чином, можна зробити висновок, що проведена

порівняльна характеристика з даними вітчизняних та зарубіжних авторів підтверджує адекватність отриманих результатів.

При аналізі впливу кислотно-основних поверхневих властивостей наповнювачів на величини складових ВПЕ необхідно зазначити такі закономірності. В разі додавання будь-якого досліджуваного оксидного наповнювача значення всіх складових ВПЕ зростають. Цей факт є очевидним, враховуючи високоенергетичні поверхні оксидних матеріалів з великою кількістю активних центрів з різною функцією кислотності. При цьому дисперсійна складова γ^d збільшується на 1-5 %, кислотно-основна (полярна) складова γ^{ab} – у 3-6 разів і повна ВПЕ γ_s зростає на 7-18 %. З даних табл. 4 виходить, що зростання γ^d , γ^{ab} і γ_s прямо пропорційно залежить від загальної кількості поверхневих активних центрів наповнювачів q_{sum} . Під час наповнення найбільшому впливу підлягає кислотно-основна (полярна) складова ВПЕ γ^{ab} полімерних композитів. Цей факт є очевидним, враховуючи те, що поверхні оксидних неорганічних матеріалів характеризуються високою енергією і полярністю [17]. З даних табл. 4 випливає, що при збільшенні загальної кислотності поверхні оксидних наповнювачів (наближення показника Q до 1) зростають значення повної γ_s , полярної γ^{ab} та дисперсійної складових ВПЕ наповнених композитів.

Очевидно, що зміну кислотної γ^a та основної γ^b компонентів, що входять до складу полярної γ^{ab} складової ВПЕ полімерних композитів, необхідно пов'язувати з кількістю кислотних q_{acid} та основних q_{base} поверхневих активних центрів наповнювачів. Дані табл. 4 вказують на те, що γ^a наповнених композитів зростає при збільшенні q_{acid} . У випадку основної складової γ^b подібної кореляції не спостерігається. Тому при аналізі недостатньо розглядати загальний

кислотно-основний показник Q , а необхідно враховувати pK_a -спектр поверхневих активних центрів наповнювачів. З отриманих даних випливає, що основна складова композиту γ^b найбільше зростає (у 1,5 разу) при додаванні ШН. Очевидно, це пов'язано з тим, що на поверхні ШН (Fe_2O_3) три чверті (близько 75 %) поверхневого pK_a -спектра належить сильноосновним активним центрам з переважним значенням $pK_a \approx 9,5-10$. Водночас, додавання рутилу РТ (TiO_2) і кальциту КЦ (CaO), незважаючи на суттєву різницю (більше ніж у 2 рази) у кількості основних поверхневих активних центрів, практично однаково впливає на основну складову γ^b наповнених композитів. Відсутність кореляції між основною складовою γ^b ВПЕ композитів та кількістю основних активних центрів наповнювача можна пояснити тим, що в процесі утворення наповненого композиту на міжфазній поверхні відбуваються інтенсивні кислотно-основні взаємодії [8,11]. При цьому сильно основні активні центри поверхні наповнювачів, очевидно, утворюють фізико-хімічні зв'язки з кислотними гідроксильними групами епоксидного полімеру, які утворюються в процесі твердіння епоксидних смол з амінами. Кислотний характер ОН-груп епоксиамінного полімеру встановлений у [18].

Висновки. Таким чином, у результаті досліджень за допомогою методу ВОЧГ отримані величини складових вільної поверхневої енергії (ВПЕ) епоксидних полімерних композиційних матеріалів, а також сталеної і скляної поверхонь. Установлено, що розраховані з використанням комп'ютерної програми обчислень «Least Square Wetting Analyzer» значення ВПЕ задовільно корелюють з даними інших авторів. Показано, що наявність кислотно-основних активних центрів на поверхні оксидних наповнювачів впливає на всі складові ВПЕ наповнених композитів. При зростанні загальної кількості активних центрів наповнювачів значення складових ВПЕ (повної γ_s , дисперсійної γ^d та кислотно-основної γ^{ab}) композитів зростає прямо пропорційно. Встановлено, що неоднозначний вплив поверхневих властивостей оксидних наповнювачів на кислотну γ^a та основну γ^b компоненти ВПЕ композитів пов'язаний з міжфазними кислотно-основними взаємодіями в епоксидних композиційних матеріалах. Визначені закономірності нададуть можливість прогнозувати зміну поверхневих енергетичних характеристик (ВПЕ) епоксидних полімерних композиційних матеріалів та їх властивостей при модифікації оксидними наповнювачами різної хімічної природи.

Список використаних джерел

1. Stamm, M. Polymer surfaces and interfaces: characterization, modification and applications [Text] / M. Stamm. – Dresden: Springer, 2008. – P. 324.
2. Bracco, G. Surface science techniques [Text] / G. Bracco, B. Holst // Springer Series in Surface Sciences. – 2013. – № 51. – P. 3–9.
3. Барабаш, Е. С. Влияние модифицирующих добавок на адгезионную способность эпоксиаминных связующих к алюмоборсиликатному стеклу и стали [Текст] / Е. С. Барабаш, Ю. В. Попов, Ю. М. Данченко // Науковий вісник будівництва. – 2015. – №4(82). – С.122–128.
4. Старостина, И. А. Кислотно-основные взаимодействия и адгезия в металл-полимерных системах [Текст] / И. А. Старостина, О. В. Стоянов. – Казань : Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2010. – 200 с.

5. Строганов, В. Ф. Эпоксиполимерные адгезионные праймеры в антикоррозионной изоляции трубопроводов [Текст] / В. Ф. Строганов, И. В. Строганов, А. С. Ахметшин [и др.] // Изв. КГАСУ. – 2010. – № 1. – С. 342–346.
6. Данченко, Ю. М. Вплив кислотно-основних властивостей поверхні полімінеральних наповнювачів на структуру та характеристики епоксикомпозитів [Текст] / Ю. М. Данченко, Ю. В. Попов, О. С. Барабаш // Вопросы химии и химической технологии. – 2016. – Т. 3(107). – С. 53 – 60.
7. Яценко, Л. Н. Свойства полисилоксансодержащих эпоксиуретановых нанокомпозитов ангидридного отверждения [Текст] / Л. Н. Яценко // Укр. хим. журнал. – 2017. – Т. 83, № 4. – С. 73–80.
8. Li, Fei-Zhou Surface interaction energy of ceramic materials with epoxy resin [Text] / Fei-Zhou, Li, Zheng-Lin, Lu, Zhi-Huai, Yang, Kai, Qi // Polimery. – 2015. – V.60, № 7–8. – P. 468–471.
9. Danchenko, Yu. M. Regulation of free surface energy of epoxy polymer materials using mineral fillers [Text] / Yu. M. Danchenko // Polymer materials and technologies. – 2017. – V. 3. – № 2. – P. 56–63.
10. Zapata-Massot, C. Effect of the mineral filler on the surface properties of co-ground polymeric composites [Text] / C. Zapata-Massot, N. Le Boley // Part. Part. Charact. – 2007. – № 24. – P. 339–344.
11. Danchenko, Yu. Study of the free surface energy of epoxy composites using an automated measurement system [Text] / Yu. Danchenko, V. Andronov, M. Teslenko, V. Permiakov, E. Rybka, R. Meleshchenko, A. Kosse // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – Vol.1, Is.12(91). – P. 9–17.
12. Данченко, Ю. М. Комплексна оцінка кислотно-основних властивостей поверхні дисперсних оксидних наповнювачів [Текст] / Ю. М. Данченко, М. П. Качоманова // Науковий вісник будівництва. – 2016. – Т. 86, № 4. – С. 164–172.
13. Danchenko, Yu. Investigation into acid-basic equilibrium on the surface of oxides with various chemical nature [Text] / Yu. Danchenko, V. Andronov, E. Rybka, S. Skliarov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 4, Issue 12(88). – P. 17 – 25.
14. Зинина, И. Н. Влияние поверхностной энергии металлических образцов на прочность клеевых соединений [Текст] / И. Н. Зинина, М. В. Пиманов // Известия МГТУ «МАМИ». – 2011. – № 2(12). – С. 127–130.
15. Hejda, F. Surface free energy determination by contact angle measurements – a comparison of various approaches [Text] / F. Hejda, P. Solar, J. Kousal // WDS'10 Proceeding of Contributed Papers. Part III. – 2010. – P. 25–30.
16. Черкасова, Н. Г. Исследование влияния состава и режима отверждения на поверхностную энергию эпоксиполимера [Текст] / Н. Г. Черкасова, Р. Л. Мокиенко, О. И. Михайлова // Вопросы химии и химической технологии. – 2002. – № 3. – С. 241–244.
17. Тарасевич, Ю. И. Поверхностные явления на дисперсных материалах [Текст] / Ю. И. Тарасевич. – К. : Наук. думка, 2011. – 390 с.
18. Данченко, Ю. М. Структурирование эпоксидной смолы в присутствии неионогенного поверхностно-активного вещества [Текст] / Ю. М. Данченко // Строительные материалы и изделия. – 2017. – № 5-6(96). – С. 70-72.

Данченко Юлія Михайлівна, канд. техн. наук, доцент кафедри загальної хімії, докторант кафедри фізико-хімічної механіки та технології будівельних матеріалів та виробів Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел.: (066) 322 47 45. E-mail: u_danchenko@ukr.net.
Обіженко Тетяна Миколаївна, канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри загальної хімії Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел.: (050) 201 14 62. E-mail: obigenko@ukr.net.
Качоманова Марія Павлівна, канд. техн. наук, асистент кафедри загальної хімії Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел.: (063) 846 86 84. E-mail: amelia.masya@gmail.com.

Тесленко Михайло Геннадійович, аспірант кафедри автоматизації виробничих процесів Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел.: (093) 523 25 74. E-mail: mihail_teslenko@ukr.net.

Данченко Юлія Михайлівна, канд. техн. наук, доцент кафедри общей хімії, докторант кафедри фізико-хімічної механіки і технології будівельних матеріалів і виробів Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел.: (066) 322 47 45. E-mail: u_danchenko@ukr.net.

Обиженко Татяна Николаевна, канд. техн. наук, доцент, завідувачка кафедри общей хімії Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел.: (050) 201 14 62. E-mail: obigenko@ukr.net.

Качоманова Марія Павлівна, канд. техн. наук, асистент кафедри общей хімії Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел.: (063) 846 86 84. E-mail: amelia.masya@gmail.com.

Тесленко Михайл Геннадієвич, аспірант кафедри автоматизації виробничих процесів Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел.: (093) 523 25 74. E-mail: mihail_teslenko@ukr.net.

Danchenko Yuliya, PhD. Associate Professor of the Department of General Chemistry, Doctoral student of the Department of Physic-Chemical Mechanics and Technology of Building Materials and Products. Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture. Tel.: (066) 322 47 45. E-mail: u_danchenko@ukr.net.

Obigenko Tatiana, PhD. Associate Professor, Head of the Department of General Chemistry. Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture. Tel.: (050) 201 14 62. E-mail: obigenko@ukr.net.

Kachomanova Maria, PhD. Assistant of the Department of General Chemistry. Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture. Tel.: (063) 846 86 84. E-mail: amelia.masya@gmail.com.

Teslenko Mykhailo, graduate student of the Department of automation of manufacturing processes. Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture. Tel.: (093) 523 25 74. E-mail: mihail_teslenko@ukr.net.

Статтю прийнято 7.06.2018 р.
