

І.М. Касьяненко, В.Ю. Крамаренко

ВПЛИВ ОБ'ЄМНОЇ КОНЦЕНТРАЦІЇ ПІГМЕНТУ НА ПАРО- ТА ВОДОПРОНИКНІСТЬ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ ВОДНОДИСПЕРСІЙНИХ ЛАКОФАРБОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Досліджено вплив об'ємної концентрації пігменту (ОКП) та умов попереднього кондиціювання на значення паро- та водопроникності, визначених у відповідності до міжнародних стандартів, для покриттів на основі водної акрилової дисперсії Acronal 290D. Ці параметри вказують на підвищення швидкості проникнення води в покриття зі зростанням ОКП. Для опису проникності систем була використана модель Нільсена, яка передбачає наявність пористих агрегатів частинок наповнювача, та визначенні її параметри. Враховуючи дуже сильну кривизну залежності та дуже низькі значення показника моделі, можна стверджувати, що наповнення воднодисперсійних матеріалів сприяє реалізації транспорту води за механізмом каналної дифузії. Підвищення кількості циклів попереднього кондиціювання призводить до зменшення проникності, що може бути пов'язано з підвищенням ефективності коалесценції за рахунок використання підвищеної температури під час сушіння покриттів. Також надано вплив ОКП на клас покриттів в координатах діаграми Кюнцаля.

Ключові слова: воднодисперсійні лакофарбові матеріали, об'ємна концентрація пігменту, паропроникність, водопроникність.

Вступ

Відомо [1], що основною областю застосування лакофарбових матеріалів (ЛФМ) є будівництво. Тому сумарний обсяг фарб архітектурного призначення є значним та складає більше 50% від загальної кількості. Динаміка виробництва таких матеріалів, незважаючи на кризові явища в світовій економіці, залишається позитивною, причому домінуюче місце займають воднодисперсійні (ВД) ЛФМ. Вагомий вплив на такий розподіл ринку мають загальні вимоги та директиви країн Європейського союзу щодо обмеження викидів летких органічних сполук (ЛОС) [2].

Слід відзначити, що якість фасадних покриттів суттєво залежить від значень показників паро- та водопроникності, які потребують кількісного оцінювання згідно зі стандартом ДСТУ EN 1062-1, що набув чинності у 2012 році. Необхідність контролю правильного балансу між цими характеристиками базується на відомій теорії фасадного захисту Кюнцаля [3,4], за якою підвищення довговічності покриттів слід очікувати при високій проникності пари вологи крізь покриття, але при низькій капілярній проникності щодо дії рідкої води. Схематично цей баланс демонструється парною залежністю відпо-

відних показників у формі діаграми (рис. 1), де положення параметрів біля початку координат вважається оптимальним.

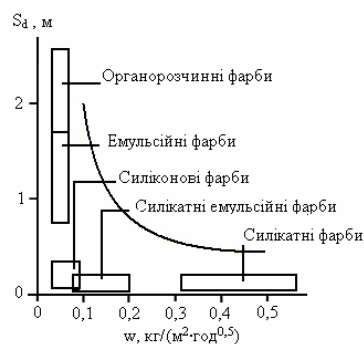


Рис. 1. Діаграма Кюнцаля для покриттів на основі плівкотворювачів різної хімічної будови

Параметри паропроникності (S_d) та водопроникності (w , рис.1) визначаються за процедурами відповідних міжнародних стандартів ISO 7783 та EN 1062-3. Варто відмітити, що в цих стандартах передбачено ідентичні і досить тривалі процедури підготовки зразків перед випробуваннями, які схематично можна надати у вигляді діаграми на рис. 2.

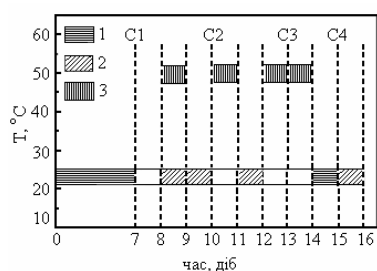


Рис. 2. Зміна зовнішніх умов витримування зразків перед визначенням паро- та водопроникності згідно зі ISO 7783 та EN 1062-3: 1 – витримування зразків за вільної циркуляції повітря при кімнатних умовах; 2 – витримування зразків у воді; 3 – висушування зразків за температури $T=50\pm 2^{\circ}\text{C}$

Метою такого попереднього кондиціонування є, перш за все, вимивання з покриттів водорозчинних компонентів. По-друге, необхідність попереднього витримування перед випробуваннями подібних систем пов'язана з відносно тривалим процесом коалесценції частинок полімерної дисперсії, який дуже складно контролювати на стадії формування покриттів [5]. Тобто досягнення умовно рівноважних параметрів при одержанні покриттів за умов оточуючого середовища потребує певного, найчастіше невизначеного часу. Тим не менш, відсутність чіткої інформації щодо впливу режимів попереднього кондиціонування на динаміку змін властивостей, тобто доцільності здійснення циклів кондиціонування, залишає питання та критично розглядається, наприклад, при оцінюванні аналогічних показників покриттів для деревини [6].

Очевидно, що проблема попереднього кондиціонування водночас також залежить від композиційного складу ВД ЛФМ, який у свою чергу може впливати на експериментальні значення. Наприклад, щодо паропроникності, відомим ефектом є підвищення цього показника зі зростанням об'ємної концентрації пігменту (ОКП) [7], тоді як, щодо другого параметра, цей ефект не надано в сучасній літературі. Саме встанов-

ленню впливу режиму попереднього кондиціонування та значення ОКП на параметри паро- та водопроникності присвячено цю роботу.

Експериментальна частина

Покриття з різним ступенем наповнення були одержані на основі стирол-акрилатної дисперсії Acronal 290D (постачальник BASF). Для наповнення використовували пігмент діоксид титану Crimea TiO_x -280 (виробник «Крымский титан») та наповнювач – карбонат кальцію природного походження Turcarb TC-2 (постачальник «Mikron'S»). Також були використані добавки спеціального призначення, перелік яких наведено у табл.1.

При одержанні композицій дотримувалися наступних співвідношень:

- масове співвідношення пігменту та наповнювача – 2,5:1;
- масовий вміст коалесценту – 2% від кількості плівкоутворювача;
- кількість згущувача пігментної пасти – 2% від маси води в пігментній пасти;
- кількість диспергатору – 2% від маси пігменту та наповнювача;
- кількість води – при приготуванні пігментної пасти складала 27% від маси пігментної частини, а при приготуванні композицій додавалася з розрахунку досягнення масового вмісту нелетких речовин 55%;
- кількість згущувача на стадії одержання композицій – 7,3% від кількості води, що додається на стадії одержання композиції;
- кількість піногасника – 0,5 мас.% від кількості композиції.

Використовували двостадійну технологію одержання композицій. На першій стадії у лабораторному дисольвері здійснювали диспергування суміші пігменту та наповнювача у середовищі вода–целюлозний згущувач Natrosol HHR до досягнення ступеня дисперсності 25 мкм за ISO 1524. Потім при повільних обертах змішували рецептурні кількості пігментної пасти та плівкоутворювача з іншими добавками. Кон-

Таблиця 1

Рецептури композицій з різною ОКП

Компонент (функція)	Об'ємна концентрація пігменту, %								
	0	10	30	40	45	50	55	60	70
Crimea TiO_x -280 (пігмент)	–	9,87	21,80	25,67	27,28	28,73	30,04	31,22	33,27
Turbcarb TC-2 (наповнювач)	–	3,95	8,72	10,27	10,92	11,50	12,02	12,49	13,31
Acronal 290 D (плівкоутворювач)	97,55	78,16	44,73	33,87	29,33	25,27	21,62	18,30	12,54
NX 795 (коалесцент)	1,95	1,56	0,89	0,68	0,59	0,51	0,43	0,37	0,25
Natrosol HHR (згущувач)	–	0,07	0,16	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,25
ВУК-154 (диспергатор)	–	0,28	0,61	0,72	0,77	0,81	0,84	0,88	0,93
Дистильована вода	–	5,47	21,61	26,85	29,04	31,00	32,77	34,07	37,15
Acrysol RM-825 (згущувач)	–	0,13	0,98	1,25	1,37	1,47	1,56	1,65	1,79
ВУК-037 (піногасник)	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Разом	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

троль одержаних композицій здійснювали порівнянням розрахункових та експериментально визначених значень густини за ISO 2811-1 та вмісту нелетких речовин за ISO 3251. Деталі методики одержання композицій та вільних плівок покриттів надані в роботі [8].

Для визначення паропроникності за ISO 7783 використовували метод «мокрої чаші». Робоча площа зразків становила $1,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$. В якості середовища, що забезпечує значення відносної вологості 93%, використовували насичений розчин декагідрату сульфату натрію.

Для визначення водопроникності за EN 1062-3 використовували зразки покриттів, нанесених на блочний субстрат розмірами $100 \times 65 \times 25 \text{ мм}$, виготовлений із шпаклівки HP Finish (виробник Knauf). Попередньо методом часткового занурення згідно з EN ISO 15148 був визначений коефіцієнт водопроникності субстрату, що становив $15 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{год}^{0,5}$. Для обох типів зразків нанесення здійснювали аплікатором з висотою щілини 0,3 мм, що забезпечувало значення товщини сухого покриття $0,120 \pm 0,020 \text{ мм}$, яке завжди уточнювалося експериментально за ISO 2808. Для всіх типів експериментів паралельні визначення виконувалися тричі.

Результати та їх обговорення

На рис. 3 в якості примірника наведені залежності зменшення маси Δm «мокрої чаші» при визначенні паропроникності (а) та збільшення маси Δm зразка при визначенні водопроникності (б). Обидві залежності у відповідних координатах часу характеризуються прямолінійною ділянкою, на якій визначали кутовий коефіцієнт dm/dt (г/год, паропроникність) та $dm/d(\tau^{0,5})$ (кг/(год) 0,5 , водопроникність).

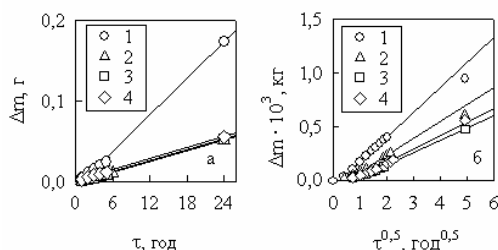


Рис. 3. Залежності зміни маси зразків в експериментах визначення паропроникності (а) та водопроникності (б) від часу. Номери залежностей відповідають стадіям кондиціювання С1-С4, вказаних на рис. 2

Розрахунок параметрів, які характеризують паропроникність, здійснювали за наступними формулами

$$V = \frac{dm/d\phi}{A}; \quad (1)$$

$$S_d = \frac{d_a \cdot \Delta p_v}{V} = \frac{20,4}{V}; \quad (2)$$

$$m = \frac{S_d}{d} \cdot 10^6, \quad (3)$$

де dm/dt – швидкість потоку водяної пари крізь випробовуваний зразок, г/год; V – швидкість проникнення водяної пари крізь покриття, г/м 2 ·добу; 24 – коефіцієнт перерахунку з г/год у г/добу; S_d – дифузійно-еквівалентна товщина шару повітря, м; A – дійсна площа покриття, через яку проникає пара, м 2 ; $\delta_a = 0,0169 \text{ г/м}^2 \cdot \text{доба} \cdot \text{Па}$ – коефіцієнт паропроникності повітря за стандартних температури та тиску (23 $^{\circ}\text{C}$ та 101325 Па, відповідно); $\Delta p_v = 1207 \text{ Па}$ – різниця між парціальним тиском водяної пари у чаші та зовні; μ – показник опору проникненню водяної пари; d – товщина покриття, мкм.

Визначення водопроникності w (кг/м 2 ·год 0,5) здійснювали за кутовим коефіцієнтом прямої $dm/d(\tau^{0,5})$ за формулою

$$w = \frac{dm/d(\tau^{0,5})}{A}, \quad (4)$$

де A – дійсна площа покриття, м 2 .

Як свідчать дані, наведені на рис. 3, підвищення тривалості попереднього кондиціювання супроводжується закономірним зменшенням параметрів, що характеризують проникність як водяної пари, так і води у рідкому стані. Це можна пояснити підвищенням суцільності плівок, перш за все, внаслідок використання підвищеної температури 50 $^{\circ}\text{C}$ в циклах кондиціювання. Ймовірно, що зростання ефективності коалесценції та зменшення пластифікуючої дії коалесценту внаслідок часткового випаровування є чинниками, що переважають потенційне вимивання водорозчинних компонентів з утворенням потенційних порожнин, доступних для дифузії молекул води. При цьому, найбільш суттєві зміни відбуваються вже на першому циклі експонування у воді та наступному сушінні, особливо при визначенні паропроникності, для якої здійснення останніх двох циклів практично не змінює значення кутового коефіцієнта.

Ефект впливу кондиціювання в залежності від ОКП показано на рис. 4 для зразків, витриманих при кімнатній температурі протягом 7 діб (серія С1), та тих, що були кондиційовані за повною процедурою (серія С4, рис. 2).

Порівняння абсолютних значень свідчить, що, за умови ОКП > 20%, ефект кондиціювання приводить до зменшення параметра w приблизно у два рази. Слід відзначити, що для зразка з ОКП 70%, тобто у випадку суттєвого переви-

шення значення критичної об'ємної концентрації (КОКП=50%, визначено за значенням олієємності суміші пігменту та наповнювача), зразок взагалі не витримав повного кондиціонування внаслідок утворення пухирів та локального руйнування плівки під час сушіння.

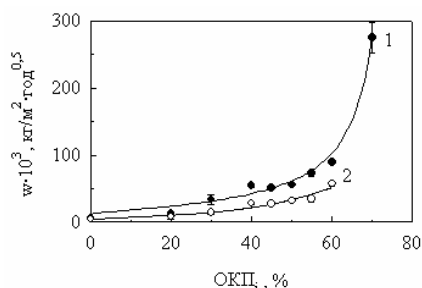


Рис. 4. Залежності водопроникності w від ступеня наповнення. 1 – серія С1; 2 – серія С4. Точками показані експериментальні значення

Кількісна модель залежності проникності від ступеня наповнення була запропонована Нільсеном [9] на основі геометричного розгляду зміни так званого «дифузійного шляху» молекули рідини у присутності непроникних часток наповнювача різної форми. Найчастіше цитується рівняння 5, згідно з яким відносна проникність наповненого полімеру залежить не тільки від об'ємної частки наповнювача ϕ_i , але й також від співвідношення $L/2W$, що характеризує геометричну форму частинок:

$$\frac{P_F}{P_U} = \frac{(1 - \phi_i)}{1 + (L/2W)\phi_i}, \quad (5)$$

де P_F , P_U – проникності наповненого та ненаповненого полімеру; L , W – довжина та ширина частинки, відповідно.

Це рівняння набуло широкої популярності (див. наприклад, [10]), оскільки передбачає суттєве зниження проникності композиційного матеріалу при використанні наповнювачів пластинчастої форми (тобто з $L \gg W$), що має експериментальне підтвердження для покриттів протикорозійного захисту. Одночасно збільшення рівня наповнення передбачає зменшення проникності на всьому інтервалі значень f_i . Проте, одержанні в роботі експериментальні дані свідчать про протилежну залежність водопроникності від ступеня наповнення. Тому, використовували модель Нільсена, яка розглядає наповнений полімер як потрійну систему, що крім полімерної матриці та наповнювача містить пористі агрегати. За цим підходом було запропоновано наступне рівняння:

$$\frac{w_i}{w_0} = \frac{k\phi_i}{\phi_i^n + k(1 - \phi_i^n)} + (1 - \phi_i), \quad (6)$$

де w_i – водопроникність наповненого покриття, ОКП якого відповідає ϕ_i ; w_0 – водопроникність ненаповненого покриття; k – параметр, який враховує відношення швидкостей дифузії води крізь пори та суцільну полімерну матрицю; n – параметр, який залежить від форми, орієнтації та агрегації частинок наповнювача.

Методом нелінійної регресії було встановлено, що задовільний результат опису експериментальних даних (рис. 5) можливий тільки при високих значеннях параметра k та за низьких значень параметра n .

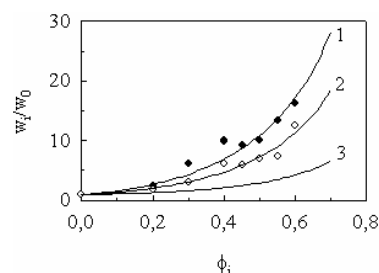


Рис. 5. Залежності відносної водопроникності від ступеня наповнення: 1 – серія С1; 2 – серія С4; 3 – теоретична залежність для наповнювача сферичної форми. Точками показані експериментальні значення. Криві відповідають рівнянню (6)

Для побудови всіх теоретичних кривих використовували значення $k=2,8 \cdot 10^4$. Параметр n дорівнював 0,071, та 0,110 для зразків серії С1 та С4, та 1/3 – для теоретичної кривої 3, що передбачає кубічну чи сферичну форму частинок.

Пояснення одержаних результатів можна зробити на основі наступних міркувань. Високі значення k означають, що швидкість дифузії крізь пори значно перевищує швидкість дифузії крізь полімерну матрицю. Але за моделюванням Нільсена [9] щодо сферичних частинок наповнювача, тобто при $n=1/3$, навіть підстановка k , що відповідає нескінченності, передбачає тільки приблизно 7-кратне збільшення проникності при $\phi_i=0,7$ (крива 3 на рис. 5). Тому відповідність експериментальним значенням можливе тільки за рахунок низьких значень параметра n , нульове граничне значення якого відповідає реалізації каналної проникності, наприклад, внаслідок перпендикулярної орієнтації частинок пластинчастої форми. Навпроти, умова $n \rightarrow 1$ відповідає паралельній орієнтації наповнювачів пластинчастої форми та зменшенню крутизни залежності, навіть при наявності пористих агрегатів.

Аналогічний ефект збільшення проникності при наповненні покриттів на основі ВД ЛФМ також спостерігали в роботі [11]. Це пояснювали на прикладі розробленої трифазної моделі з урахуванням крім полімерної матриці та частинок пігменту, існування міжфазного адсорбована-

ного шару полімеру, коефіцієнт дифузії якого може бути вищим у порівнянні з цим параметром для полімеру в матриці. Цей висновок якісно не суперечить одержаним результатам, особливо якщо врахувати технологію одержання подібних наповнених систем, коли саме гідрофільний згущувач використовується на стадії диспергування. Більш того, навіть суто із статистичного розгляду потенційної гетерогенності та формування порожнин наповнених матеріалів на основі двох дисперсій, тобто пігменту та полімеру, концентрація пор повинна підвищуватися з ОКП, як було показано в [12].

На рис. 6 наведено залежність параметра S_d від ОКП. Інші параметри, що характеризують паропроникність, представлені у табл. 2. На відміну від водопроникності, параметр S_d демонструє більш складну форму залежності, незважаючи на зберігання загальної тенденції до зменшення при підвищенні рівня наповнення. В області середніх концентрацій спостерігається ділянка практично однакових значень і тільки при наближенні та перевищенні значення КОКП залежність знову набуває крутизни. Це свідчить про загальне зростання проникності та корелює з результатами монографії [5].

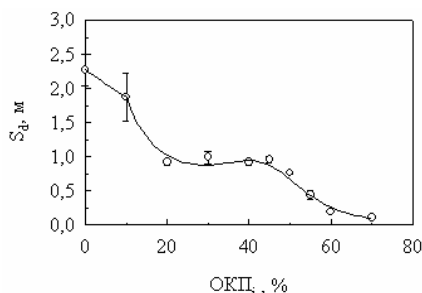


Рис. 6. Залежність параметра S_d від ОКП для зразків серії С4

Оскільки інші параметри паропроникності є алгебраїчно зв'язаними (рівняння (1)–(3)), вони мають аналогічні залежності (табл. 2).

На рис. 7 одержані результати надано у формі діаграми Кюнцеля, та здійснено класифікацію покриттів згідно з ISO 1062–1.

Як свідчать дані, показані на рисунку ефект наповнення супроводжується підвищенням класу за паропроникністю при одночасній тенденції до наближення параметра w до зони «середнього класу». Тобто варіювання наповненням щодо покриттів на основі ВД ЛФМ має «компромісний» характер і це повинно враховуватися при розробці рецептур таких матеріалів. При цьому навіть для ОКП=70% одержати «високий клас» за параметром S_d не вдається, тоді як водопроникність всіх зразків відповідає класу w_3 . За абсолютними значеннями параметрів це корелює з положенням значень щодо поліакрилатних

плівкоутворювачів («емульсійні фарби», рис. 1).

Таблиця 2

Залежність параметрів, що характеризують паропроникність за ISO 7782 від ОКП

ОКП, %	V, г/(м ² ·доба)	S_d , м	$\mu \cdot 10^{-3}$
0	9,0±0,9	2,27±0,23	18,3±1,8
10	10,9±2,0	1,87±0,35	14,7±2,8
20	22,1±1,1	0,92±0,05	8,9±0,5
30	20,7±1,9	0,99±0,09	10,3±0,9
40	22,2±1,0	0,92±0,04	11,7±0,5
45	21,2±1,0	0,96±0,05	11,9±0,6
50	27,0±0,8	0,76±0,02	7,8±0,2
55	45,9±7,2	0,44±0,07	4,6±0,7
60	107,0±1,4	0,19±0,01	2,5±0,1
70	190,1±4,1	0,11±0,01	1,3±0,1

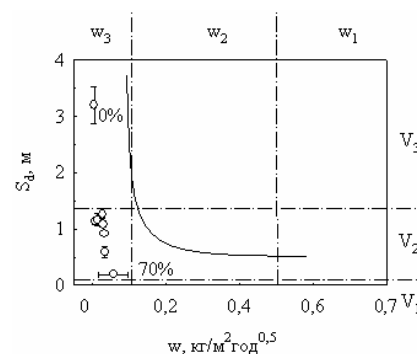


Рис. 7. Парна кореляція транспортних властивостей в координатах діаграми Кюнцеля для зразків серії С4. Цифрами біля точок показано значення ОКП граничних концентрацій

Висновки та рекомендації

Методами випробувань, виконаними згідно з міжнародними стандартами ISO 7783 та EN 1062–3 досліджено вплив об'ємної концентрації пігменту на параметри паро- та водопроникності покриттів на основі ВД ЛФМ.

1. Встановлено, що підвищення значення ОКП супроводжується закономірним підвищенням проникності покриттів.

2. Для пояснення цього ефекту запропоновано використання моделі Нільсена щодо існування пористих агрегатів в таких системах.

3. Показано, що використання циклічних умов попереднього кондиціювання супроводжується зменшенням проникності зразків, що може бути пов'язано з підвищенням ефективності коалесценції внаслідок використання підвищеної температури в процедурах сушіння після витримання у воді.

4. Тому, якщо покриття, витримані за кімнатної температури протягом 7 діб демонструють значення водопроникності менш ніж

0,1 кг/м²·год^{0,5}, подальше кондиціонування не має сенсу, оскільки з точки зору визначення класу покриття за цим показником, він не зміниться.

5. Суттєвий вплив на параметри паропро-никності надає лише перший цикл в режимі «втримування у воді – сушіння». Тому подальше кондиціонування має сенс тільки у випадку, якщо одержане значення знаходиться біля кри-теріальної величини.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Goldschmidt A., Streinberg H.-J. BASF handbook on basics of coating technology. – Munster: Vincentz, 2007. – 792 p.
2. Бричко А.С. ЛОС в декоративных покрытиях (Европейский подход) // Украинский лакокрасочный журнал. – 2008. – № 1-2. – С.20-27.
3. Kunzel H.M. Simultaneous heat and moisture transport in building components. One- and two-dimensional calculation using simple parameters. – Stuttgart: IRB Verlag, 1995. – 102 p.
4. Künzel H.M., Künzel H., Holm A. Rain Protection of Stucco Facades // Performance of Exterior Envelopes of Whole Buildings IX International Conference. – Florida. – 2004. – P.1-7.
5. Keddie J.L., Routh A.F. Fundamentals of latex film formation. Processes and properties. – Dordrecht: Springer, 2010. – 310 p.
6. Ekstedt J., Ostberg G. Liquid water permeability of exterior coatings – testing according to a proposed European standard method // J. Coat. Tech. – 2001. – Vol.73. – № 914. – P.53-59.
7. Казакова Е.Е., Скороходова О.Н. Водно-дисперсионные акриловые лакокрасочные материалы строительного назначения. – М.: Пэйн-Медиа, 2003. – 136 с.
8. Механические и адгезионные свойства покрытий на основе наполненных водных дисперсий полимеров / Крамаренко В.Ю., Зубарь Г.П., Нескороженная Г.Д., Шевченко В.С. // Вопр. химии и хим. технологии. – 2011. – № 5. – С.52-56.
9. Nielsen L.E. Models for the permeability of filled polymer systems // J. Macromol. Sci. – 1967. – Vol. A1. – № 5. – P.929-942.
10. Индейкин Е.А., Лейбзон Л.Н., Толмачев И.А. Пигментирование лакокрасочных материалов. – Л.: Химия, 1986. – 160 с.
11. Water permeability of pigmented waterborne coatings / Donkers P.A.J., Huinink H.P., Erich S.J.F. et al. // Prog. Org. Coat. – 2013. – Vol.76. – № 1. – P.60-69.
12. Fishman R.S., Kurtze D.A., Bierwagen G.P. Pigment inhomogeneity and void formation in organic coatings // Prog. Org. Coat. – 1993. – Vol.21. – № 4. – P.387-403.

Надійшла до редакції 16.02.2016

THE INFLUENCE OF PIGMENT VOLUME CONCENTRATION ON THE VAPOR AND LIQUID WATER PERMEABILITY OF COATINGS BASED ON WATER DISPERSION PAINT AND VARNISH MATERIALS

I.M. Kas'yanenko, V.Yu. Kramarenko

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine

The influence of pigment volume concentration (PVC) and pre-treatment conditions on the vapor and liquid water permeability of a coatings based on aqueous acrylic dispersion Acronal 290D has been studied by international standard methods. These parameters show that water is penetrated through coatings more quickly with increasing PVC. The Nielsen's model for the permeability of the systems containing porous aggregates of filler particles has been used and the fitting parameters were determined. Based on a very sharp PVC dependence and very low values of exponent parameters, it can be concluded that filling of water-based coatings facilitates water migration similar to the channel type diffusion. Increasing of pre-treatment cycles number results in the reduction of permeability that can be related to the enhanced efficiency of coalescence process due to higher temperature conditions at drying of coatings. The PVC effect on the class of coatings in coordinates of the Kunzel's diagram has been also demonstrated.

Keywords: water dispersion paint and varnish materials; pigment volume concentration; vapor permeability; liquid water permeability.

REFERENCES

1. Goldschmidt A., Streinberg H.-J., BASF handbook on basics of coating technology. Vincentz, Munster, 2007. 792 p.
2. Brihko A.S. LOS v dekorativnykh pokrytyakh (Evropeiskii podkhod) [VOC in decorative coatings: a European approach]. *Ukrainskii Lakokrasochnyi Zhurnal*, 2008, vol. 1-2, pp. 20-27. (in Russian).
3. Kunzel H.M., *Simultaneous heat and moisture transport in building components. One- and two-dimensional calculation using simple parameters*. IRB Verlag, Stuttgart, 1995. 102 p.
4. Kunzel H.M., Kunzel H., Holm A., Rain protection of stucco facades. *Performance of Exterior Envelopes of Whole Buildings IX International Conference*. US, Florida, 2007, pp. 1-7.
5. Keddie J.L., Routh A.F., *Fundamentals of latex film formation. Processes and properties*. Springer, Dordrecht, 2010. 310 p.
6. Ekstedt J., Ostberg G. Liquid water permeability of exterior coatings – testing according to a proposed European standard method. *Journal of Coatings Technology*, 2001, vol. 73, no. 914, pp. 53-59.
7. Kazakova E.E., Skorohodova O.N., *Vodno-dispersionnye akrilovye lakokrasochnye materialy stroitel'nogo naznacheniya* [Water-based acrylic coatings for buildings]. Paint-Media Publishers, Moscow, 2003. 136 p. (in Russian).
8. Kramarenko V.Yu., Zubar' G.P., Neskorozhennaya G.D., Shevchenko V.S. *Mekhanicheskie i adgezionnye svoistva pokrytii na osnove napolnennykh vodnykh dispersii polimerov* [Mechanical and adhesion properties of pigmented water-based coatings]. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 2011, vol. 5, pp. 52-56. (in Russian).
9. Nielsen L.E. Models for the permeability of filled polymer systems. *Journal of Macromolecular Science*, 1967, vol. A1, no. 5, pp. 929-942.
10. Indeikin E.A., Leibzon L.N., Tolmachev I.A., *Pigmentirovanie lakokrasochnykh materialov* [Pigmentation of organic coatings]. Khimiya, Leningrad, 1986. 160 p. (in Russian).
11. Donkers P.A.J., Huinink H.P., Erich S.J.F., Reuvers N.J.W., Adana O.C.G. Water permeability of pigmented waterborne coatings. *Progress in Organic Coatings*, 2013, vol. 76, no. 1, pp. 60-69.
12. Fishman R.S., Kurtze D.A., Bierwagen G.P. Pigment inhomogeneity and void formation in organic coatings. *Progress in Organic Coatings*, 1993, vol. 21, no. 4, pp. 387-403.