

УДК 691.32.539.217.2:661.2

АДГЕЗИЯ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ ТА МЕТОДИ ЇЇ ДОСЛІДЖЕННЯ

АДГЕЗИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ И МЕТОДЫ ЕЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

PROTECTIVE COATINGS ADHESION AND METHODS OF ITS STUDY

Лучко Й.Й., д.т.н., професор (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. академіка В.Лазаряна), **Парнета Б.З., к.т.н., доцент** (Національний університет «Львівська політехніка»)

Лучко Й.Й., д.т.н., професор (Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. академика В.Лазаряна), **Парнета Б.З., к.т.н., доцент** (Национальный университет «Львовская политехника»)

Luchko J.J., doctor of science, professor (Dnipropetrovsk National University of Railway Transport), **Parneta B.Z., PhD** (Lviv Polytechnic National University)

У даній роботі проаналізовано явище адгезії, розглянуто основні її теорії та види руйнування адгезійних з'єднань.

В данной работе проанализированы явление адгезии, рассмотрены основные ее теории и виды разрушения адгезионных соединений.

This paper analyzes the adhesion phenomenon, the basic theory and types of adhesive joints destruction.

Ключові слова:

Адгезія, теорія адгезії, адгезив, субстрат, міцність адгезії.

Адгезия, теория адгезии, адгезив, субстрат, прочность адгезии.

Adhesion theory of adhesion, adhesive, substrate adhesion strength

Аналіз проблеми і постановка задачі. Адгезія має найбільше значення в комплексі явищ, яке лежить в основі процесу склеювання. Природу і закономірності адгезії інтенсивно досліджують різноманітними методами на різних об'єктах. Однак до теперішнього часу немає єдиної теорії адгезії.

Давно, коли ще процеси склеювання не мали такого широкого застосування, як в даний час, дослідники багатьох країн намагалися з'ясувати причини і характер порушення зв'язку між поверхнями. Тому, для створення ефективного захисту бетонних і залізобетонних конструкцій необхідно детально

проаналізувати переваги і недоліки теорій адгезії покриттів.

Бехгольц і Нейман [1] вивчали міцність склеювання деревини різних порід і прийшли до висновку, що на міцність склеювання значно впливає природа основи: порода дерева, капілярна його структура, напрямок зрізу.

Талмуд, Гороховський, Бреслер [2, 3] та інші вважали, що на процес склеювання значно впливає зміна поверхневого натягу поверхні на межі розділу фаз. Талмуд і Бреслер виявили в деяких випадках також наявність адсорбційних сил. Вони вважали, що явище адсорбції має місце при кріпленні каучуку до латуні: в результаті вулканізації відбувається адсорбція молекул каучуку, які будучи орієнтованими, викликають зміну властивостей всього склеювального шару. На адсорбційні властивості впливає наповнювач, який може сприяти розвитку адсорбційних сил при адгезії.

Мак-Бейн [4] знайшов, що найменшим склеюванням володіють рідини, а найбільшим - аморфні смоло-подібні речовини. Було також встановлено, що часто адгезійна здатність клею збільшується з підвищенням температури плавлення. На адгезію, на його думку, впливає наявність у молекулах клею високомолекулярних груп (гідроксильних і карбонільних), оскільки вони зумовлюють міцний зв'язок клей - субстрат.

На думку Мак-Бейна [4], на адгезію великий вплив робить орієнтація молекул в клейовому шарі, яка поширюється вглибину на сотні молекулярних діаметрів, причому найбільш сильна орієнтація відбувається на поверхні розділу фаз. Мак-Бейн встановив також, що міцність склеювання зростає зі зменшенням товщини клейового шару, так як збільшується ступінь орієнтації.

Як видно з викладеного вище, процес склеювання розглядається не як фізико-хімічний процес на поверхні розділу фаз, а як процес, пов'язаний зі структурою субстрату і клейового шару. Отже, ці міркування не дають повного уявлення про причини адгезії.

Адгезія є також однією з характеристик захисного покриття, що є показником його ефективності і довговічності. В своїй книзі "Адгезия твердых тел." Дерягин Б.В. [5] дає таке визначення адгезії: Адгезія (від лат. Adhaesio-тяжіння, зчеплення) (прилипання), явище з'єднання приведених в контакт конденсатів, фаз. Ці фази складають основу, що утворюється в результаті молекулярного (по всій міжфазній площі) контакту адгезійного з'єднання і називаються субстратами, а речовини, що забезпечують з'єднання субстратів - адгезиви. Зазвичай, субстрати – тверді тіла (метали, бетони полімери, скло, кераміка), адгезиви - рідини (розчини або розплави полімерів). В волокнистих полімерних композитних матеріалах субстратом є волокна, а адгезивом – полімерні матриці (в'язучі).

Закономірності утворення і руйнування адгезійних з'єднань описують на основі двох незалежних підходів, термодинамічного і молекулярно-кінетичного. У рамках першого з них розглядають енергетичні характеристики (поверхневі енергії адгезива-субстрату і міжфазної границі). В рамках другого розглядають когезійні властивості адгезивів і субстратів (міцність і

зумовлюючи її параметри, а також умови їх контакту) [5].

Кількісною характеристикою адгезії, за [6], вважається робота адгезії яка необхідна для зворотнього ізотермічного розділення двох, приведених в контакт, конденсованих фаз по площі одиничного перерізу. Рівнянням це можна записати у вигляді (1):

$$W_a = wN, \quad (1)$$

де: W_a , відповідно, робота адгезії; w – середня енергія одиниці зв'язку, який забезпечує адгезію, N – число зв'язків, які припадають на одиницю площі контакту субстрату і адгезива.

Число N визначається площею фактичного контакту між адгезивом і субстратом, яка залежить від властивостей поверхонь адгезиву і субстрату: енергетичних характеристик поверхонь контактуючих фаз, шорсткості поверхні субстрату, умов формування адгезійного з'єднання, теплових і механічних властивостей адгезиву і субстрату [6].

Методи дослідження адгезії описані в ГОСТ 28574-90 Ф.М. Івановим і Е.А. Гузеєвим [7]. Досліджуючи дані методи, була виведена формула для визначення величини адгезії по силі (2), необхідної для того, щоб відклеїти захисне покриття:

$$R = F/A, \quad (2)$$

де: R - величина адгезії; F - сила, при якій відбувся відрив; A - площа відриву в m^2 – для лакофарбових покриттів.

Для клейких плівкових покриттів запропонована формула (3):

$$R = F_{mt}/b, \quad (3)$$

де: R - величина адгезії; F_{mt} - сила, при якій відбулось відклеювання стрічки матеріалу; b - ширина стрічки.

Згідно наведеного ГОСТу [8], результатом дослідження приймається середньоарифметичне значення результатів 5-ти експериментів.

У багатьох роботах, в тому числі і в [8], поняття «адгезія» і «адгезійна міцність» ототожнюються. Подібне ототожнення не є коректним і пов'язане з тим, що про адгезію, як правило судять за результатами вимірювання адгезійної міцності з'єднання «адгезив-субстрат», яка визначається експериментальними методами [8,9,10,11]. Адгезія - явище, що характеризується зворотною термодинамічною роботою адгезії. Отже, якщо прийняти що адгезія це явище з'єднання різнорідних конденсованих фаз (субстратів), які були залучені до молекулярного контакту одна з одною, то з цього випливає що адгезія це явище, що характеризується зворотною термодинамічною роботою $[W_a]=\text{Дж}/m^2$, що піддається експериментальному визначенню тільки в ряді випадків [12]. Ця величина визначається фізико-хімічними характеристиками контактуючих поверхонь (включаючи їх структуру), вона інваріантна по відношенню до методу вимірювання і не залежить від умов формування адгезійного з'єднання [13].

Адгезійна міцність - сила, що необхідна для руйнування адгезійного з'єднання, віднесена до площі адгезійного контакту або до пов'язаної з нею величиною, наприклад, до лінійної щільності нитки, до ширини плівки і т.д. Отже, навіть розмірність залежить від способу її визначення і від характеру прикладення зусилля, що викликає руйнування адгезійного з'єднання. Величина адгезійної міцності також не інваріантна по відношенню до методу вимірювання, оскільки зовнішнє зусилля, що викликає відділення адгезиву від субстрату, витрачається не тільки на подолання сил адгезії, але і на інші побічні процеси [13]. Найбільш значні з них - деформація адгезиву внаслідок одночасного відриву від поверхні субстрату, подолання механічного зачеплення адгезиву і субстрату, що виник через шорсткості поверхні або електричних сил в разі, якщо в результаті контакту адгезиву і субстрату виникає подвійний електричний шар (рис 1). Таким чином, адгезійна міцність є кінетичною величиною.

Також необхідно відзначити, що адгезійна міцність з'єднання «адгезив-субстрат» (τ_0) - статистична величина, що визначається випадковим розподілом дефектів на поверхні розділу «адгезив-субстрат». Тому значення адгезійної міцності дуже чутливі до розміру експериментальних зразків. Отже, робота адгезії може відповідати адгезійній міцності в тому випадку, якщо τ_0 буде визначатися в рівноважних умовах, тобто при деформації з нескінченно малою швидкістю. В умовах реального експерименту питання про те, яка величина сили адгезії входить в величину τ_0 , індивідуальний для кожного конкретного випадку і вимагає дуже уважного розгляду.

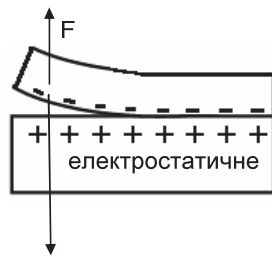


Рис. 1. Робота відшарування плівки адгезива від поверхні субстрату.

Відомо кілька теорій адгезії. Кожна з них була розроблена для пояснення конкретних результатів фізико-хімічних експериментів з вимірювання адгезійної міцності з'єднання «адгезив-субстрат» на макрозразках і вивченню впливу на τ_0 різних факторів.

Теорії обґрунтування адгезії. Розглянемо нижче теорії, які на нашу думку мають під собою реальне підґрунтя і містять також теоретичне обґрунтування.

Механічна (мікрореологічна) теорія адгезії. Засновником механічної теорії адгезії є Мак-Бейн [4]. Відповідно до цієї теорії, адгезія здійснюється

за рахунок затікання адгезиву в пори або тріщини на поверхні субстрату з наступним затвердінням. При цьому вважається, що між адгезивом і субстратом утворюються «заклепки», що зв'язують компоненти адгезійного з'єднання шляхом механічного заклинювання. Отже, міцність адгезійного з'єднання визначається пористістю субстрату (включаючи форму пор) і міцністю плівки адгезиву.

Механічне зчеплення адгезиву і субстрату, безумовно, відіграє істотну роль у забезпеченні міцності адгезійного з'єднання, особливо якщо субстрат пронизаний сіткою наскрізних пор (тканина). Тим не менш, ця теорія не пояснює адгезію непористих тіл з гладкими поверхнями і не враховує хімічну природу і фізико-хімічні властивості адгезиву і субстрату. Основний висновок механічної теорії адгезії полягає в тому, що збільшення площі контакту адгезиву і субстрату призводить до збільшення міцності адгезійного з'єднання.

Адсорбційна (молекулярна) теорія адгезії. Розроблена Дебройном [14] і Мак-Лареном [15,16,17]. Ця теорія визначає адгезію як результат взаємодії між адгезивом і субстратом за рахунок міжмолекулярних сил, тобто як фізичну адсорбцію.

Основний висновок цієї теорії полягає в тому, що висока міцність адгезійного з'єднання досягається тільки в тих випадках, коли адгезив і субстрат володіють полярними функціональними групами. Це робить проблематичним пояснення адгезії між слабополярними і неполярними полімерами. Тим не менше, адсорбційна теорія адгезії добре узгоджується з уявленнями про взаємозв'язки адгезії і питомої вільної поверхневої енергії міжфазних кордонів, величина якої визначається міжмолекулярними взаємодіями в об'ємі контактуючих фаз. Взаємодія між іонами, в тому числі і молекулярними, реалізується завдяки кулонівським силам. Згідно закону Кулона, сила f яка виникає при взаємодії двох точкових зарядів q_1, q_2 , в вакуумі на відстані r , визначається формулою $f=q_1q_2/r$, з якої визначаємо, що потенційна енергія Кулонової взаємодії $U_{kul}(r) \sim 1/r$ [18].

Хімічна теорія адгезії. Дана теорія розглядає явище адгезії, як результат хімічної взаємодії компонентів адгезійного з'єднання. Потрібно зазначити, що різкий кордон між адгезією, обумовленою фізичними силами, і адгезією, яка реалізується за рахунок утворення хімічних зв'язків між адгезивом і субстратом, провести неможливо, точно так само, як неможливо чітко розмежувати явища фізичної адсорбції та хемосорбції. Очевидно, що тут не йдеться про єдину модель утворення адгезійного з'єднання, оскільки кожен випадок адгезії в рамках даної теорії реалізується за індивідуальним механізмом.

Електрична теорія адгезії. Запропонована Дерягиним і Кротовою [5]. Відповідно до цієї теорії, адгезія реалізується шляхом контактної електризації, що спостерігається при тісному зіткненні адгезиву і субстрату.

Адгезив і субстрат в адгезійних з'єднаннях ототожнюються з пластинами електричного конденсатора, а процес роз'єднання адгезиву і субстрату - з

розсуванням пластин конденсатора. При цьому між пластинами виникає різниця потенціалів, яка росте із збільшенням зазору між ними до настання електричного розряду. При повільному роз'єднанні адгезиву і субстрату заряди встигають стекти з пластин конденсатора, при високій швидкості роз'єднання висока щільність заряду на пластинах конденсатора зберігається аж до настання розряду.

Потрібно зазначити, що електричні явища, що супроводжують руйнування адгезійних з'єднань, спостерігаються лише при певних умовах експерименту. Крім того, з точки зору електричної теорії адгезії, зближення хімічної природи адгезиву і субстрату повинно приводити до зменшення контактної різниці потенціалів, а, отже, і до зниження міцності адгезійного з'єднання. Ця теза також не знаходить експериментального підтвердження.

Дифузійна теорія. Запропонована для пояснення адгезії полімерів, розроблена Воюцким [19,20,21]. З позицій цієї теорії адгезія забезпечується за допомогою дифузії макромолекул або їх сегментів через межу розділу «адгезив-субстрат» і утворенням міцного зв'язку між полімерами. Дифузія молекул одного полімеру в інший є його розчиненням, що призводить до зникнення межі розділу фаз і утворення спайки між контактуючими тілами (фазами). Таким чином, адгезія полімерів розглядається як явище, що зачіпає не тільки поверхню розділу, але і достатньо широкі (близько десятка мкм) шари контактуючих фаз утворених за допомогою міжмолекулярних сил [21].

Дана теорія добре пояснює посилення адгезії при зближенні хімічної природи компонентів. Однак експериментальні дані, отримані останнім часом, свідчать про необхідність розгляду процесів, що відбуваються саме поблизу міжфазної границі «адгезив-субстрат». Для здійснення дифузійних процесів необхідно дотримання двох умов: термодинамічної, яка зводиться до взаємної розчинності адгезиву і субстрату, їх сумісності, і кінетичної, яка забезпечується рухливістю макромолекул.

Релаксаційна теорія адгезії. Теорія розглядає процеси деформації, виникнення внутрішніх напружень і їх релаксацію в адгезиві при відділенні плівок адгезиву від поверхні субстрату. Необхідно зазначити, що внутрішні напруження виникають у процесі формування плівок адгезиву і впливають на адгезійну міцність з'єднання «субстрат-адгезив». Природа адгезійного зв'язку при цьому не змінюється: виникає лише умова для зміни адгезії шляхом зменшення числа зв'язків, що припадають на одиницю площі контакту адгезиву і субстрату. Теорія також враховує виникнення і релаксацію внутрішніх напружень в процесі експлуатації матеріалу, елементарним наслідком яких є адгезійне з'єднання [22].

Теорія слабких граничних шарів. Суть цієї теорії, розробленої Бікерманом [23,24], зводиться до того, що в зоні контакту адгезиву і субстрату утворюються «слабкі» граничні шари з фізико-хімічними властивостями, відмінними від властивостей адгезиву і субстрату, які і визначають міцність адгезійного з'єднання. Міркування, покладені в основу даної теорії, засновані на

тому, що ймовірність руйнування адгезійного з'єднання чітко уздовж міжфазної границі вкрай мала. З цього випливає, що механізм руйнування може бути тільки когезійний і експериментально визначається сила, необхідна для руйнування адгезійного з'єднання.

Дослідження слабких граничних шарів є дуже важливими для розвитку теорії про механізми виникнення адгезійної міцності і руйнування адгезійних з'єднань: невід'ємною частиною більшості механічних випробувань є контроль характеру руйнування. Крім того, при детальному розгляді деяких міжфазних явищ в полімерних системах виявлено, що поряд з технологічними причинами виникнення слабких граничних шарів, існують термодинамічно обгрунтовані причини появи мікрогетерогенності в поверхневих шарах, які призводять, наприклад, при контакті двох полімерів до утворення перехідних областей, що відрізняються за структурою і властивостями. Істотним плюсом даної теорії є врахування впливу середовища, з якою контактує адгезійне з'єднання.

Теорія слабких граничних шарів майже не враховує хімічну структуру адгезивів. Серйозною альтернативою цій теорії є розгляд питання про локалізацію руйнувань в елементарних комірках волокнистих композитів.

Більшість із викладених вище теорій адгезії по суті описують руйнування адгезійних з'єднань. Ключем до розуміння саме явища адгезії є чітке розмежування двох процесів – формування адгезійного з'єднання і його руйнування.

Без контакту поверхонь адгезиву і субстрату явище адгезії проявлятися не може. Цей аргумент є обгрунтуванням для розгляду адгезії з точки зору фізичної хімії поверхневих явищ [25], в тому числі і впливу форми субстрату на утворення адгезійного контакту.

Вплив форми субстрату на утворення адгезійного контакту. Збільшення площі контакту між адгезивом і субстратом приводить до підвищення адгезії незалежно від того, якими силами обумовлено зв'язок між фазами. На величину площі контакту впливають такі чинники, як змочуваність, здатність адгезиву заповнювати нерівності твердої поверхні, витісняючи при цьому повітря. Численні бульбашки повітря, що знаходяться в глибоких борозенках і порах поверхні зразка, перешкоджають досягненню максимально можливого контакту. Таким чином, морфологія поверхні субстрату, її топографія, мікрорельєф і чистота є важливими факторами, що впливають на повноту контакту і в кінцевому підсумку на адгезію.

Мікрорельєф і шорсткість твердої поверхні, зумовлені особливостями внутрішньої структури, можна умовно назвати первинними або атомно-молекулярними. Також шорсткість може бути механічною, при цьому маються на увазі численні дефекти (пори, тріщини, капіляри), що з'являються в результаті процесів структуроутворення, старіння і т.д. До цієї групи відносяться і штучний мікрорельєф (рис. 2), створюваний різними способами [26].

На топографію твердої поверхні впливають такі процеси як окислення та

гідроліз. При цьому на поверхні виникає своєрідний чохол, товщина якого нерівномірна. У цьому випадку говорять про додаткову шорсткість, яка називається вторинною.

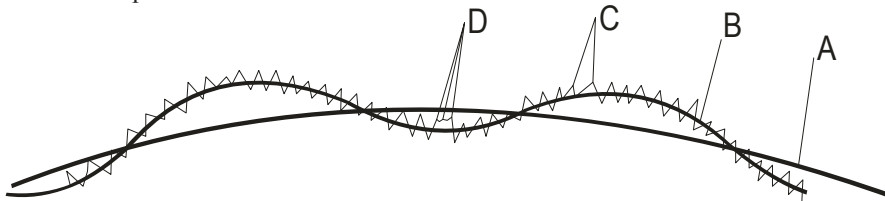


Рис. 2. Основні види нерівностей твердої поверхні
А - макроскопічні порушення; В - хвилястість поверхні;
С - мікроскопічні нерівності; D - ультрамікроскопічні нерівності.

Найбільшу роль у взаємодії на межі розділу адгезив-субстрат відіграють мікроскопічні і ультрамікроскопічні нерівності. Величина останніх коливається в межах 10^{-9} - 10^{-8} м і в деяких випадках лежить за межами чутливості стандартних методів вивчення у твердій поверхні.

Отже, для досягнення найбільшого показника міцності адгезії необхідно, щоб молекули адгезиву проникали не тільки у великі, але і мікроскопічні і ультрамікроскопічні дефекти поверхні полімерного субстрату, так як в цьому випадку величина поверхні контакту досягає величезних розмірів [27].

Напруження в адгезиві і їх релаксація. Будь-яка система адгезив-субстрат характеризується не тільки величиною адгезії, але і типом порушення зв'язку між компонентами, тобто характером руйнування. Питання про характер руйнування має теоретичний і практичний інтерес. Знаючи слабкі ланки системи, можна шукати шляхи підвищення її міцності. Загальноприйнятою є наступна класифікація видів руйнування: адгезійне (адгезив повністю відокремлюється від субстрату) (рис.3,*a*), когезійне (розрив відбувається по масиву адгезиву чи субстрату) (рис.3,*b,c*) і змішане (відбувається часткове відділення адгезиву від субстрату і часткове руйнування адгезиву) (рис.3, *d*).

Міцність адгезійних з'єднань залежить від ряду факторів. По-перше, величина адгезійної міцності має чітко виражену швидкісну залежність: збільшення швидкості наростання руйнівного зусилля приводить до підвищення межі опору руйнуванню (рис.4).

Когезійне руйнування спостерігається при невеликій швидкості руйнування. Підвищення швидкості призводить до змішаного руйнування, а при високих швидкостях розрив має переважно адгезійний характер.

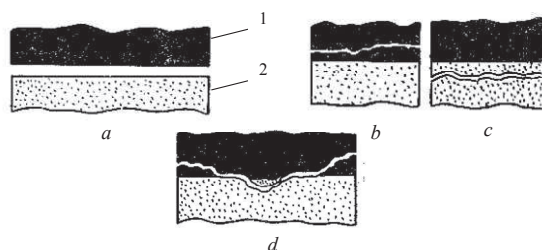


Рис.3. Види руйнування адгезійних з'єднань:
a – адгезійне; *b,c* – когезійне; *d* – змішане;
 1- адгезив; 2 – субстрат.

Величина адгезійної міцності в значній мірі залежить від температури випробування, причому ця залежність має немонотонний характер [27].

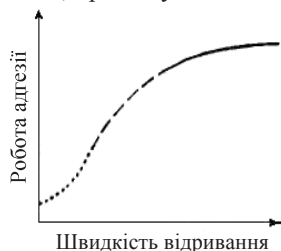


Рис.4. Залежність адгезії від швидкості прикладання навантаження:
 ... - когезійне руйнування;
 --- - змішане руйнування;
 — - адгезійне руйнування

Тимчасова залежність міцності притаманна всім матеріалам, а швидкість руйнування механічно напруженого тіла визначається величиною напруження і температурою. Руйнування полімерних матеріалів відбувається в результаті зростання тріщин, що виникли в тому місці, де локальні напруження перевищують міцність матеріалу. Величина перенапруження у вершині, де утворилися тріщини, і визначає швидкість утворення тріщини, тобто фактичну міцність матеріалу. Розподіл небезпечних місць, в яких можливе зародження тріщини, узгоджується із законами статистики [28].

Отже, міцність полімерних матеріалів залежить від тривалості впливу навантаження, що викликає руйнування і від швидкості деформації, причому швидкість деформації проявляється в кінетиці підростання тріщин.

Висновки.

1. Для захисту бетонних і залізобетонних конструкцій від дії агресивного середовища виникає необхідність влаштування обмазувальної гідроізоляції, ефективність якої залежить від величини адгезії з матеріалом основи.
2. Проаналізувавши відомі теорії адгезії, можна пояснити конкретні результати фізико-хімічних експериментів з вимірювання адгезійної міцності з'єднання «адгезив-субстрат» на макрозразках.

3. Знаючи слабкі ланки системи адгезив-субстрат, вивчивши питання про характер руйнування, можна шукати шляхи підвищення її міцності для збереження несучої здатності бетонних і залізобетонних конструкцій та підвищення їх довговічності.

1. Практикум по коллоидной химии латексов и поверхностно-активных веществ. Под ред. Неймана Р.Э. М. Высшая школа. 1972. – 176с. 2. Талмуд Д. Л. и Бреслер С. Е., Поверхностные явления. (Серия «Проблемы новейшей физики».) 1934, 132 стр. 3. Гороховский А. В. Регулирование адгезии при производстве триплекса/А.В.Гороховский, К.В.Поляков,С.Н.Головач // Стекло и керамика, 1991г. 4. McBain J.W., O'Connor J.J. // J. Am. Chem. Soc. 1940. 62. № 10. P. 2855. 5. Дерягин Б. В., Кротова Н.А., Смильга В.П., Адгезия твердых тел, М., 1973. 6. Сумм Б. Д. Основы коллоидной химии: учеб. Пособие. - М. : Академия, 2006 (Тверь) . - 239 с. 7. В.М. Москвин, Ф.М. Иванов, С.И. Алексеев, Е.А. Гузеев. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. - 1980 – Стройиздат. 8. ГОСТ 28574-90. “Защита от коррозии в строительстве. Конструкции бетонные и железобетонные. Методы испытаний адгезии защитных покрытий”. 9. Фрейдлин А.С., Турусов Р.А. Свойства и расчет адгезионных соединений. М., Химия, 1990, 256 с. 10. Магомедов Г.М., Яхьяева Х.Ш., Козлов Г.В. ЭНЖ «Исследовано в России» №29 “Влияние структуры поверхности волокна на адгезионную прочность”. 11. М. Jóska: Metodologiczne aspekty oceny przyczepności powłok egeneracyjnych metoda ultradźwiękową. Politechnika Poznańska – Rozprawę nr 372. Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2002. 12. Липатов Ю.С. Коллоидная химия полимеров. Киев: Наукова думка, 1984.- 844с. 13. Щукин Е.Д., Перцов А.В., Амелина Е.А. Коллоидная химия. М.: Высшая школа, 2004.- 434с. 14. Ю.Дебройн, Н. Адгезия Текст. / Н. Дебройн, Р. Гувинк, М.: Изд-во АН СССР, 1949.-580 с. 15. McLaren, A.D. Adhesion: III. Adhesion of polymers to cellulose and alumina Текст. / A.D. McLaren, C. J. Seiler // Journal of Polymer Science. -1949. V. 4(1), - P. 63-74. - ISSN: 0965-545X. 16. McLaren, A.D. Adhesion: III. Adhesion of polymers to cellulose and alumina Текст. / A.D. McLaren, C. J. Seiler // Journal of Polymer Science. -1949. y. 4(3), p. 408. ISSN: 0965-545X. 17. McLaren, A.D. Rubber to metal bonding Текст. / A.D. McLaren // Journal of Polymer Science. 1948. - V. 3(5), - P. 794. - ISSN: 0965-545X. 18. Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм. М.: Высш. школа, 1983.— 463с. 19. С.С. Воюцкий. “Koloid-kimija”. Yzd. “Zvaigzne” Riga, 1966. 20. Практикум по коллоидной химии и электронной микроскопии / под ред. Воюцкого С.С., Панич Р.М. М.: Химия, 1974. 224с. 21. С.С. Воюцкий. “Аутогезия и адгезия высокополимеров”. монография, 17 печ. листов. Ростехиздат, 1960 г. 22. Бартенев Г.М., Бартенева А.Г. Релаксационные свойства полимеров. М.: Химия. 1992. - 384с. 23. J.J. Bikerman. Surface chemistry; theory and applications. Второе издание. Academic Press: Нью-Йорк, 1958. 24. J.J. Bikerman. The science of adhesive joints. Academic Press: Нью-Йорк, 1961. 25. Богданова Ю.Г. Адгезия и ее роль в обеспечении прочности полимерных композитов. Композиционные наноматериалы. Москва 2010г.- 68 с. 26. J. Bikerman. The science of adhesive joints. Academic Press: Нью-Йорк, 1961. 27. Басин В.В. Адгезионная прочность / В.Е. Басин. - М: Химия, 1981.-208 с. 28. Вакула В.Л. Физическая химия адгезии полимеров / В.Л. Вакула, Л.М. Притыкин. - М.: Химия, 1984. - 224 с.