

УДК 624.1: 625/745.2

ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ГІДРОІЗОЛЯЦІЇ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ВОДОПРОПУСКНИХ ТРУБ

В.С. Титар, доцент, к.т.н., ХНАДУ

***Анотація.** Запропоновано сучасні різновиди гідроізоляційних матеріалів та технології влаштування гідроізоляції водопропускних труб для поліпшення якості та тривалості їх експлуатації.*

***Ключові слова:** дорожнє будівництво, залізобетонні водопропускні труби, гідроізоляція, різновиди гідроізоляційних матеріалів, технологія гідроізоляції.*

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ

В.С. Титарь, доцент, к.т.н., ХНАДУ

***Аннотация.** Предложены современные разновидности гидроизоляционных материалов и технологии устройства гидроизоляции водопропускных труб для улучшения качества и продолжительности их эксплуатации.*

***Ключевые слова:** дорожное строительство, железобетонные водопропускные трубы, гидроизоляция, разновидности гидроизоляционных материалов, технология гидроизоляции.*

WAYS OF REINFORCED CONCRETE CULVERTS WATERPROOFING IMPROVEMENT

V. Titar, Associate Professor, Candidate of Technical Science, KhNAHU

***Abstract.** Up-to-date varieties of waterproofing materials and technologies of culverts waterproofing arrangement for quality improvement and duration of their exploitation are offered.*

***Key words:** road building, reinforced concrete culverts, waterproofing, varieties of waterproofing materials, waterproofing technology.*

Вступ

Залізобетонні водопропускні труби стали широко використовуватися в дорожній галузі України. Для виготовлення їх елементів створено мережу полігонів та заводів залізобетонних конструкцій. Відпрацьовано технологію будівництва, поточного утримання та ремонту залізобетонних труб. Однак досвід експлуатації автомобільних доріг свідчить про наявність пошкоджень гідроізоляції труб у багатьох регіонах країни.

Для зменшення ризиків просочування вологи в місцях з'єднання елементів труб в бетон самих ланок труб останнім часом використо-

вують довгомірні елементи труб. Такі конструкції сприяють лише частковому розв'язанню проблеми при будівництві доріг, проте непридатні для подовження труб у межах до 2 м при капітальному ремонті доріг або їх реконструкції.

Аналіз публікацій

Проблема якості будівництва залишається тривалий час в числі актуальних проблем дорожньої галузі. Автори публікацій відносять до головних ворогів автомобільних доріг воду і лід, а якість їх влаштування оцінюють як результуючу виконання робіт і матеріалів, які використовують для цього [1].

Переконливо стверджується, що недостатня якість герметизації тріщин і швів дорожніх конструкцій пов'язані з використанням мастик низької якості. Про недоліки щодо використання традиційних старих матеріалів в конструкціях гідроізоляції водопропускних споруд та необхідність розширення ресурсу їх вибору йдеться в публікаціях російських фахівців [2, 3].

Мета і постановка задачі

Таким чином, якість гідроізоляції не завжди відповідає вимогам нормативного терміну експлуатації дорожніх водопропускних труб. Достатньо тривалий час технологія робіт, перелік витратних матеріалів не уточнювались, змінилися умови використання труб щодо агресивності пропускних вод. Натомість з'явилося чимало нових перспективних гідроізолюючих матеріалів, котрі не знайшли використання для означених споруд. В підсумку вибір проектних рішень відстає від спектра пропозицій виробників будівельної продукції. Метою даної роботи є пошук нових матеріалів та технологій влаштування гідроізоляції водопропускних труб для збереження їх якості упродовж терміну експлуатації. Постановка задачі полягає у виборі необхідних матеріалів та раціональних способів їх використання для влаштування гідроізоляції залізобетонних водопропускних труб.

Вимоги до гідроізоляції

До гідроізоляції встановлено такі вимоги: вона повинна бути довговічною та надійною при тривалій дії води, деформаціях бетону, багатократному заморожуванню-відтаванню, змінних навантаженнях та тиску ґрунту насипу. Гідроізоляцію необхідно проектувати водо-, біо- і хімічно стійкою [4,5]. Вона не повинна містити матеріалів та компонентів, які викликають корозію цементного бетону та металу, має бути водонепроникною по всій площі ізолюваної поверхні. Гідроізоляція повинна зберігати герметичність не лише на поверхні елементів труби, але й на деформаційних швах. Важливо, щоб гідроізоляція зберігала суцільність при утворенні на захищеній поверхні тріщин з розкриттям.

Матеріали для гідроізоляції поверхні залізобетонних водопропускних труб повинні мати висновок акредитованої випробувальної лабораторії щодо їх придатності для вказаного виду робіт. З огляду на особливості роботи

гідроізоляційних матеріалів на поверхні водопропускних труб у процесі експлуатації та з метою підвищення їх довговічності до них можливо висунути наступні додаткові вимоги: забезпечувати протягом 72 годин водонепроникність по всій ізолюваній поверхні під дією статичного тиску води величиною 0,1 МПа та водонепроникність – під дією динамічного впливу води (1000 впливів при тиску 0,5 МПа); водопоглинання протягом 24 годин – не більше ніж 1 % за масою; водопоглинання протягом 30 діб – не більше ніж 5 % за масою. Окрім того, вони повинні після 30 циклів заморожування-відтавання зберігати водонепроникність, адгезію до цементобетону, мати відносно подовження не менше ніж 20 % за розрахункової температури мінус 20 °С, залишатися неушкодженими та не втрачати маси більше ніж на 1,5 % після витримання протягом 30 діб у лужному середовищі з показником рН, не меншим ніж 13.

Гідроізоляційні матеріали, що застосовуються для захисту поверхні елементів залізобетонних водопропускних труб від корозії, поділяють на два основні види – мастикові та рулонні [3, 4, 5]. Як мастикові, так і рулонні гідроізоляційні матеріали виготовляються, як правило, на основі бітумних, бітумно-полімерних та, у меншій кількості, полімерних композицій [6].

Традиційно для гідроізоляційного захисту залізобетонних водопропускних труб широко застосовують рулонні матеріали, виготовлені на основі нафтових бітумів. Такими, що наклеювались на поверхню труби, були матеріали типу руберойду, які виготовлялися шляхом просочення та нанесення з обох сторін в'язучого на основу (картон, склотканину, склополотно, азбестовий папір) нафтового бітуму або покривної маси, яка складалася із суміші бітуму та наповнювача. Для цих цілей в основному використовували бітум нафтовий будівельний марки БН 70/30 та покрівельні бітуми марок БНК 45/190 та БНК 90/30, а також суміші вказаних бітумів різних марок. Однак як будівельні, так і покрівельні бітуми та бітумні мастики на їх основі характеризуються низькою деформативністю навіть за позитивних температур.

Бітумні гідроізоляційні мастики отримують шляхом наповнення бітумів мінеральними наповнювачами (порошковими, волокнистими або комбінованими). Для приготування

бітумних гідроізоляційних мастик у різні періоди застосовували наступні порошкові наповнювачі: вапняковий, доломітовий, цегляний та андезитовий мінеральні порошки, доломітове борошно, каолін, тальк, талькомагнезит, крейду, молотий пісок, пилоподібні супіски, природний маршаліт, золу ТЕЦ, цемент тощо. В якості волокнистих мінеральних наповнювачів використовували азбест, шлаковату та базальтове волокно. До складу бітумно-гумових гідроізоляційних мастик як наповнювач вводять гумову крихту. Завдяки введенню наповнювачів відбувається зменшення усадки та повзучості, покращення фізико-механічних властивостей бітумної композиції, а також зниження вартості матеріалу завдяки збільшенню його об'єму. Однак одним із недоліків наповнених бітумних гідроізоляційних мастик є те, що вони характеризуються низькою деформативною здатністю і величиною адгезії та підвищеним водопоглинанням.

Мінеральні наповнювачі, які використовуються для виготовлення гідроізоляційних мастик, повинні характеризуватися хімічною інертністю, міцністю, нерозчинністю у воді та негіроскопічністю. Раніше для виготовлення гідроізоляційних бітумних мастик в якості мінерального волокнистого наповнювача широко застосовували азбестове волокно. При введенні до бітуму азбесту одночасно з підвищенням його теплостійкості відбувається підвищення водопоглинання в умовах знакозмінних температур, порівняно з вихідним бітумом. Проте, у зв'язку зі шкідливістю для організму людини, азбест заборононо для використання в якості наповнювача при виготовленні гідроізоляційних мастик.

До основних технологічних недоліків бітумних мастик відноситься необхідність роботи з ними в гарячому стані, складність розігріву та забезпечення однорідності в умовах будівельного майданчика, а також забезпечення необхідної товщини гідроізоляційного шару. Рулонним гідроізоляційним матеріалам вказані недоліки не притаманні. Сучасні рулонні гідроізоляційні матеріали виготовляють у заводських умовах на основі бітумних композицій і зміцнюють тканиною або сітчастою основою. Рулонні гідроізоляційні матеріали характеризуються достатньо великою масою покривного шару (2–3 кг/м²). Їх укладають на поверхню, що ізолюється, оплавляючи нижню поверхню, або приклеюють за допомогою

спеціальних мастик. Для гідроізоляції можуть також застосовуватись рулонні матеріали з липким шаром, який забезпечує їх самоприлипання до цементобетонної поверхні.

Сучасні гідроізолюючі матеріали

До сучасних гідроізолюючих матеріалів належать: бітумно-полімерні мастики «ІЖОРА», «Дорсан RS-01», «Славянка», «Технопрок» (Росія), «Техномаст» (Україна), Plastikol 1/24F/NFB. Superflex 100 S (Німеччина); рулонно-мастичні гідроізоляції, які є змішаним типом гідроізоляції, що поєднують якості мастики та рулонної ізоляції, «Полікров» (Росія). Система «Полікров» містить у собі: рулонний полімерний гумоподібний матеріал «ПОЛІКРОВ-Р200», полімерну мастику «Полікров-М140», гумобітумну мастику «Полібіт» (праймер), полімерну захисну мастику «Полікров-Л210» [1,2,3,6]. До гідроізоляційних емульсій належать Flexigum-HP (Ізраїль), Elastofalt Spraykole, Elastofalt EP (Голландія). Рулонна гідроізоляція поповнилась такими матеріалами: «Мостопласт», «Ізопласт», «Ізоеласт», «Екомост С», «Полікров Р200» (Росія), «Техноеластмост» марок «Б» і «С», «СПОЛМостА» і «СПОЛМост Ц» (Україна), гідроізоляційні матеріали Sika Ergobit концерну «Sika», «ВілаМост А», «ВілаМост Б» датського концерну «Icoral» та інші.

Особливості технології гідроізоляції труб

При виконанні робіт з гідроізоляції залізобетонних водопропускних труб необхідно дотримуватись наступної послідовності технологічних операцій: підготовка поверхні елементів труби; влаштування гідроізоляції згідно з конструктивним рішенням, прийнятим у проекті; влаштування за необхідності захисного шару гідроізоляції. Додаткові особливості застосування сучасних гідроізоляційних матеріалів вказані у супровідній їх документації і часто суттєво різняться.

Поверхня елементів залізобетонної труби, призначена під гідроізоляцію, не повинна мати раковин та тріщин, пилу та масляних плям. Нерівності та напливи бетону зрубують з наступним шліфуванням місць їх знаходження на поверхні. За наявності на поверхні під гідроізоляцію окремих нерівностей глибиною більше 10 мм їх позбуваються заповненням ремонтними сумішами, які по-

винні бути зручними при укладанні й несхильними до утворення тріщин при висиханні. Допускається загальна площа окремих раковин глибиною 3 мм до 0,2 % на 1 м² при відстані між впадинами від 1,5 до 2,5 мм. Для остаточного очищення поверхні необхідно застосовувати промислові пилососи чи потужні компресори.

Поверхня залізобетонних елементів водопропускної труби перед влаштуванням гідроізоляції повинна бути сухою. При цьому вологість цементобетону повинна бути не більше 4 %. Визначення вологості можна здійснювати електронним вологоміром дієлькометричним методом згідно з ГОСТ 21718, або за допомогою вологоміра-щільноміра нейтронним методом, згідно з ГОСТ 23422. За необхідності прискорення висихання поверхні, призначеної під гідроізоляцію, дозволяється застосовувати штучне висушування потоком гарячого повітря.

Гідроізоляцію елементів залізобетонних водопропускних труб доцільно виконувати в заводських умовах. При цьому бажано гідроізолювати не тільки зовнішні, але і внутрішні поверхні елементів труби. Заводську гідроізоляцію необхідно захищати від пошкоджень, які можуть виникнути при вантажно-розвантажувальних операціях, транспортуванні або монтажі елементів труби. Для цього на поверхню бітумного мастикового шару наклеюють крафт-папір, тонкий геосинтетичний матеріал, або полімерну плівку. Незалежно від обраного для захисту матеріалу він має щільно прилягати до гідроізоляції та наклеюватись з напуском на 2–3 см.

Перед початком гідроізоляційних робіт із застосуванням рулонних або мастикових гідроізоляційних матеріалів на основі бітуму на поверхню елементів труби наноситься бітумна ґрунтовка. В різних нормативних документах та технічній літературі можливо зустріти терміни «праймер» або «бітумний лак», які є тотожними терміну «бітумна ґрунтовка». Ґрунтовка готується розрідженням бітуму або бітуму, модифікованого полімерами класу термоеластопластів в авіаційному гасі, бензині або їх суміші у співвідношенні 1:1, вливанням тонкої цівки розплавленого бітуму у розчинник при постійному перемішуванні. Співвідношення між бітумом і розчинником може бути від 1:3 до 1:4. В'язкість ґрунтовки, визначена за віскозиметром ВЗ-4 за температури 20 °С, повинна знаходитись в межах 10–15 с. Витрата ґрунтовки на 1 м²

поверхні визначається пробним нанесенням безпосередньо на місці проведення робіт. Праймер у холодному стані можливо наносити на поверхню за допомогою дорожніх ремонтерів, а за малих обсягів робіт – фарборозпилювачами різної конструкції. Можна також застосовувати для виконання вказаної роботи малярні щітки. Ґрунтовки зберігають в герметично закритих ємкостях. Загуслу ґрунтовку можна розріджувати додаванням до неї розріджувача у кількості, необхідній для отримання нормованої в'язкості, та додатковим перемішуванням. Готовність проґрунтованої поверхні до влаштування основного шару гідроізоляції визначають тільки після набуття нею матового відтінку. Критерієм готовності поверхні під гідроізоляцію є відсутність слідів праймеру на фільтрувальному папері, який було приведено в контакт з проґрунтованою поверхнею шляхом його притискання до неї долонею протягом 5 секунд за температури навколишнього середовища. Попереднє ґрунтування поверхні, яка ізолюється, сприяє зростанню довговічності водопропускних труб за рахунок підвищення міцності зчеплення гідроізоляційного матеріалу з поверхнею і, відповідно, корозійної стійкості залізобетону. Залежно від прийнятих матеріалів та технології виконання робіт гідроізоляцію залізобетонних водопропускних труб поділяють на обмазувальну, обклеювальну та проникаючу.

Водонепроникність та довговічність внутрішньої та зовнішньої поверхонь ланок труби та труби в цілому можна забезпечувати застосуванням гідроізолюючих матеріалів проникаючої дії. До таких матеріалів належать композиції на основі поліорганічних силоксанів та кремнійорганічних гідрофобізуючих рідин, які при нанесенні на поверхню проникають у пори, кальматують їх та надають поверхні водовідштовхуючих властивостей. Гідроізоляційні матеріали типу «Пенетрон» та «Кальматрон» можна наносити на внутрішню та зовнішню поверхні ланок труби за допомогою пневматичних розпилювачів або за допомогою інших апаратів та інструментів. Надійна гідрофобізація цементобетонної поверхні досягається при дворазовому нанесенні матеріалу проникаючої дії. Витрати матеріалу залежать від методу нанесення та пористості поверхні, що ізолюється. Вказані матеріали доцільно застосовувати для гідроізоляції внутрішньої поверхні ланок труби, оскільки вона працює в більш агресивному середовищі, порівняно із зовнішньою.

Гідроізоляцію із рулонних армованих бітумно-полімерних матеріалів, як правило, влаштовують одношаровою або двошаровою. Влаштування шару гідроізоляції з використанням рулонних гідроізоляційних матеріалів виконують наклеюванням їх на суху оброблену ґрунтовкою бетонну поверхню елементів труби шляхом оплавлення нижньої поверхні рулонного матеріалу полум'ям газового пальника і негайного притискування оплавленого шару ізоляції до ґрунтованої бетонної поверхні, або ж шляхом застосування спеціальних приклеювальних мастик чи рулонного матеріалу із самоклеючою поверхнею. Укладання та приклеювання рулонного гідроізоляційного матеріалу виконують перпендикулярно осі труби. При укладанні гідроізоляційного матеріалу на попередньо підготовлену поверхню необхідно забезпечити перекриття матеріалу у стиках на ширину 3–5 см. Наплавлення полотен рулонного гідроізоляційного матеріалу починають від вихідного оголовка. Критерієм правильно вибраного температурного режиму наплавлення гідроізоляційного матеріалу є наявність невеликого валика покривного шару мастики у місці контакту рулона з поверхнею. При цьому поліетиленова плівка на нижній поверхні гідроізоляційного матеріалу повинна бути повністю розплавленою разом з бітумно-полімерною масою. Наплавлення проводять однофакельним або багатофакельним пальником за орієнтовної витрати газу пропану за нормою від 0,3 л/м² до 0,7 л/м², залежно від температури повітря та теплостійкості прийнятого гідроізоляційного матеріалу. Газовий пальник при наплавленні рулонного гідроізоляційного матеріалу безперервно переміщують, щоб не пропалити та не допустити локального перегрівання матеріалу. Полум'я пальника має знаходитись не ближче 5 см від поверхні, що оплавляється. Воно повинно бути без кіптяви і підтримуватись таким, щоб факел не відривався по контуру від пальника. Для цього робочий тиск газу на редукторі балона необхідно підтримувати в межах 0,5–1,5 кгс/см². Наплавлений або наклеєний шар гідроізоляції не повинен мати складок, пухирів та інших дефектів. Дефектні місця видаляють та наклеюють або наплавляють на їх місця латки із напуском з усіх сторін на 50–60 мм. Застосовані для виконання робіт рулонні гідроізоляційні матеріали за показниками фізико-механічних властивостей повинні відповідати вимогам відповідних нормативних документів. Обма-

зувальну гідроізоляцію залізобетонних водопропускних труб можна влаштовувати з використанням гарячих або холодних бітумних та бітумно-полімерних мастик, а також холодних самотверднучих полімерних та бітумно-полімерних композицій. Обмазувальну гідроізоляцію, залежно від проектної товщини, можна влаштовувати одношаровою або багатошаровою. Багатошарова гідроізоляція може бути армованою та неармованою.

Армована обмазувальна гідроізоляція влаштовується у вигляді конструкції з армуючого матеріалу, який розміщують між двома або трьома послідовно влаштованими шарами мастики. Перший шар мастики наносять на цементобетонну поверхню, попередньо оброблену праймером. Після висихання або вистигання на перший шар мастики укладають армуючий матеріал перпендикулярно осі труби з перекриттям стиків на 5–10 см. Для фіксування проектного положення окремих полотен армуючого матеріалу на поверхні труби його в окремих місцях приклеюють мастикою. Як армуючий матеріал можна використовувати полімерні геосинтетичні або склосітчасті тканини. Кожний шар армуючого матеріалу укладають так, щоб стики в наступних шарах не співпадали, та покривають суцільним рівним шаром мастики. Пошарове нанесення мастики здійснюється за допомогою спеціального устаткування, що забезпечує рівномірне її розподілення по поверхні. Мінімальна товщина одного шару повинна бути не менше ніж 1,5 мм.

Багатошарову неармовану обмазувальну гідроізоляцію влаштовують шляхом нанесення декількох шарів мастики на попередньо оброблену ґрунтовкою цементобетонну поверхню. Якщо для влаштування гідроізоляції залізобетонної водопропускної труби застосовується холодна мастика, то шар ґрунтовки не влаштовується. Загальна товщина шарів гідроізоляції залежить від місцевих ґрунтово-геологічних умов і вказується у проекті. Холодні самотверднучі полімерні або бітумно-полімерні композиції є, як правило, двокомпонентними. Вартість цих композицій є значно вищою, ніж бітумних або бітумно-полімерних мастик. Їх готують змішуванням компонентів у співвідношенні, що визначається виробником. Компоненти перемішують без підігрівання до однорідної маси у змішувачах за рекомендаціями виробника. Готову композицію рекомендується використовувати-

ти до початку періоду її структуроутворення. Гідроізоляція влаштовується нанесенням двох шарів самотверднучої холодної композиції. Другий шар наноситься після полімеризації першого. Залежно від температури і вологості повітря тривалість полімеризації становить від 12 до 48 годин. Гідроізоляція з таких композицій підлягає армуванню полімерними геосинтетичними або склосітчастими тканинами. Армуючий матеріал укладають на перший шар. Після нанесення другого шару холодної самотверднучої композиції і закінчення процесу її структуроутворення армуючий матеріал не повинен бути помітним. При технологічних перервах у роботі більше 3 годин гідроізоляцію в місцях стикування виконують у напуск. Орієнтовна витрата самотверднучих композицій при нанесенні одного шару складає $2,5 \text{ кг/м}^2$.

Роботи з гідроізоляції ланок водопропускної труби, або стиків та деформаційних швів між ними на будівельному майданчику виконують за відсутності опадів та температури повітря вище плюс 5°C . Зимом гідроізоляцію можна влаштовувати під прикриттям збірних тепляків із забезпеченням в них позитивних температур, або без тепляків шляхом підігрівання із середини ланок водопропускної труби із закритими торцями. Тепляки обігрівають за допомогою електронагрівачів.

Гідроізоляцію круглих одновічкових та багатовічкових фундаментних труб традиційно виконують з напуском гідроізоляційного матеріалу на бокові грані фундаменту. Починають наплавляти полотна від вихідного оголовка з накидом наступного полотна на попереднє на 3–5 см. При влаштуванні неармованої обмазувальної гідроізоляції стики між ланками і деформаційні шви між секціями рекомендується захищати додатковою армованою ізоляцією у вигляді смуг шириною 25–30 см, які клеять симетрично відносно осей стиків та деформаційних швів. У двовічкових фундаментних круглих трубах простір між ланками (пазухи) заповнюють пісним цементобетоном. Поверхні бетону в пазусі надають похили і ізолюють спільно з ланками водопропускної труби. В безфундаментних трубах допускається заповнювати простір між ланками дренажним ґрунтом. Перед засипкою пазух дренажним ґрунтом рекомендується виконати ізоляцію кожної труби окремо.

Висновки

Матеріали гідроізоляції водопропускних залізобетонних труб мають зберігати свої властивості впродовж усього періоду експлуатації споруди. При виборі матеріалів для гідроізоляції слід надавати перевагу сучасним матеріалам, здатним витримувати зміни агресивності пропускних вод та впливу природно-кліматичних чинників. В разі використання сучасних систем гідроізоляції водопропускних труб слід враховувати особливості їх застосування в технології будівельних робіт. Сучасні гідроізоляційні матеріали здатні поліпшити якість експлуатації водопропускних труб.

Література

1. Рыбочкин С. Качество герметизации – качество герметика / С. Рыбочкин, А. Баранов // Автомобильные дороги. – 2000. – №1. – С. 68.
2. Новые гидроизоляционные материалы для мостовых сооружений [Электронный ресурс] / И.Д. Сахарова, В.Ю. Казарян // Архитектура и строительство. – Режим доступа: <http://www.build.rin.ru/articles/1601.html>.
3. Марышев А.Б. Гидроизоляция мостовых сооружений. Современные материалы и технологии для устройства гидроизоляции на мостах / А.Б. Марышев, И.А. Панина // Строительная техника и технология. – 2008. – №7. – С. 72–87.
4. Водопропускные трубы под насыпями / Е.А. Артамонов, Г.Я. Волченков, Р.С. Клейнер и др.; под ред. Ю.А. Янковского. – М.: Транспорт, 1982. – 232 с.
5. Инструкция по устройству гидроизоляции мостов и труб на железных, автомобильных и городских дорогах: ВСН 32-81. – М.: Минтрансстрой, 1981. – 69 с.
6. Жданюк К.В. Дослідження впливу пластифікаторів на властивості бітумно-полімерних гідроізоляційних мастик / К.В. Жданюк, В.К. Жданюк // Компьютерное материаловедение и прогрессивные технологии: 47-й Межд. семинар по моделированию и оптимизации композитов. – Одесса. – 2008. – С. 141–142.

Рецензент: В.В. Філіппов, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 13 вересня 2012 р.