

УДК 622.692.4.076.620.193.92.01

ПРОТИКОРОЗІЙНИЙ ЗАХИСТ НАФТОГАЗОПРОМИСЛОВГО ОБЛАДНАННЯ У ВАТ "УКРНАФТА"

В.В. Григораши¹⁾, С.Д. Попович¹⁾, Г.В. Городівська¹⁾, І. С. Кісіль²⁾, М.М. Дранчук²⁾

1) Науково-дослідний і проектний інститут ВАТ "Укрнафта", Північний бульвар ім. Пушкіна, 2, м. Івано-Франківськ, 76019, тел. (8-03422) 4-83-35

2) Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, тел. (8-03422) 4-20-64

Обґрунтовано актуальність робіт за напрямком протикорозійного захисту та описано загальні положення з метою організації і проведення робіт щодо захисту від корозійного руйнування зовнішньої і внутрішньої поверхні нафтогазопромислового обладнання у ВАТ "Укрнафта".

Обосновано актуальность работ по антикоррозионной защите и описаны общие положения организации и проведения работ по защите от коррозионных разрушений внешней и внутренней поверхности нефтегазопромышленного оборудования в ОАО "Укрнефть".

Grounded actuality of works after direction of anticorrosive defence and generals are described with the purpose of organization and leadthrough of works in relation to protecting from corrosive destruction of external and internal surface of oil and gas industrial equipment in OJSC "Ukrnafta".

З досвіду найбільших світових нафтопромислових компаній видно, що антикорозійний захист є одним з найважливіших напрямків діяльності будь-якого нафтогазо-видобувного підприємства, що визначає надійність та безаварійність його роботи.

Рациональним вирішенням даної проблеми є контроль за агресивністю середовищ видобувних свердловин на основі постійного моніторингу швидкості корозійних процесів та ефективно використовання засобів протикорозійного захисту (інгібіторного, електрохімічного та протекторного) з метою зменшення витрат на ремонт і ліквідацію простоїв в роботі нафтогазопромислового обладнання.

Для умов нафтогазовидобувних підприємств ВАТ "Укрнафта" корозія металевого обладнання і комунікацій під час видобування і транспортування нафти і газу має ряд особливостей. По-перше, вона пов'язана з великою за металоємністю системою підземного і надземного обладнання свердловин, установок збору і підготовки нафти і води та не менш велику за протяжністю мережу нафтопроводів, газопроводів і водоводів. По-друге, корозійний процес обладнання протікає, як правило, в гетерогенній системі, тобто в системі двох незмішуваних середовищ: нафта–пластова вода,

газовий конденсат–пластова вода, підтоварна вода–сліди (залишки) нафти.

Згідно чинної галузевої нормативної бази все нафтогазопромислове обладнання (НГПО) ВАТ "Укрнафта" підлягає захисту (пасивному чи активному) від корозії, який повинен забезпечувати його безаварійну роботу на весь період його експлуатації. Вимоги з антикорозійного захисту необхідно виконувати при проектуванні, будівництві, монтажі, реконструкції і ремонті НГПО.

При розробці проекту на НГПО одночасно повинен розроблятися проект захисту його від корозії. Всі засоби і методи захисту від корозії, передбачені проектом, повинні бути введені в дію до моменту здачі НГПО в експлуатацію. Проекти та заходи протикорозійного захисту, що впроваджуються та вперше розробляються, повинні відповідати нормативній документації, шкідливо не впливати на суміжні інженерні споруди та навколишнє середовище і бути погодженими в порядку, встановленому чинним законодавством.

Відповідальність за науково-технічну розробку, організацію впровадження, супровід, моніторинг, вхідний контроль, проведення експертної оцінки доцільності та надання рекомендацій щодо покращення ефективності протикорозійного захисту НГПО у ВАТ "Укрнафта" покладена на науково-дослідний і

проектний інститут (НДП) ВАТ "Укрнафта". Відповідальність за технічний нагляд за виконанням будівельно-монтажних та налагоджувальних робіт, експлуатацію, ремонт та впровадження технічних рішень і рекомендацій за напрямком протикорозійного захисту покладена на підрозділ протикорозійного захисту (ПКЗ) структурної одиниці ВАТ "Укрнафта", на балансі якої знаходиться НГПО, що захищається.

Основними завданнями служби ПКЗ є:

- забезпечення ефективного використання і експлуатації засобів комплексного захисту від корозії відповідно до нормативної та технічної документації;

- організація і проведення електрометричних і інструментальних обстежень корозійного стану НГПО і засобів захисту, планово-попереджувальних і капітальних ремонтів даних засобів;

- застосування і впровадження сучасних методів і засобів захисту споруд від корозії, сприяння виконанню науково-дослідних робіт, що направлені на підвищення надійності, довговічності і ефективності роботи засобів комплексного захисту, а також впровадження результатів даних розробок на діючому НГПО;

- проведення систематичного моніторингу та аналізу корозійного стану і захисту НГПО, систематизація причин корозійних пошкоджень і аварій, розроблення заходів щодо покращення роботи засобів захисту і забезпечення практичного здійснення даних заходів;

- підготовка і своєчасне подання звітності за встановленими формами і показниками в технічне управління ВАТ "Укрнафта" та НДП.

Корозійні процеси нафтогазопромислового обладнання в загальному випадку поділяють на зовнішні і внутрішні. Їх класифікують за характером взаємодії металу з середовищем на хімічні та електрохімічні.

До хімічної корозії відносяться процеси, які протікають при безпосередній хімічній взаємодії між металом і агресивним середовищем і не супроводжуються виникненням електричного струму.

До електрохімічної корозії відносяться корозійні процеси, які протікають у водних розчинах електролітів, вологих газах, розплавлених солях і лугах.

Переважає більшість корозійних руйнувань НГПО спричиняється електрохімічною корозією.

На швидкість протікання і розподіл корозії підземного і наземного обладнання впливають:

- технічні і технологічні фактори при видобутку, а саме: тип свердловини, спосіб видобутку вуглеводневої продукції, протяжність і режим руху у свердловині газорідинної суміші, тиск на вибої і усті свердловини і розподіл температури по стовбуру свердловини, рівень рідини і склад газоповітряної суміші у затрубному просторі свердловини;

- фізико-хімічні властивості і склад продукції, яка видобувається із свердловини;

- наявність в продукції свердловин органічних і неорганічних речовин, які можуть утворювати захисні плівки на металевій поверхні;

- наявність абразивних частинок в потоці рідини;

- наявність і прояв життєдіяльності бактерій.

Фактори, які впливають на швидкість протікання корозії НГПО, поділяється на зовнішні і внутрішні.

До зовнішніх факторів відносяться: температура середовища; швидкість руху агресивного середовища; тиск; наявність (концентрація) кисню; час контакту металу із середовищем; наявність хімічних реагентів, які використовуються у технологічних процесах видобутку і підготовки нафти; поляризація зовнішнім струмом тощо [1].

До внутрішніх факторів відносяться: склад металу, кристалічна структура металу, стан поверхні металу, напруги в металі, термодинамічна стійкість металу, дефекти при зварюванні металу.

Захист НГПО від корозії у ВАТ "Укрнафта" здійснюють:

- шляхом застосування організаційно-технологічних заходів;

- шляхом впровадження методів протикорозійного захисту.

До організаційно-технологічних заходів захисту НГПО від корозії відносяться заходи попереджувального характеру, а саме:

- використання закритих систем збору під час видобутку і переробки нафти;

- створення стабільних термодинамічних умов;

- створення режиму дисперсно-кільцевої течії потоку;

- попереджування змішування високо-агресивних середовища з неагресивним або низькоагресивним;

- застосування труб з корозійностійких матеріалів.

Всі антикорозійні методи умовно можна поділити на методи боротьби з внутрішньою та з зовнішньою корозією.

До методів боротьби з внутрішньою корозією відносяться інгібіторний захист, бактерицидний захист.

До методів боротьби із зовнішньою корозією відносяться електрохімічний захист, захисні ізолюючі покриття, лакофарбові покриття.

Суть інгібіторного методу протикорозійного захисту полягає у створенні захисної плівки на внутрішній поверхні металеві споруди внаслідок адсорбційної здатності інгібітора корозії, який дозовано вводиться у агресивне середовище.

Ефективність інгібітора корозії визначається його природою і природою кородованого металу. Крім того, вона суттєво залежить від умов корозії, тобто складу, властивостей і температури корозійного середовища і оцінюється ступенем захисту [2,3].

Застосування інгібіторів для захисту металу від корозійного руйнування можливе і доцільне тоді, коли інгібітори задовольняють сукупність певних конкретних вимог:

- забезпечення необхідного ступеня захисту металу від корозії або необхідного значення коефіцієнта гальмування корозії;
- відсутність шкідливого впливу на хід технологічного процесу та основні робочі властивості металу;
- реальна технологічність застосування інгібітора і контроль за його вмістом;
- стабільність промислового виробництва інгібіторів і їх властивостей незалежно від часу випуску і партії;
- явно виражений захисний ефект;
- відповідність санітарно-гігієнічним нормам та правилам охорони праці і техніки безпеки.

Інгібітори поділяються:

- за механізмом дії: на катодні, анодні і змішані;
- за хімічною природою: на неорганічні, органічні і леткі;
- за сферою впливу: в кислому, лужному і нейтральному середовищах.

Інгібітори можуть діяти двома шляхами: зменшувати площу активної поверхні або змінювати енергію активності корозійного процесу.

В результаті адсорбції інгібітора відбувається зміна структури подвійного електричного шару, в тому числі і величина адсорбційного стрибка потенціалу. Екранування частини поверхні суцільною плівкою інгібітора виключає її з корозійного процесу.

Катодні і анодні інгібітори гальмують відповідні електродні реакції, змішані інгібітори

змінюють швидкість обох реакцій. Адсорбція і формування на металі захисних плівок обумовлені зарядом частинок інгібітора і властивістю утворювати з поверхнею хімічні зв'язки. Анодні інгібітори часто називають пасиваторами, тому що їхня дія полягає у пасивуванні анодних ділянок кородуючої поверхні. Частіше всього в якості таких інгібіторів використовують неорганічні окислювачі і хромати, нітрати, молібдати, вольфрамати. До анодних інгібіторів відносять також і деякі сполуки з лужними властивостями: фосфати, поліфосфати, силікати, борати тощо. Катодні інгібітори зменшують швидкість корозії за рахунок зниження ефективності катодного процесу або зменшення площі катодних ділянок. Катодні інгібітори менш ефективні, ніж анодні, зате вони абсолютно безпечні, оскільки не викликають посилення корозії.

Неорганічні катодні інгібітори утворюють на поверхні металу тонкі плівки, які гальмують перехід металу у розчин. Неорганічні катодні і анодні інгібітори ефективні у нейтральних і лужних середовищах, але не виявляють захисної дії у сильноокислих розчинах, де корозія відбувається з водневою деполаризацією.

Багато органічних сполук здатні сповільнювати корозію металу. Органічні сполуки – це інгібітори змішаної дії, тобто вони впливають на швидкість як катодної, так і анодної реакцій. Органічні інгібітори адсорбуються тільки на поверхні металу. Частіше всього до цих інгібіторів відносяться аліфатичні і ароматичні сполуки, які мають у своєму складі атоми азоту, сірки і кисню.

Леткі інгібітори – це засоби захисту від атмосферної корозії металевих напівфабрикатів. Принцип дії цих інгібіторів полягає в утворенні парів, які дифундують через шар повітря до поверхні металу і захищають її.

При підборі інгібіторів враховується їхній високий захисний ефект при мінімальному дозуванні, тривалий час дії, доступність розчинників, зручність приготування робочих розчинів і мінімальні затрати на проведення додаткових заходів при їх дозуванні.

Ефективність застосування інгібіторного захисту у ВАТ "Укрнафта" є досить високою. Для прикладу, в НГВУ "Охтирканафтогаз" до моменту впровадження інгібіторного захисту в рік мало місце більш, ніж 750 поривів трубопроводів. Після впровадження інгібіторного захисту річна кількість поривів коливається в межах 60-70. Причому, як показав аналіз поривів трубопроводів у 2007-2008 рр., більшість з них мають некорозійний характер, а є причиною абразивного зносу, вірзок, різних

технологічних пошкоджень, використання дефектних труб.

Навпаки, в НГВУ "Долина нафтогаз", де не впроваджений інгібіторний захист, в рік стається біля 700 поривів трубопроводів. Як показав аналіз поривів, нагнітальні лінії систем ППТ Долинського, Північно-Долинського, Струтинського та Спаського родовищ піддаються значному корозійному руйнуванню. Уже на ранній стадії експлуатації (до 5 років) багато трубопроводів на цих родовищах активно руйнуються.

Отже, виходячи з вищенаведеного, можна зробити висновок, що необхідність застосування та впровадження інгібіторного захисту на промислах ВАТ "Укрнафта" є очевидною.

Електрохімічний захист (ЕХЗ) металу від корозії здійснюється поляризацією від зовнішнього джерела струму або шляхом з'єднання з металом (протектором), який має більш від'ємний або більш додатний потенціал, ніж у металі, що захищається.

Електрохімічний захист металів від корозії базується на зменшенні швидкості корозійних процесів металевих комунікацій шляхом їх катодної або анодної поляризації [4].

До електрохімічних методів захисту від підземної корозії відносяться електродренажний захист, захист катодними установками та протекторний захист.

Застосування електродренажів є основним засобом електрохімічного захисту металевих підземних комунікацій від корозії, спричиненої блукаючими струмами.

Для захисту підземних металевих споруд від корозії застосовуються три види електричного дренажу: прямий, поляризований і посилений.

Прямий електричний дренаж – це дренажний пристрій, який володіє двосторонньою провідністю. Його необхідно застосовувати тільки у тих випадках, коли виключена можливість стікання струму з від'ємної шини підстанції у захисну підземну споруду.

Поляризований електричний дренажний пристрій – це пристрій, який володіє односторонньою провідністю, яка забезпечується використанням або релейно-контактної апаратури, або напівпровідникових діодів, або комбінованим їх використанням.

Посилений електричний дренаж – це процес з використанням дренажного пристрою, в електричне поле якого для посилення ефективності роботи включено додаткове джерело постійного струму. Посилений

електричний дренаж використовується при додатному або знакозмінному по відношенню до землі потенціалі споруди.

Електричний дренаж підземних металевих споруд повинен здійснюватись при мінімальному значенні дренажного струму.

Катодний захист – це спосіб захисту металевих споруд від підземної корозії шляхом катодної поляризації за допомогою струму від зовнішнього джерела. Катодна поляризація здійснюється за допомогою накладеного струму від зовнішнього джерела.

Конструкція або споруда, яка захищається, з'єднується з від'ємним полюсом зовнішнього джерела струму і діє у якості катоду. Другий електрод (анодне заземлення) з'єднується з додатним полюсом джерела струму і діє як анод. Катодний захист можливої тільки у тому випадку, коли конструкція, яка захищається, і анодне заземлення знаходяться в електронному і електролітному контакті: перше досягається за допомогою металевих провідників, а друге – завдяки наявності електролітного середовища (грунту), в якому знаходиться металева конструкція і анодне заземлення.

Катодний захист регулюється тільки шляхом підтримання необхідного захисного потенціалу, який вимірюється між конструкцією (або давачем поляризаційного потенціалу) і електродом порівняння. Як правило, електродом порівняння служить мідносльфатний електрод порівняння тривалої дії, який постійно знаходиться у електролітному середовищі (грунті). Таким чином, поляризація поверхні металевої споруди, яка захищається, обумовлює ефект катодного захисту. При цьому критеріями захищеності є мінімальний і максимальний захисні поляризаційні потенціали.

Для захисту від корозії підземних металевих споруд застосовуються спеціальні катодні станції або перетворювачі, які являють собою джерела постійного струму з регульованою або фіксованою вихідною напругою. Захист споруд, які мають значну протяжність, здійснюється кількома катодними установками. При цьому, в результаті їх взаємного впливу, виникає підвищення різниці потенціалів "споруда–земля", що дає змогу збільшити захисну зону від кожної установки.

Протекторний захист є різновидністю катодного захисту. Суть його полягає в тому, що до металевої конструкції, яка захищається, приєднують більш електровід'ємний метал-протектор, який, розчиняючись у навколишньому середовищі, захищає від руйнування основну конструкцію.

Протекторний захист в основному застосовується для захисту підземних комунікацій від ґрунтової корозії і його ефективність залежить від фізико-хімічних властивостей протектора і зовнішніх факторів, які обумовлюють режим його використання.

Властивості протектора визначаються складом сплаву, його масою і формою, способом виготовлення, електрохімічним еквівалентом, складом активатора, коефіцієнтом використання, стаціонарним потенціалом ґрунту тощо. До сплаву, який використовується в якості матеріалу протектора, пред'являються наступні основні вимоги:

– електродний потенціал матеріалу протектора повинен бути суттєво від'ємнішим за потенціал спороди, яка захищається;

– кількість струму, отримана при електрохімічному розчиненні одиниці маси протектора, повинна бути якомога більшою.

Для виготовлення протекторів найчастіше використовують магній, алюміній і цинк. Однак, використання чистих металів у якості протекторів не завжди є доцільним. Введення добавок дозволяє отримати сплави з більш від'ємними, ніж в основного металу, потенціалами, залишатися активними і рівномірно кородувати.

В загальному на всіх нафтогазовидобувних управліннях ВАТ "Укрнафта" впроваджено 317 установок катодного захисту від ґрунтової корозії 3368,3 км трубопроводів.

Основними причинами недозахисту трубопроводів є відсутність ізолюючих фланцевих з'єднань, незадовільний стан ізоляційного покриття, недостатня кількість установок катодного захисту, не завжди раціональне розташування катодних станцій. В таких умовах створений захисний струм стікає в землю, не захищаючи трубопровід.

У зв'язку з вказаним, першочерговим завданням служби протикорозійного захисту є постійний моніторинг роботи системи ЕХЗ ВАТ "Укрнафта", вивчення та прогнозування режимів роботи систем ЕХЗ з метою надання рекомендацій з оптимізації роботи установок щодо запобігання нераціонального використання електроенергії та понаднормованого зносу анодних заземлювачів.

Лакофарбові покриття (ЛФП) – один з найпоширеніших і надійних способів захисту від корозії. Основними перевагами ЛФП є відносна простота нанесення, легкість відновлення пошкодженого покриття, сумісність з іншими видами захисту, можливість отримання покриття, яке поєднує високі захисні властивості і привабливий

вигляд. До недоліків слід віднести малу герметичність, невисоку механічну міцність, недостатню стійкість до водних середовищ.

Захисні дії ЛФП полягають у створенні на поверхні металевого виробу суцільної плівки, яка перешкоджає агресивному впливу навколишнього середовища і запобігає руйнуванню металу.

Лакофарбові покриття класифікуються за умовами експлуатації і за зовнішнім виглядом згідно ГОСТ 9.032 на три основні види: олійні фарби, лаки та емалі.

Олійні фарби являють собою суспензії мінеральних пігментів у плівкоутворювачі. Пігменти надають фарбі відповідний колір і впливають на захисні властивості готового покриття. До них відносяться: оксид цинку, свинцеві білила, охра тощо. В рослинні олії для прискорення процесу сушіння добавляють каталізатори (сиккативи): оксиди кобальту, марганцю тощо. Отриману олію називають оліфою. Для підвищення стійкості і міцності покриттів у фарби вводять наповнювачі – тальк, каолін. Олійна фарба добре захищає метал в умовах підвищеної вологості.

Лаки – розчини природних або синтетичних смол у різноманітних розчинниках. Після нанесення лаку розчинник вивітрюється і утворюється міцна плівка. Розрізняють спиртові і олійні лаки. Перші – це розчини смоли у спирті, другі – в оліфі (олії). Перевага лаків – утворення блискучої плівки, прискорення процесу сушіння; недоліки – слабка адгезія з металом, крихкість покриття.

Емалі – це розчини лаків в органічних розчинниках з добавкою пігментів. Розрізняють олійні емалі (на олійних лаках), гліфталеві (на гліфталевих лаках) і нітроемалі (на нітроцелюлозних лаках).

Нітроемалі – швидковисихаючі матеріали, які тверднуть через кілька хвилин після нанесення. Останнім часом широко використовують синтетичні емалі на основі синтетичних смол, які відрізняються високими декоративними якостями, еластичністю, твердістю, атмосферостійкістю.

Компонентами ЛФМ служать плівкоутворюючі речовини, розчинники, пластифікатори, пігменти, наповнювачі, каталізатори (сиккативи).

Плівкоутворювачі – це природні олії або штучні (природні) смоли. Найпоширенішим плівкоутворювачем є оліфа. На повітрі оліфа окислюється і полімеризується до твердого стану. Розчинники плівкоутворюючих речовин надають ЛФМ таку в'язкість, при якій вони легко наносяться на поверхню. Надалі

розчинники випаровуються. Розчинниками можуть бути: спирти, ацетон, бензин, скипидар, толуол, ксилол, етилацетат тощо.

Пластифікатори або пом'ягчувачі – це речовини, які підвищують еластичність плівок після висихання. До них відносяться: касторове масло, каучуки, дибутилфталат, ефіри адипінової кислоти тощо.

В якості пігментів, які вводять у лакофарбні композиції, використовують: охру, сурик свинцевий, хром свинцевий, цинкові білила, порошки металів. Пігменти підвищують твердість, атмосферну і хімічну стійкість, зносостійкість тощо.

Наповнювачі – це інертні речовини, які вводять в лаки і фарби для зниження витрати пігментів, а також для покращення протикорозійних властивостей плівки. До них відносяться: крейда, тальк, каолін, азбестовий пил тощо. Завдяки наповнювачам плівка набуває підвищеної вологостійкості і протикорозійних властивостей.

Водорозчинні лакофарбові матеріали займають провідне місце в асортименті продукції, яка відповідає сучасним екологічним вимогам. Для цього використовують водорозчинні лакофарбові матеріали на основі плівкоутворювачів-електролітів.

Застосування порошкових фарб практично виключає небезпеку забруднення навколишнього середовища, знижує пожежо- і вибухонебезпечність під час роботи.

До лакофарбових матеріалів відносяться модифікатори іржі. Ефективність ґрунтовок-модифікаторів визначається не тільки природою плівкоутворення, але і наявністю спеціальних добавок, які забезпечують максимальну стабілізацію продуктів корозії. В якості модифікаторів використовуються різноманітні поверхнево-активні речовини. Захисні властивості таких покриттів обумовлені утворенням на їх поверхні комплексів, які забезпечують пасивність металу.

Успішний протикорозійний захист лакофарбовими матеріалами значною мірою залежить від дотримання технології нанесення покриттів. Основними факторами, які впливають на термін служби покриття, є спосіб підготовки поверхні, методи нанесення ЛФП та товщина комплексного покриття.

ВИСНОВОК

В цілому можна відзначити, що проведення досліджень, розробка та впровадження нових сучасних технологій за напрямком протикорозійних досліджень у ВАТ "Укрнафта" є необхідним, економічно доцільним, вкрай актуальним і перспективним завданням сьогодення, що веде до зменшення затрат на ремонтні роботи технологічного обладнання і, відповідно, до зменшення собівартості видобутої продукції.

Література

1. *Обстеження на корозійну агресивність продукції у видобувних, водозабірних свердловинах і підтоварної води на родовищах ВАТ "Укрнафта" та видача рекомендацій щодо інгібіторного захисту. Створення атласу агресивної продукції // Звіт про науково-дослідну роботу / НДП ВАТ "Укрнафта": кер. Григораши В.В., вик. Вишневський Р.М., Попович С.Д., Городівська Г.В. – м. Івано-Франківськ. – 2008. – 205 с.*

2. *Комплексне впровадження на системах ППТ ВАТ "Укрнафта" індикаторів швидкості корозії. Моніторинг досліджень і вимірювань. Розробка рекомендацій по підбору нових типів інгібіторів // Звіт про науково-дослідну роботу / НДП ВАТ "Укрнафта": кер. Григораши В.В.; вик. Волк В.П., Попович С.Д., Вишневський Р.М., Городівська Г.В. – м. Івано-Франківськ. – 2007. – 135 с.*

3. *Вишневський Р.М., Григораши В.В., Кісіль І.С., Дранчук М.М. Застосування методу лінійної поляризації (LPR) для моніторингу ефективності інгібіторного захисту нафтопромислового обладнання // Методи та прилади контролю якості. – 2008, №21. – С.91-96.*

4. *Надання науково-методичної допомоги структурним одиницям ВАТ "Укрнафта" у організації та впровадженні заходів з електрохімічного захисту // Звіт про науково-дослідну роботу / НДП ВАТ "Укрнафта": кер. Григораши В.В.; вик. Чмелик М.Т., Волк В.П., Городівська Г.В., Бачинський Б.Б. – м. Івано-Франківськ. – 2007. – 225 с.*

Поступила в редакцію 27.03.2009р.

**Рекомендував до друку докт. техн. наук,
проф. Копей Б.В.**