

504,61  
456

Міністерство освіти і науки України  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ЦИБУЛЯ СЕРГІЙ ДМИТРОВИЧ



УДК 504.062

**НАУКОВО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ  
ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТРУБОПРОВІДНОГО ТРАНСПОРТУ**

21.06.01 – екологічна безпека

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Івано-Франківськ – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Чернігівському національному технологічному університеті Міністерства освіти і науки України.



Науковий консультант: доктор технічних наук, професор  
**Старчак Валентина Георгіївна**,  
Чернігівський національний педагогічний  
університет ім. Т.Г. Шевченка,  
професор кафедри екології та охорони природи.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Мальований Мирослав Степанович**,  
Національний університет «Львівська політехніка»,  
завідувач кафедри екології та  
збалансованого природокористування;

доктор технічних наук, професор  
**Петрук Василь Григорович**,  
Вінницький національний технічний університет,  
директор інституту екологічної безпеки та моніторингу  
довкілля, професор кафедри екології та екологічної  
безпеки;

доктор технічних наук, професор  
**Вамболь Сергій Олександрович**,  
Національний університет цивільного захисту України,  
м. Харків, завідувач кафедри прикладної механіки.

Захист відбудеться «10» грудня 2015 р. об 11 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.05 в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України за адресою: вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу Міністерства освіти і науки України за адресою: вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019.

Автореферат розісланий «05» листопада 2015 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
д.геол.н., доцент

В.Р. Хомин



## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

..... темп. Трубопровідний транспорт України є основним стрижнем нафтогазового комплексу країни, гарантом її енергетичної безпеки. Це пояснюється надзвичайно важливою роллю нафтогазотранспортної системи в економіці України. Основним показником ефективності роботи трубопровідного транспорту (ТРТ) є рівень експлуатаційної надійності, техногенно-екологічної безпеки, відсутність техногенних аварій. Ризик техногенних аварій (із забрудненням прісних, морських вод, повітря, ґрунту), деградація земель (внаслідок накопичення токсичних хімічних речовин, відходів) відносяться, за даними ООН, до найбільш загрозливих екологічних проблем глобального рівня. Екологічна небезпека на ТРТ, здебільшого формується екологічною ситуацією, в основі якої лежать екодеструктивні процеси: хімічні (накопичення в середовищі токсичних речовин, зокрема, важких металів (ВМ)), фізичні (активуюча дія енергетичного забруднення) та біологічні (дія аеробних, анаеробних бактерій). Ці негативні процеси викликають екодеструктивні руйнівні явища: поверхневі та об'ємні на трубних сталях у техноприродних системах, обумовлюють небезпечне руйнування внаслідок розтріскування та втоми. Саме воно у 80% випадків є основною причиною техногенних аварій, екологічної небезпеки на ТРТ. Виникають великі еколого-економічні збитки за рахунок втраченого, недовиробленого продуктів, компенсаційних втрат по ліквідації наслідків техногенних аварій, руйнації природних ландшафтів, накопичення ВМ у рослинному, тваринному світі та по трофічних ланцюгах – в організмі людини. Це обумовлює нагальну необхідність у заходах стабілізації й поліпшення стану довкілля, за нових комплексних підходів визначення та прогнозування рівнів екодеструктивного техногенного впливу (інгредієнтного, енергетичного) на екологічний стан техноприродних систем з трубопровідним транспортом. Тому необхідна розробка науково-методологічних засад підвищення рівня техногенно-екологічної безпеки ТРТ як ефективного чинника екологізації економіки. Разом з тим, у науковій літературі дуже обмежені дані про теоретико-методологічні основи формування техногенної безпеки регіону підвищенням техніко-економічної та соціально-екологічної ефективності технічних засобів захисту довкілля. Це потребує впровадження, удосконалення інноваційних енерго- та ресурсозберігаючих технологій, розробки ефективних методів моніторингу екостану та захисту довкілля. Мінімізація техногенного забруднення, підвищення техногенно-екологічної безпеки техноприродних систем з ТРТ удосконаленням технологічних процесів – це стратегічний шлях комплексного вирішення глобальних екологічних проблем та забезпечення надійної експлуатації трубопровідного транспорту.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконувалась відповідно до науково-технічних програм, наукових напрямків та тематичних планів Чернігівського національного технологічного університету, в рамках госпдоговірних (г/д) та держбюджетних (д/б) НДР:

1. Г/д НДР 8-35-01 «Розробка захисних покриттів для внутрішньої поверхні резервуарів нафтопродуктів». Замовник – ЧОУ «Чернігівнафтопродукт».

2. Г/д НДР №53-171-01 «Обстеження стану впливу агресивного середовища на обладнання і трубопроводи очисних споруд заводу і методи захисту від нього». Замовник – Гнідинцівський завод із переробки газу і стабілізації нафти.

3. Г/д НДР №378/973 «Дослідження екологічної ситуації при впливі агресивного середовища на очисні споруди РДХП «Азот» і вибір способу зменшення екологічного збитку». Замовник – РДХП «Азот».

4. Д/б НДР №12/92 «Дослідження і вибір оптимальної синергічної добавки для підвищення ефективності захисних покриттів».

5. Д/б НДР №36/94 «Цілеспрямований пошук синергістів за аналізом електронної будови сполук, з врахуванням явищ «синергізму-антагонізму», №ДР 0194U036008.

6. Д/б НДР №44/96 «Фізико-хімічні основи вибору захисних композицій (на вторинній сировині)», №ДР 0196U003326.

7. Д/б НДР №58/02 «Фізико-хімічні основи техногенної безпеки експлуатації металоконструкцій в екологічно небезпечних середовищах», №ДР 0102U000702.

8. НДР №06/07 (ЧНПУ, ЧДТУ, ДЕА) «Техногенна безпека як основа сталого розвитку України», №ДР 0109U001296.

9. НДР №82/14 (ЧНТУ) «Розробка нових способів і енергоефективних технологій обробки торцевих, циліндричних та криволінійних поверхонь деталей енергетичного обладнання», №0114U002499.

В НДР 1-6, 8, 9 здобувач був виконавцем, в 7 – відповідальним виконавцем. Науковий керівник НДР – д.т.н., проф. В.Г. Старчак.

**Мета та завдання дослідження.** Мета роботи – на основі закономірностей техногенного впливу інгредієнтного та енергетичного забруднення на техноприродні системи з трубопровідним транспортом та комплексної оцінки їх екостану розробити науково-методологічні засади вирішення проблеми підвищення рівня його екологічної безпеки удосконаленням технологічних процесів.

Для досягнення поставленої мети слід було вирішити такі завдання:

- розробити науково-методологічні засади підвищення рівня екологічної безпеки трубопровідного транспорту та одержання позитивного синергічного екологічного ефекту в екологізації його захисту з технічною, соціально-екологічною та економічною ефективністю на основі теоретичного та експериментального обґрунтування допустимих рівнів техногенного впливу на довкілля, технічні споруди за уніфікованою комплексною оцінкою;
- запропонувати заходи стабілізації та вирішення проблеми поліпшення стану довкілля – моделі комплексного екологічного моніторингу екодеструктивного техногенного впливу на екостан техноприродних систем та їх захист з трубопровідним транспортом;
- розвинути та поглибити теоретичні уявлення про механізм, основні закономірності дії захисних засобів, сформулювати науковообґрунтований підхід до прогнозування забезпечення екологічної безпеки трубопровідного транспорту в умовах техногенного інгредієнтного та енергетичного забруднення за інтегральною оцінкою;
- охарактеризувати екологічну обстановку навколо чотирьох екологічно небезпечних об'єктів м. Чернігова з визначенням екологічного стану техноприродних систем з трубопровідним транспортом, за комплексною оцінкою екодеструктивного інгредієнтного техногенного впливу на довкілля, для наукового обґрунтування та розробки інноваційних заходів його зменшення;

- експериментально встановити функціональні залежності між параметрами інгредієнтного забруднення довкілля за сумарними показниками – індексами забруднення водою (ІЗВ), ґрунту ( $Z_c$ ) та експлуатаційною надійністю трубопровідного транспорту, витривалістю трубною сталі, зварних з'єднань в поверхневих водах, ґрунті, з різним мінеральним складом як підґрунтя для підвищення рівня екологічної безпеки трубопровідного транспорту в умовах техногенного забруднення довкілля;

- визначити кількісні показники екодеструктивного впливу енергетичного забруднення (електромагнітних полів (ЕМП), вібрації, іонізуючого випромінювання – радіоактивного забруднення) на екобезпеку трубопровідного транспорту та розробити заходи захисту від нього;

- удосконалити технологічні та металургійні методи підвищення рівня екологічної безпеки трубопровідного транспорту (інноваційні ресурсо- та енергозберігаючі технології зварювання, поверхневого зміцнення, раціональний вибір трубних сталей за основними, легуючими елементами, неметалевими включеннями), з додержанням нормативів шкідливих впливів на довкілля;

- на основі встановлення основних закономірностей, механізму дії розробити та оптимізувати склад модифікованих захисних покриттів, мастильно-охолоджувальних рідин, синергічних захисних композицій на вторинній сировині для ефективної обробки стічних вод, ґрунту, з метою зниження техногенного впливу основних забруднювачів – важких металів на довкілля та поверхневої модифікації сталі, зварних з'єднань для підвищення їх витривалості, рівня екологічної безпеки ТРТ в умовах інгредієнтного та енергетичного забруднення середовища;

- розробити й впровадити наукові розробки, практичні рекомендації підвищення рівня екологічної безпеки та експлуатаційної надійності трубопровідного транспорту у виробництво (нафтогазовий – НГК, паливно-енергетичний – ПЕК, машинобудівний комплекс – МБК), а також в навчальний процес (лекційні курси, лабораторні практикуми, дипломні проекти, методичні посібники).

**Об'єкт дослідження:** процес техногенного впливу інгредієнтного та енергетичного забруднення на трубопровідний транспорт та захист від нього.

**Предмет дослідження:** закономірності підвищення рівня техногенно-екологічної безпеки техноприродних систем з трубопровідним транспортом при дії на нього техногенного інгредієнтного та енергетичного забруднення природних й технологічних середовищ.

**Методи дослідження.** У роботі розроблена комплексна система екологічного дослідження та інтегральної уніфікованої оцінки екодеструктивного техногенного впливу на екостан техноприродних систем з трубопровідним транспортом, з використанням хімічних, фізичних, фізико-хімічних методів аналізу, металографічного, спектрального аналізу (ІЧ-, ПМР-, Оже-спектроскопія, рентгеноспектральний аналіз), комплексного системного кореляційного аналізу, методів математичної статистики, комп'ютерного моделювання, а також фізико-механічних випробувань трубних сталей (зварних з'єднань) на витривалість в техногенно забрудненому природному (атмосферне повітря, поверхневі води, ґрунт) та технологічних середовищах (стічні води тощо).

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у розкритті основних закономірностей підвищення рівня техногенно-екологічної безпеки техноприродних

систем з трубопровідним транспортом удосконаленням металургійних, технологічних процесів, з врахуванням впливу техногенного інгредієнтного та енергетичного забруднення. При цьому:

- вперше розкриті основні закономірності забезпечення стійкості трубопровідного транспорту в навколишньому природному середовищі в умовах циклічного та статичного навантаження, що дало можливість здійснювати управління його екологічною безпекою;
- вперше експериментально встановлено залежності техногенно-екологічної небезпеки трубопровідного транспорту від сумарних показників інгредієнтного забруднення довкілля, що дозволило рекомендувати технологічні заходи щодо підвищення рівня його екологічної безпеки;
- вперше, з врахуванням техногенного забруднення довкілля, розроблено науково-методологічні засади створення синергічних захисних композицій (СЗК) на вторинній сировині, що дало можливість зменшити техногенний вплив металохелатуванням та адсорбцією, іонним обміном та підвищити рівень техногенно-екологічної безпеки за тривкістю та витривалістю;
- вперше на основі комплексного системного кореляційного аналізу встановлено механізм, синергізм дії нових синергістів (33 сполуки) та СЗК для очищення природних, технологічних середовищ від супертоксикантів – важких металів, завдяки їх зв'язуванню в нерухому форму (металохелати,  $K_{st}=10^{15} \dots 10^{20}$ );
- удосконалено комплексний, науковообґрунтований підхід до заходів стабілізації та вирішення проблеми підвищення рівня екологічної безпеки, техноприродних систем з трубопровідним транспортом, що дозволило розробити моделі комплексного екологічного моніторингу з одержанням позитивного синергічного екологічного ефекту;
- дістало подальшого розвитку теоретичні та методологічні основи науково-прикладної проблеми підвищення рівня екологічної безпеки ТРТ – шляхом удосконалення методів забезпечення його екологічної надійності, за інтегральними показниками техніко-економічної та соціально-екологічної ефективності.

Наукова новизна нових технічних рішень дисертації по забезпеченню екологічної безпеки ТРТ підтверджена двома патентами України.

**Практичне значення одержаних результатів.** На підставі встановлених закономірностей підвищення рівня екологічної безпеки трубопровідного транспорту:

- удосконалено комплексну характеристику екологічного стану техноприродних систем з трубопровідним транспортом, воколї декількох екологічно небезпечних підприємств м. Чернігова, за уніфікованою оцінкою екодеструктивного техногенного впливу на довкілля;
- розроблено нові СЗК з цеолітом, які знижують небезпеку ВМ: сумарний показник забруднення ґрунту  $Z_c$  знижується на 50...81%, ІЗВ – на 70...77%, підвищується показник тривкості ( $K_n$ ) – на 93...95% (за рахунок наномасштабної захисної металохелатної плівки (40...50 нм) на поверхні сталі, зварних з'єднань), зменшується забрудненість поверхневих вод, внаслідок більш глибокої очистки стічних вод, унеможливується акумуляція ВМ в рослинному, тваринному світі, знижується екобезпека для здоров'я людини;

- розроблено модифіковані захисні покриття (з СЗК) на основі гліфталевих смол, які забезпечують, в умовах техногенного забруднення, надійний захист від руйнування (втоми, розтріскування) трубних сталей, зварних з'єднань (що перевищує відомі захисні покриття в 1.5-4 рази) який зберігається і в умовах дії ЕМП. Ефективність захисту сталі 20 захисними покриттями на модифікованій епоксидній смолі ЕД-20 з КВС, з СЗК в річковій воді збільшується перед промисловими на 25...37%, а сталі 30ХГСНА (за розтріскуванням) в 3.6 рази;

- вперше підтверджено додержання нормативів шкідливих впливів на довкілля розрахунком прогнозних токсикологічних показників (ОБРВ, ОДР, ОДК, індивідуальні та сумарний індекси токсичності –  $K_1$ ,  $K_2$ ) нових оптимальних СД, синергічних захисних композицій, модифікованих захисних покриттів (МЗП), модифікованих мастильно-охолоджувальних рідин (МОР):  $K_2=10.50...14.65$ , що відповідає екологічним вимогам (4 клас небезпеки – малонебезпечні речовини);

- розроблено і впроваджено практичні рекомендації щодо використання наукових розробок на підприємствах Чернігівського регіону (ВАТ «Хімволокно», ЧТЕЦ, Гнідинцівського заводу ПГ та СН, Чернігівському ЛВУ магістральних газопроводів, ВАТ «Чернігівавтозавод», ЧеЗаРа);

- окремі наукові розробки та практичні рекомендації за результатами дисертаційної роботи впроваджені у навчальний процес в ЧНТУ (12 науково-методичних розробок), Державної екологічної академії (методичні посібники, лабораторні практики, лекційні курси, дипломні роботи).

**Особистий внесок здобувача.** Дисертаційна робота є самостійним науковим дослідженням. Наукові результати роботи базуються на дослідженнях, виконаних безпосередньо автором. Розробка завдань, аналіз літературних джерел, вибір методів, методології досліджень, основний комплекс експериментальних робіт (постановка експериментів, їх виконання, статистична обробка отриманих експериментальних даних), теоретичні узагальнення, положення дисертації, аналіз та інтерпретація отриманих даних автором виконані самостійно.

**Апробація результатів дисертації.** Матеріали дисертації були представлені, доповідалися та обговорювалися на ряді спеціалізованих науково-технічних, науково-практичних міжнародних та всеукраїнських конференціях, конгресах: на Міжнародному екологічному конгресі «Нове в екології і безпеці життєдіяльності» (Санкт-Петербург, 2000), на восьми міжнародних конференціях «Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів», секція «Екологічні проблеми» (Львів, 2000, 2002, 2004, 2006, 2008, 2010, 2012, 2014), міжнародних конференціях «Ремонт-2000» (Ялта, 2000), «Інструмент-2000» (Львів, 2000), «Проблеми та шляхи реалізації науково-технічного потенціалу військово-промислового комплексу» (Київ, 2000), «Поверхнево-активні речовини та сировина для їх виробництва» (Белгород, 2000), «Hydrogen materials science» (Судак, 2001, 2003, 2007), «Ефективність реалізації наукового, ресурсного, промислового потенціалу в сучасних умовах» (Київ-Славсько, 2001-2013), «Композиційні матеріали» (Київ-Ялта, 2001, 2002, 2011), «Захист навколишнього середовища і безпека у зварювальному виробництві» (Одеса, 2002), «Екологія. Людина. Суспільство» (Київ, 2002, 2003), «Вплив руйнівних повеней та зсувних процесів на функціонування інженерних мереж» (Київ, 2002), «Техногенно-екологічна безпека регіонів як умова сталого розвитку» (Київ, 2002), «Благородные и редкие

металль» (Донецк, 2003), «Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів» (Донецьк, 2003), «Техніка для хімволокон» (Чернігів, 2004-2006), «Екологічні проблеми нафтогазового комплексу» (Івано-Франківськ, 2004, 2007), «Поводження з відходами споживання та виробництва» (Свалява, 2005), «Современное материаловедение: достижения и проблемы» (Київ, 2005), IV міжнародний конгрес «Управление отходами» (Москва, 2005), «Оборудование и технологии термической обработки материалов, сплавов» (Харьков, 2006), «HighMatTech» (Київ, 2007, 2009), «Человек-Природа-Общество: Теория и практика безопасности жизнедеятельности, экологии и валеологии» (Симферополь, 2008), «Фальцфейнівські читання» (Херсон, 2009), «Новітні досягнення в геодезії, геоінформатиці та землеупорядкуванні. Європейський досвід» (Чернігів, 2009), I, II, III міжнародні конгреси «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (Львів, 2009, 2012, 2014), «Підвищення ефективності використання водних, теплових, енергетичних ресурсів та охорона навколишнього середовища» (Київ, 2009), «Проблеми прогнозування та попередження надзвичайних ситуацій природного, природно-техногенного та техногенного походження» (Київ-Алушта, 2009), «Проблеми екологічної безпеки» (Кременчук, 2010, 2011), НПК «Фізіолого-біохімічні та екосистемні механізми формування токсирезистентності біологічних систем» (Тернопіль, 2011), «Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика» (Київ, 2011), МНПК «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» (Чернігів, 2011, 2014), III, IV Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю. Екологія/Ecology-2011, 2013 (Вінниця), «Електрохімічний з'їзд» (Дніпропетровськ, 2011), I МНПК «Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування» (Івано-Франківськ, 2012), «Екологічні аспекти регіонального партнерства у надзвичайних ситуаціях» (Харків, 2012), а також на НТК професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів ЧНТУ (2000-2015 рр).

**Публікації.** За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 97 наукових робіт: з них 2 патенти України, 41 стаття у виданнях, віднесених ВАК України до фахових (3 у виданнях закордонних держав, 14 включені до міжнародних наукометричних баз (COPERNICUS, ULRICH'S, РІНЦ та ін.), 54 – доповіді, тези міжнародних конференцій, симпозіумів, конгресів. Одноосібних наукових праць – 12.

**Структура дисертації.** Дисертація складається із вступу, 7 розділів, висновків, списку використаних джерел (524), додатків (10). Загальний обсяг роботи становить 390 с., ілюстрована 99 рис. та 185 табл. (на 26 с.).

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** оцінено стан проблеми техногенно-екологічної безпеки трубопровідного транспорту. Обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, задачі, об'єкт, предмет дослідження, описані методи дослідження, висвітлено наукову новизну роботи, її практичне значення, відзначено особистий внесок здобувача, апробацію результатів роботи, публікації та структуру дисертації.

**У першому розділі** представлено аналіз науково-технічної літератури та патентно-інформаційних джерел щодо екологічної безпеки трубопровідного транспорту в техноприродних системах. Проаналізовано роботи вітчизняних та іноземних вчених: О.М. Адаменка, Ю.І. Бабея, О.І. Бондаря, Г.О. Білявського, В.О. Гольцова, Н.Д. Гомелі, В.В. Гончарука, В.В. Грубінка, С.І. Дорогунцова, А.Б. Качинського,



А.Б. Куслицького, Л.Г. Мельника, В.В. Панасюка, І.К. Походні, В.І.Похмурського, А.В. Рагулі, Г.І. Рудька, Г.А. Сафранова, В.К. Хільчевського, В.В. Скорохода, Д.Ф. Чернеги, В.М. Шмандія, Д.В. Щура, А.В. Яценка, С.В. Белова, Г.В. Дутанова, В.В. Екіліка, А.П. Ефремова, Ю.А. Клячко, В.Д. Макаренко, С.М. Решетнікова, О.І. Стеклова, М.М. Фокіна, Хасимото Кодзи, Н.А. Черних, D.R. Baer, H. Bloom, I. Voxall, R.D. Cane, A. Ikeda, R. Kiessling, T. Laszlo, J.A. Martin, J.E. Mayne, R.L. Oriani, R.N. Parkins, A. Punter, S. Trassati, H. Walters Frederick та ін., що присвячені проблемам техногенно-екологічної безпеки та експлуатаційної надійності металоконструкції.

Критичний аналіз наукової літератури з теорії та практики підвищення екологічної безпеки трубопровідного транспорту показав обмеженість даних щодо:

- методів екологічного моніторингу, технічних засобів контролю за станом довкілля з трубопровідним транспортом (ТРТ);
- комплексної оцінки та прогнозування впливу техногенного забруднення на навколишнє середовище;
- основних закономірностей екологічної небезпеки дії хімічних, фізичних, фізико-хімічних та біологічних процесів на трубопровідний транспорт;
- екологічних особливостей екодеструктивних поверхневих явищ (руйнація) та об'ємних (наводнювання) на трубних сталях в техноприродних системах;
- удосконалення технологічних процесів з додержанням нормативів шкідливого техногенного впливу на довкілля;
- впливу металургійних, технологічних чинників на екологічну безпеку трубопровідного транспорту;
- оцінки екодеструктивного впливу техногенних аварій на трубопровідному транспорті на довкілля, його складові, на техногенне забруднення флори, фауни та здоров'я населення;
- шляхів забезпечення екологічної безпеки ТРТ як ефективного чинника екологізації економіки;
- наукового обґрунтування допустимих рівнів техногенного впливу на ТРТ;
- одержання позитивного синергічного екологічного ефекту, його складових, в екологізації захисту трубопроводів від руйнації в забруднених природних та технологічних середовищах.

Тому вибір напрямку досліджень по розробці науково-методологічних засад забезпечення екологічної безпеки трубопровідного транспорту є перспективним та актуальним.

**Другий розділ** присвячено методології, основним методам та об'єктам дослідження. Залучено системний підхід, з декомпозицією техноприродних екосистем на ієрархічні підсистеми:

- екологічного моніторингу екодеструктивного впливу техногенного забруднення: інгредієнтного – супертоксикантами ХХІ ст. (важкими металами) та енергетичного (електромагнітних полів, радіоактивного забруднення, вібрації) на екологічну безпеку ТРТ в природних (атмосферне повітря, водойми, ґрунт) та технологічних середовищах (стічні води, технологічні розчини) з розробкою моделі екостану техноприродних систем (ТПС) за інтегральними показниками –  $I_H$  (балом небезпеки), з прямим впливом на рослинний світ, людину, ландшафти, тривкість та витривалість ТРТ;

- технічних засобів захисту довкілля як факторів екологізації економіки, з удосконаленням прямих та непрямих технологічних методів та організаційно-технічних засобів (локалізація техногенного забруднення та очистка ґрунту, стічних вод, повітря, рослинності від важких металів), що забезпечують одержання 12 позитивних екологічних ефектів (ПЕЕ), які формують позитивний синергійний екологічний ефект (ПСЕЕ), з розробкою моделей забезпечення екологічної безпеки, експлуатаційної надійності ТРТ та зменшення техногенного забруднення природних, технологічних середовищ, універсальними засобами захисту ТРТ, за комплексною оцінкою техніко-економічної та соціально-екологічної ефективності (рис. 1).

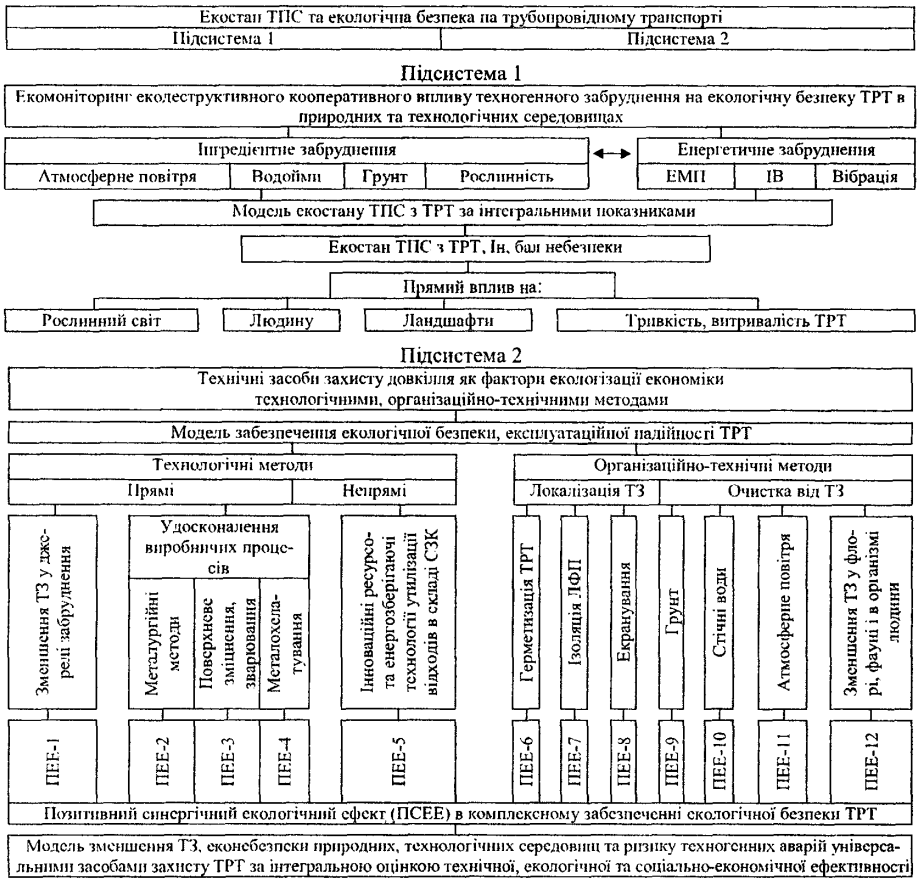


Рис. 1 – Структурно-логічна схема дослідження по забезпеченню екологічної безпеки трубопровідного транспорту.

Для вирішення задач дисертаційної роботи з удосконалення заходів забезпечення екологічної безпеки ТРТ (за показником технологічної ефективності  $\gamma_T$ ) було залучено конструкційні сталі 18 марок, 43 плавок – промислових та модельних: вуг-

лецеві сталі (3, 10кп, 20, 45), низьколеговані (10Г2ФР, 10ХСНД, 16ГНМА, 30ХГСНА, 38ХС, 40Х, 09Г2НАБЧ та зварні з'єднання сталей 09Г2ФБ, 16ГФР, 15Г2АФЮ, 17Г1С та ін.), високолеговані (12Х18Н10Т, Х12М, Х17Н2) та ін., а також Al-, Ti-сплави, бороалюмінієві композити (БАК).

Дослідження проведені:

- в забрудненому (8 супертоксикантів – важкі метали) атмосферному повітрі, воколi 4х екологічно небезпечних підприємств м. Чернігова: Чернігівська теплоелектроцентраль ТОВ фірми «ТехНова» (ЧТЕЦ), ВАТ «Чернігівський завод радіоприладів» (ЧеЗаРа), ВАТ ЧП «Чернігівське Хімволокно» (ЧХВ) та ВАТ «Чернігівавтозавод» (ЧАД) за максимальною приземною концентрацією  $C_m$  на орієнтовній відстані від джерела забруднення –  $X_m$  ( $C_m$ ,  $X_m$  визначено за параметрами ПСП, Р) та в межах СЗЗ;

- в поверхневих (річки м. Чернігова – Десна, Стрижень, Білоус) та стічних водах за 6...10 інгредієнтами, з врахуванням вмісту катіонів, аніонів важких металів і інших, агресивних до трубних сталей забруднювачів;

- в забрудненому ґрунті, на  $X_m$  за рухомою формою ВМ, а також в залежності від його мінерального складу (три зразки: чорнозем типовий, середньо суглинковий – I, дерново-підзолистий на лесовидному суглинку – II та темносирій опідзолений – III).

Серед технологічних середовищ використовували також агресивні електроліти, що відповідали робочим середовищам кислотних промивок фільтрів, теплоенергетичного устаткування, травильних ванн, при хімічній, електрохімічній обробці трубних сталей на підприємствах МБК, НГК, ПЕК. Досліджували також модельні 2х-фазні середовища (характерні для НГК) та спеціальні стандартизовані – НАСЕ.

Для розробки захисних композицій використовували нові синергічні поліфункціональні добавки – потенційні полідентатні хелатоутворювачі, з декількома реакційними центрами (ендо- та екзоатоми азоту, сірки, кисню), здатними реагувати не тільки з окси- та епоксигрупами в складі захисних покриттів на гліфталевих смолах, епоксидних олігомерах, але й з поверхневими атомами металів, з утворенням металохелатних комплексів. Досліджено 6 груп гетероциклічних сполук (ГТЦ):

- ГТЦ-1 (СД 1-4) – моно-ГТЦ – похідні імідазолу;
- ГТЦ-2 (СД 5-7) – похідні імідазолу (Im), конденсовані з Im-ядром та з бензольним кільцем – ГТЦ-3 (СД 8-14) й піримідиновим кільцем (СД 15) – бі-ГТЦ;
- ГТЦ-4 – похідні бензімідазолу, конденсовані з Im-, Рур-, Ph-кільцями – три-ГТЦ (СД 16-23);
- ГТЦ-5 – похідні меркаптобензімідазолу (СД 24-29);
- ГТЦ-6 – три-, чотири-ГТЦ (СД 30-33) – похідні тіазолу, конденсовані з нафталіновим, імідазольним кільцями.

Чистота продуктів підтверджена ІЧ-, ПМР-спектрами, ТШХ та даними елементного аналізу.

Оптимальні СД визначали комп'ютерним моделюванням (напівемпіричний метод MNDO-PM3, за електронними ( $q_N$ ,  $q_S$ ,  $q_O$  та ін.) та термодинамічними ( $\Delta H_f$ ,  $\mu$ ,  $E$ ,  $I$  та ін.) характеристиками, та кореляційними залежностями захисних властивостей від них:  $Z$ ,  $\beta$ ,  $\gamma=f(q, I, \Delta H_f)$  та ін.

Розробку синергічних захисних композицій (СЗК) проводили із залученням вторинної сировини: регіональних багатотоннажних відходів виробництва: К (кубовий відхід першої дистиляції капролактаму в цеху регенерації  $\epsilon$ -Капролактаму на «ЧХВ»);

МІ, КУБ, ФГ (відходи ВАТ «Рівнеазот»); КВС (Запорізького КХЗ); ТМЖ – технічний мікробний жир та ін., а також відходів споживання – некондиційних (за строком вживання) фармпрепаратів (НФП) та пестицидів (НП), що залучалися як синергисти в модифіковані захисні покриття (МЗП). Розроблено більше 10 СЗК, які були застосовані в т.ч. в складі МЗП на основі гліфталевої смоли (ГФ-01), споксидної смоли (ЕД-20) з КВС, в складі мастильно-охолоджувальних рідин (МОР) та ін. Оптимальні СЗК використовували для очистки ґрунту, стічних вод від важких металів та захисту трубних сталей та зварних з'єднань від агресивної дії забрудненого важкими металами середовища (ґрунт, водойми) та енергетичного забруднення.

Рівні екодеструктивного техногенного впливу інгредієнтного забруднення на довкілля з трубопровідним транспортом характеризували за комплексною системою: сумарними показниками –  $Z_c$  (ґрунт), ІЗВ (індекс забруднення поверхневих, стічних вод) та ін., з встановленням сумарного показника небезпеки  $I_n$ , розробленою за уніфікованою інтегральною бальною оцінкою з 10 сумарних показників впливу: техногенного інгредієнтного забруднення (атмосферного повітря –  $K_a$ , за ІЗА; ґрунту –  $K_r$ , за  $Z_c$ ; водойм –  $K_v$ , за ІЗВ; рослинності –  $K_p$ , за  $K_{ac}$ ;  $K_3$  – здоров'я людини, за ризиком) та енергетичного (електромагнітні поля –  $K_{EMП}$ , за Н (А/м); вібрації –  $K_v$ , за  $L_v$  (дБ); радіації –  $K_{p3}$ , за  $\Lambda$  (Ку/км<sup>2</sup>)) – на тривкість –  $K_{KM}$ , за  $K_{п}$  (мм/рік, ГОСТ 13819) та витривалість –  $K_{MЦВ}$  конструкційних матеріалів ТРТ, за показниками малоциклової втоми ( $\beta_c^N$ ,  $\beta_n$  – коефіцієнти впливу середовища на малоциклову витривалість (МЦВ), в циклах N до руйнації пластинчатих зразків (57×12×2.5 мм), на повітрі та в поверхневих, стічних водах ( $\beta = N_n/N_{c(n)}$ )) та розтріскування (за  $t$ , години, при статичному навантаженні), з встановленням функціональних залежностей «рівні техногенного впливу – тривкість, витривалість трубних сталей». Оцінку безпеки екостану визначали за  $I_n = \sum_{i=1}^{10} K_i$  ( $K_i=0\dots100$ ), за 10-бальною шкалою: сприятливий – 1,  $I_n$  0...10; нормальний – 2,  $I_n$  11...20; задовільний – 3,  $I_n$  21...31; напружений – 4,  $I_n$  32...43; складний – 5,  $I_n$  44...55; незадовільний – 6,  $I_n$  56...66; критичний – 7,  $I_n$  67...77; передкризовий – 8,  $I_n$  78...89; кризовий – 9,  $I_n$  90...100; катастрофічний – 10,  $I_n > 100$ .

Ефективність розроблених СЗК, МЗП комплексної дії визначали за диференційованою оцінкою. Технологічну ефективність засобів стабілізації та поліпшення стану, екологічної безпеки ТРТ характеризували коефіцієнтом  $\gamma_T$ , по-перше як характеристики зменшення рівня техногенного забруднення очисткою середовища, а також підвищення рівня екологічної безпеки трубопровідного транспорту збільшенням тривкості та витривалості трубних сталей. Механізм, синергізм дії СЗК вивчали дослідженням адсорбційних властивостей за 4 незалежними методами.

**У третьому розділі** приведені результати теоретичних та експериментальних досліджень впливу техногенного інгредієнтного, енергетичного забруднення на екологічний стан техноприродних систем з трубопровідним транспортом за інтегральною оцінкою небезпеки. Характеристика екостану атмосферного повітря за 8 забруднювачами ВМ (Pb, Cd, Ni, Cr<sup>VI</sup>, V, Mn, Zn, Cu), за  $K_{н\sigma}$  та ґрунту за 6 ВМ (Cd, Pb, Cu, Ni, Cr, Zn) наведено на рис. 2а,б, ІЗВ – в табл. 1(а) (за 7 показниками: Zn, Ni, Cr<sup>III</sup>, Cr<sup>VI</sup>, СГ, БСК<sub>s</sub>, O<sub>2</sub>потр.),  $K_{ac}$  – в табл. 1(б).

Максимальна акумуляція ВМ листками тополлю характерна для зони  $X_M$ , в околі ЧТЕЦ. Залежності  $Z_C$  ґрунту, ІЗВ ґрунтових вод від мінерального складу ґрунту I, II, III показано в табл. 2, а  $K_{II}$ ,  $K_{KM}$  від  $Z_C$  – в табл.3, рис. 3. Максимальна забрудненість спостерігалась в ґрунті II. Відбувається погіршення здоров'я населення: зростають захворювання серцево-судинної системи, легенів та ін., зменшується тривкість сталі за  $K_{II}$ , (мм/рік).

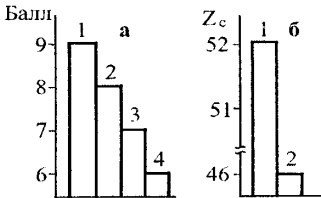


Рис. 2 – Екологічний стан:  
а – повітря в балах (на  $X_M$ ),  
1 – ЧТЕЦ, 2 – ЧАД, 3 – ЧХВ, 4 –  
ЧеЗаРа (1-3 – напружений екостан,  
4 – нормальний);  
б – ґрунту (за  $Z_C$ , на  $X_M$ ),  
1 – ЧАД, 2 – ЧХВ, 1,2 – III категорія  
забруднення, небезпечна.

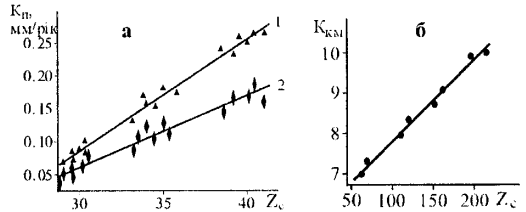


Рис. 3 – Вплив забрудненості ґрунту  
на тривкість сталі:

а –  $K_{II}=f(Z_C)$ ,  $r=0.84$ ;  
1 – сталь 20 ( $K_{II}=0.008Z_C-0.175$ ),  
2 – сталь 10kp ( $K_{II}=0.014Z_C-0.337$ );  
б –  $K_{KM}=f(Z_C)$ ,  $r=0.9$ , ( $K_{KM}=0.02Z_C+5.8$ ).

Таблиця 1

Характеристика забруднення поверхневих вод (ІЗВ) та акумуляції ВМ рослинністю ( $K_{AC}$ )

Річка	Зона відбору		Екологічний стан	Клас забруднення води	$\beta_c^*$
	1	2			
1. Десна	1.98...2.22	2.33...2.49	Помірно забруднена	III	2.1
2. Стрижнь	3.02...3.12	3.89...3.91	Забруднена	IV	2.5
3. Білоус	4.85...4.92	5.78...5.99	Брудна	V	3.3

<sup>\*)</sup> 1,2 – 1 км вище, ніжче скиду стічних вод

б. Сумарні коефіцієнти акумуляції ВМ листками тополлю ( $K_{AC}$ ) на $X_M$ в околі ЕНВ				
Зона	ЧТЕЦ	ЧеЗаРа	ЧХВ	ЧАД
1. $X_{C33}$	4.0	3.0	3.4	3.6
2. $X_M$	4.6	3.8	4.2	4.3

Таблиця 2

$Z_C$  ґрунту, ІЗВ ґрунтових вод (на  $X_M$ )

Показник	ґрунт		
	I	II	III
$Z_C$	29	41	34
Категорія забруднення	2	3	3
Екостан ґрунту	Помірно допустимий		Небезпечний
ґрунтовий розчин			
ІЗВ	2.8	5.8	4.3
Клас забруднення	4	5	5
Екостан	Забруднена		Брудна

<sup>\*)</sup> I – чорнозем, II – дерново-підзолистий, III – темносірй опідзолений ґрунт

Таблиця 3

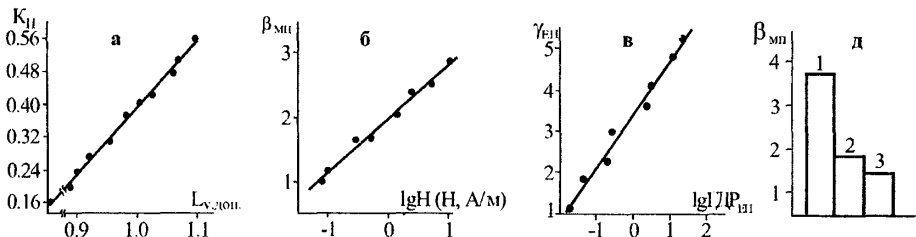
Вплив техногенного забруднення ґрунту на тривкість сталі 10кп (1), 20 (2) за  $K_{\Pi}$ 

Показник	Ґрунт I		Ґрунт II		Ґрунт III	
	1	2	1	2	1	2
1. $K_{\Pi}$ , мм/рік	0.070	0.051	0.280	0.160	0.160	0.125
2. Група тривкості	3	3	4	4	4	4
3. Назва групи	тривкі		понижено тривкі			
4. $K_{KM}$ , балл	5	5	6	6	6	6

Отже, максимальному забрудненню ґрунту II відповідає найбільший показник втрат металу (0.280 мм/рік), що в 4 рази більше ніж в ґрунті I. Статистичні дані свідчать, що в околі екологічно небезпечних виробництв м. Чернігова спостерігалися аномальні зони забруднення ґрунту ( $Z_c > 128$ , 4 категорія – надзвичайно небезпечна), із значним впливом на репродуктивну функцію та різке збільшення агресивності ґрунту щодо трубної сталі (рис. 3)

З табл. 3, рис. 3 видно, що продукти руйнації трубної сталі є джерелом накопичення важких металів у довкіллі. Для підтвердження цього висновку проведено теоретичний наближений розрахунок можливого накопичення ВМ у ґрунті в результаті руйнації трубної сталі 20 та сталі 12X18H10T, з врахуванням рухомої та валової форми забруднення ВМ (Fe, Mn, Ni, Cr, Cu).  $Z_c$  за розрахунком склав: 32...94. Це 3 категорія забруднення ґрунту ВМ – ґрунт небезпечний. Таким чином, накопичення в ґрунті ВМ із продуктів руйнації трубної сталі, за валовою, рухомою формою, підтверджує значну екологічну небезпеку техногенного інгредієнтного забруднення важкими металами, що потребує розробки нових методів контролю, захисту навколишнього природного середовища як суттєвого компоненту екологізації економіки, із запобіганням великих затрат на ліквідацію наслідків руйнації ТРТ, особливо при техногенних аваріях.

Вплив енергетичного забруднення (акустичного – вібрації ( $L_v$ ), електромагнітних полів – ЕМП (за складовою електричного – ЕП та магнітного поля – МП), радіації) на тривкість сталі показано на рис. 4.5, табл. 4.

Рис. 4 – Вплив енергетичного забруднення на тривкість трубних сталей ( $r=0.85...0.89$ ):

а –  $K_{\Pi} = f(L_{v, \text{доп}})$ :  $K_{\Pi} = 1.6 L_{v, \text{доп}} - 1.2$ ; б –  $\beta_{МП} = f(\lg H)$ :  $\beta_{МП} = 0.8 \lg H + 2.0$ ; в –  $\gamma_{ЕП} = f(\Gamma DP_{ЕП})$ :  $\gamma_{ЕП} = 1.4 \lg \Gamma DP_{ЕП} + 3.5$ . а-в – сталь 20. а – в ґрунті, б – в HCl, рН0,  $f=1$  кГц, в – в HCl, рН2,  $f=50$  Гц; д –  $\beta_{МП}$  в HCl, рН1, 1 – на сталі 20, 2 – на сталі 17Г1С (ЗГВ), 3 – на сталі 16ГФР (ОМ),  $\beta_{МП} = K_{\Pi, МП} / K_{\Pi}$ ,  $\gamma_{ЕП} = K_{\Pi} / K_{\Pi, ЕП}$ ,  $\Gamma DP = 50$  В/м (ГДР).

З рис. 4 видно, що МП та вібрація підвищують активність ґрунту, робочого середовища (НСІ, рН 2) до сталі 20 та зварних з'єднань низьколегованих трубних сталей 16ГФР, 17Г1С, як по основному металу, так і по зоні термічного впливу. В результаті знижується тривкість сталі до агресивного середовища, в т.ч. в забрудненій річковій воді (р. Білоус,  $H=5$  А/м) – з підвищенням  $f$  від 50 Гц до  $10^5$  кГц вплив МП за  $\beta_{МП}$  зростає в 1.7...2.5 рази. Зменшення стійкості сталі в МП обумовлено активізацією анодного окиснення металу, що переважає катодний процес (в НСІ, рН 1) на сталі 20 в 1.6 рази. Звертає на себе увагу більш значний вплив ЕМП (в 2...3.4 рази) за магнітною складовою на трубній сталі 20, ніж на зварних з'єднаннях низьколегованих трубних сталей 15Г2АФЮ, 16ГФР, 17Г1С. Це дуже важливо, бо застосування їх для ТРТ замість сталі 20 знижує металоємність до 20%. Їх фізико-механічні властивості: питомі міцність ( $\sigma_b/гp$ ) та жорсткість ( $E/гp$ ) достатні для гарантованої надійності та витривалості при малоцикловому навантаженні – основної характеристики роботоздатності трубопроводів. До того ж ціна 1т сталюного прокату цих сталей лише на 5...10% перевищує вартість 1т сталі 20.

На рис. 5, в табл. 4 показано вплив радіоактивного забруднення (РЗ) ґрунту на тривкість сталі 20 за  $K_{II}$  (мм/рік).

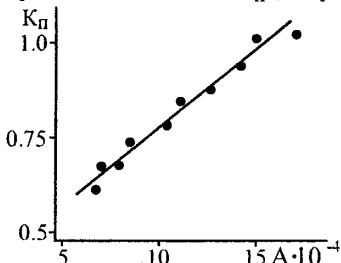


Рис. 5 – Вплив радіоактивного забруднення ґрунту на тривкість трубної сталі 20:  $K_{II}=f(A, \text{кБк/кг})$ , мм/рік.  $K_{II}=0.04 \cdot A + 0.35$ ,  $r=0.87$

З табл. 4, рис. 5 видно, що навіть достатньо низька поверхнева щільність РЗ обумовлює підвищення активності ґрунту до підземних, наземних трубопроводів в 3.9...6.6 раз: стійкість сталі 20 в умовах дії РЗ відповідає 5 та 4 групам тривкості (8 та 7 бали) – мало- та пониженостійкі матеріали, тобто активність збільшується на 1-2 бали (чистий, без РЗ, ґрунт – 6 бал). Це пов'язано з дією 3х ефектів радіоактивного забруднення – радіолізного (утворення активних радикалів, які пришвидшують катодну реакцію), деструктивного – з деструкцією оксидних та ін. плівок на поверхні сталі, що прискорює анодну реакцію окиснення металу (власне, руйнування сталі) та фотодеструктивного – із зміною напівпровідникових властивостей захисних плівок. Таким чином, РЗ ґрунту значно підсилює дію екодеструктивного фактору на ТРТ – руйнація трубної сталі зростає до 6.6 раз.

Таблиця 4

Вплив РЗ ґрунту на  $K_{II}$  сталі 20

Зразок ґрунту	Щільність РЗ, кБк/км <sup>2</sup>		Питома активність, А, кБк/кг	$K_{II}$ , мм/рік	$K_{KM}$ , бал	Група тривкості сталі
	Cs-137	Sr-90				
I	333	51.8	$17 \cdot 10^4$	1.05	8	5 (малостійкі)
II	185	33.3	$10.4 \cdot 10^4$	0.77	7	4 (понижено стійкі)
III	111	22.2	$6.66 \cdot 10^4$	0.62	7	

Інтегральна оцінка екостану ТПС з ТРТ, сформованого техногенним інгредієнтним забрудненням ЕНВ (ЧТЕЦ, ЧеЗарА, ЧХВ, ЧАД), за сумарним коефіцієнтом безпеки  $I_H$  (в балах), представлена в табл. 5.

Інтегральна оцінка екостану ТПС з ТРТ інгредієнтним забрудненням  $I_H$  (в балах)

Показники небезпеки ТЗ	ЧТЕЦ		ЧеЗаРа		ЧХВ		ЧАД	
	1	2	1	2	1	2	1	2
1. $K_{H2}$	8	10	5	6	7	9	7	8
2. $Z_c$	40	57	33	45	35	49	38	52
3. $K_{ac}$	4	4.6	3.0	3.8	3.4	4.2	3.6	4.3
4. $K_{KM}$	7	9	5	7	6	8	6	8
5. $I_H$	59	80	46	62	51	70	54	72
6. Бал ТЗ ТПС	4	7	3	5	4	6	4	6
7. Екостан ТПС	Складний	Критичний	Напружений	Незадовільний	Складний	Передкризовий	Складний	Передкризовий

Якщо врахувати забруднення поверхневих вод (р. Білоус) із ІЗВ, підвищення забруднення ґрунту важкими металами та зростання його агресивності до ТРТ, за  $K_{KM}$  (до 10 балу), чому сприяє також стимулююча дія енергетичного забруднення на руйнацію сталі, зростання  $K_{ac}$ , пов'язаного із збільшенням сумарного показника забруднення ВМ ґрунту, то на відстані  $X_M$ , для ЧТЕЦ, екостан території буде кризовий.

В розвиток визначених в науковій практиці основних напрямків управління екологічною безпекою (оцінка сучасної екологічної ситуації та стану всіх компонентів довкілля: атмосферного повітря, водойм, ґрунту; впливів техногенних об'єктів на ПС, екологічний моніторинг територій, прилеглих до зони ЕНВ, прогноз розвитку та моделювання екологічної ситуації, залежно від техногенного впливу та керування нею з метою її оптимізації), розроблено модель комплексної системи екологічного моніторингу з визначенням екостану техноприродних систем з трубопровідним транспортом, з удосконаленням методів екологічного моніторингу та прогнозу екологічної безпеки ТРТ (рис. 6).

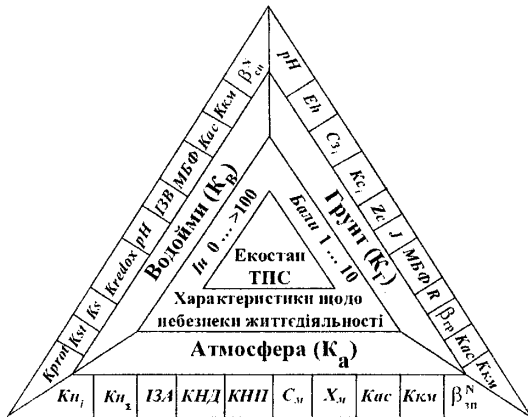


Рис. 6 – Інтегральні показники екостану та екобезпеки ТПС

*Водойми:* 1) фізико-хімічні константи визначення агресивності середовища; 2) інтегральні характеристики забруднення; 3) наслідки техногенного забруднення (ТЗ).

*Ґрунт:* 1) фізичні та фізико-хімічні характеристики; 2) хімічний склад та характеристики забруднення, агресивність ґрунту; 3) наслідки ТЗ.

*Атмосфера:* 1) коефіцієнти небезпеки; 2) категорії небезпеки підприємства – КНП, клас небезпеки джерела – КНД; 3) наслідки.

За розробленою уніфікованою інтегральною оцінкою рівня екологічної небезпеки –  $I_H$  (коефіцієнт небезпеки – 0...100 і більше), з врахуванням інгредієнтного та



енергетичного забруднення за 10 показниками ( $K_a, K_r, K_b, K_p, K_3, K_{EMП}, K_v, K_{рз}, K_{км}, K_{МЦВ}$ ), встановлено екостан ТПС з ТРТ (ЧеЗаРа-1) – складний (табл. 6).

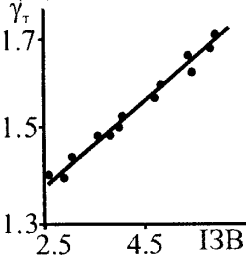
Таблиця 6

Уніфікована інтегральна бальна оцінка техногенного впливу

$K_a$	$K_r$	$K_b$	$K_p$	$K_3$	$K_{EMП}$	$K_v$	$K_{рз}$	$K_{км}$	$K_{МЦВ}$	$I_u$	Балл	Екостан
3	6	6	4	5	3	3	3	6	5	44	5	складний

Це ще раз підтверджує необхідність удосконалення технічних засобів захисту довкілля для запобігання техногенних аварій та екологічних катастроф на ТРТ.

**Розділ 4** присвячено удосконаленню металургійних процесів підвищення рівня екологічної безпеки трубопровідного транспорту, серед яких важливу роль грає раціональний вибір сталі за основним хімічним складом, з мінімізацією забруднення довкілля. Показано, що використання досить економічного метода рафінування сталі 10Г2ФР – кінцевим розкисленням РЗМ (FeCe) забезпечує технологічну ефективність в природних (поверхневі води) –  $\gamma_T=1.40\dots 1.54$ , та технологічних середовищах –  $\gamma_T=1.31\dots 2.26$ .  $\gamma_T=N_{M+FeCe}/N_M$ ,  $N$  – число циклів до руйнування зразків мартенівської (М) сталі. З підвищенням ІЗВ – агресивності річкової води,  $\gamma_T$  зростає (рис. 7).



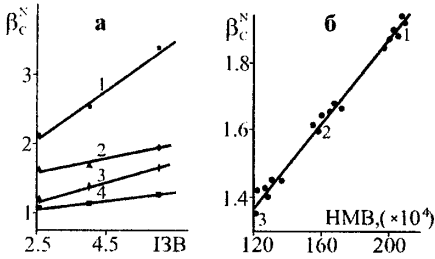


Рис. 8 – Залежність коефіцієнтів впливу середовища (за витривалістю) від методів виплавки сталі та її забрудненості НМВ

а:  $\beta_c^N = f(I3B)$ , 1,2 – сталь 40Х ЕД ( $1 - \beta_c^N = 0.37I3B + 1.12$ ,  $2 - \beta_c^N = 0.1I3B + 1.35$ ), 3,4 – сталь 10Г2ФР (3 – М,  $\beta_c^N = 0.1I3B + 0.97$ ; 4 – М+FeCe,  $\beta_c^N = 0.04I3B + 1.06$ ), 1 – н.в., 2,4 – в.в. ( $r=0.87$ );

б:  $\beta_c^N = f(HMB, \% об.)$  у воді р. Білоус, 1 – 40Х (ЕД, в.в.), 2,3 – 10Г2ФР (2 – М, 3 – М+FeCe,  $\beta_c^N = 0.006HMB + 0.615$ ,  $r=0.89$ )

Отже, набуває важливого значення дослідження впливу окремих НМВ на експлуатаційну надійність та екологічну безпеку ТРТ в забруднених природних та технологічних середовищах. НМВ є лувашками водно, що сприяє розвитку високих тисків  $H_2$  в метали, воколї НМВ. Тому вони особливо небезпечні в наводнювальних та корозійно-наводнювальних середовищах. Досліджували вплив НМВ у вуглецевій сталї 20, неіржавіючій 12Х18Н10Т, програмного забруднення – з переважним вмістом, більше 85...91%, одного з НМВ: сульфїди – С (FeS/MnS), оксиди – О (глиноземисто-шпінельні фракції), пластичні силікати – ПС (MnO/SiO<sub>2</sub>, FeO/SiO<sub>2</sub>), нїтриди – Н (TiN) – в сталї 20, та С, Н, О – в сталї 12Х18Н10Т, на

стійкість трубної сталї в робочих середовищах екологічно небезпечних виробництв та природних – поверхневі води (рр. Білоус, Стрижень, Десна).

На рис. 9а показано вплив ІЗВ на струм обміну за воднем  $i_H^0$ , який зростає на сталї 20ПЗ з підвищенням забрудненості річкової води в 1.6 рази для С та в 2.2 рази – для О.

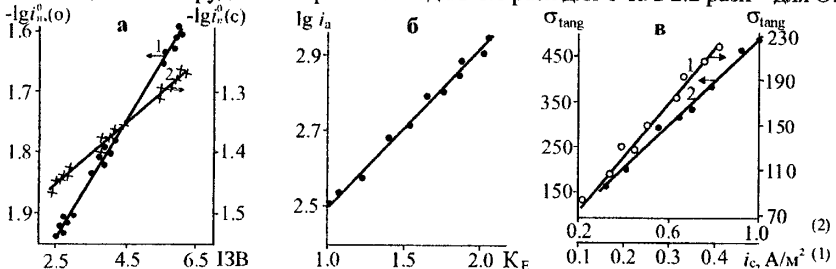


Рис. 9 – Вплив показників забрудненості сталей НМВ на кінетичні характеристики руйнування (а –  $-lg i_H^0 = f(I3B)$ ,  $r=0.89$ ; б –  $lg i_a = f(K_E)$ ,  $r=0.85$  ( $i_a, A/m^2$ ); в –  $i_c = f(\sigma_{tang})$ ,  $r=0.87$ ; а: сталь 20ПЗ, 1 – О ( $lg i_H^0 = 0.11I3B - 2.22$ ), 2 – С ( $lg i_H^0 = 0.047I3B - 1.967$ ),  $\epsilon=0.2\%$  ( $i_H^0, A/m^2$ ); б – сталь 12Х18Н10Т,  $\epsilon=0.4\%$ , 3% NaCl+H<sub>2</sub>S+C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>+CH<sub>3</sub>OH,  $lg i_a = 0.4K_E + 2.1$ ; в: сталь 20ПЗ, HCl, рН0, з H<sub>2</sub>S, 1 – глобули ( $i_c = 0.004\sigma_{tang} - 0.025$ ), 2 – стрічки ( $i_c = 0.001\sigma_{tang}$ ).

Максимальні значення  $i_0$  на сталі з С ( $i_0^C/i_0^O$ )=2.3...3.2. Це вказує на підвищення електрохімічної гетерогенності, що зменшує стійкість трубної сталї. Цьому сприяють механічні напруження в околі НМВ, як концентратори напружень, в залежності від модулів пружності металу –  $E_M$ , та НМВ –  $E_B$  ( $K_E$ ) та термічні (мозаїчні) внутрішні залишкові напруження IV роду ( $\sigma_{tang}$ ). Вони виникають на міжфазній границі Ме-НМВ внаслідок різних значень  $E_M$ ,  $E_B$  та коефіцієнтів термічного розширення  $\alpha_M$ ,  $\alpha_B$ .

На рис. 9б,в приведені кореляційні залежності кінетичних параметрів ( $i_a$ ,  $i_c$ ) від  $K_E$ ,  $\sigma_{\text{tang}}$ . Найбільш небезпечні НМВ (за  $i_a$ ) в сталі 12Х18Н10Т – сульфідні ( $K_E=2.0$ ), в сталі 20ПЗ – оксиди (за  $i_c$ ).

Відомо, що техногенна безпека наводнювання при експлуатації ТРТ часто перевищує безпеку від поверхневого руйнування. Тому, в рамках дисертаційного дослідження дуже важливим є визначення можливості накопичення водню на міжфазній границі Ме-НМВ, де воколї НМВ, як правило, є мікропустоти, що грають значну роль в розподілі водню в сталі. Новим підходом тут є диференційоване визначення молекулярного  $V_M$  та атомарного водню  $V_A$  в сталі. З цією метою використовували такі коефіцієнти:  $K_{\text{нр}}$  – коефіцієнт нерівномірності розподілу водню в сталі;  $\gamma_{\text{нр}}$  – коефіцієнт безпеки водню;  $\beta_{M/A}$  – коефіцієнт локалізації молекулярного водню у НМВ;  $\beta_{\text{нр}}$  – коефіцієнт безпеки НМВ. Комплексна оцінка нерівномірності розподілу водню в сталі 20 в NACE ( $i_k=0.05 \text{ A/m}^2$ ) представлена в табл. 7.

Таблиця 7

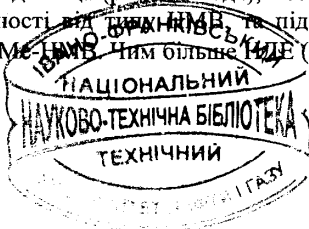
Комплексна оцінка нерівномірності розподілу водню в сталі 20 в NACE ( $i_k=0.05 \text{ A/m}^2$ )

Середовище	M, A	НМВ							
		O				C			
		1	2	3	4	1	2	3	4
–	M	1.48	-	1.36	-	1.60	-	1.41	-
	A	1.09	-			1.13	-		
NACE, $\varepsilon=0$	M	1.59	1.07	1.39	1.02	1.89	1.18	1.56	1.11
	A	1.14	1.04			1.21	1.07		
NACE, $\varepsilon=0.4$	M	1.99	1.34	1.59	1.17	3.15	1.97	2.22	1.57
	A	1.25	1.15			1.42	1.26		

<sup>x</sup> M, A – відповідно молекулярна та атомарна форма водню; 1 –  $K_{\text{нр}}$ , 2 –  $\gamma_{\text{нр}}$ , 3 –  $\beta_{M/A}$ , 4 –  $\beta_{\text{нр}}$ , НР – нерівномірність розподілу.

Вихідні значення  $K_{\text{нр}}$  в сталі 20 з O і C, відповідно складають за M: 1.48 і 1.60. При дії агресивного середовища показники нерівномірності розподілу, локалізації водню в металі значно зростають (табл. 7), особливо для сульфідних включень (C) та для деформованої сталі ( $K_{\text{нр}}$  – від 1.60 до 3.15,  $\beta_{M/A}$  з 1.41 до 2.22), збільшується небезпека водневої деградації, внаслідок підвищення  $V_M$ :  $\gamma_{\text{нр}}$  зростає з 1.18 ( $\varepsilon=0$ ) до 1.97 ( $\varepsilon=0.4$  %),  $\beta_{\text{нр}}$  – з 1.11 до 1.57, в порівнянні із вихідними значеннями. Спостерігаються функціональні залежності  $\beta_{\text{II}}^I=f(\beta_{M/A})$ ,  $\beta_V=f(\sigma_{\text{tang}})$ ,  $\beta_{\text{II}}^N=f(\sigma_{\text{tang}})$ ,  $\beta_C^N=f(K_E)$  – рис. 10а,б,в, що свідчать про помітний вплив НМВ на рівень МЦВ, який знижується при підвищенні ступеня деформації (зростає  $\beta_{\text{II}}^I$ ) завдяки підвищенню  $\beta_{M/A}$ , який характеризує локалізацію молекулярного водню по границях НМВ-метал.

Нові підходи до оцінки впливу водню на екологічну безпеку ТРТ (рис. 10а-в, рис. 11) ілюструють можливе підсилення водневої деградації трубної сталі 20ПЗ за рахунок збільшення:  $\beta_{M/A}$  (рис. 10а),  $\sigma_{\text{tang}}$  (рис. 10б),  $K_E$  (рис. 10в), негативного диференц-ефекту (НДЕ) – за ефективною валентністю  $p_{\text{еф}}$  – рис. 11, в умовах дії природного середовища (річкова вода), NACE й малоциклового, статичного навантаження, в залежності від  $\beta_{\text{II}}^I$  та підвищення механічних, термічних напружень на границі Ме-НМВ. Чим більше НДЕ (нижче  $p_{\text{еф}}$ ), тим вище  $\beta_a^N, \beta_a^{KP}$ .



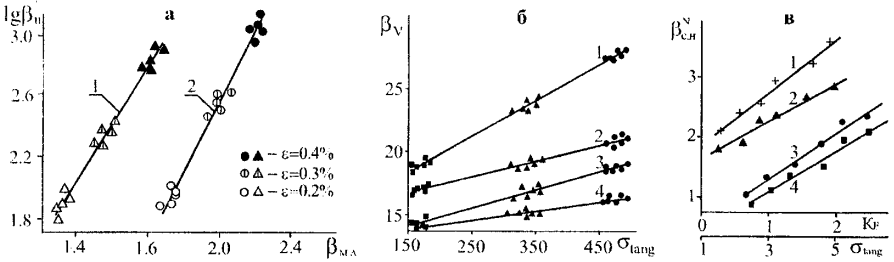


Рис. 10 – Вплив наводнювання на показники екологічної безпеки ТРТ:

а -  $\lg \beta_H^1 = f(\beta_{M.A})$ , 1 - О ( $\lg \beta_H^1 = 2\beta_{M.A} - 0.35$ ), 2 - С ( $\lg \beta_H^1 = 2.5\beta_{M.A} - 2.4$ ); б -  $\beta_V = f(\sigma_{tang}, \text{МПа})$ , 1 - NACE ( $\beta_V = 0.03\sigma_{tang} + 13.0$ ), 2 -  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $\beta_V = 0.01\sigma_{tang} + 15.25$ ), 3 -  $\text{HCl}$ , pH1 ( $\beta_V = 0.015\sigma_{tang} + 11.75$ ), 4 - річкова вода (р. Білоус),  $i_K = 0.1 \text{ A/cm}^2$  ( $\beta_V = 0.01\sigma_{tang} + 11.5$ ); в: 1, 2 -  $\beta_H^N = f(\sigma_{tang}, \text{МПа})$  з  $i_K = 0.1 \text{ A/cm}^2$ , 3, 4 -  $\beta_C^N = f(K_E)$ , 1 - NACE, 2, 3 - р. Десна, 4 - 3% NaCl, сталь 20ПЗ, 1)  $\beta_H^N = 0.004\sigma_{tang} + 1.457$ , 2)  $\beta_H^N = 0.003\sigma_{tang} + 1.371$ , 3)  $\beta_C^N = 0.7K_E + 0.6$ , 4)  $\beta_C^N = 0.6K_E + 0.5$ .

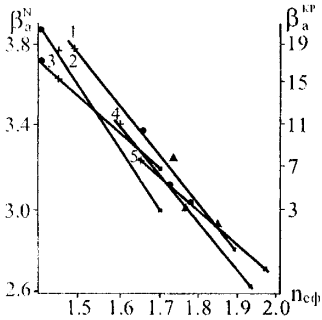


Рис. 11 – Функціональні залежності:  $\beta_a^N, \beta_a^{KP} = f(n_{эф})$ , 1, 2, 4, 5 -  $\beta_a^N$ , 3 -  $\beta_a^{KP}$ . 1-3 - NACE, 4, 5 - рр. Білоус, Десна; 1, 4, 5 - сталь 20ПЗ; 2, 3 - 12X18H10T,  $\epsilon = 0.4\%$ . × - С, ● - О, ▲ - ПС, ■ - Н;  
1)  $\beta_a^N = 7.52 - 2.5n_{эф}$ , 2)  $\beta_a^N = 8.1 - 3.0n_{эф}$ ,  
3)  $\beta_a^{KP} = 59.4 - 31.0n_{эф}$ , 4)  $\beta_a^N = 7.03 - 2.27n_{эф}$ , 5)  $\beta_a^N = 6.0 - 1.67n_{эф}$ .

За визначенням електросорбційної валентності  $f_N$  на сталі 20, 12X18H10T програмного забруднення (ПЗ) показано участь водню у формі  $\text{H}^+$ ,  $\text{H}^-$  у водневій деградації трубної сталі: найбільшу техногенну небезпеку щодо  $\text{H}^+$  спричиняють оксиди, а щодо участі  $\text{H}^-$  - сульфідні, які обумовлюють в сталі 12X18H10T збільшення (в 2 рази) водневої деградації, тоді як оксиди підвищують небезпеку руйнування ТРТ (сталь 12X18H10T), за участю  $\text{H}^-$  - в 3 рази проти сталі 20 ПЗ.

Таким чином, НМВ грають суттєву роль в поверхневих та об'ємних явищах на трубній сталі, що визначають рівень екологічної безпеки ТРТ, довговічності його в агресивних середовищах, в залежності від встановлених параметрів їх активності в утворенні механічних, термічних напружень, в збільшенні електрохімічної гетерогенності, адсорбційних та абсорбційних ефектів. Отже, їх видалення шляхом удосконалення технологічних процесів металургійними методами підвищує рівень екологічної безпеки трубопровідного транспорту та дає можливість одержати високі коефіцієнти технологічної ефективності.

Встановлено підвищення рівня екологічної безпеки трубопровідного транспорту легуванням трубної сталі 09ХГ2НАБЧ Sb 0.3, Cu 1.0, мас.% за показниками тривкості ( $\gamma_T = 3.1 \dots 3.6$ ) та наводнювання ( $\gamma_T = 1.3 \dots 2.4$ ). Разом з тим, легування Sb (0.5), Cu (0.5) - неефективно ( $\gamma_T < 1$ ) - табл. 8.

Встановлено підвищення рівня екологічної безпеки трубопровідного транспорту легуванням трубної сталі 09ХГ2НАБЧ Sb 0.3, Cu 1.0, мас.% за показниками тривкості ( $\gamma_T = 3.1 \dots 3.6$ ) та наводнювання ( $\gamma_T = 1.3 \dots 2.4$ ). Разом з тим, легування Sb (0.5), Cu (0.5) - неефективно ( $\gamma_T < 1$ ) - табл. 8.

Коефіцієнти технологічної ефективності  $\gamma_T$  легування сталі 09ХГ2НІВЧ за наводнюванням ( $\text{см}^3/100 \text{ г}$ ) в типових  $\text{H}_2\text{S}$ -середовищах

Добавка, мас. %	Ступінь деформації сталі, $\epsilon$ , %			$\gamma_T$	
	$\epsilon=0$	$\epsilon=0.4\%$	$\beta_\epsilon$	$\epsilon=0$	$\epsilon=0.4\%$
—	15.6	73.4	4.7	—	—
Cu 0.5	21.9	111.7	5.1	0.71	0.66
Cu 1.0	10.4	30.2	2.9	1.5	2.4
Sb 0.3	11.8	35.4	3.0	1.3	2.1
Sb 0.5	32.5	129.2	5.5	0.66	0.57

<sup>x</sup> Розкид експериментальних даних  $\pm 5...10\%$

За даними гравиметрії коефіцієнти технологічної ефективності  $\gamma_T$  в  $\text{H}_2\text{SO}_4+\text{H}_2\text{S}$  (рН 0) складають:  $\gamma_T=3.1$  (Sb 0.3) та 3.6 (Cu 1.0), при рН 1, відповідно: 1.4 та 1.5.

Отже, впровадження інноваційних технологій підвищення екобезпеки ТРТ металургійними методами надійно забезпечує експлуатаційну витривалість, довговічність в умовах техногенного впливу.

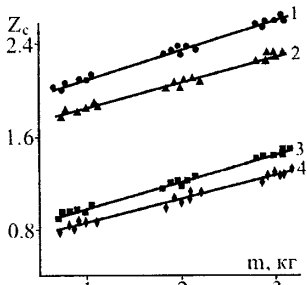


Рис 12 – Сумарний показник забруднення ґрунту при РДЗ (1,2) та АДЗ (3,4): 1 – з УОНИ 13/55, 2 – з АНО-ТМ, 3 – з СВ 08ГН, 4 – з СВ08ГНМ (m – витрата зварювального матеріалу)

У п'ятому розділі представлені результати експериментів по удосконаленню технологічних процесів підвищення рівня екологічної безпеки ТРТ. Запропоновано інноваційні технології зварювання трубних сталей 4х марок: 09Г2ФБ (1), 15Г2АФЮ (2), 16ГФР (3), 17ГІС (4), з мінімізацією інгредієнтного та енергетичного забруднення: а – 1,2 – режим з охолодженням, 3 – з об'ємним термозміцненням; б – без них. Вибір оптимального технологічного режиму зварювання (автоматичне дугове зварювання (АДЗ) під шаром флюсу взамін ручного дугового зварювання (РДЗ)) суттєво знижує техногенні інгредієнтні забруднення: зварювального аерозолі зменшується в 21...23 рази, оксиди Mn, Cr, Si, Ni, Cu, Fe – в 2.5...49 разів, газів – в 5...10 разів. Знижується сумарний показник забруднення ґрунту  $Z_c$  зварювальним аерозолем (табл. 9, рис. 12).

Таблиця 9

$Z_c$  при зварюванні сталі 16ГФР

Метод зварювання	Електрод, зварювальний дріт	$Z_c$	Категорія забруднення ґрунту	Назва категорії
1. РДЗ	УОНИ-13/55	129	IV	Надзвичайно небезпечна
2. РДЗ	АНО-ТМ	68	III	Небезпечна
3. АДЗ	Св-08ГН	9	I	Допустима
4. АДЗ	Св-08ГНМ	7	I	Допустима

<sup>x</sup> Категорії забруднення ґрунту за ДСанПіН 2.2.7.029-99 Охорона ґрунту, ДСТУ ISO 10381-1:2004

Видно, що удосконалення РДЗ застосуванням нового електродного матеріалу – АНО-ТМ (розроблено ІЕЗ ім. Є.О. Патона) знижує  $Z_c$  майже в 2 рази.

Впровадження АДЗ замість РДЗ зменшує  $Z_c$  в 7.5...9.7 (проти РДЗ з АНО-ТМ) та в 14.3...18.4 рази (проти РДЗ з УОНИ-13/55). Категорія забруднення ґрунту з III,

IV (небезпечна, надзвичайно небезпечна) знижується до I – допустима (ДСанПІН 2.2.7.029-99). Забезпечується також зниження забруднення повітря при розрахунку за домінуючою речовиною. Для більш ефективної очистки повітря запропоновано модифікація фільтруючого матеріалу (лавсан 200, тканина ФПП-15) розробленою синергічною захисною композицією, при використанні фільтровентиляційного агрегату МФА-2. Вміст зварювального аерозолу знизився до 0.3ГДК<sub>р</sub>. Ступінь очистки –  $\eta=0.99$ . Удосконаленням режимів зварювання забезпечується не тільки зменшення техногенного забруднення повітря, ґрунту, але й підвищення тривкості трубних сталей ( $\gamma_T=3.0\dots 5.1$ ) в забрудненому важкими металами (ВМ) ґрунті ( $Z_c=68$  – небезпечний), показано в табл. 10, рис. 13, 14.

Таблиця 10

Вплив режимів зварювання на тривкість ( $K_T$ , мм/рік) зварних з'єднань (ЗЗ) трубних сталей ( $\epsilon=0.3\%$ ) в забрудненому важкими металами ґрунті

Сталь	ЗЗ	$K_T$	Група тривкості	Бал	$\gamma_T$
09Г2ФБ	а	0.31	4 (понижено тривкі)	6	3.0
	б	0.92	4 (понижено тривкі)	7	–
16ГФР	а	0.09	3 (тривкі)	5	5.1
	б	0.46	4 (понижено тривкі)	6	–
15Г2АФЮ	а	1.88	5 (малотривкі)	8	0.60
	б	1.12	5 (малотривкі)	8	–
17Г1С	б	1.35	5 (малотривкі)	8	–

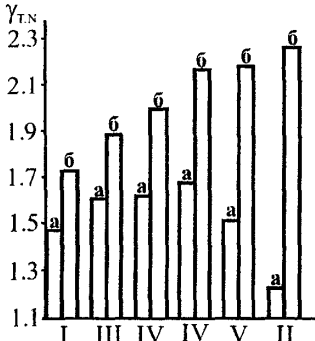


Рис. 13 – Коефіцієнти технологічної ефективності зварювання ( $\gamma_{T,N}$ ): а – 09Г2ФБ, б – 16ГФР; I – повітря, II –  $H_2SO_4+H_2S$  (1.7 г/л), рН0, III – 3%NaCl, IV – стічні води «ЧАД» (ІЗВ=7.51, 4 категорія, дуже брудна вода), V – NaCl, VI – 3% NaCl+ $i_k=0.1$  А/м<sup>2</sup>

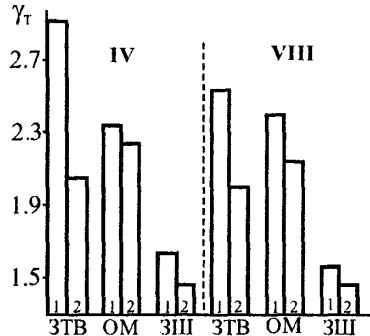


Рис. 14 – Коефіцієнти технологічної ефективності режимів зварювання ( $\gamma_T$ ) трубних сталей 16ГФР (1), 09Г2ФБ (2) для стічних вод (IV), річкової води (VIII)

Найбільш ефективний режим зварювання сталі 16ГФР з ОТЗ ( $\gamma_T=5.1$ ):  $K_T$  знижується в 3.4 рази проти режиму з охолодженням ЗЗ сталі 09Г2ФБ. Режим зварювання з охолодженням зварних з'єднань сталі 15Г2АФЮ виявився неефективним ( $\gamma_T<1$ ). Зварювання з ОТЗ забезпечує підвищення тривкості сталі на 1 бал, із 4 групи – понижено тривкі стає в 3 групу – тривкі метали.

Впровадження інноваційних технологій зварювання забезпечує також екологічну безпеку трубопровідного транспорту за показниками витривалості (рис. 13) в стіч-

них, поверхневих забруднених водах, технологічних,  $H_2S$ -вмісних середовищах, NACE: коефіцієнти технологічної ефективності удосконалення складають:  $\gamma_T=1.9...2.2$ . Тривкість зварних з'єднань в стічних, поверхневих водах зростає, особливо в зоні ЗТВ (рис. 14).

Удосконаленням технологічного процесу зварювання сталі І6ГФР (з ОТЗ) забезпечено підвищення її тривкості при дії електромагнітних полів ( $f=100$  кГц,  $E=100$  В/м,  $H=5$  А/м):  $\gamma_T=2$ .

Впровадження інноваційних технологій поверхневого зміцнення трубних сталей (обробкою на «білий шар» – БШ, вібраційною обробкою – ВО, ударною хвилею – УХ) забезпечує підвищення рівня екологічної безпеки сталей 40Х, 30ХГСНА за тривкістю ( $K_{II}$ ) –  $\gamma_T=6.9...7.3$  (ВО, БШ) (в забрудненому ґрунті, з  $Z_c=61$ ) – табл. 11, в забрудненій річковій воді – ПВ (р. Білоус, з  $I_{3B}=5.78$  та стічних водах – СВ ( $I_{3B}=7.51$ ):  $\gamma_T=6.0...6.4$ . Обробка УХ сталі 20, 12Х18Н10Т – суттєво підвищила рівень екологічної безпеки трубопровідного транспорту за показниками витривалості в СВ та ПВ:  $\gamma_T=3.5...4.6$ , в NACE  $\gamma_T=3.0...5.5$  (табл. 12), а за показниками наводнювання:  $\gamma_T=1.9...3.3$ .

Таблиця 11

Технологічна ефективність поверхневого зміцнення сталей для забрудненого ґрунту ( $Z_c=61$ )

Зразок	$\epsilon$ , %	$K_{II}$ , мм/рік	Група тривкості	Бал	$\gamma_T$
40Х	0	0.701	4 (пт)	7	7.3
40Х, БШ	0	0.096	3 (т)	5	
30ХГСНА	0	0.615	4 (пт)	7	6.9
30ХГСНА, ВО	0	0.089	3 (т)	5	
30ХГСНА	0.4	0.930	5 (мт)	8	9.5
30ХГСНА, ВО	0.4	0.098	3 (т)	5	

<sup>v</sup> пт – пониженотривкі, т – тривкі, мт – малотривкі

Таблиця 12

Технологічна ефективність обробки сталі УХ

Зразок	$\gamma_{T,N}$		$\gamma_{T,V}$	
	середовища			
	СВ/ПВ	NACE	СВ/ПВ	NACE
сталь 20	4.6/4.2	5.5	2.1/1.9	2.7
12Х18Н10Т	3.5/3.6	3.0	3.0/3.2	3.3

<sup>v</sup> СВ ( $I_{3B}=7.51$ ), ПВ (р. Білоус,  $I_{3B}=5.78$ ),  $\epsilon=0.4$  %

Основна причина підвищення екологічної безпеки ТРТ поверхневим зміцненням трубних сталей: наявність високих залишкових напружень стиску та інтенсивна пластична деформація, яка збільшує енергію активації дифузії водню в метал. Зниження електрохімічної гетерогенності за рахунок підвищення гомогенності структури сприяє підвищенню тривкості трубних сталей в технологічних та забруднених природних середовищах. Зменшення наводнювання обумовлено уповільненим розрядом  $H_3O^+$ .

Таким чином, удосконалення технологічних процесів зварювання, поверхневого зміцнення трубних сталей забезпечує підвищення рівня екологічної безпеки ТРТ в забруднених природних та технологічних середовищах.

У шостому розділі представлені результати експериментів по удосконаленню універсального технологічного методу підвищення рівня екологічної безпеки ТРТ синергічними захисними композиціями (СЗК). Комплексним системним кореляційним аналізом «Електронна структура, термодинамічні характеристики синергічних добавок (СД) за MNDO-PM3 – синергічні, захисні властивості композицій», з комп'ютерним моделюванням, здійснено вибір оптимальних синергістів, за диференційованою оцінкою показників захисту трубних сталей – для запобігання техногенних аварій на ТРТ (табл. 13, 14, рис. 15, 16).

Таблиця 13

Електронна структура, термодинамічні, захисні характеристики оптимальних СД (MNDO-PM3)

СД	Mol, Kat,	Показники						
		M, г/моль	I, eВ	-q <sub>N3</sub>	q <sub>N1</sub>	-q <sub>O</sub>	γ	γ <sub>з</sub>
1	Mol	437.54	8.74	.1149	.3245	.2838	42.1	33.2
9	Mol	351.39	8.43	.1583	.1853	.2908	38.8	31.0
22	Mol	383.43	8.61	.1238	.1744	.2965	71.9	63.0
	Kat	384.43	12.65	-.2841	.3212	.2747		
28	An	382.43	3.87	.2300	.2554	.7441	30.9	22.1
	Mol	284.23	8.38	.1244	.2379	.3119		
	Kat	285.23	11.35	.0474	.1485	.1118		
	An	283.23	3.81	.1774	.3903	.7415		

\* γ – в HCl, pH0, сталь 20

Таблиця 14

Ефективність СД у забезпеченні техногенно-екологічної безпеки ТРТ в агресивних середовищах (зварні з'єднання сталі 16ГФР (ОТЗ), ділянка ЗТВ)

СД	Z, %	K, %	β, %	K <sub>п</sub> , %	K <sub>кр</sub>
22	90.7	97.1	78.9	92.8	131.1
1	88.7	93.4	75.3	87.4	116.4
9	88.5	93.1	75.1	86.5	114.6
28	88.1	92.1	74.2	85.2	111.2
19	87.9	91.9	74.0	84.9	109.6

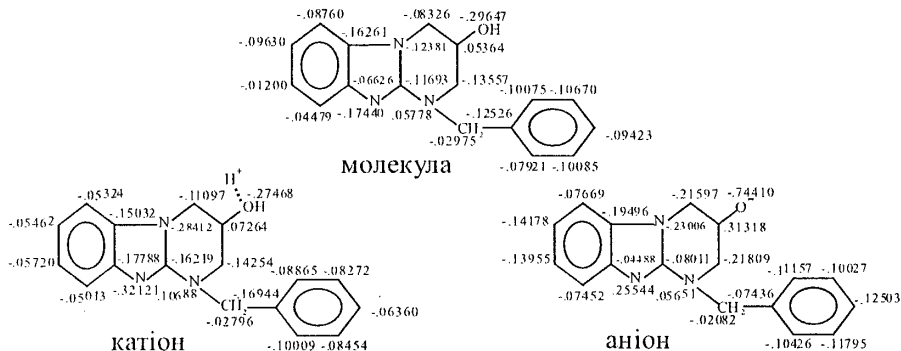
\* Z, K, K<sub>кр</sub>, β – в NACE; K<sub>п</sub> – в 3%NaCl, i<sub>к</sub>=0.1 A/cm<sup>2</sup>, ε=0.3%, C<sub>сд</sub>=0.5ммоль/л

Рис. 15 – Електронна структура СД22 (MNDO-PM3)



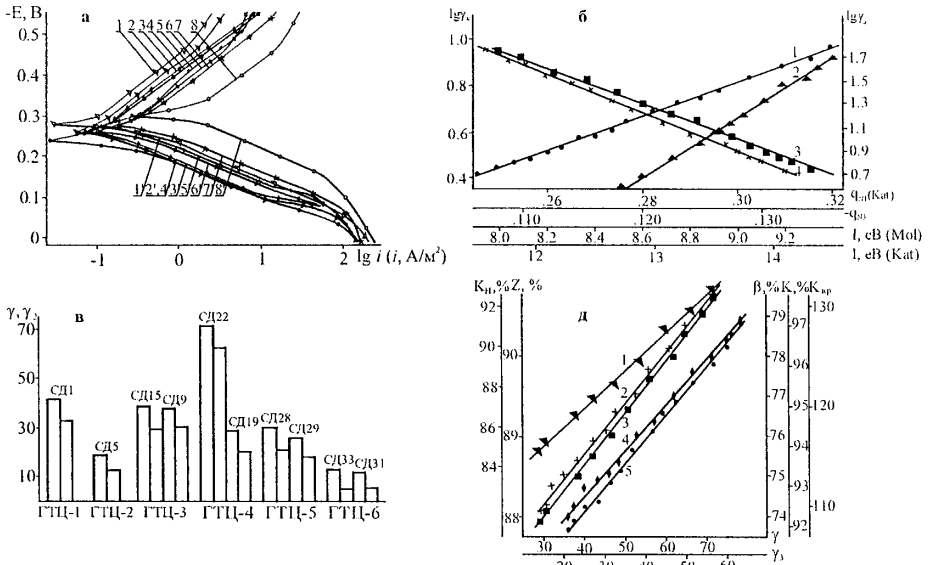


Рис. 16 – Поляризаційні криві (а), залежність коефіцієнтів гальмування від електронних та термодинамічних характеристик ГТЦ-4 (б), порівняльні показники захисних властивостей СД – ГТЦ-1-6 (в), залежності показників захисту від коефіцієнтів гальмування (д) на сталі 20, в HCl, рН0:

а: з СД (ГТЦ-1,2); 1,1' – СД2, 2,2' – СД1, 3,3' – СД3, 4,4' – СД9, 5,5' – СД6, 6,6' – СД5, 7,7' – СД16, 8,8' – без Іп;

б: 1 –  $\lg \gamma_i = f(q_{in})$ ;  $\lg \gamma_i = 0.019q_{in} - 1.61$ ; 2 –  $\lg \gamma_i = f(q_{in})$ ;  $\lg \gamma_i = 0.25q_{in} - 6.3$ ; 3 –  $\lg \gamma_i = f(I_{Mol})$ ;  $\lg \gamma_i = 3.83 - 0.36 I_{Mol}$ ;  
4 –  $\lg \gamma_i = f(I_{Kat})$ ;  $\lg \gamma_i = 3.54 - 0.22 I_{Kat}$ ;

д: 1,2,3 –  $K_n, K_{кр}, Z = f(\gamma)$ ;  $\gamma = 0.87$ , 4,5 –  $\beta, K = f(\gamma_3)$ ;  $K_n = 0.19\gamma + 78.98$ ;  $K_{кр} = 0.53\gamma + 93.67$ ;

$Z = 0.067\gamma + 86.0$ ;  $\beta = 0.115\gamma_3 + 71.58$ ;  $K = 0.114\gamma_3 + 89.58$ .

На основі науково обґрунтованого вибору СД за максимальною ефективністю захисту, за диференційованою оцінкою парціальних захисних ефектів, розроблено більше 10 синергічних захисних композицій на вторинній сировині, з утилізацією відходів виробництва: К, МП, КУБ, ФГ та інші, та споживання, в різних комбінаціях: СЗК-1 (К+СД1), СЗК-2 (К+МП+ФГ+СД1), СЗК-3 (К+КУБ+СД22) та інші. Універсальність технологічного методу забезпечення екологічної безпеки ТРТ синергічними захисними композиціями полягає в тому, що вони, як і розглянуті в розд. 4,5 (металургійні, технологічні методи), не тільки обумовлюють надійний захист від руйнації ТРТ і, таким чином, сприяють зменшенню техногенного забруднення довкілля важкими металами (ВМ), але й забезпечують зниження вмісту ВМ – шляхом зв'язування їх рухомої форми в нерухому, за рахунок металохелатування. Додаток в СЗК полярного адсорбенту – целюліту (Ц) забезпечує адсорбцію металохелатів (додатково очищується ґрунт, стічна вода від вільних катіонів ВМ (іонним обміном)) – табл. 15.

Показники технічної та екологічної ефективності СЗК на сталі 20

СЗК	Показники технічної ефективності							Показники екологічної ефективності				
	Z, %		$\beta$ , %	K, %	$K_{сн}$ , %	$K_{кр}$	$n_{эф}$	$K_{п}$	$K_{з/кл.}$ небезп.		$Z_c$	ІЗВ
	I	II	II	I	II	II	II	III	I	II	III	I
1	95.4	98.1	71.6	88.3	87.9	126.1	1.81	0.99	10.5/IV	9.5/III	69	1.5
2	97.8	92.5	75.7	91.8	89.2	130.5	1.95	0.71	10.9/IV	10.1/IV	61	1.1

<sup>\*)</sup> 1) I – річкова вода (р. Десна), ІЗВ=4.9, рН 5.2; II – HCl, рН 0; III – ґрунт,  $Z_c=136$  (IV категорія, надзвичайно небезпечний), рН 5.6 (3 категорія – слабокислий);  
2)  $C_{СЗК}=1$  г/л (I), 3 г/л (II),  $C_{сд}=1$  ммоль/л,  $C_{СЗК}=3$  г/м<sup>2</sup> (III)+цеоліт (Ц) 3 г/м<sup>2</sup>; СЗК – К+МП+ФГ (1:1:1), СД22 (Іm); К+КУБ (1:1), СД33 (Тz);  $n_{эф}=1.31$  (II, без захисту),  $K_{п}=6.5$  мм/рік (III, без захисту), 9 бал, 5 група – малотривкі.

Показники екологічної ефективності удосконалення універсального методу захисту довкілля свідчать про оптимізацію екостану ґрунту:  $Z_c$  (за 5 ВМ – Pb, V, Cr, Ni, Cu, за рухомою формою) знижується майже в 2 рази (з  $Z_c=136$  до  $Z_c=61\dots69$ ), з IV категорії – надзвичайно небезпечний ґрунт, він стає менш небезпечним – III категорія. При збільшенні  $C_{СЗК}$  в 2 рази одержуємо помірно-забруднений ґрунт  $Z_c=26\dots31$  ( $Z_c$  знижується на 77.2...80.9%). Водночас знижуються показники агресивності ґрунту до трубної сталі – за  $K_{п}$  – на 93...95%. СЗК знижує також забрудненість річкової води (р. Десна) з V класу (брудна вода) до III класу (помірно забруднена, ІЗВ=1.1...1.5 (знижується на 69.4...77.6%)). Зменшується її агресивність до трубних сталей, що підтверджується показниками технічної ефективності СЗК: Z,  $\beta$ , K,  $K_{сн}$  (%),  $K_{кр}$ ,  $K_{п}$  та ін. (табл. 15). СЗК забезпечує захист й інших конструкційних матеріалів: бороалюмінієвого композиту (малоциклова втома в річковій воді знижується в 1.2...1.5 рази, ІЗВ зменшується – в 1.9...2.1 рази), титанового сплаву ВТ1-0 – в HCl, рН1 ( $K_{п}=75\%$ ,  $K_{кр}=110.7$ ), котельних сталей в умовах хімічної очистки в травильних розчинах HCl+H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> від накипу, солетворень, окалини ( $Z=96\dots99\%$ ,  $\beta=78\dots82\%$ ,  $\beta_{п}^N$  знижується в 4-5 рази) та ін.

СЗК зберігає захисні властивості щодо довкілля й при дії енергетичного забруднення: питома активність А (кБк/кг) ґрунту знижується на 91...93.8%,  $K_{п}$  зменшується на 93.5...95.2%, а комплексний захист – віброзахист (віброопори) та СЗК знижує  $K_{п}$  на 75...94.6%. В умовах дії ЕМП (0.5...1.5ГДР) захисні ефекти зберігаються, щодо найбільш небезпечного руйнівного процесу на трубній сталі – малоциклової водневої втоми:  $\gamma_N^N=4\dots5$ . Ефективність захисту сталі ПЗ (сталь 20, 12Х18Н10Т) за всіма показниками вище з С-НМВ ніж з О-НМВ (за  $\gamma$ ,  $K_{кр}$  – в 1.3 рази, за  $\beta$  – 98% проти 78% (сталь 20) та 81.3% проти 76.4% – неіржавіюча сталь). Зменшуються коефіцієнти нерівномірності розподілу водню, знижується небезпечна воднева деградація трубної сталі.

Удосконалення поверхневого зміцнення сталі 40Х з БШ, за рахунок шліфування з оптимізованою МОР з СЗК за 8 функціональними властивостями (захисними: Z,  $\beta$  (%),  $K_{кр}$ ,  $\beta_N^N$ ; технологічними:  $P_z$ ,  $T_{мл}$ ,  $T_{хв}$  та екологічною ефективністю) та сумарними функціональними властивостями (СФВ, балли), підвищило технологічну ефективність захисту сталі:  $\gamma_{Т,с}$ ,  $\gamma_{Т,к}$ ,  $\gamma_{Т,а}$  (в стічних водах, ІЗВ=7.51, складає 3.7, 3.3, 7.5, в поверхневих – р. Білоус, ІЗВ=5.78 – 2.9, 2.6, 7.8);  $\gamma_r$  (ґрунт,  $Z_c=61$ ), за  $K_{п}$  (мм/рік) складає – 10.9.

Розроблені захисні покриття для ТРТ, модифіковані СЗК, 2 типів: МЗП-1 (на гліфталевої смоли - лак ГФ-1) з МП (1:0.25), з СЗК-6, 0.06 мас.% (1:1:1:1) та МЗП-2 (на споксидній смоли (ЕПС), ЕД-20, модифікованій КВС (1:1)) з СЗК-2, 0.06 м.ч. (К:МП:ФГ:СД=1:1:1:1). На зварних з'єднаннях сталі 16ГФР одержані такі показники ефективності захисту в НАСЕ:  $Z=99.3$ ,  $\beta=80.6$ ,  $K=85.9\%$ ,  $K_{кр}=135$ . В порівнянні з відомими захисними покриттями ефективність зростає в 1.3 рази, а в середовищі 3% NaCl – в 2.8 рази. Дія СЗК перевищує відомий закордонний інгібітор – VLSKO. МЗП-2 ефективно захищає трубну сталь 20 в річковій воді (ІЗВ=3...3.9):  $Z=95.7$ ,  $\beta=84.8$ ,  $K=99.9$ ,  $K_{кр}=76.3\%$ ;  $K_{кр}=110.1$  (сталь 30ХГСНА). На рис. 17 показано зростання ефективності захисту сталі 30ХГСНА від розтріскування (рис. 17а) та сталі 20 при дії СЗК за  $K_{кр}$  (рис. 17б).

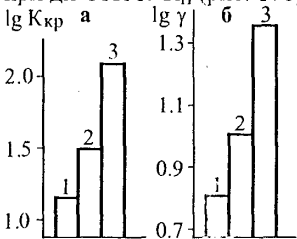


Рис. 17 – Ефективність захисту сталі 30ХГСНА (1 – МЗП, 2 – МЗП, 3 – МЗП з СЗК).  
а – від розтріскування;  
б –  $\gamma_t$  за  $K_{кр}$  (сталь 20)

Фізико-механічні властивості МЗП-1,2 відповідають ГОСТ 5971-78, 25366-82, захисні властивості – ГОСТ 9407-84 – 1 бал. Особливо слід відмітити екологічні переваги МЗП з СЗК, а також поліфункціональну роль СД: як прискорювачів твердіння МЗП, із зниженням його температури (економія енергоресурсів), як структуроутворювачів, які гальмують руйнацію добавок та активних антипіренів (металохелатні комплекси). Зниженню горючості та підвищенню вогнезахисності, пожежної безпеки МЗП з СЗК сприяють карбонільні групи у відходах К, МП, ароматичні та ГТЦ-кільця в макромолекулярному ланцюзі. Отже, залучення багатотоннажних виробничих відходів (КВС, К, МП) для МЗП забезпечує економію матеріальних ресурсів – дефіцитних смол (ГФ, ЕПС) на 25...50%.

Обробка ґрунту (1-3 г/м<sup>2</sup>), ґрунтового розчину СЗК комплексної дії, на вторинній сировині, з утилізацією відходів К або КУБ, НФП, з добавкою цеоліту (1:0.1:1) значно знижує  $Z_c$ , ІЗВ (табл. 16).

Таблиця 16

Техногенне забруднення ґрунту, ґрунтового розчину після обробки СЗК

Показник	ґрунт			Показник	ґрунтовий розчин		
	I	II	III		I	II	III
$Z_c$	15...19	21...23	19...21	ІЗВ	1.1	1.5	1.3
Категорія забруднення	2	2	2	Категорія забруднення	3	3	3
Назва категорії	Помірно-допустимий			Назва категорії	Помірно-забруднений		

Зниження  $Z_c$  від 29...41 до 19...23 зменшує  $K_{кр}$  (мм/рік) на 84.3...92.9%, підвищується тривкість сталі в ґрунті, а також забезпечується, при зниженні ІЗВ на 60.8...74.0%, зменшення агресивності ґрунтового розчину до трубних сталей 10кп, 20 за  $\beta_c^N$ ,  $\beta_{II}^N$  (рис. 18) в 1.3...4 рази.

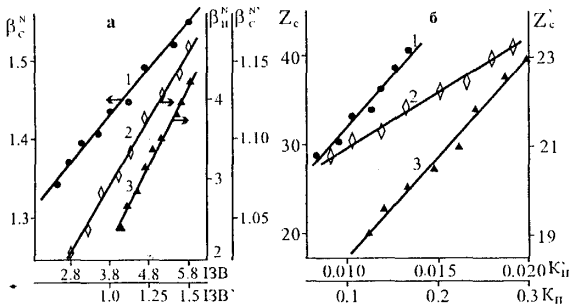


Рис. 18 – Функціональні залежності:

а –  $\beta_c^N$ ,  $\beta_{II}^N = f(13В)$ , на сталі 10кп:

$$1 - \beta_c^N = 0.063 \cdot 13В + 1.2,$$

$$2 - \beta_{II}^N = 0.867 \cdot 13В + 0.427,$$

$$3 - \beta_{II}^N = 0.188 \cdot 13В + 0.843;$$

б –  $K_{II} = f(Z_c)$ : 1 – сталь 20, 2, 3 –

сталь 10кп (3 – із захистом):

$$1 - K_{II} = 0.009 \cdot Z_c - 0.19,$$

$$2 - K_{II} = 0.017 \cdot Z_c - 0.395,$$

$$3 - K_{II} = 0.045 \cdot Z_c - 0.735.$$

Отже, удосконалення універсального технологічного методу забезпечення екологічної безпеки ТРТ синергічними захисними композиціями обумовлює перспективу запобігання екодеструктивного техногенного інгредієнтного та енергетичного впливу на його експлуатаційну надійність в технологічних та природних середовищах. Це підтверджується показниками уніфікованої оцінки техногенно-екологічної безпеки при застосуванні СЗК та комплексного захисту (СЗК+металургійні та технологічні методи) – табл. 17.

Таблиця 17

Забезпечення екологічної безпеки ТРТ з СЗК за уніфікованою оцінкою

Складові $I_H$ , ум.бал	$K_a$	$K_f$	$K_b$	$K_p$	$K_z$	$K_{EMH}$	$K_v$	$K_{p3}$	$K_{KM}$	$K_{MЦВ}$	$I_H$	Балл	Рівень екобезпеки ТПС
Без захисту	5	7	8	5	6	4	4	3	8	6	56	6	незадовільний
З СЗК	2	5	3	2	2	2	2	2	3	2	25	3	задовільний
Комплексний захист з СЗК	1	5	3	2	2	1	1	1	3	1	20	2	нормальний

Таким чином, складові  $I_H$ :  $K_a$ ,  $K_b$ ,  $K_{EMH}$ ,  $K_v$ ,  $K_{p3}$  та ін. знижуються із СЗК та комплексним захистом на 2-5 баллів. В результаті  $I_H$  знижується більше ніж в 2 рази, а за баллами в 2-3 рази (з незадовільного в нормальний).

У цьому розділі висвітлені науково-методологічні засади підвищення рівня екологічної безпеки ТРТ, з використанням СЗК на вторинній сировині, з науковообґрунтованим вибором синергічних добавок, на базі основних критеріїв (рис. 19):

- електронна структура молекул СД (виявлення адсорбційних, реакційних центрів – АЦ, РЦ); визначення електрохімічно- та хімічно активних фрагментів складників відходів;

- кінетичні та термодинамічні параметри руйнівних, адсорбційних процесів;

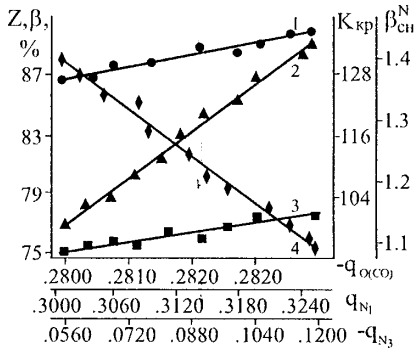
- зміна резонансного потенціалу –  $\Delta I_p$  (eВ), його зв'язок з синергізмом дії СД;

- потенціал іонізації СД –  $I$  (eВ);

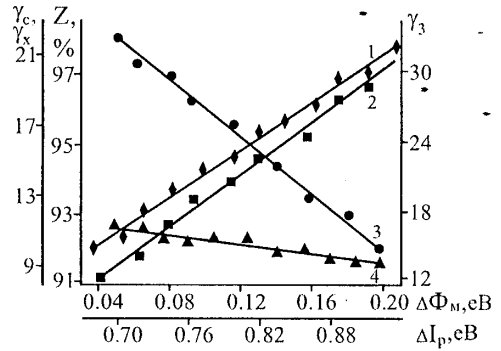
- дипольний момент –  $\mu$ , D;

- зміна роботи виходу  $e$  –  $\Delta \Phi_m$  (eВ);

- кореляційні співвідношення парціальних  $\gamma_i$  з показниками ефективності захисту за:  $K_{кр}$ ,  $\beta$ ,  $Z$ ,  $K$ ,  $K_{сн}$ ,  $K_H$ ;  $K_{кр}$ ,  $\beta_a^N$  та ін.



а. СЗК(КУБ+СД)



б. СЗК(К+СД)

Рис. 19 – Залежності показників захисту сталі від електронної структури та термодинамічних характеристик СД

- а: 1 –  $Z=f(q_0(\text{co}))$ :  $Z=875.0 \cdot q_0(\text{co})-158.5$ ;  
 2 –  $K_{\text{кр}}=f(q_{\text{N1}})$ :  $K_{\text{кр}}=1555.6 \cdot q_{\text{N1}}-371.0$ ;  
 3 –  $\beta=f(q_0(\text{co}))$ :  $\beta=750.0 \cdot q_0(\text{co})-135.0$ ;  
 4 –  $\beta_{\text{сн}}^{\text{N}}=f(q_{\text{N3}})$ :  $\beta_{\text{сн}}^{\text{N}}=1.656-4.688 \cdot q_{\text{N3}}$ .

- б. 1 –  $Z=f(\Delta\Phi_{\text{M}})$ :  $Z=42.86 \cdot \Delta\Phi_{\text{M}}+89.29$ ;  
 2 –  $\gamma_{\text{з}}=f(\Delta\Phi_{\text{M}})$ :  $\gamma_{\text{з}}=112.5 \cdot \Delta\Phi_{\text{M}}+7.5$ ;  
 3 –  $\gamma_{\text{х}}=f(\Delta I_{\text{p}})$ :  $\gamma_{\text{х}}=51.8-44.7 \cdot \Delta I_{\text{p}}$ ;  
 4 –  $\gamma_{\text{с}}=f(\Delta I_{\text{p}})$ :  $\gamma_{\text{с}}=19.28-11.11 \cdot \Delta I_{\text{p}}$ .

Експерименти показали, що коефіцієнти захисту:  $Z$ ,  $\beta$  корелюють з електронними зарядами на атомах О (в карбонілі  $\text{C}=\text{O}$ ),  $K_{\text{кр}} - q_{\text{N1}}$  (пірольному атомі азоту),  $\beta_{\text{сн}}^{\text{N}} - q_{\text{N3}}$  (піридиновому атомі азоту). Зміна  $\Delta\Phi_{\text{M}}$  захистом СД, СЗК корелює із  $Z$ ,  $K_{\text{кр}}$ : із збільшенням  $\Delta\Phi_{\text{M}}$  – роботи виходу електрону, зростають  $Z$ ,  $K_{\text{кр}}$ . Із зменшенням  $\Delta I_{\text{p}}$  зростають  $\gamma_{\text{с}}$ ,  $\gamma_{\text{х}}$ , що вказує на активізацію хемосорбційних процесів, з утворенням захисних плівок з металохелатних комплексів. Підвищення екологічної безпеки ТРТ удосконаленням захисту з СЗК обумовлено внутрішньомолекулярним та міжмолекулярним синергізмом за рахунок полідентатності лігандів – СД та в складі активних діочних складових у відходах К, КУБ, МП (поліамідні, кратні зв'язки та ін.).

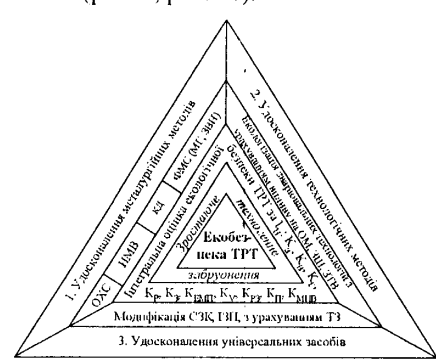
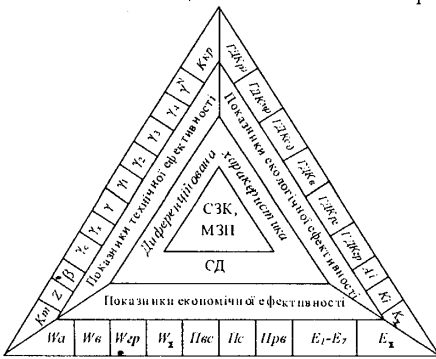
Синергізму дії СД в СЗК сприяє утворення внутрішньомолекулярних водневих зв'язків, що збільшує позитивний заряд на пірольному атомі N імідазолу (Im).

Це значно підвищує електрофільність N (+) та перенос заряду з d-рівнів Fe на ліганд ( $\text{Me} \leftarrow \text{L}$ ), з утворенням  $\pi$ -дативних зв'язків, з активізацією металохелатування. Похідні Im діють в аніонній формі, що підтверджується зменшенням потенціалу нульового заряду в бік негативних потенціалів на ЕКК-кривих ( $\sigma$ , E-кривих). Наявність «седла» на ЕКК вказує на переважний хемосорбційний механізм при металохелатуванні. Максимальний синергізм у СД22 пов'язано з інтенсивністю металохелатування за рахунок утворення  $\pi$ -дативних зв'язків (з переносом  $e$  на  $\text{L} \leftarrow \text{Me}$ ), завдяки позитивним зарядам на  $q_{\text{N1}}$ ,  $q_{\text{N3}}$  в Кат-, Ап-формах, а також із значним негативним зарядом на О-атомі (-.7471) Ап-форми СД, що активізує  $\pi$ -донорно-акцепторну взаємодію ( $\text{L} \leftarrow \text{Me}$ ), чому сприяє низьке значення потенціалу іонізації ( $I=3.87$  eВ). Оптимальні СД, СЗК знижують негативний диференц-ефект, що сприяє запобіганню розтріскуванню, малоциклової втоми – зростає  $n_{\text{еф}}$ , наближуючись до  $n_{\text{еф}}=2$ . Це дуже важливо для підводного ТРТ. Синергізму дії СД при металохелатуванні сприяють індуктивна, мезомерна, резонансна взаємодія полярних груп з РЦ. В утворенні металохелатів важливу роль грає полідента-

тність лігандів (СД), що зумовлює наявність багатьох РЦ. Про це свідчать ІЧ-спектри МХК – за зміщенням виявлених ідентифікованих смуг валентних коливань угруповань NH, C=O, C=C, Ph, C-N, C=N, Im на 68...90 см<sup>-1</sup> вбік зменшення ν, см<sup>-1</sup>.

В результаті удосконалення комплексного захисту довкілля оптимізується екостан техноприродних систем з ТРТ, з одержанням позитивного синергічного екологічного ефекту (ПСЕЕ), який формується на основі 12 позитивних екологічних ефектів (ПЕЕ): позитивні екологічні ефекти ПЕЕ-1-5, одержані технологічними (прямими та непрямими) методами (рис.1): ПЕЕ-1 – зменшення ТЗ у джерелі утворення, ПЕЕ-2 – ПЕЕ-4 – удосконалення виробничих процесів: ПЕЕ-2 – металургійні методи, ПЕЕ-3 – технологічні методи (раціональні режими зварювання, поверхневе зміцнення), ПЕЕ-4 – універсальний технологічний метод – захист з СЗК, ПЕЕ-5 – інноваційні ресурсо- та енергозберігаючі технології з утилізацією регіональних відходів в складі СЗК; ПЕЕ-6– ПЕЕ-12 одержані організаційно-технічними методами (локалізацією ТЗ та очисткою від ТЗ): ПЕЕ-6 – герметизація ТРТ, ПЕЕ-7 – модифіковані захисні покриття (МЗП), ПЕЕ-8 – екранування енергетичного ТЗ (ЕМП), ПЕЕ-9 – очистка від ТЗ ґрунту (його обробкою СЗК), ПЕЕ-10 – комплексна очистка стічних вод: хімічними (металохелатування) та фізико-хімічними методами (адсорбція на цеоліті, іонний обмін), ПЕЕ-11 – очистка повітря від зварювальних аерозолів модифікацією фільтрматеріалів СЗК, ПЕЕ-12 – зменшення накопичення ТЗ у флорі, фауни та по трофічних ланцюгах – в організмі людини.

Отже, набуває важливого значення активізація екологічного моніторингу екостану техноприродних систем (ТПС) та забезпечення екологічної безпеки ТРТ, за інтегральною, комплексною оцінкою, на основі науково-методологічних засад її підвищення та розробки моделей: екостану ТПС, екобезпеки ТРТ, з удосконаленням заходів стабілізації, екологічної надійності та збільшенням дієвості моніторингу довкілля, контролю засобів захисту за інтегральними показниками техніко-економічної та соціально-екологічної ефективності (рис. 1, рис. 20).



а. За показниками технічної, екологічної та економічної ефективності (запобіжний (відвернений) екологічний збиток  $W_z$  та екологічний податок за забруднення довкілля  $П_i$ , економічний ефект  $E_i = \sum_{i=1}^{n=7} E_i$ ).

б. Удосконаленням металургійних, технологічних та універсальних засобів зменшення екологічної небезпеки природних, технологічних середовищ.

Рис. 20 – Диференційована характеристика СД, СЗК, МЗП (а) та засоби забезпечення екологічної безпеки, експлуатаційної надійності ТРТ (б)

Удосконалення технологічних, металургійних та універсальних методів забезпе-  
чує підвищення рівня екологічної безпеки ТРТ за показниками тривкості, витривалості  
ТРТ в забруднених природних, технологічних середовищах  $\gamma_T=2.3 \dots 15.5$  (рис. 21).

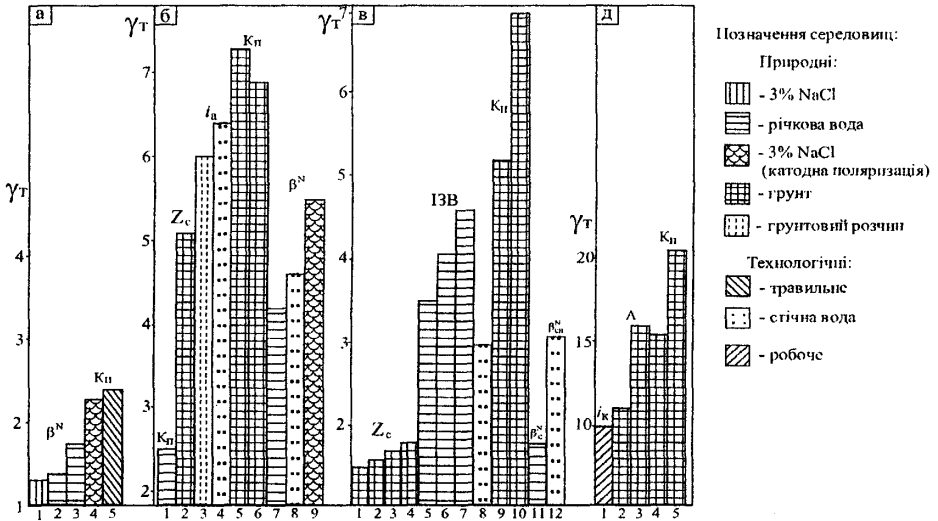


Рис. 21 – Удосконалення технологічних процесів підвищення рівня екологічної безпеки ТРТ:  
а – металургійні (рафінування сталі): 1,2,3,4 – 10Г2ФР (М+FeSe); 5 – 30ХГСНА (ЕШП);  
б – технологічні: 1,2 – зварні з'єднання сталі 16ГФР; 3-9 – поверхнєве зміцнення:  
3-5 – 40Х (БШ); 6 – 30ХГСНА (ВО); 7-9 – сталь 20 (УХ);  
в – універсальний (СЗК, МЗП): 1-4 – ЧАД, ЧеЗаРа, ЧТЕЦ, ЧХВ; 5,6,7 – рр Десна,  
Стрижень, Білоус; 8 – стічна вода; 9,10 – ЧАД; 11 – р. Білоус; 12 – стічна вода;  
д – енергетичне забруднення: 1 – ЕМП; 2-5 – РЗ; сталь 20.

Визначені підконтрольні прогнози токсикологічні показники, класи небезпеки нових СД, СЗК, МОР, МЗП. Всі синергічні добавки відносяться до 3 класу небезпеки – помірно небезпечні речовини. За сумарним індексом токсичності встановлено класи небезпеки:  $K_{СЗК}=11.6$ ;  $K_{МОР}=10.5$ ;  $K_{МЗП-1}=14.65$ .  $K_{МЗП-2}=12.8$ . Отже, розроблені рецептури захисних композицій відповідають екологічним вимогам: це 4 клас небезпеки – малонебезпечні матеріали (табл. 18).

Таблиця 18

Прогнозна екологічна оцінка розроблених захисних композицій

Компоненти	Мас. част.	Параметри токсичності							$K_j$	$K_{\Sigma}$
		ЛД <sub>50</sub> , мг/кг	ГДК <sub>гр</sub> , (ОБРВ), мг/кг	ГДК <sub>рз</sub> , (ОБРВ), мг/м <sup>3</sup>	ГДК <sub>сл</sub> , (ОБРВ), мг/м <sup>3</sup>	ГДК <sub>в</sub> , (ОБР <sub>в</sub> ), мг/дм <sup>3</sup>	ГДК <sub>рг</sub> , (ОБР <sub>рг</sub> ), мг/дм <sup>3</sup>	$K_j$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1. СЗК-2										
1.1. К	0.485	9182	1.41	7.33	0.09	0.61	0.061	5.00	4 клас небезпечні	
1.2. МП	0.485	21550	1.32	36.72	0.22	0.53	0.053	6.95		
1.3. ФГ	0.020	6000	200.00	6.00	0.60	3.50	0.350	126.0		
1.4. СД-1	0.010	4100	1.22	3.28	0.08	0.21	0.021	328.2		

Закінчення табл. 18.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$K_{СЗК-2}=5 \cdot 0.485+6.95 \cdot 0.485+1.26 \cdot 0.02+328.2 \cdot 0.01=11.6.$									
2. МОР-2									
2.1. АС-8	0.495	6500	1.25	5.00	0.50	0.30	0.030	7.64	10.50 4 клас небезпеки
2.2. МП	0.495	21550	1.32	36.72	0.22	0.53	0.053	6.95	
2.3. СД-1	0.01	4100	1.22	3.28	0.08	0.21	0.021	328.2	
$K_{МОР-2}=7.69 \cdot 0.495+6.95 \cdot 0.495+328.2 \cdot 0.01=10.5.$									
3. МЗП-1									
3.1. ГФ-1	0.764	6250	1.25	5.00	0.06	0.30	0.030	5.00	14.65 4 клас небезпеки
3.2. МП	0.192	21550	1.32	36.72	0.22	0.53	0.053	6.95	
3.3. ОЧСА	0.011	5625	1.30	4.50	0.09	0.50	0.150	178.6	
3.4. НФП	0.011	7500	1.25	6.00	0.11	0.30	0.110	182.5	
3.5. НП	0.011	9000	1.50	7.20	0.12	2.00	0.200	356.2	
3.6. СД-9	0.011	1288	1.19	1.03	0.04	0.10	0.020	146.0	
$K_{МЗП-1}=5 \cdot 0.764+6.95 \cdot 0.192+0.001(178.6+182.55+356.2+146)=14.65.$									
4. МЗП-2									
4.1. ЕД-20	0.465	7500	1.19	1.00	0.04	0.10	0.010	8.61	12.80 4 клас небезпеки
4.2. КВС	0.465	1250	1.21	1.00	0.04	0.15	0.015	6.26	
4.3. К	0.020	9182	1.41	7.33	0.09	0.61	0.061	5.00	
4.4. МП	0.020	21550	1.32	36.72	0.22	0.53	0.053	6.95	
4.5. ФГ	0.020	6000	200.00	6.00	0.60	3.50	0.350	126.0	
4.6. СД-1	0.010	4100	1.22	3.28	0.08	0.21	0.021	328.2	
$K_{МЗП-2}=(8.16+6.26) \cdot 0.465+(5+6.95) \cdot 0.02+328.2 \cdot 0.01=12.80.$									
Розроблені рецептури захисних композицій (СЗК-2, МОР-2, МЗП-1, МЗП-2) відповідають екологічним вимогам. Це 4 клас небезпек – малонебезпечні речовини									

Розроблені СЗК мають екологічні переваги перед відомими:

	ПДА	КІ-1	ХОСП-10	МСДА	СД1	К	МП	СЗК-2
ЛД <sub>50</sub> , мг/кг	233	420	725	950	4100	9182	21550	15343
Клас небезпеки	2	2	2	2	3	3	3	4
ГДК <sub>рвкл</sub> (ОБРВ), мг/м <sup>3</sup>	0.8/0.005	0.8/0.006	0.9/0.006	1/0.008	3.28/0.08	7.33/0.09	36.72/0.22	22/0.15
ГДК <sub>в</sub> (ОДР <sub>в</sub> ), мг/л	0.01	0.01	0.02	0.01	0.21	0.61	0.53	0.57
Клас небезпеки	2	2	2	3	3	4	4	4

Одержана прогнозна оцінка відверненого екологічного збитку утилізацією відходів в складі СЗК, МОР, МЗП та очікуваного сумарного економічного ефекту скасуванням екологічних податків за забруднення довкілля (табл. 19) за рахунок утилізації відходів в захисних композиціях.

На основі проведених досліджень, виконаних за 2000-2015 рр., розроблені, апробовані та впроваджені у виробництво наукові та практичні розробки, рекомендації з утилізації відходів виробництва та споживання, як вторинної сировини, в складі СЗК, МЗП, МОР для забезпечення екологічної безпеки, експлуатаційної надійності трубопроводів в НГК, ПЕК, МБК в природних та технологічних середовищах: на Гнідинцівському заводі по переробці газу та стабілізації нафти ВАТ «Укрнафта», у Чернігівському лінійному виробничому управлінні магістральних газопроводів – для обробки СЗК зон аномального забруднення ґрунту важкими металами, активних до трубової сталі (СЗК комплексної дії захищено патентом України); на Чернігівській теплоелектроцентралі ТОВ фірми «ТехНова», ВАТ «Чернігівське хімволокно» –



СЗК, МОР, МЗП, методики екологічного моніторингу та одержання ПСЕЕ (табл. 19); ВАТ «Чернігівавтозавод» – з раціонального вибору сталі, з врахуванням складу НМВ, легуючих добавок, з мінімізацією забруднення довкілля, інноваційні технології зварювання, поверхневого зміцнення сталі, СЗК, МЗП та МОР (для механічної обробки деталей, карданних валів, із зниженням екологічних збитків довкіллю).

Таблиця 19

**ПСЕЕ на основі техніко-економічної та соціально-екологічної ефективності утилізації відходів в захисних композиціях для підвищення техногенної безпеки ТРТ**

Композиції	W, грн/рік	ПСЕЕ (E <sub>Σ</sub> , грн/рік)							ПСЕЕ
		E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>5</sub>	E <sub>6</sub>	E <sub>7</sub>	
1. СЗК-2	22624.63	16497.39	3299.48	6598.96	59880	140120	55000	9264.48	290660.31
2. МОР-2	39994.06	8262.00	1649.74	3299.48	29940	70060	55000	–	168211.22
3. МЗП-1	17329.32	3349.94	669.99	1339.98	12840	29960	55000	–	103159.91
4. МЗП-2	140389.49	14837.05	2967.41	5934.82	31410	73290	55000	181258.84	364698.12
Всього	220337.5								926729.56

Окрім наукові та прикладні розробки дисертації впроваджено у навчальний процес у Чернігівському національному технологічному університеті, в Державній екологічній академії (у дипломні, курсові роботи, проекти, лекційні курси, лабораторні практикуми, методичні посібники та рекомендації), а також в практику роботи Державної екологічної інспекції в Чернігівській обл.

## ВИСНОВКИ

У дисертації наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення наукової та прикладної проблеми підвищення рівня екологічної безпеки трубопровідного транспорту, в природних та технологічних середовищах, в умовах дії на нього техногенного забруднення, з врахуванням металургійних та технологічних факторів, синергічними захисними композиціями та модифікованими захисними покриттями на вторинній сировині (з утилізацією регіональних відходів), які, за рахунок мегалохелатування, забезпечують:

- екологічну надійність підводного, підземного ТРТ, з додержанням нормативів шкідливих впливів на довкілля;
- техніко-економічну, соціально-екологічну ефективність захисту довкілля від екодеструктивних техногенних впливів;
- екологізацію економіки, із збалансованим природокористуванням: скасування втрат енергетичної сировини, недоодержаного продукту, компенсаційних затрат на ліквідацію наслідків техногенних аварій (техногенне забруднення ґрунту, поверхневих вод, флори, фауни, пошкоджень ТРТ та ін.).

1. На основі теоретичного та експериментального обґрунтування допустимих рівнів техногенного впливу на техноприродні системи, за уніфікованою комплексною оцінкою, розроблено науково-методологічні засади та заходи стабілізації й вирішення проблеми забезпечення екологічної безпеки трубопровідного транспорту реалізацією моделей: екостану ТПС, екобезпеки ТРТ, з удосконаленням методів підвищення рівня екологічної надійності споруд та збільшення дієвості екологічного моніторингу, контролю засобів захисту за інтегральними показниками техніко-економічної та соціально-екологічної ефективності.

2. Розвинуто й поглиблено теоретичні уявлення про основні закономірності забезпечення екологічної безпеки від екодеструктивних процесів, техногенного впливу металохелатуючими синергічними захисними композиціями, в складі добавок, гальмуючих руйнацію трубних сталей, модифікованих захисних покриттів, МОР, які базуються на:

- врахуванні металургійної та технологічної спадковості трубних сталей;
- виявленні нових впливових факторів на екологічну безпеку ТРТ: вміст важких металів в ґрунті, стічних, поверхневих водах, хімічна природа неметалевих включень, катодні легуючі добавки в сталі, що можуть обумовлювати локалізацію водню на міжфазових границях в сталі та сприяють техногенним аваріям;
- визначенні вкладів хімічного, електрохімічного механізмів взаємодії трубних сталей із забрудненим середовищем, парціальних захисних ефектів та їх кореляції з коефіцієнтами гальмування розтріскування, водневої деградації, малоциклової втоми, як основних причин техногенних аварій.

3. Охарактеризована екологічна обстановка навколо 4-х екологічно небезпечних об'єктів м. Чернігова з визначенням екологічного стану ТПС з ТРТ за комплексною уніфікованою оцінкою техногенного впливу (від напруженого до критичного).

4. Розроблено наукові принципи створення СЗК, МЗП на вторинній сировині (з утилізацією відходів ВАТ «Хімволокно», РХП «Азот» та ін.) для підвищення рівня екологічної безпеки, безаварійності ТРТ в забруднених природних (ґрунт, поверхневі води, з різними рівнями забруднення) та технологічних середовищах (стічні води екологічно-небезпечних підприємств та ін.), при дії енергетичного забруднення: акустичного (вібрації), ЕМП (ЕП, МП), радіаційного, які полягають в кількісній оцінці і встановленні чисельних функціональних залежностей фізико-хімічних характеристик СЗК, МЗП (адсорбційні, захисні властивості за диференційованими парціальними показниками, електронними та термодинамічними параметрами СД – 6 груп ГТЦ (33 СД)), від сумарних показників техногенного забруднення.

5. Показано, що СЗК, МЗП-1 (на модифікованій гліфталевій смолі) та МЗП-2 (на епоксидній смолі) зберігають свою ефективність захисту на зварних з'єднаннях трубних сталей в умовах дії ЕМП: в річковій воді (ІЗВ=3...3.9):  $Z=95.7$ ,  $K=99.9$ ,  $K_H=76.3\%$ ,  $K_{KP}=110.1$ ; при дії радіоактивного забруднення ( $\gamma_T=11...16$ ,  $Z$  до 95.2%). Рецептури розроблених ефективних захисних композицій – СЗК, МЗП, МОР (мастильно-охолоджувальних рідин) відповідають екологічним вимогам. За прогнозою екологічної оцінкою сумарний індекс токсичності  $K_E$  складає для оптимальних захисних композицій:  $K_{СЗК-2}=11.6$ ,  $K_{МЗП-1}=14.65$ ,  $K_{МЗП-2}=12.8$ ,  $K_{МОР-2}=10.5$ . Це 4 клас безпеки – малонебезпечні речовини.

6. Вперше встановлено оптимальний режим інноваційної технології зварювання пизьколегованих трубних сталей (АДЗ з об'ємним термозміцненням), що знижує забрудненість ґрунту за  $Z_C$  в 14.3...18.4 рази перед РДЗ та обумовлює значний природоохоронний ефект: категорія забрудненості із IV (надзвичайно забруднений ґрунт) переходить в I – допустиму. Технологічна ефективність інноваційної технології –  $\gamma_T=5.1$ , за показником тривкості трубної сталі в ґрунті (група тривкості – 3 (тривкі), бал – 5).

7. Встановлено, що удосконаленням металургійних методів, щодо підвищення ефективності рафінування сталі від небезпечних НМВ, забезпечується зниження матеріалоємності та енергоємності ТРТ та екологічної безпеки при експлуатації в

поверхневих водах, з додержанням нормативів шкідливих впливів на довкілля:  $\gamma_T=f(\text{IЗВ})$ ,  $\gamma_T=1.4\dots 1.5$ , максимальні  $\gamma_T$  при легуванні трубної сталі 09ХГ2НАБЧ катодними добавками спостерігали при 0.3 Sb, 1.0 Cu, мас. % ( $\gamma_T=1.3\dots 2.4$ ).

8. Вперше оцінена, в умовах дії техногенного забруднення на ТРТ, технологічна ефективність поверхневого зміцнення «на білий шар» щодо підвищення рівня екологічної безпеки трубних сталей:  $\gamma_T$  в стічних та поверхневих водах становить 1.7...6.4 (за тривкістю), в забрудненому ґрунті ( $Z_C=61$ ),  $\gamma_T=7.3$ ;  $\gamma_T$  при віброзміцненні сталей 20, 30ХГСНА, 12Х18Н10Т та обробці ударною хвилею становить  $\gamma_T=1.9\dots 3.6$  (річкова вода); в ґрунті ( $Z_C=61$ ):  $\gamma_T=6.9$  (сталь 30ХГСНА, віброзміцнення). Удосконалення обробки сталі 40Х «на білий шар», із застосуванням при шліфуванні МОР-2 (з СЗК) значно підвищує коефіцієнт технологічної ефективності (в стічних, поверхневих водах  $\gamma_T=3.1\dots 9.0$ , в ґрунті –  $\gamma_T=13.1$ ).

9. Одержано позитивний синергійний екологічний ефект (ПСЕЕ), який формується на основі 12 позитивних екологічних ефектів (ПЕЕ): ПЕЕ-1-5 – технологічними (прямими, непрямими) методами удосконалення технологічних процесів; ПЕЕ-6-12 – організаційно-технічними методами (локалізацією ТЗ та очисткою повітря, стічних вод, ґрунту від ТЗ). ПСЕЕ підтверджено в роботі техніко-економічною та соціально-екологічною ефективністю: відверненням екологічним збитком ( $W_\Sigma=220337.5$  грн/рік) та очікуваною економією  $E_\Sigma=\sum_{i=1}^7 E_i$ , що складає 926729.56 грн/рік, включаючи скасування відшкодування за наднормативне забруднення атмосферного повітря, водойм, ґрунту.

10. Реалізація розроблених науково-методологічних засад підвищення рівня екологічної безпеки ТРТ на практиці здійснено впровадженням наукових розробок та практичних рекомендацій на виробництві: Гнідинцівському заводі по переробці газу та стабілізації нафти, Чернігівському лінійному виробничому управлінні магістральних газопроводів, Чернігівській ТЕЦ ТОВ фірми ТехНова, ВАТ «ЧеЗаРа», ВАТ «ЧХВ», ВАТ «Чернігівавтозавод». Окремі наукові розробки та практичні рекомендації впроваджено в практику роботи Державної екологічної інспекції та навчальний процес: лекційні курси, лабораторні практикуми, дипломні проекти, методичні посібники з екологічної безпеки та експлуатаційної надійності трубопровідного транспорту.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці за основними науковими результатами дисертації у фахових виданнях:

1. Старчак В.Г. Вплив неорганічних забруднювачів на протикорозійний захист сталі / В.Г. Старчак, І.А. Костенко, С.Д. Цибуля, О.О. Вервейко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету (ЧДТУ). – Чернігів: ЧДТУ, 2000. – №10. – С.128-133. *Автором встановлено вплив важких металів на тривкість та витривалість трубних сталей та ефективність їх захисту.*
2. Старчак В.Г. Шляхи підвищення ефективності протикорозійного захисту сталі від корозійно-механічного руйнування в агресивних середовищах / В.Г. Старчак, О.І. Сиза, С.Д. Цибуля, Ж.В. Замай, О.Г. Мартинюк // Фіз.-хім. механіка матер. – Спец. випуск. – 2000, №1. – Т.1. – С.746-751. *Автору належить теоретичне та експеримен-*

*тальне обґрунтування використання методів поверхневого зміцнення сталі для підвищення тривкості та витривалості в технологічних середовищах.*

3. Старчак В.Г. Про концептуальні моделі підготовки студентів механічних та технологічних спеціальностей ВНЗ України з еколого-корозійних проблем / В.Г. Старчак, С.Д. Цибуля, І.А. Костенко // Фіз.-хім. механіка матер. – Спец. випуск. – 2000, №1. – Т.1. – С. 765-767. *Автору належать концептуальні моделі учбових завдань з екологічного моніторингу, впливу агресивних середовищ на технічні споруди, диференційована оцінка екологічної ситуації.*

4. Старчак В.Г. Влияние энергетического загрязнения на эффективность противокоррозионных материалов / В.Г. Старчак, И.А. Костенко, С.Д. Цибуля, А.Г. Мартинюк, О.А. Вервейко // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2001. – № 3. – С. 19-24. *Автору належать науково-методологічні засади підвищення рівня екобезпеки модифікацією захисних покриттів в умовах дії електромагнітних полів.*

5. Старчак В.Г. Підвищення довговічності конструкційних матеріалів модифікацією поверхні / В.Г. Старчак, С.А. Наумчик, Т.А. Горбунова, С.Д. Цибуля // Вісник ЧДТУ. – 2001. – №13. – С. 107-111. *Автору належить обґрунтування вибору оптимальної синергічної добавки комплексним системним кореляційним аналізом для підвищення тривкості трубних сталей в цілому руйнуванню.*

6. Старчак В.Г. Ресурсозбереження при використанні композиційних матеріалів в агресивних середовищах / В.Г. Старчак, Т.А. Горбунова, С.Д. Цибуля // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2001. – №6. – С.26-29. *Автором доведена перспективність використання В-А1 композиційних матеріалів в технологічних середовищах.*

7. Старчак В.Г. Наукові принципи підвищення довговічності, експлуатаційної надійності та безпеки конструкційних матеріалів в агресивних середовищах / В.Г. Старчак, О.І. Сиза, С.Д. Цибуля, С.А. Наумчик, О.О. Вервейко // Фіз.-хім. механіка матер. – Спецвип. – 2002. – Т. 2, №3. – С. 738-741. *Автору належить модифікація поверхні трубопровідної сталі синергічними добавками та модифікованими захисними покриттями для підвищення її тривкості та витривалості в технологічних агресивних середовищах.*

8. Старчак В.Г. Ресурсозберігаючі екотехнології в інгібіторному захисті металів / В.Г. Старчак, Ж.В. Замай, С.А. Наумчик, С.Д. Цибуля // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2002. – №6. – С. 20-24. *Автором обґрунтовано підвищення ефективності захисних композицій для технологічних середовищ та їх екологічну перевагу, особливо в умовах в цілому руйнування, основної причини техногенних аварій.*

9. Старчак В.Г. Эффективность упрочняющей экотехнологии в условиях малоциклового усталости стали / В.Г. Старчак, С.Д. Цибуля, П.И. Чередниченко, А.Г. Мартинюк, О.А. Вервейко // Тяжелое машиностроение. – 2002. – №3. – С. 22-27. *Автору належить оцінка ефективності використання синергічних захисних композицій для підвищення витривалості трубних сталей та забезпечення екобезпеки ТРТ в технологічних середовищах.*

10. Старчак В.Г. Активізація протикорозійних олігомервмісних синергічних мастильно-охолоджувальних рідин на вторинній сировині / В.Г. Старчак, О.Г. Мартинюк, С.Д. Цибуля, О.О. Вервейко // Фіз.-хім. механіка матер. – 2002. – Т. 38. – №1. – С. 93-97. *Автором запропоновано удосконалення технологічних методів підвищення*

рівня екобезпеки трубопровідного транспорту застосуванням в складі мастильно-охолоджувальних рідин олігомервмісних захисних композицій.

11. Старчак В.Г. Вплив металургійного фактору на корозійно-електрохімічну поведінку сталі X18N10T / В.Г. Старчак, С.Д. Цибуля, О.І. Сиза, Н.П. Буяльська // Вісник ЧДТУ. – 2002. – №15. – С. 145-148. *Автором встановлено вплив забрудненості сталі неметалевиими включеннями на кінетичні та термодинамічні параметри руйнування та захисту сталі.*

12. Старчак В.Г. Хімічні основи трансформації некондиційних пестицидів в складі протикорозійних матеріалів / В.Г. Старчак, Н.П. Буяльська, С.Д. Цибуля, О.І. Сиза // Екотехнології та ресурсосбереження. – 2003. – №6. – С. 34-38. *Автором доведена доцільність застосування захисних композицій для хімічної, електрохімічної очистки теплоенергетичного обладнання від солевідкладень, з використанням вторинної сировини.*

13. Старчак В.Г. До механізму захисту хімічного, енергетичного обладнання від корозії та корозійно-механічного руйнування / В.Г. Старчак, Н.П. Буяльська, С.Д. Цибуля, О.Г. Мартинюк // Хімічна промисловість. – 2003. – №6. – С. 64-67. *Автору належить вибір оптимальної синергічної добавки в складі синергічної захисної композиції на основі відходів хімічних виробництв, комплексним системним кореляційним аналізом, для захисту та підвищення рівня екобезпеки трубопроводів енергетичного обладнання при їх хімічній очистці.*

14. Цибуля С.Д. Запобігання техногенних аварій підвищенням корозійної тривкості металоконструкцій / С.Д. Цибуля // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2004. – №4. – С. 35-41. *Автору належить теоретичне та експериментальне обґрунтування допустимих рівнів техногенного впливу на довкілля, технічні споруди із запобіганням техногенних аварій.*

15. Наукові основи підвищення екологічної безпеки металоконструкцій модифікацією їх поверхні у протикорозійному захисті / В.Г. Старчак, Н.П. Буяльська, С.Д. Цибуля // Фіз.-хім. механіка матер. – Спецвип. №4. – 2004. – Т. 2. – С. 853-859. *Автору належить наукове обґрунтування вибору синергічних добавок в захисні композиції для підвищення рівня екобезпеки.*

16. Старчак В.Г. Ресурсозбереження у протикорозійному захисті зварних з'єднань трубних сталей / В.Г. Старчак, С.Д. Цибуля, О.Г. Мартинюк, К.М. Іваненко // Екотехнології та ресурсосбереження. – 2004. – №3. – С. 28-31. *Автору належить техніко-економічне та екологічне обґрунтування використання регіональних відходів для створення синергічних композицій для підвищення тривкості, витривалості та екобезпеки зварних з'єднань трубних сталей.*

17. Старчак В.Г. Ресурсосбереження в технології хімічної очистки енергетического обладнання / В.Г. Старчак, Н.П. Буяльська, С.Д. Цибуля, А.Г. Мартинюк // Екотехнології та ресурсосбереження. – 2004. – №1. – С. 19-24. *Автору належить наукове обґрунтування застосування нової синергічної захисної композиції на вторинній сировині для підвищення тривкості трубної сталі, витривалості технологічних трубопроводів на ЧТЕЦ, рівня екобезпеки ТРТ та ресурсозбереження.*

18. Старчак В.Г. Підвищення екологічної безпеки та надійності металоконструкцій металургійними та технологічними методами / В.Г. Старчак, С.О. Олексієнко, С.Д. Цибуля, О.Г. Мартинюк // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. –

2004. – №2. – С. 75-78. *Автором запропоновано ефективні металургійні та технологічні методи підвищення рівня екологічної безпеки, для оптимізації екостану техноприродних систем з трубопровідним транспортом, як екологічно небезпечним об'єктом.*

19. Старчак В.Г. Повышение долговечности бороалюминиевого композита в агрессивных средах / В.Г. Старчак, Т.А. Горбунова, С.Д. Цыбуля, И.А. Костенко // Процессы литья. – 2004. – №4. – С. 47-51. *Автору належать основні закономірності підвищення тривкості, витривалості, екобезпеки В-АІ-композиту в технологічних агресивних середовищах.*

20. Цибуля С.Д. Наукові основи підвищення техногенної безпеки експлуатації технічних споруд екологічно-небезпечних виробництв / С.Д. Цибуля // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2005. – №6. – С. 73-81. *Автору належать теоретичне та експериментальне обґрунтування застосування удосконалених технологічних та металургійних процесів, для підвищення рівня екобезпеки експлуатації металокопункцій.*

21. Старчак В.Г. Повышение надежности, долговечности, экологической безопасности конструкционных материалов наномасштабным поверхностным металлохелатированием / В.Г. Старчак, С.А. Алексеенко, С.Д. Цыбуля, К.Н. Иваненко, Н.П. Буяльская // Техника машиностроения. – 2006. – №2(58). – С. 64-70. *Автору належить встановлення основних закономірностей підвищення екобезпеки трубних сталей поверхневим наномасштабним металлохелатуванням.*

22. Старчак В.Г. Роль металлургических факторов в ресурсосбережении металлофонда Украины / В.Г. Старчак, С.А. Алексеенко, С.Д. Цыбуля, К.Н. Иваненко // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2006. – № 3. – С.17-21. *Автором запропоновано удосконалення металургійних процесів як заходів стабілізації та вирішення проблеми поліпшення стану довкілля та ресурсозбереження металлофонду України.*

23. Старчак В.Г. Підвищення корозійної стійкості, довговічності та екологічної безпеки конструкційних матеріалів поверхневою модифікацією /В.Г. Старчак, С.Д. Цибуля, С.О. Олексієнко, К.М. Іваненко // Фіз.-хім. механіка матер. – 2006. Спецвип. № 5. – Т. 2. – С. 883-888. *Автору належить наукове обґрунтування допустимих рівнів впливу металургійних, технологічних чинників на ефективність поверхневої модифікації трубної сталі та зварних з'єднань синергічними захисними композиціями, для створення умов надійної безпеки складових навколишнього середовища.*

24. Цибуля С.Д. Вплив неметалевих включень в сталі 20 на її інгібування в корозійно-наводнювальних середовищах / С.Д. Цибуля // Фіз.-хім. механіка матер. – 2008. – Спецвип. № 7. – Т. 2. – С. 599-605. *Автору належить удосконалення металургійних процесів по вибору трубних сталей за неметалевими включеннями.*

25. Старчак В.Г. Небезпека впливу неметалевих включень на водневу деградацію сталі / В.Г. Старчак, С.О. Олексієнко, К.М. Іваненко, С.Д.Цибуля // Вісник Українського матеріалознавчого товариства. – 2008. – №1. – С. 122-141. *Автором визначено сумісний вплив забрудненого середовища та неметалевих включень на тривкість та витривалість трубних сталей та зварних з'єднань, негативний диференц-ефект.*

26. Старчак В.Г. Технологические методы экотехнологии защиты окружающей природной среды / В.Г. Старчак, С.Д. Цибуля, И.Д. Пушкарёва // Экотехнологии и

ресурсосбереження. – 2008. – № 1. – С. 49-51. *Автором досліджено ефективність технологічних методів поверхневого зміцнення сталей для підвищення екобезпеки їх експлуатації в забруднених поверхневих водах.*

27. Цибуля С.Д. Вплив техногенного забруднення поверхневих вод на тривкість металоконструкцій / С.Д. Цибуля // Фіз.-хім. механіка матер. – 2010. – Спецвип. № 8. – Т. 2. – С. 822-825. *Автором встановлено основні закономірності техногенного впливу інгредієнтного забруднення поверхневих вод на екобезпеку металоконструкцій екологічно небезпечних об'єктів.*

28. Старчак В.Г. Теоретичні та прикладні аспекти збалансованого природокористування в техноприродних системах / В.Г. Старчак, І.Д. Пушкарьова, С.Д. Цибуля, Н.П. Буяльська // Вісник НУ «Львівська політехніка». – 2010. – №667. – С. 314-316. *Автором розроблено науково-методологічні засади створення синергічних захисних композицій на вторинній сировині, для забруднених поверхневих вод, що забезпечує збалансоване природокористування в техноприродних системах та екологічну безпеку ТРТ.*

29. Старчак В.Г. Інтегральна оцінка в аналізі та управлінні регіональною екологічною безпекою / В.Г. Старчак, С.Д. Цибуля, І.Д. Пушкарьова, Н.П. Буяльська // Екологічна безпека. – 2010. – №2(10). – С. 7-11. *Автором розроблено систему екологічного моніторингу та управління регіональною екологічною безпекою заходами стабілізації та поліпшення стану довкілля.*

30. Старчак В.Г. Екологічні проблеми у протикорозійному захисті / В.Г. Старчак, С.Д. Цибуля, І.Д. Пушкарьова // Екологічна безпека. – 2011. – №2 (12). – С. 29-32. *Автору належить удосконалення інноваційних ресурсо- та енергозберігаючих, технологій захисту трубопровідного транспорту в умовах техногенного впливу.*

31. Старчак В.Г. Утилізація виробничих відходів у захисних покриттях / В.Г. Старчак, С.Д. Цибуля, О.О. Савлук, Н.П. Буяльська, І.Д. Пушкарьова // Вісник Кременьчущого національного університету ім. М.Остроградського. – 2011. – Випуск 6 (71), Ч. 1. – С. 153-156. *Автором визначено технологічну ефективність модифікованих захисних покриттів, з використанням вторинної сировини, для підвищення рівня техногенно-екологічної безпеки трубопровідного транспорту, з одержанням економії матеріальних та енергоресурсів.*

32. Старчак В.Г. Забруднення природного середовища важкими металами та формування екотоксикологічної ситуації й екологічної небезпеки / В.Г. Старчак, С.Д. Цибуля, Г.М. Мачульський, Т.М. Поліщук // Наук. записки ТНУ ім. В. Гнатюка. – 2011. – №2 (47). – С. 137-143. *Автором охарактеризовано екологічну обстановку навколо екологічно небезпечних об'єктів м. Чернігова з визначенням екологічного стану техноприродних систем з ТРТ, за комплексною оцінкою екодеструктивного інгредієнтного техногенного впливу, що формує екотоксикологічну ситуацію та екологічну небезпеку.*

33. Старчак В.Г. Вплив техногенного забруднення на корозійно-електрохімічну поведінку конструкційних металів в техноприродних екосистемах / В.Г. Старчак, С.Д. Цибуля, І.Д. Пушкарьова, Г.М. Мачульський // Вопросы химии и химической технологии. – 2011. – №4 (2). – С. 197-199. *Автором встановлено функціональні залежності між параметрами інгредієнтного забруднення довкілля за сумарними показниками – ІЗВ, Z<sub>c</sub> та екологічною безпекою ТРТ (за тривкістю та витривалістю).*

34. Старчак В.Г. Екологічна безпека трубопровідного транспорту в умовах дії електромагнітних полів / В.Г. Старчак, С.Д. Цибуля, І.Д. Пушкарьова, І.А. Костенко, К.М. Іваненко, Т.М. Поліщук // Вісник Кременчуцького національного університету ім. М.Остроградського. – 2011. – Випуск 1 (66), Ч. 1 – С. 145-148. *Автору належить розробка науково-методологічних засад підвищення рівня екологічної безпеки ТРТ, як ефективного чинника екологізації економіки, при дії електромагнітних полів на зварні з'єднання трубних сталей.*

35. Цибуля С.Д. Комплексне забезпечення якості захисту від корозії / С.Д. Цибуля, В.Г. Старчак, Н.П. Буяльська, Г.М. Мачульський // Вісник ЧДТУ. – 2011. – №4 (53). – С. 151-154. *Автором показано стратегічний шлях комплексного вирішення глобальних екологічних проблем з мінімізацією техногенного забруднення та підвищення рівня техногенно-екологічної безпеки техноприродних систем з ТРТ.*

36. Цибуля С.Д. Комплексне забезпечення екологічної безпеки трубопровідного транспорту / С.Д. Цибуля // Фіз.-хім. механіка матер. – 2012. – Спецвип. № 9. – Т. 2. – С. 773-779. *Автором розроблені моделі екостану техноприродних систем, екобезпеки трубопровідного транспорту з удосконаленням технологічних процесів підвищення експлуатаційної та екологічної надійності споруд.*

37. Старчак В.Г. Противокоррозионная защита как эффективный фактор предотвращения экодеструктивного техногенного влияния на природную среду / В.Г. Старчак, С.Д. Цибуля // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2012. – №6. – С. 35-39. *Автором сформуовано науковообґрунтований підхід до прогнозування забезпечення екологічної безпеки ТРТ в умовах дії техногенного енергетичного забруднення (радіаційно забруднений ґрунт, вібрація).*

38. Старчак В.Г. Вплив екологічної ситуації на протикорозійний захист металоконструкцій / В.Г. Старчак, С.Д. Цибуля, Н.П. Буяльська, І.А. Костенко, К.М. Іваненко // Фіз.-хім. механіка матер. – 2012. – Спецвип. № 9. – Т. 2. – С. 767-772. *Автором розвинуто теоретичні уявлення про механізм, основні закономірності дії екологічних захисних засобів, їх технологічну ефективність щодо зниження техногенного забруднення та підвищення рівня екологічної безпеки ТРТ.*

39. Цибуля С.Д. Компетентністний підхід в підготовці магістрів економічних спеціальностей у ВНЗ – основна вимога Болонської декларації / С.Д. Цибуля // Вісник ЧДТУ. – 2012. – №1(56). – С.60-62. *Автору належить формування екологічної складової серед соціально-особистісних, загальнонаукових, інструментальних та загально-професійних компетенцій.*

40. Цибуля С.Д. Екологічні проблеми в сучасному матеріалознавстві трубопровідного транспорту та шляхи їх вирішення / С.Д. Цибуля, В.Г. Старчак В.Г., К.М. Іваненко // Вісник українського матеріалознавчого товариства. – 2014, №1(7). – С. 155-168. *Автору належить теоретичне та експериментальне обґрунтування уніфікованої балльної оцінки впливу техногенного забруднення на техноприродні системи (ТПС) з трубопровідним транспортом (ТРТ). Шкала комплексної оцінки екобезпеки ТПС з ТРТ.*

41. Старчак В.Г. Оцінка техногенного впливу на екологічну безпеку техноприродних систем / В.Г. Старчак, Г.М. Мачульський, С.Д. Цибуля, О.М. Мачульський // Стандартизація. Сертифікація. Якість. – 2014, №3(88). – С. 53-58. *Автору належить*



*встановлення екостану ТПС з ТРТ за уніфікованою балльною оцінкою та підвищення рівня екобезпеки ТРТ удосконаленням технологічних процесів.*

#### Патенти:

42. Патент України на винахід № 80288, МПК (2006) C23F 11/04 11/08 11/10, C23G 1/02. Інгібуюча корозію композиція для хімічної очистки енергетичного обладнання / В.Г. Старчак, Н.П. Буяльська, С.Д. Цибуля, С.О. Олексієнко, К.М. Іваненко. №а200501117; заявл. 07.02.2005; опубл. 10.09.2007, Бюл. №14. *Автору належать розробка методології дослідження та аналіз отриманих результатів.*

43. Патент України на корисну модель №66437, МПК (2011.01), C23F 11/00, A01B 79/00. Композиція для зменшення забруднення ґрунту важкими металами як небезпечними екологічно-корозійними агентами / В.Г. Старчак, С.Д. Цибуля, І.Д. Пушкарьова, Г.М. Мачульський. – №u201103550; заявл. 25.03.2011; опубл. 10.01.2012, Бюл. №1. *Автору належать експериментальні та теоретичні результати з вибору нових синергічних добавок, механізм дії СЗК, функціональні залежності захисних показників від сумарних показників забруднення ґрунту.*

#### Опубліковані праці апробаційного характеру:

44. Ecology danger of the hydrogen degradation materials / V. Starchak, O. Siza, S. Tcibula, N. Buyalskaya // Hydrogen materials science. – Kiev: IPM NASU, 2001. – P. 850-853. *Автором запропоновано СЗК для підвищення рівня екобезпеки ТРТ за рахунок запобігання водневої деградації трубної сталі.*

45. Старчак В.Г. До методології попередження техногенних аварій / В.Г. Старчак, С.Д. Цибуля, Н.П. Сбітнева // Техногенно-екологічна безпека регіонів як умова сталого розвитку України: матеріали другої науково-практичної конференції, 16-19 квітня 2002 р., м. Львів. – Київ: Тов. «Знання» України, 2002. – С.228-230. *Автором розроблено науково-методологічні засади попередження техногенних аварій на ТРТ підвищенням рівня його екологічної безпеки за рахунок удосконалення екологічній захисту універсальним технологічним методом із залученням ефективних захисних композицій.*

46. Економічна та екологічна ефективність прогресивних засобів захисту сталі та зварних з'єднань в агресивних середовищах / В.Г. Старчак, С.Д. Цибуля, О.І. Сиза, Н.П. Сбітнева // Захист навколишнього середовища і безпека у зварювальному виробництві: праці I-ої Міжнародної науково-практичної конференції, 11-13 вересня 2002 р., м. Одеса. – Одеса: ФХІ ЗНСІЛ, ІЕЗ НАНУ ім. Є.Патона, 2002. – С. 563-567. *Автором встановлено технологічна ефективність захисту сталі та зварних з'єднань за рахунок удосконалення металургійних (вибір сталі за неметалевиими включеннями) та технологічних (оптимальних режимів зварювання, використання синергічних захисних композицій) методів.*

47. Hydrogen role on the cotechnology of an energetic equipment cleaning / V.G. Starchak, N.P. Buyalskaya, S.D. Tcibula a.o. // Hydrogen Materials Science & Chemistry of Carbon Nanomaterials. ICHMS'2003. Sudak-Crimea-Ukraine. – P. 1004-1007. *Автором встановлено негативну роль наводнювання в екологічній очистки трубопроводів енергетичного обладнання правильними розчинами та її зменшення із запропонованою синергічною захисною композицією.*

48. Старчак В.Г. Кінетика адсорбції інгібіторів в електричному полі / В.Г. Старчак, С.Д. Цибуля, О.О. Вервейко // Екологія. Людина. Суспільство.: збірка тез доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції, 14-17 травня 2003 р., м. Київ. – К.: ІВЦ “Вид. “Політехніка””, 2003. – С. 194-195. *Автором встановлено закономірності впливу електричного поля на витривалість трубних сталей в забруднених технологічних середовищах.*

49. Екологічна безпека хімічної очистки енергетичного обладнання / В.Г. Старчак, С.Д. Цибуля, Н.П. Буяльська, К.В. Давидова // Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів: збірка доповідей II Міжнародної наукової конференції, 15-17 квітня 2003 р., м. Донецьк. – Донецьк: ДонНТУ, 2003. – С. 97-98. *Автору належить теоретичне та експериментальне обґрунтування використання відходів хімічних виробництв та синергічних добавок в складі захисних композицій для підвищення рівня екологічної безпеки хімічної очистки енергетичного обладнання.*

50. Старчак В.Г. Підвищення надійності та екологічної безпеки експлуатації обладнання нафтогазового комплексу / В.Г. Старчак, С.Д. Цибуля, Н.П. Буяльська та ін. // Екологічні проблеми нафтогазового комплексу: збірник матеріалів науково-практичної конференції, 23-27 лютого 2004 р., м. Яремча. – Київ: Тов. “Знання” України, 2004. – С. 96-99. *Автором розроблено науково-методологічні засади та запропоновано основні наукові критерії вибору синергічних добавок в синергічні захисні композиції та модифіковані захисні покриття для підвищення рівня екологічної безпеки, ефективності захисту обладнання нафтогазового комплексу.*

51. Повышение долговечности материалов наномасштабным поверхностным металлохелатированием / В.Г. Старчак, С.Д. Цибуля, Т.А. Горбунова и др. // Современное материаловедение: достижения и проблемы (MMS-2005): тезисы докладов международной конференции, 26-30 сентября 2005 г., г. Киев. – Киев: ИПМ НАНУ, 2005. – С. 540-541. *Автором доведена технологічна ефективність підвищення рівня екологічної безпеки ТРТ в агресивних середовищах наномасштабним поверхневим металлохелатуванням трубних сталей та зварних з'єднань, з врахуванням їх забруднення неметалевиими включеннями.*

52. Научно-техническое обеспечение техногенной безопасности технических сооружений / В.Г. Старчак, С.Д. Цибуля, К.Н. Иваненко, С.А. Алексеенко // Материалы 4-й Международной выставки и конгресса по управлению отходами, 31 мая – 3 июня 2005 г., г. Москва. – М.: СИБИКО Интерн., 2005. – С. 204-205. *Автором, за комплексною диференційованою оцінкою технічної, соціально-економічної та екологічної ефективності обґрунтовано доцільність утилізації виробничих відходів в складі синергічних захисних композицій та модифікованих захисних покриттів.*

53. Цибуля С.Д. Синергические металлохелатирующие композиции для защиты трубной стали 09ХГ2НАБЧ // Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях: материалы шестой ежегодной международной конференции, 20-24 февраля 2006 г., п. Славское, Карпаты. – К.: УИЦ «Наука. Техника. Технология», 2006. – С.203-206. *Автором теоретично та експериментально доведено перспективність комплексного підвищення рівня екобезпеки ТРТ металургійними (легування сталі 09ХГ2НАБЧ Cu, Sb) та універсальни-*

ми технологічними методами (синергічними металохелатуючими захисними композиціями).

54. Повышение экологической безопасности и долговечности металлоконструкций в агрессивных средах / В.Г. Старчак, К.Н. Иваненко, С.Д. Цыбуля и др. // Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов (ОТТОМ-7): сборник докладов 7-й международной конференции, 24-28 апреля 2006 г., г. Харьков. – Харьков: ИПЦ «Контраст», 2006. – С. 321-327. *Автором встановлені основні закономірності оптимізації захисних композицій добавкою синергічних добавок, з обґрунтуванням наукових принципів та критеріїв їх вибору, для підвищення рівня екологічної безпеки ТРТ.*

55. Научные принципы повышения качества и безопасности конструкционных материалов металохелатированием / В.Г.Старчак, С.Д. Цыбуля, А.П. Осовик, И.Д. Пушкарьова // HighMatTech-2007: тезисы докладов международной конференции, 15-19 октября 2007 г., г. Киев. – К.: Вид-во «Академперіодика», 2007. – С. 462. *Автором науково обґрунтовано використання металохелатування СЗК на вторинній сировині для підвищення рівня екобезпеки трубопровідних сталей за показниками тривкості та витривалості в забруднених природних середовищах.*

56. Starchak V.G., Tcibula S.D., Gruznova S.V. The ecology safety, life increasing of the construction materials by a nanoscale metallohelating // Hydrogen Materials Science and Chemistry of Carbon Nanomaterials. ICHMS'2007. X International Conference Sudak – Crimea –Ukraine. September 22-28, 2007. – P. 1042-1045. *Автором теоретично та експериментально доведено, в модельних середовищах нафтогазовидобутку, технологічну ефективність підвищення рівня екобезпеки ТРТ комплексним захистом – легуванням трубної сталі Sb та поверхневим її металохелатуванням.*

57. Цыбуля С.Д. Повышенне техногенной безопасности металлоконструкций. // Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях: материалы восьмой ежегодной международной конференции, 11-15 февраля 2008 г., п. Славское, Карпаты. – К.: УИЦ «Наука. Техника. Технологія», 2008. – С. 482-484. *Автором розроблено науково-методологічні засади та запропоновано шляхи підвищення рівня техногенної безпеки ТРТ удосконаленням технологічних процесів.*

58. Старчак В.Г. Техніко-економічне та соціально-екологічне обґрунтування інженерного захисту потенційно небезпечних техногенних систем / В.Г. Старчак, І.Д. Пушкарьова, С.Д. Цыбуля // Проблеми прогнозування та попередження надзвичайних ситуацій природного, природно-техногенного та техногенного походження: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 5-9 жовтня 2009 р., АР Крим, м. Ялта. – К.: НІПЦ «Екологія, наука, техніка», 2009. – С. 32-34. *Автором обґрунтовано техніко-економічну та соціально-екологічну ефективність підвищення рівня екологічної безпеки потенційно небезпечних техногенних об'єктів удосконаленням технологічних процесів з отриманням позитивного синергічного екологічного ефекту.*

59. Руденко В.П. Геоінформаційні системи в екомоніторингу радіаційного забруднення / В.П. Руденко, І.Д. Пушкарьова, В.Г. Старчак, С.Д. Цыбуля // Новітні досягнення в геодезії. Геоінформатика та землевпорядкування. Європейський досвід: збірник наукових праць. – Чернівці: Вид. ЧДІЕУ, 2009. – С.165-167. *Автором пока-*

*зана перспективність геоінформаційних систем у встановленні зв'язків між ступенем забруднення довкілля та рівнем техногенно-екологічної небезпеки технічних споруд.*

60. Охорона техноприродних екосистем від техногенного забруднення / В.Г. Старчак, І.П. Крайнов, С.Д. Цибуля та ін. // Фальцфейнівські читання: збірник наукових праць IV міжнародної конференції, 21-23 травня 2009 р., м. Херсон. – Херсон: ПП Вишемирський, 2009. – С. 339-342. *Автором запропоновано універсальний технологічний метод охорони техноприродних систем з ТРТ від техногенного забруднення поверхневих вод розробленою синергічною захисною композицією на вторинній сировині.*

61. The surface modification of the metal and composite materials for the nature mediums / V.G. Starchak, S.D. Tcibula, N.P. Bujalska // HighMatTech-2009. – К.: ІПМ НАНУ, УМТ, 2009. – Р. 336, 350. *Автором теоретично та експериментально обґрунтовано науково-методологічні засади підвищення рівня екобезпеки ТРТ поверхневою модифікацією трубної сталі та композитів в умовах техногенного інредієнтного забруднення річкової води.*

62. Теоретичні та прикладні аспекти збалансованого природокористування в техноприродних системах / В.Г. Старчак, С.Д. Цибуля, І.Д. Пушкарьова та ін. // Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування: збірник матеріалів 1-го міжнародного конгресу, 17-19 вересня 2014 р., м. Львів. – Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2009. – С. 72-73. *Автору належать експериментальні дослідження, узагальнення та систематизація їх результатів щодо підвищення рівня екобезпеки техноприродних систем з трубопровідним транспортом в умовах впливу інредієнтного та енергетичного забруднення.*

63. Підвищення техногенно-екологічної безпеки техноприродних систем Чернігівщини / В.Г. Старчак, І.Д. Пушкарьова, С.Д. Цибуля та ін. // Ефективність реалізації научного, ресурсного і промислового потенціала в сучасних умовах: матеріали десятої щорічної міжнародної конференції, 18-22 лютого 2010 г., п. Славське, Карпати. – К.: УІЦ НТТ, 2010. – С. 365-367. *Автором встановлено зв'язки між інтегральними показниками техногенного забруднення довкілля та рівнем екологічної безпеки технічних споруд, воколї екологічно небезпечних підприємств Чернігівщини (ЧТЕЦ, ЧеЗаРа, ЧП "ХВ").*

64. Утилізація промислових відходів у захисних композиціях / В.Г. Старчак, С.Д. Цибуля, І.Д. Пушкарьова, Г.М. Мачульський // Екологія-2011. III Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю: зб. наук. статей, 21-24 вересня 2011 р., м. Вінниця. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – Т. 2. – С. 604-606. *Автором розроблено науково-методологічні засади підвищення рівня екобезпеки ТРТ: моделї екологічного стану техноприродних систем, диференційованої характеристики захисних засобів.*

65. Цибуля С.Д. Об использовании научного потенциала для повышения эффективности защиты трубопроводного транспорта // Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях: материалы двенадцатой международной промышленной конференции, 13-17 февраля 2012 г., п. Плавья, Карпаты. – К.: УІЦ «Наука. Техника. Технологія», 2012. – С. 269-272. *Автором розроблені наукові моделї: визначення рівня впливу забруднення довкілля на екологічну надійність трубопроводів; диференційованої характеристики технічних*

засобів захисту; позитивного синергічного екологічного ефекту; залежностей захисних ефектів від інтегральних показників забруднення агресивних середовищ.

66. Старчак В.Г. Екологічна безпека техногенно-небезпечних об'єктів / В.Г. Старчак, С.Д. Цибуля, Г.М. Мачульський, І.Д. Пушкарьова // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування: збірник матеріалів I Міжнародної науково-практичної конференції, 20-22 вересня 2012 р., м. Івано-Франківськ. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2012. – С. 122-125. *Автору належать розрахунки та наукове обґрунтування допустимих рівнів впливу техногенного забруднення ґрунту на ТРТ та розробка науково-методологічних засад підвищення рівня його екобезпеки та надійної безпеки життя й діяльності, здоров'я людини.*

67. Цибуля С.Д. Екологічна безпека трубопровідного транспорту як чинник енергоощадності та екологізації економіки / С.Д. Цибуля, В.Г. Старчак, Н.П. Буяльська та ін. // Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування: збірник матеріалів 2-го міжнародного конгресу, 19-22 червня 2012 р., м. Львів. – Львів: ТЗОВ «ЗУКР», 2012. – С. 47. *Автору належить комплексна уніфікована оцінка впливу техногенного інередієнтного та енергетичного забруднення на екологічну безпеку ТРТ за інтегральним показником небезпеки  $I_n$  та його зменшення удосконаленням технологічних процесів.*

68. Об'єктивності реалізації ресурсного потенціала для підвищення безпеки трубопровідного транспорту / В.Г. Старчак, С.Д. Цибуля, І.Д. Пушкарьова, О.О. Савлук // Ефективність реалізації научного, ресурсного і промислового потенціала в сучасних умовах: матеріали дванадцятій щорічної міжнародної конференції, 13-17 лютого 2012 г., п. Плав'я, Карпати. – К.: УІЦ НТТ, 2012. – С. 264-267. *Автором доведена технологічна ефективність універсального методу підвищення рівня екобезпеки ТРТ в умовах дії техногенного забруднення важкими металами поверхневих вод, ґрунту.*

69. Інтегральна оцінка скодеструктивного впливу на екологічний стан техноприродних систем з трубопровідним транспортом / В.Г. Старчак, С.Д. Цибуля, І.А. Костенко, Н.П. Буяльська // Екологічні аспекти регіонального партнерства в надзвичайних ситуаціях: Збірка матеріалів I Міжвузівської науково-методичної конференції. – Х.: НУЦЗ, 2012. – С. 110-112. *Автором встановлено залежність між параметрами техногенного впливу на трубопровідний транспорт та ефективність його захисту від руйнування, за уніфікованою комплексною інтегральною балльною оцінкою, з визначенням сумарного показника техногенно-екологічної небезпеки та характеристикою екологічного стану ТПС.*

70. Цибуля С.Д. Удосконалення металургійних, технологічних методів забезпечення екологічної безпеки трубопровідного транспорту // Матеріали. Методи. Технології: матеріали тринадцятій міжнародній промислової конференції, 18-22 лютого 2013 г., п. Плав'я, Карпати. – К.: УІЦ НТТ, 2013. – С. 170-174. *Автором одержано позитивний синергічний екологічний ефект на основі: позитивних екологічних ефектів, обумовлених удосконаленням технологічних процесів, що підтверджено техніко-економічною та соціально-екологічною ефективністю.*

71. Підвищення техногенно-екологічної безпеки трубопровідного транспорту / С.Д. Цибуля, В.Г. Старчак, Н.П. Буяльська та ін. // Екологія-2013. IV Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю: зб. наук. статей, 25-27 вересня 2013 р.,

м. Вінниця. – Вінниця: Видавництво ДІЛО, 2013. – С. 21-23. *Автором встановлена ефективність технологічних методів підвищення стійкості трубних сталей та зварних з'єднань в екологічно небезпечних середовищах, із захистом навколишнього середовища, в т.ч. соціально-екологічною складовою позитивного синергічного екологічного ефекту.*

72. Цибуля С.Д. Підвищення техногенної безпеки трубопровідного транспорту технологічними методами поверхневого зміцнення сталі // Матеріали 4 міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем», 19-21 травня 2014, Чернігів, Україна. – Чернігів: ЧНТУ, 2014. – С. 106-107. *Автором встановлена технологічна ефективність поверхневого зміцнення трубної сталі на «білий шар», віброобробкою, ударною хвилею, для роботи в забруднених технологічних та природних середовищах (стічні та поверхневі води, ґрунт).*

73. Цибуля С.Д. Уніфікована оцінка захисту навколишнього середовища / С.Д. Цибуля, В.Г. Старчак, К.М. Іваненко // Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування: збірник матеріалів 3-го міжнародного конгресу, 17-19 вересня 2014 р., м. Львів. – Львів: ТЗОВ «ЗУКЦ», 2014. – С. 53. *Автором розроблена уніфікована оцінка ефективності захисту навколишнього середовища за інтегральним показником небезпеки ( $I_{II}$ ), що базується на основі 10 сумарних показників небезпеки техногенного інгредієнтного та енергетичного забруднення та його впливу на тривкість трубопровідної сталі, витривалість ТРТ.*

Всього за матеріалами дисертації опубліковано 97 наукових праць.

## АНОТАЦІЯ

**Цибуля С.Д. Науково-методологічні засади підвищення рівня екологічної безпеки трубопровідного транспорту. – На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 - екологічна безпека (технічні науки). – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2015.

Дисертацію присвячено вирішенню проблеми підвищення рівня екологічної безпеки трубопровідного транспорту, в умовах екодеструктивного техногенного інгредієнтного та енергетичного забруднення, охарактеризованих в роботі за розробленою уніфікованою оцінкою, на основі сумарного показника екобезпеки  $I_{II}$ , що сформульований за 10 інтегральними показниками  $I_{II} = \sum_{i=1}^{10} K_i$  ( $K_a, K_r, K_b, K_p, K_s, K_{EMIP}, K_V, K_{P3}$ , а також  $K_{KM}, K_{MЦВ}$ ). Обґрунтовано науково-методологічні засади підвищення рівня екобезпеки ТРТ, що базуються на розроблених моделях: комплексної системи екологічного моніторингу (I) з визначенням інтегральних показників екостану та допустимого рівня екобезпеки техноприродних систем з ТРТ; засобів забезпечення еколого-експлуатаційної надійності ТРТ удосконаленням екологічно безпечних технологічних процесів, з додержанням нормативів шкідливих техногенних впливів на довкілля, з використанням розроблених синергічних захисних композицій (СЗК), модифікованих захисних покриттів (МЗП), на вторинній сировині, з ефектом металохелатування (II); розширеної диференційованої оцінки захисної дії СЗК, МЗП, та синергічних добавок (6 груп, 33 ГТЦ сполуки), із забезпеченням внутрішньомолекулярного та міжмолекулярного синергізму (III). Модель I – дає можливість:

прогнозувати рівень впливу техногенного забруднення (ТЗ), його трансформацій – на агресивність водойм, ґрунту, атмосферного повітря (за фізико-хімічними константами), встановити залежності показників тривкості, витривалості трубних сталей та зварних з'єднань в забруднених середовищах від інтегральних показників ТЗ доквілля важкими металами, як супертоксикантами ХХІ ст., та енергетичного забруднення. Моделі ІІ, ІІІ дають можливість здійснити заходи по стабілізації та поліпшенню стану довкілля удосконаленням засобів підвищення рівня екологічної безпеки ТРТ за диференційованими характеристиками: показниками технічної, технологічної, екологічної та економічної ефективності, з одержанням позитивного синергічного екологічного ефекту. Результати дисертаційної роботи впроваджено у виробництво, навчальний процес та практику роботи Державної екологічної інспекції в Чернігівській обл.

**Ключові слова:** екодеструктивне техногенне інгредієнтне, енергетичне забруднення, трубопровідний транспорт, удосконалення технологічних процесів, моделі забезпечення екологічної безпеки.

## АННОТАЦИЯ

**Цыбуля С.Д. Научно-методологические основы повышения уровня экологической безопасности трубопроводного транспорта. – На правах рукописи.**

Диссертация на соискание научной степени доктора технических наук по специальности 21.06.01 – экологическая безопасность. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, 2015.

Диссертация посвящена решению проблемы повышения уровня экологической безопасности трубопроводного транспорта (ТРТ) в условиях экодеструктивного техногенного ингредиентного и энергетического загрязнения, охарактеризованных в работе по разработанной унифицированной оценке, на основе суммарного показателя экоопасности  $I_n$ , который формируется 10 интегральными показателями:  $I_n = \sum_{j=1}^{10} K_j$  ( $K_n$ ,  $K_f$ ,  $K_v$ ,  $K_p$ ,  $K_3$ ,  $K_{эмл}$ ,  $K_v$ ,  $K_{рв}$ , а также  $K_{км}$ ,  $K_{мпв}$  – стойкости и выносливости трубопроводных сталей, трубопроводного транспорта). Аргументированы научно-методологические основы повышения уровня экологической безопасности ТРТ, базирующиеся на разработанных моделях: комплексной системы экологического мониторинга (I), с определением интегральных показателей экологического состояния и допустимого уровня экологической опасности техноприродных систем с ТРТ; способов обеспечения эколого-эксплуатационной надежности ТРТ усовершенствованием экологически безопасных технологических процессов металлургическими, технологическими методами и универсальными способами уменьшения экологической опасности природных, технологических сред, с соблюдением нормативов вредного техногенного влияния на окружающую среду, с использованием разработанных синергичных защитных композиций (СЗК), модифицированных защитных покрытий (МЗП) на вторичном сырье, с эффектом металлохелатирования (II); расширенной дифференцированной оценкой защитного действия СЗК, МЗП, и синергичных добавок – СД (6 групп, 33 ГТЦ соединения), с обеспечением внутримолекулярного и межмолекулярного синергизма (III). Модель I – даёт возможность прогнозировать: уровень влияния техногенного загрязнения (ТЗ), его трансформации – на агрессивность водоёмов, почвы, атмосферного воздуха (по физико-химическим константам:  $K_{прот}$ ,  $K_s$ ,  $K_{ст}$ ,  $K_{редох}$ , рН,  $E_H$  и др.), установить зависимости показателей стойкости, выносливости трубных сталей и сварных соединений в загрязненной среде от интегральных показателей ТЗ

окружающей среды тяжелыми металлами (ТМ), как супертоксикантами XXI ст., энергетического загрязнения (суммарного показателя загрязнения почвы ( $Z_c$ ), индекса загрязнения воды (ИЗВ), напряженностей электромагнитного поля, уровня вибрации, удельной активности радиационного загрязнения почвы):  $K_p, \beta_c^N, \beta_{II}^N, \beta_{CH}^N = f(Z_c, ИЗВ, H, E, L_v, A)$ . Модели II, III дают возможность осуществлять мероприятия по стабилизации и улучшению состояния окружающей среды усовершенствованием способов повышения уровня экологической безопасности ТРТ по дифференцированным характеристикам: показателям технической и технологической эффективности, формирующим коэффициент технологической эффективности, усовершенствования технических способов защиты окружающей среды, от техногенного влияния –  $\gamma_T$ ; по показателям экологической эффективности (индивидуальные  $K_i$  и суммарные –  $K_\Sigma$  индексы токсичности, классы опасности СД, СЗК, МЗП); показателям экономической эффективности:  $W_a, W_b, W_p, W_\Sigma$  (по предотвращенным экологическим ущербам), аннулированным экологическим налогам (за загрязнение атмосферного воздуха – стационарными выбросами, водоемов – сбросами сточных вод, за размещение отходов в земельных ресурсах:  $P_{bc}, P_c, P_{po}, P_\Sigma$ , по экономическим эффектам  $E = \sum_{i=1}^7 E_i$  при утилизации отходов в составе СЗК, МЗП, с определением позитивного синергичного экологического эффекта,  $ПСЭЭ = \sum_{i=1}^{12} ПЭЭ_i$ , на основе технико-экономической и социально-экологической эффективности создания условий безопасности ТРТ, а также безопасности жизнедеятельности человека.

Результаты диссертационной работы внедрены в производство, учебный процесс и практику работы Государственной экологической инспекции в Черниговской обл.

**Ключевые слова:** экодеструктивное техногенное ингредиентное, энергетическое загрязнение, трубопроводный транспорт, усовершенствование технологических процессов, модели обеспечения экологической безопасности.

## Summary

**Tsibula S.D. The scientific-methodological fundamentals of level ecological safety increasing of pipelines. – Manuscript.**

Thesis for the doctor's degree of technical sciences on speciality 21.06.01 – ecological safety. – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, 2015.

The dissertation is devoted to decision ensurity problem of ecological safety and operational reliability pipeline transport (PT) under conditions of ecological break-down technogenous ingredient and energetic contamination. It is developed the unified complex integral estimate of the ecostate technonatural systems with the ecological danger objects by the integrated coefficient of the technogenous-ecological danger  $I_d$  (for 10 integral coefficients:  $K_a, K_s, K_w, K_p, K_h, K_{EMF}, K_v, K_r, K_{CM}, K_{LCF}$ . It is grounded the scientific-methodological fundamentals of increasing of ecosafety pipeline transport, which are founded on the mining models: of the complex system ecological monitoring (I) with determination of integrated indexes ecosafety and the permissible levels of ecodanger technonatural systems with PT; the providing manners of ecooperational reliability PT with the improving ecosafety technological processes, with keep of allowances harmful technogenous influences on the environment, with the mining synergist protection compositions (SPC), modified protection coatings (MPC) on the secondary raw materials with metallochelating effect (II); of



the extended differentiated estimate of protecting action SPC, MPC and synergist additions (6 groups, 33 HTC-compounds), with the providing of the intramolecular and intermolecular synergism (III). Model I let a possibility to prediction of the level technogenous influence contamination and its transformation on the basin, air, soil aggressiving, the correlative dependences of durability and fatigue strength of the pipe steels and welded joints in the contaminated mediums from integrated indexes of the technogenous contamination (TC) of an environment by heavy metals as supertoxicants XXI century energetic contamination. Models II, III let possibility realize the preventive action of stabilization and improvement of environment ecostate by the manners of ecological safety and operational reliability PT, with the differentiated characteristics: indexes of technical, technological, ecological, of economical efficiency, with determination of positive synergist ecological effect.

The results of dissertation work have been found the practical application on the productions and in an educational process.

**Key words:** ecological break-down technogenous ingredient and energetic contamination, pipeline transport, improving of technological processes, security models of the ecological safety.