**Міністерство освіти і науки України**

**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу**

**«****ДИВЕРСИФІКАЦІЯ ПОСТАЧАННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ**

**ЯК СКЛАДОВА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ ДЕРЖАВИ»**

***Побережний Любомир Ярославович –*** доктор технічних наук, професор, професор кафедри хімії, Івано-Франківський національний технічний університету нафти і газу.

***Марущак Павло Орестович –*** доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації технологічних процесів та виробництва, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя.

***Звірко Ольга Іванівна –*** доктор технічних наук, старший науковий співробітник відділу діагностики корозійно-водневої деградації матеріалів, Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України.

***Запухляк Василь Богданович –*** кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри газонафтопроводів та газонафтосховищ, Івано-Франківський національний технічний університету нафти і газу.

***Капцов Іван Іванович –*** доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри експлуатації газових і теплових систем, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова.

***Шимко Роман Ярославович –*** кандидат технічних наук, директор департаменту підземного зберігання газу ПАТ «Укртрансгаз».

***Фролов Вадим Анатолійович –*** директор центрального диспетчерського департаменту філії «Оператор газотранспортної системи України» ПАТ «Укртрансгаз».

Енергетична безпека є невід’ємною складовою економічної і національної безпеки, необхідною умовою існування і розвитку держави. Енергетична безпека України – це спроможність держави забезпечити ефективне використання власної паливно-енергетичної бази, здійснити оптимальну диверсифікацію джерел і шляхів постачання в Україну енергоресурсів з метою забезпечення життєдіяльності населення та функціонування національної економіки у режимі звичайного, надзвичайного та воєнного стану, попередити різкі цінові коливання на паливно-енергетичні ресурси (ПЕР) та створити умови для безболісної адаптації національної економіки до зростання цін на ці ресурси.

Важливим є досягнення збалансованого виробництва і потреб різних видів енергії. Необхідні нові системні підходи для вирішення комплексу складних проблем сучасності у взаємозв’язку з напрямками розвитку енергетики. При цьому слід зауважити, що переоцінка потреб обсягів ПЕР веде до накопичення засобів виробництва в паливно-енергетичному комплексі (ПЕК) у великих масштабах. Як приклад відзначимо суттєвий надлишок виробничих потужностей в енергетиці США.

Україна, як одна із пострадянських країн, дістала в спадок економіку з низькою енергоефективністю, де дешевий російський природний газ був основним енергоносієм. Як наслідок ми є енергодефіцитною державою, для якої постачання природного газу є питанням енергетичної та національної безпеки. Через зміни у структурі газового ринку, відсутністю пролонгації контрактів на постачання газу з Російської Федерації до ЄС, проблема безперебійного газопостачання за ринковою ціною значно загострилася і потребує негайного вирішення шляхом диверсифікації джерел постачання з метою недопущення критичної залежності від одного постачальника.

Заходи державного регулювання щодо забезпечення енергетичної   
безпеки держави отримали потужний поштовх завдяки ухваленій   
у серпні 2017 року Кабінетом Міністрів України Енергетичній стратегії України до 2035 року “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність”.

Відповідно до Енергетичної стратегії України до 2035 року перед газовим сектором стоятимуть такі завдання:

–повна інтеграція у європейську систему транспортування газу   
ENTSO-G, подальше поглиблення кооперації з країнами Центральної Європи з метою підвищення надійності поставок енергоносіїв;

–забезпечення повного покриття внутрішніх потреб у природному газі власними ресурсами через збільшення видобутку, а також оптимізація роботи газотранспортної системи (ГТС) відповідно до очікуваних сценаріїв її завантаження.

Внаслідок диверсифікації джерел постачання природного газу, починаючи з 2014 року, напрямки надходження газу споживачам України змінилися і це призвело до необхідності вирішення проблем реверсного постачання газу існуючими активами ГТС та будівництва нових газопроводів-інтерконекторів;

З кожним роком, об’єми постачання природнього газу внутрішньому споживачеві суттєво зменшуються, а об’єми транзиту потенційно можуть скоротитися, тому виникає потреба у вирішенні оптимізаційних задач роботи ГТС України;

Використання українських ПСГ для зберігання природного газу країн Європейського союзу було і залишається актуальним питанням, поряд з цим, з метою ефективної та надійної експлуатації газових сховищ, виникає потреба прогнозування експлуатації західних ПСГ в умовах пружноводонапірного режиму.

Важливою проблемою залишається також процес транспортування природного газу на межі з окупованими територіями, де відбуваються бойові дії, через можливість артилерійського обстрілу об’єктів ГТС та здійснення диверсійно-терористичних дій. Зазнали пошкоджень 14 магістральних газогонів, 4 компресорні станції, 3 газорозподільні станції (ГРС) та Вергунське підземне сховище газу, відключено від електропостачання три ГРС. В червні 2015 року внаслідок обстрілу було пошкоджено магістральний газопровід, що забезпечує газом південь Запорізької та Донецької областей.

Водночас, перед галуззю транспортування і зберігання газу України постають певні виклики:

* забезпечення ефективної та безаварійної роботи лінійної частини магістральних газопроводів в аверсно-реверсному режимі з виконанням наступних заходів:
  + технічне обстеження та діагностика дійсного стану трубопроводів;
  + вчасне проведення всіх визначених регламентами робіт з технічного обслуговування та ремонтів;
  + забезпечення безперервного і надійного антикорозійного захисту трубопроводу (активного і пасивного);
* організація, оптимізація та надійність роботи компресорних станцій в реверсному режимі та за умов недовантаження (при зменшенні обсягів транспортування);
* забезпечення ефективної експлуатації ПСГ, при обводненні продуктивних горизонтів за час експлуатації родовища, на такому рівні, щоб економічно виправдати додаткові затрати на зберігання газу. Слід відмітити, що обводнення продуктивних горизонтів ПСГ утруднює формування газового покладу підземного сховища газу;
* забезпечення надійної та ефективної роботи ГТС поблизу зони ОСС з мінімальними фінансовими затратами.

Для вирішення окреслених питань створено Технологію реверсного транспортування природного газу для потреб споживачів, яка зайняла І місце на Х Всеукраїнському конкурсі «Лідер паливно-енергетичного комплексу» у номінації «Інноваційний продукт».

Розроблено математичну модель для прогнозування режимів роботи складних газотранспортних систем і забезпечення надійності їх експлуатації за умов неповного завантаження. За результатами проведених досліджень встановлено закономірності протікання нестаціонарних процесів в газотранспортних системах великої протяжності з значною кількістю компресорних станцій, зокрема доведено, що на тривалість нестаціонарного перехідного режиму має суттєвий вплив розміщення відключеної КС на трасі газопроводу, причому зі збільшенням її порядкового номера в системі тривалість нестаціонарного процесу і величина зниження продуктивності зменшуються.

Розроблено методи оцінки та прогнозування ресурсу безпечної експлуатації газоперекачувальних агрегатів на компресорних станціях газотранспортних систем. Запропоновані методи, що базуються на використанні стохастичних математичних моделей з використанням в якості вихідної інформації передісторії експлуатації газоперекачувальних агрегатів на компресорних станціях, дозволяють оцінити реальний технічний стан кожного ГПА і прогнозувати його залишковий ресурс та ймовірність безвідмовної роботи. Проведені розрахунки даватимуть змогу прийняття конкретних техніко-економічних рішень, які стосуються характеру подальшого обслуговування обладнання компресорних станцій, вибору стратегій контролю параметрів технічного стану, планування профілактичних ремонтів або заміни газоперекачувальних агрегатів.

Реалізовано стохастичний підхід до оцінювання ступеня технологічної стійкості режимів роботи газотранспортних систем. Досліджено проблему математичного моделювання квазістаціонарних неізотермічних режимів транспорту природного газу в газотранспортних системах. Запропоновано такі моделі: стохастична модель квазістаціонарного режиму транспорту природного газу ділянкою трубопроводу, стохастична модель режиму роботи газоперекачувального агрегату, а також стохастична модель температурного і гідравлічного розрахунку транспорту природного газу в ГТС, які враховують як стохастичну природу основних факторів так і стохастичну природу параметрів математичних моделей. Розроблені моделі дозволяють отримати верхню і нижню оцінки діапазонів зміни параметрів газових потоків в будь-якому вузлі ГТС для заданого рівня зовнішніх стохастичних збурень. Такі моделі є надзвичайно важливими для диспетчерського персоналу, який здійснює оперативно-диспетчерське управління режимами роботи ГТС, так як дадуть можливість оперативно ідентифікувати причини появ зміни параметрів газових потоків у вузлах ГТС.

Розроблено нові методи багатокритеріальної оптимізації режимів роботи газотранспортних систем та розрахунку їх параметрів.

Створені математичні моделі протікання гідрогазодинамічних процесів в водоносних покладах при формуванні та циклічній експлуатації підземних сховищ газу дозволяють прогнозувати депресію тиску і швидкість фільтрації флюїду, а також характер переміщення газоводяного контакту, що має важливе значення для визначення кількості газу в пласті, прогнозування застійних зон та міжпластових перетоків.

Проведено теоретико-експериментальні дослідження з визначення фазових проникностей пористого середовища в залежності від залишкового водонасичення, що має місце при витісненні води газом. Запропонована методика ґрунтується на припущенні про те, що розрахунок витиснення води газом можна виконувати по відомих формулах теорії двофазної течії нестисливих рідин, заміняючи швидкість фільтрації рідини, що витісняє, об'ємною швидкістю фільтрації газу, приведеної до середньоарифметичного тиску в пласті. При обробці результатів дослідів за даною методикою побудована універсальна, стосовно швидкості фільтрації, крива фазових проникностей. Це непрямим чином виправдує прийняте допущення і вказує на можливість користування ним для проведення практичних розрахунків

На основі проведених досліджень розроблено методику розрахунку параметрів режиму формування і циклічної експлуатації ПСГ, що працюють в умовах пружного і пружноводонапірного режимів, яка забезпечує отримання прогнозних показників з похибкою, що не перевищує 5%. Дана методика є керівним документом і впроваджена для розрахунків режимів роботи ПСГ в УМГ "Львівтрансгаз" і "Прикарпаттрансгаз".

Досліджено вплив експлуатаційної деградації на деформаційну поведінку матеріалу магістральних газопроводів та показано, що залежно від концентрації корозивних компонентів середовища приріст деформації може становити до 20…30 %.

Вперше встановлено, що в кислих ґрунтових електролітах деградована трубопровідна сталь має схильність до раптових деформаційних скачків, які можуть спричинити спонтанну розгерметизацію трубопроводу.

Вперше отримано математичні залежності для прогнозування деформацій трубопроводів (сталь 19Г та 17ГС) при тривалій дії експлуатаційних середовищ (ґрунтових електролітів).

За результатами досліджень встановлено, що зниження надійності тривалоексплуатованих магістральних газо- нафтопровідних мереж спричиняє загальна та локалізована корозія, а також технологічні дефекти металу трубопроводів. Встановлено важливу роль абсорбованого водню у процесах експлуатаційної деградації сталей. За даними фpактографічного контролю доведено, що в експлуатованій сталі відбувається інтенсивне пасткування водню, зростає енергія його зв’язування в пастках, що й спричиняє дефектність експлуатованого металу та утворення локальних мікропор та розшарувань.

Досліджено основні закономірності зміни механічних властивостей металу магістрального газопроводу, де поряд зі стандартними механічними методами досліджень, використовувалися спеціальні більш чутливі до структурної деградації методи неруйнівного контролю, такі як магнітооптична вихрострумова інтроскопія. Отримані результати дозволяють розглядати зниження опірності тривалоексплуатованих металів труб магістральних газопроводів крихкому руйнуванню і корозії, як результат накопичення розсіяних пошкоджень, зумовлених структурною деградацією. Розглянуто основні закономірності аналізу корозійних пітингів, що забезпечують їх виявлення і автоматичне вимірювання на зображеннях, отриманих різними методами. Розглянуто особливості розподілу яскравості на фотозображеннях поверхонь з дефектами, отриманих за допомогою оптичного та електронного мікроскопів. Проведено топографічний аналіз ідентифікованих пітингів.

Проведено порівняльний аналіз розподілу яскравості системи "пітинг-поверхня" з геометричними параметрами пітингу, визначеними методом прямого виміру в перерізі розглянутої ділянки поверхні. Виявлено задовільне узгодження цих параметрів, що створює передумови їх використання для розпізнавання положення пітингів на зображеннях.

Встановлено, що однією з основних причин зниження деформаційних властивостей сталі газопроводу після тривалого напрацювання є негомогенний розподіл пошкоджень в матеріалі, викликаний вичерпуванням пластичності і зміцненням стінки труби. При цьому, однією з причин ініціювання початку руйнування магістральних газопроводів може бути локалізована нестабільність деформаційного процесу, зумовлена наявністю структурних дефектів на мікро- або мезорівні.

Вивчено вплив хімічного складу, рН середовища та рівня механічних напружень на характер перебігу корозійних процесів і показано, що збільшення рівня номінальних напружень у всіх модельних середовищах призводить до активізації корозійної деградації сталі трубопроводу та визначено найнебезпечніші з корозійної точки зору середовища у всіх 4 основних групах – серед хлоридних, хлоридно-сульфатних, підкислених хлоридних та підкислених хлоридно-сульфатних МС, змоделювавши таким чином найрозповсюдженіші типи грунтових електролітів.

Вперше, виявлено істотне збільшення корозійної активності грунтового електроліту внаслідок синергічної дії корозійно активних компонентів наявних у визначених співвідношеннях йонних молярних концентрацій йонів SO42– та Cl– (0,05М:0,1М) та інтенсифікацію локалізації корозії у хлоридно-сульфатних середовищах при рН4 (МС11). З метою кращого порівняння корозійної активності грунтових електролітів та коректнішої оцінки експлуатаційних ризиків запропоновано використовувати діаграми корозійної деградації. Одержані результати дають змогу краще оцінити експлуатаційні ризики і прогнозувати ресурс та залишковий ресурс безпечної експлуатації нафтогазопроводів, а також попередити значну кількість відмов трубопроводів на стадіях проектування та експлуатації.

Проведено ранжування ґрунтових електролітів за характеристичними показниками та встановлено найнебезпечніші для деградованих трубопровідних сталей у кожній із груп. Такі методичні підходи дають змогу підвищити ефективність ремонтних заходів шляхом попередження важких відмов через регулярний моніторинг тривалоексплуатованих ділянок, прокладених у ґрунтах із підвищеною корозійною активністю, та з подальшою оптимізацією робочих режимів. Розроблено методику полікритеріальної оцінки корозійної активності середовища вздовж трас пролягання магістральних газопроводів.

Розроблено та впроваджено на окремих підприємствах УМГ «Київтрансгаз», УМГ «Львівтрансгаз» та УМГ «Черкаситрансгаз» методику визначення ділянок трубопроводу з підвищеною небезпекою корозійно-механічної деградації. Проведено обстеження ділянок газопроводів «Прогрес», «УПУ» та «ШПК» із застосуванням запропонованої методики, яке дало змогу виявити місця підвищеної корозійної активності, та вчасно запобігти розвитку глибоких корозійних уражень у місцях пошкодження захисного покриття.

Запропоновано концепцію комплексного корозійного моніторингу магістральних трубопроводів України, яка дає змогу системного аналізу експлуатаційних небезпек та загроз і розроблення відповідних запобіжних заходів. Запропоновано спосіб визначення ресурсу безпечної експлуатації, спираючись на деформаційно-кінетичне трактування процесу. Експериментально доведено, що оцінка ресурсу безпечної експлуатації у відносних величинах дає змогу нівелювати вплив розкиду довговічностей зразків і пов’язаних з цим похибок розрахунку в межах одного рівня напружень, на основі чого введено поняття “відносний ресурс безпечної експлуатації”.

На основі деформаційно-кінетичного аналізу процесів деформації і руйнування матеріалу трубопроводу та подальшої математичної обробки і графічної інтерпретації запропоновано методичні підходи до прогнозування живучості трубопровідних систем. Як міру живучості пропонується використовувати тривалість останньої стадії втомного (корозійно-втомного) руйнування.

Розроблені підходи покликані спростити прогнозування експлуатаційних ризиків та забезпечити коректну оцінку залишкового ресурсу нафтогазопроводів, які експлуатуються у складних умовах. Без сумніву запропонований спосіб потребує подальшого удосконалення у плані комплексного прогнозування живучості, залишкового ресурсу та експлуатаційних ризиків. Це особливо важливо для стандартизації інженерних розрахунків на стадії проектування при перевірці на відповідність критеріям безпеки і надійності, а також для проведення всестороннього ризик-аналізу та прогнозу експлуатаційних ризиків в штатних та позаштатних режимах роботи, визначенні ресурсу (залишкового ресурсу) безпечної експлуатації, побудові дерева відмов і розробці для кожного випадку комплексу конкретних заходів з мінімізації експлуатаційних ризиків та попередження виникнення аварійних ситуацій.

Розроблено методику діагностування кільцевого розшарування у трубах газопроводів та оцінювання ризику виходу такого дефекту на зовнішню поверхню труби, яку використано УМГ “Прикарпаттрансгаз” ПАТ “Укртрансгаз” для обґрунтування умов безпечної подальшої експлуатації магістральних газопроводів з виявленим макророзшаруванням.

Встановлені закономірності впливу експлуатаційної деградації на тріщиностійкість трубних сталей були використані при розробленні методики оцінювання залишкового ресурсу труб магістральних нафто- та газопроводів, яку впроваджено на УМГ “Львівтрансгаз” ПАТ “Укртрансгаз”.

При розробленні рекомендацій щодо оптимізації та/або реконструкції засобів ЕХЗ для забезпечення суцільної захищеності від електрохімічної корозії необхідно враховувати підвищення небезпеки наводнювання сталі, а також підвищення чутливості експлуатованого металу до корозійного та водневого розтріскування. Для зниження активності корозійного розтріскування рекомендовано застосовувати заходи зі стабілізації температурного режиму газопроводу шляхом оптимізації та дотримання регламенту експлуатації за температурою (включення та відключення апаратів повітряного охолодження) та тиском, завдяки чому досягається стабілізація гідрологічного режиму ґрунту.

Запропоновано математичну модель для розрахунку витоків газу через свищі та мікротріщини.

Збільшення поверхні магістральних газопроводів за рахунок зростання їх протяжності і діаметру, різні кліматичні і геологічні умови експлуатації, що впливають на напружено-деформований стан поверхні труб, вимагають застосування нових методів розрахунку цього стану. Змодельовано НДС пошкоджених ділянок газопроводу та отримано рівняння для асиметричної деформації поперечного перерізу. Побудовані графічні залежності можуть застосовувати проектні організації при розробці проектів капітального ремонту газопроводів, а експлуатаційний персонал - при визначенні періоду виведення на ремонт діючих ділянок. Отримані залежності дозволяють знайти критичний тиск експлуатації ділянок газопроводів відповідно при асиметричній і симетричній деформації поперечного перерізу в момент стійкості.

Розроблено нові технології ремонту пошкоджених ділянок газопроводів за допомогою клейових матеріалів. Спосіб ліквідації свищів за допомогою полімерних клеїв дозволяє усувати велику частину можна зустріти на практиці свищів як на тілі труби, так і на її зварних швах. Однак довгі тріщини на тілі труби і її зварних швах, в місцях приєднання відводів до магістральних газопроводів, а також свищі на трійниках і запірної арматури за допомогою описаних пристроїв ліквідувати не можна, так як для їх усунення необхідні інше оснащення і накладка зі складною поверхнею. Встановлено, що для ремонту газопроводів, що транспортують газ з температурою до 50-60°С оптимально використовувати епоксидні клеї холодного затвердіння, а для усунення пошкоджень на ділянках виходу від компресорних станцій, в колекторах нагнітачів - клей марки ВК-28, ТКМ-75, ВК-3, ВК-4 і К-400; для ремонту підводних переходів і газопроводів, прокладених в заболоченій місцевості, - клей типів "Вак" і "Спрут".

Проаналізовано ризики пошкодження відповідальних елементів ГТС внаслідок терористичних актів та військових дій. Показано, що найбільш вразливими до дії артилерійських та інших боєприпасів та диверсійно-терористичних актів вважаються наземні та надземні об’єкти газопроводів (компресорні станції, переходи різного типу, тощо). підземний газопровід може бути пошкоджений боєприпасами діаметр яких більший 152 мм. Тобто, боєприпаси, які не утворюють вирви більшої глибини ніж глибина закладання газопроводів, не можуть пошкодити газопровід, якщо він закладений на проектну відмітку. Встановлено, що найуразливішими є ділянки трубопроводу, де виявлена невідповідність глибини закладання проекту, що може бути зумовлено як природними чинниками (часткове розкриття внаслідок ерозії ґрунтів, втрата стійкості внаслідок дії різних факторів тиск, температура, водонасиченість ґрунту і пов’язане з цим явище випучування чи спливання тощо) так і внаслідок “низької культури” ведення будівництва, тобто, коли трубопровід на окремих ділянках укладався в траншею, глибина якої не відповідала проекту. Проведено математичне моделювання зміни НДС трубопроводу при роботах із його заглиблення на проектну глибину. розроблені рекомендації із заглиблення газопроводів під тиском діаметром 219 мм та   
1420 мм для УМГ “Прикарпаттрансгаз” і успішно проведено ремонтні роботи за відповідним рекомендаційним документом. Розроблено технологію проведення робіт із підсадження трубопроводу на проектну відмітку під власною вагою без повного випорожнення трубопроводу шляхом стравлювання газу до зменшення робочого тиску на 2 МПа. Економічний ефект від реалізації даної технології для ділянки довжиною 10 км становить від 796,526 тис. грн до 8 839,302 тис. грн.

За результатами досліджень із застосуванням методів тензометрування встановлено, що зі збільшенням зусилля затяжки фланцевого з’єднання стикувального вузла (контактного тиску) напруження в трубі газопроводу біля отвору залишаються постійними або змінюються незначно, в той час як в стикувальному вузлі вони зменшуються. Таким чином, змінюючи контактний тиск між стикувальним вузлом і газопроводом, можна забезпечити герметичність і міцність з’єднання при допустимому рівні напружень в трубі і стикувальному вузлі.

Розроблено новий спосіб безвогневого врізання в трубопровід під тиском,

який дає змогу проведення ремонтних заходів без зупинки перекачування. Проведені нами розрахунки показали, що економічний ефект від застосування ремонту без зупинки перекачування продукту порівняно з традиційним способом ремонту в залежності від діаметру газопроводу коливається в межах від 1,5 до 11,5 млн. грн. Також встановлено, що надмірне зниження тиску в магістральному газопроводі під час виконання зварювально-ремонтних робіт на ньому призводить до значних економічних втрат, які можуть складати від 250 тис. грн до майже 2 млн. грн.

Розроблено математичну модель розподілу тепла в тілі труби при приварюванні відводу. Встановлено, що зниження тиску, яке визначалося за так званим базовим способом, є невиправданим з технологічної точки зору, оскільки не враховано який саме процес зварювання відбувається на трубопроводі, а саме: не враховується швидкість руху джерела тепла, теплова інтенсивність зварювальної дуги, загальна інтенсивність охолодження стінки труби зовнішнім і внутрішнім теплоносіями. А саме ці параметри суттєво впливають на характер розподілу температур та, відповідно на механічні характеристики трубної сталі і величину тиску, яку здатен витримати трубопровід при нагріві зварювальною дугою.

Уже зараз можемо бачити значні позитивні зміни від диверсифікації постачань природного газу. Через сприятливу кон’юнктуру ринку   
НАК «Нафтогаз України» знизив ціну на газ для промислових споживачів на   
23,6 відсотків. Це результат спільної роботи Президента, Уряду та фахівців групи «Нафтогаз». Запропоновані у роботі технічні рішення дадуть змогу закупівлі природного газу у ще більшої кількості постачальників. У найближчих планах інтенсифікацію отримання газу через інтерконнектор з Румунією, де вже узгоджено та підписано необхідні документи і реалізація проекту перебуває на завершальній стадії.

Окремо слід виділити перспективи отримання природного газу із нових родовищ. Найпривабливішою є перспектива одержання газу із Східного Середземномор’я (проект EastMed).

Також перспективною є купівля зрідженого природного газу зі США, який доставляється у порти Польщі та активно створює конкуренцію традиційним постачальникам європейського енергетичного ринку

Таким чином, отримані у роботі науково-практичні результати дають змогу підвищити рівень енергетичної безпеки України як на даний час так і у середньостроковій перспективі.

За темою роботи опубліковано **8** монографій, **364** статті, отримано   
**8** патентів на винахід, **52** патентів на корисну модель. Загальна кількість цитувань у базі Scopus – **694,** Google Scholar – **1170.**

Індекс цитування роботи за базою Scopus – **12**, WoS -**11**, Google Scholar – **15.**