



Прийнято 12.05.2025. Прорецензовано 13.06.2025. Опубліковано 23.06.2025.

УДК 622.276.05

DOI: 10.31471/1993-9965-2025-1(58)-73-87

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ ДЕРЖАВИ ШЛЯХОМ СТВОРЕННЯ НАДІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИДОБУВАННЯ НАФТИ

Чудик І. І.*

Ректор, доктор технічних наук, професор
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
76019, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-7402-6962>
e-mail: i.chudyk@nung.edu.ua

Копей Б. В.

Доктор технічних наук, професор
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
76019, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-5445-103X>
e-mail: kopeyb@ukr.net

Копей В. Б.

Доктор технічних наук, професор
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
76019, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-0008-8260>
e-mail: volodymyr.kopey@nung.edu.ua

Анотація. Енергетична безпека держави значною мірою залежить від власної паливно-енергетичної бази, особливо в період надзвичайного та воєнного стану. На сьогодні нафта, без сумніву, є стратегічним енергоносієм. Застосування штангових свердловинних насосних установок (ШСНУ) для видобування нафти є на даний час найбільш розповсюдженим, ефективним, універсальним, надійним, безпечним і простим в обслуговуванні порівняно з іншими методами. Ефективні і надійні ШСНУ є важливими стратегічними об'єктами. Довговічність свердловинного обладнання суттєво залежить від врахування при його проектуванні експлуатаційних умов, які можуть змінюватися в часі. З огляду на це, питання проектування ШСНУ, колон насосно-компресорних труб та насосних штанг, викидних трубопроводів, розроблення обладнання для попередження асфальтосмолопарафінових відкладів, а також контролю технічного стану та підвищення ресурсу штангової свердловинної насосної установки загалом на сьогодні є актуальними та заслуговують на увагу. Для підвищення ефективності та надійності ШСНУ авторами проведено наукові дослідження та розроблено цілий ряд заходів, які полягають у застосуванні автоматизації проектування та інформаційної підтримки життєвого циклу ШСНУ, створенні імітаційних параметричних моделей обладнання ШСНУ, які допомагають оптимізувати конструкцію виробу і підвищити її ефективність, розробленні технологій зміцнення насосних штанг поверхневим пластичним деформуванням та нанесенням металізаційних та металополімерних покриттів, створенні методів і технічних пристроїв діагностики динамічного стану ШСНУ шляхом розробки та обґрунтування класифікації та граничних параметрів динамічних станів системи, на базі яких із застосуванням

Запропоноване посилання: Чудик, І. І., Копей, Б. В., & Копей, В. Б. (2025). Підвищення енергетичної безпеки держави шляхом створення надійного обладнання для видобування нафти. Науковий вісник ІФНТУНГ, 1(58), 73-87. doi: 10.31471/1993-9965-2025-1(58)-73-87

* Відповідальний автор



Copyright © The Author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

комп'ютерних технологій створено нові методи і технічні рішення, що дозволяють підвищити безпеку експлуатації зношених ШСНУ. Україна має потенціал для зменшення залежності від імпорту нафти через диверсифікацію, технологічну модернізацію та активізацію власного видобутку, проте це вимагає системних державних рішень і міжнародної підтримки.

Ключові слова: енергетична безпека; штангові свердловинні насосні установки; полімерні композити; металополімерні покриття; системний підхід.

Вступ

Енергетична безпека держави – це спроможність забезпечити ефективне і надійне використання власної паливно-енергетичної бази для забезпечення життєдіяльності населення, функціонування економіки у режимі звичайного, надзвичайного та військового стану [1]. Питання енергетичної безпеки враховують довгострокові тенденції розвитку, а також непередбачувані події, пов'язані з функціонуванням енергетичного ринку та енергетичних технологій [2].

Паливно-енергетичний баланс (ПЕБ) – це співвідношення наявних паливно-енергетичних ресурсів в країні з їхнім використанням. ПЕБ складається з прибуткової частини та витратної [3]. Прибуткова частина враховує видобуток енергоносіїв (вугілля, газу, нафти, торфу, дрова), виробництво електричної і теплової енергії. Окрім того, до неї входять відновлювані джерела енергії (енергія вітру, сонця, геотермальна тощо), а також відбір газу з підземних сховищ, імпорту енергоресурсів та залишок ресурсів на початок року [4]. Витратна частина балансу включає прогнози споживання енергоресурсів.

Забезпечення енергетичної безпеки вимагає добре узгодженого управління та надійної роботи інфраструктури [5]. На сьогодні нафта, без сумніву, є стратегічним енергоносієм. Енергетична безпека передбачає дієвий державний контроль за видобутком нафти, моніторинг діючих та законсервованих свердловин, фінансування розвідок нафти [6]. Наявність та ефективне управління стратегічними запасами нафти є важливим інструментом для підвищення енергетичної безпеки шляхом забезпечення резервних поставок у разі перебоїв [7].

Україна має значні запаси нафти. Станом на 2023 рік розвідані запаси нафти з конденсатом складають близько 107 млн т [8]. У східному регіоні зосереджено 51,18%, у західному – 14,24%, південному – 9,26%. Нафту в Україні видобувають фонтанним, газліфтним та глибиннонасосним способами. За даними НАК «Нафтогаз України» до повномасштабної агресії Україна видобувала близько 2,4 млн т та імпортувала близько 1,2 млн т сирої нафти на

рік [9]. Проте виробництво сирої нафти з 2007 по 2020 рік зменшилось у 1,8 рази (з 4478 до 2476 тис. т н.е.) [10]. Загальне постачання сирої нафти з 2007 по 2020 рік зменшилось у 3,6 рази (з 14926 до 4196 тис. т н.е.). У відсотках до загального постачання енергії – у 2,2 рази (з 10,7 % до 4,9 %) [11]. Динаміка спаду має параболічний характер з мінімумом в 2016-2017 роках. Падіння видобутку нафти в Україні є результатом поєднання природних, економічних, технологічних та адміністративних причин, серед яких ключовими є виснаження експлуатованих та відсутність відкриттів нових родовищ, застаріла інфраструктура, низька інвестиційна привабливість і регуляторні бар'єри.

Динаміка експорту нафти та нафтопродуктів України показує різке зниження після 2022 року. Водночас різко зріс їхній імпорту [5]. В умовах війни паливно-енергетична база відіграє виключну роль у забезпеченні військ паливом та мастильними матеріалами. Міністерство оборони продовжує роботу над гарантуванням безперебійного забезпечення військових критично важливими ресурсами. Зокрема, закупівельна структура «Державний оператор тилу» вже сформувала план закупівель пально-мастильних матеріалів на 2025 рік [13]. Орієнтовний обсяг фінансування закупівель ПММ на квартал становить близько 7,7 млрд грн. Є гостра необхідність забезпечити армію ресурсами та побудувати ефективну і передбачувану систему постачання [13].

Для підвищення нафтовидобування заплановано розширення обсягів буріння (40 свердловин на рік), у тому числі глибоких свердловин, закупівлю нового західного нафтопромислового обладнання, відновлення видобутку на старих свердловинах, яких в Україні є понад 4200 [8].

В Україні 65% нафти видобувають штанговими свердловинними насосними установками (ШСНУ). Застосування ШСНУ для видобування нафти є на даний час найбільш розповсюдженим, ефективним, універсальним, надійним, безпечним і простим в обслуговуванні порівняно з іншими методами [12]. ШСНУ статистично є домінуючою технологією видо-

бування нафти та має вирішальне значення для максимізації ефективності, зниження споживання енергії та забезпечення стабільного видобутку нафти з малодебітних свердловин. Їхня надійність, адаптивність та ремонтпридатність роблять їх незамінними в нафтогазовій промисловості [14]. ШСНУ відрізняються можливістю більш ефективного використання у порівнянні з іншими методами видобування [15]. Ґрунтовні дослідження проблем ефективного використання ШНСУ були проведені в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу (ІФНТУНГ).

Метою статті є аналіз виконаних в ІФНТУНГ досліджень в напрямку підвищення ефективності та забезпечення надійності ШСНУ з розглядом перспектив та виявленням їх впливу на енергетичну безпеку держави.

Науково-технічний потенціал в нафтогазовій галузі

Високий науково-технічний потенціал України, у тому числі нафтогазової галузі, можна пояснити розвиненою системою наукових установ [15], наявністю досвідчених кадрів, державною підтримкою пріоритетних напрямів, інтеграцією у міжнародний науковий простір. Потужна наукова школа сформувалася ще в радянські часи, зокрема у сферах фізики, математики, кібернетики, техніки, матеріалознавства та енергетики [15].

ІФНТУНГ є однією з передових наукових установ нафтогазової галузі. Електронний науковий архів ІФНТУНГ [16] містить 8648 наукових праць та 412 патентів на винахід на корисну модель, які підготовлені в університеті. База даних Scopus підтверджує 1796 праць, підготовлених в ІФНТУНГ. Більшість з цих праць стосуються проблем математичного моделювання, оцінки напружено-деформованого стану, ефективності, надійності, оптимізації, контролю, управління та прогнозування нафтогазових об'єктів.

Започатковані професорами Крижанівським Є.І., Петриною Ю.Д., Бойком В.С., Заміховським Л.М., Карпашем О.М. в університеті сформувались такі наукові школи, як: "Матеріалознавство, міцність та надійність машин і обладнання нафтогазового комплексу", "Науково-прикладні основи підвищення довговічності нафтогазового обладнання", "Інтенсифікація нафтогазовидобування діями на міжсвердловинні і привибійні зони пласта", "Діагностика та сучасні інформаційні технології в техніці і соціумі", "Методи і засоби забезпе-

чення технологічної безпеки обладнання, споруд і конструкцій довготривалої експлуатації" [17]. Зокрема науковцями цих шкіл:

- розкрито механізми корозійно-втомного руйнування устаткування, розроблено методи прогнозування його довговічності та запобігання аварійності [18];

- удосконалено методи нанесення зносостійких покриттів [19];

- створено наукові основи і нові технології інтенсифікації видобування нафти та підвищення нафтовилучення [20];

- запропоновано методологічні засади діагностики ШСНУ [21];

- розроблено теоретичні основи багатопараметрового неруйнівного контролю об'єктів довготривалої експлуатації [22].

Проте спостерігаються і негативні тенденції в науці: зменшення фінансування, відтік кадрів, скорочення наукових установ, демографічні зміни, вплив війни. Кількість дослідників, задіяних у виконанні наукових досліджень і розробок, з 2010 по 2024 рік зменшилась у 3,13 рази (з 133744 до 42670) [23]. Апроксимація даних (експоненціальною залежністю з $R^2=0,96$) показує зменшення кількості до 30 тисяч в 2026 році. Частка витрат на наукові дослідження і розробки у ВВП з 2010 по 2024 рік зменшилась удвічі (з 0,75 % до 0,37 %) [24]. Апроксимація даних (експоненціальною залежністю з $R^2=0,94$) показує зменшення до 0,29 % в 2026 році. Ці цифри характерні для багатьох галузей, у тому числі нафтогазової. Загалом науковий потенціал України використовується не повністю [15]. Для досягнення позитивного системного ефекту необхідна оптимізація спрямувань фінансування та зусиль науковців, а також міжнародна співпраця [15].

Проблеми застосування ШСНУ

До складу установок входить обладнання з різними термінами служби: верстати-качалки, свердловинні насоси, насосно-компресорні труби, насосні штанги, обладнання гирла свердловин, викидні лінії тощо. Ефективні та надійні ШСНУ є важливим стратегічним обладнанням, особливо в час військового стану. В умовах повномасштабної агресії вітчизняні нафтогазовидобувні підприємства попри існуючі виклики продовжують свою роботу та експлуатують ШСНУ. Разом з тим існують значні проблеми надійності та зношеності обладнання ШСНУ (рис. 1). Існуючий парк верстатів-качалок в Україні перебуває у значно зношеному стані, більшість з них експлуатуються понад 16 років. Основні відмови пов'язані з



Рисунок 1 – Переваги ШСНУ та проблеми їх використання

ключовими компонентами: свердловинним насосом, колоною насосних штанг (ШН) та насосно-компресорними трубами (НКТ) [25]. Такі відмови вимагають дорогого та тривалого підземного ремонту. Додатково виходять з ладу наземні вузли.

Обладнання ШСНУ працює у складних експлуатаційних умовах, включаючи циклічні навантаження, тертя, зношування, згин, кручення, корозійне середовище, підвищений тиск, а також вплив газу, піску та смолопарафінових утворень (СПУ) [25, 26]. Ці фактори призводять до частих відмов обладнання, зокрема важкодоступної підземної частини, такої як колона насосних штанг та насос [25, 27]. Для прикладу обриви колон насосних штанг становлять 30-40% від усіх відмов ШСНУ і вимагають вартісних та тривалих підземних ремонтів, пов'язаних з простоєм свердловини. Корозія є причиною майже половини всіх поломок ШН [25]. Чимало відмов спричинені корозійно-втомним руйнуванням [25].

Основними видами відмов штангової колони під час експлуатації нафтових свердловин зазвичай є обриви тіла штанги або обриви в місцях різьбових з'єднань, самовільне розгвинчування різьбових з'єднань, а також пошкодження муфт через їх зношування під час тертя об внутрішню поверхню насосно-компресорних труб [25]. Окрім цього, можливі обриви полірованого штока. Вихід з ладу насосних штанг спричиняє простой та потребу в проведенні підземного ремонту, нерідко із застосуванням ловильних операцій. Частота таких ре-

монтів, пов'язаних з усуненням обривів насосних штанг, змінюється щороку та може варіюватися в межах 8–23 % від загальної кількості підземних ремонтів [25]. Проведений статистичний аналіз обривів штангових колон за останні три десятиліття їх експлуатації [28] дав змогу отримати графічні та аналітичні залежності, що дозволяють прогнозувати глибину обриву з певною ймовірністю, враховуючи діаметр штанг, характеристики свердловинних насосів та глибину їх розташування. Отримані результати дозволяють комплексно підходити до оцінювання та прогнозування показників надійності обладнання з одночасною концентрацією зусиль на його ресурсному проектуванні.

Актуальність дослідження ШСНУ обґрунтовується важливою їх роллю у видобуванні нафти в Україні, особливо в умовах воєнного часу, а також складними умовами їх експлуатації та необхідністю підвищення їхньої ефективності та надійності. Виникають питання автоматизації проектування ефективних ШСНУ, колон насосно-компресорних труб та насосних штанг, розроблення обладнання для попередження СПУ, а також контролю технічного стану та підвищення ресурсу ШСНУ загалом. Саме ці питання та шляхи їх вирішення висвітлені у працях, що опубліковані колективом авторів впродовж останніх років [25, 27-33]. Багато років науковці працювали над проблемою покращення ефективності ШСНУ. За цей час виконано десятки фундаментальних та прикладних науково-дослідних робіт на за-



Рисунок 2 – Основні напрями дослідження ШЧУ, виконані фахівцями ІФНТУНГ

мовлення МОН України та я госпдогівірних робіт на замовлення АзІНМАШ (м. Баку), ФМІ ім. Г.В. Карпенка (м. Львів), ВО «Укрнафта» (м. Київ), НГВУ «Долиналифтогаз» (м. Долина), Бориславської ЦБВО (м. Борислав), Дніпровського відділення УАННП (м. Дніпро), КБ «Південне» (м. Дніпро), ТЗОВ «Такт» (м. Дніпро).

Основні ідеї, методи, підходи та отримані результати

Нижче проаналізовано основні шляхи підвищення ефективності, зменшення відмов і аварій ШЧУ та збільшення видобутку нафти, запропоновані фахівцями ІФНТУНГ (рис. 2).

Системний підхід та інформаційна підтримка життєвого циклу виробу

Враховуючи складні умови експлуатації ШЧУ та існування множини факторів, що спричиняють різноманітні складні проблеми на різних етапах ЖЦ, критично важливим є застосування комплексного, системного підходу, який дозволяє вирішувати ці численні проблеми найбільш ефективно.

Кожен виток спіралі розвитку обладнання ШЧУ являє собою ітерацію багатофакторного оптимізаційного процесу за критеріями якості і витрат на різних етапах його ЖЦ. Супроводження цього процесу потребує якісної автоматизації. Завдяки сучасним досягненням у сферах імітаційного моделювання, скінченно-елементного аналізу, автоматизованого проектування (CAD/CAE/CAM), статистичного аналізу даних та машинного навчання, теорії систем та системного аналізу, авторами створено підґрунтя для побудови ефективних інформа-

ційних систем (ІС) інформаційної підтримки життєвого циклу ШЧУ, що можуть поєднувати різноманітні компоненти [34]. Концепція інформаційної підтримки життєвого циклу виробу (PLM) є ключовим елементом цього підходу. Авторами доведено [35], що такі ІС повинні реалізовуватися на основі принципів теорії систем та володіти закономірностями складних систем. Основою створення таких ІС є розроблена абстрактна модель ІС, що відображає закономірності складних систем. Як правило ці інформаційні системи відносяться до класу мультиагентних та гібридних системи.

Запропоновані прототипи ІС [36] базуються на інтеграції різноманітних компонентів, таких як параметричні комп'ютерні моделі обладнання, статистичні моделі його відмов, бази знань разом з машинами логічного виведення та результати імітаційного моделювання. Для розроблення цих компонентів використовували зручну і вільну мову програмування Python та її різноманітні пакети. Впровадження компонентів системи в НГВУ "Долиналифтогаз" є практичним кроком для підвищення якості експлуатації та надійності ШЧУ.

Важливим компонентом PLM-системи є база знань з проблем надійності різьбових з'єднань ШЧУ, що створена з використанням логіки предикатів та мови Python для систематизації знань, логічного обґрунтування рішень та уникнення психологічної інерції. База знань використовує трійки (суб'єкт, предикат, об'єкт) для збереження фактів. Машина логічного виведення може виводити нові факти з використанням множини правил виведення [34].

Застосування математичного моделювання

Значна увага приділяється розробці різноманітних математичних моделей для аналізу, прогнозування та оптимізації обладнання ШСНУ.

Шляхом використання методів математичної статистики та машинного навчання (зокрема, ансамблів дерев рішень, методу GMDH) розроблено високоточні та робастні моделі відмов штангових колон і полірованого штока [28, 34]. Вони можуть бути використані для прогнозування частоти відмов ШН та відносної глибини відмови. Точність прогнозування досягає 0,94.

Розроблено динамічні імітаційні моделі ШСНУ з використанням Python та Modelica, що дозволяють моделювати складні явища та спрощують модифікацію та інтеграцію моделей в ІС. Вперше розроблено модель ШСНУ, в якій пружна багатосекційна колона штанг моделюється системою абстрактних автоматів мовою Python [34]. Такий підхід спрощує моделювання локальних явищ та дозволяє описувати складні явища, які важко сформулювати за допомогою диференціальних рівнянь (стохастична поведінка та накопичення пошкоджень внаслідок зношування, втоми чи корозії). Також вперше розроблено просту для модифікації компонентно-орієнтовану модель ШСНУ мовою Modelica з інтерфейсом мовою Python [34]. Ця модель, що базується на стандартних механічних компонентах, створена згідно з принципами компонентно-орієнтованого моделювання, які спрямовані на спрощення її створення, розвитку та інтеграції в інформаційну систему, і може бути використана для аналізу та оптимізації обладнання. Як простішу для використання альтернативу Modelica розроблено систему компонентно-орієнтованого мультифізичного моделювання мовою Python [37] та проведено симуляцію руху штангових колон.

Для ефективного аналізу напружено-деформованого стану, міцності, герметичності та віб्रोстійкості створено детальні параметричні геометричні та скінченно-елементні моделі (СЕМ) проблемних вузлів (різбових з'єднань, з'єднань склопластикових штанг, сталевих штанг і труб з дефектами та склопластиковими бандажми, протекторів, клапанів) [28]. Ця множина моделей інтегрується в PLM систему.

Застосування нових матеріалів

Видобуток вуглеводнів із виснажених нафтових родовищ дедалі більше залежить від систем механізованого видобутку для підтримання темпів видобутку, оскільки тиск у природному пласті знижується. Протягом десятиліть звичайні сталеві насосні штанги домінували в нафтовидобувній галузі, проте їхня продуктивність дедалі більше піддається впливу суворих експлуатаційних умов. Вплив агресивних рідин, багатоциклової втоми та підвищені температури часто призводять до передчасних відмов, дорогого капітального ремонту та простоїв у виробництві. Крім того, значна вага сталевих штанг сприяє підвищеному споживанню енергії та обмежує їх застосування в глибших або похилих свердловинах. Останніми роками композитні матеріали [25, 28] стали перспективною альтернативою сталі, пропонує такі переваги, як висока міцність, мала вага, корозійна стійкість та відмінні характеристики втомної міцності.

Розроблено та впроваджено склопластикові, вуглепластикові та гібридні ШН. Полімерні композитні матеріали (ПКМ) матеріали значно зменшують навантаження на верстаткачку, мають високу корозійну стійкість та витривалість. Це дає можливість зменшити кількість обривів штанг через вплив корозійного середовища, запобігти утворенню смолисто-парафінових відкладів та реалізувати ефект суперходу, який збільшує подачу свердловинного насоса [34]. Обґрунтовано застосовування гібридних насосних штанг, які мають надзвичайно високі характеристики міцності та витривалості [38, 39]. Розроблено та застосовано для оптимізації конструкцій різноманітних з'єднань системи автоматизованого проектування, що базуються на СЕМ [28]. За допомогою них обґрунтовано оптимальні параметри адгезійних, пресових та комбінованих з'єднань [38]. Також розроблено бандажі з ПКМ для ремонту викидних трубопроводів та НКТ. Шляхом СЕМ доведено їхню ефективність для ремонту труб і штанг з різними ефектами (корозійна виразка, осьова та поперечна тріщини) [34].

Розроблені і впроваджені конструкції насосних штанг із склопластику, вуглепластику та гібридні для глибоких свердловин (до 2500-3000 м): розроблено технічні умови ТУ У 29.5-13741713-002.2006 та ТУ У 13741713.001-2000), підтверджено патентами України № 29783А, № 35751А, № 35781А, № 50094А, № 50093А); впроваджені в НГВУ "Долиналифтогаз". Заводи «Компласт», м. Харків, та ТОВ НВП «Укрізо-

літ», м. Світловодськ, організували серійне виробництво склопластикових штанг та труб.

Особливий інтерес викликають розробки гібридних насосних штанг, які мають вуглепластикові осердя та склопластикову оболонку та володіють надзвичайно високими характеристиками міцності та витривалості, а також порожнистих насосних штанг з вуглепластика, що здатні реалізовувати низку технологічних процесів, забезпечуючи ефективність процесу видобування нафти [38, 39]. Гібридні насосні штанги перевищують показники витривалості та статичної міцності сталевих і склопластикових штанг [28, 33].

Зміцнення сталевих штанг

Застосовано комбіновані методи зміцнення, включаючи дробоструминну обробку та нанесення металізаційних і металополімерних покриттів. Впроваджена установка УДША–1 для дробоструминного зміцнення та металізації штанг і установка УВЦ-25 для зміцнення штанг обертовими щітками в НГВУ «Долина нафтогаз». Ці технології подовжують ресурс сталевих штанг у 1.5-2 рази. Зміцнені штанги працювали в свердловинах по 10-15 років, що удвічі довше за серійні [25].

Розроблені і впроваджені бандажі з ПКМ та ізоляційне композитне покриття для ремонту викидних нафтопроводів, створена теорія підсилення, розроблено технічні умови (ТУ У 80.3 – 02070855-003-2004 та ТУ У 26.1-02070855-003-2010), виготовлено дослідні зразки, проведено промислову перевірку, впроваджено на нафтових промислах, отримано патенти України № 60506, № 69083, № 69157, патент на корисну модель № 15437. Це значно зменшує кількість поривів трубопроводів і дає значну економію коштів.

Штангообертачі, скребки та протектори

Штангообертачі (анг. sucker rod rotator) та штанги з шкребками і протекторами досить давно використовуються у світовій практиці експлуатації ШСНУ для боротьби з СПУ, зменшення зношування штанг, муфт та НКТ, а також запобігання самовідгвинчуванню різьбових з'єднань [25]. Удосконалення їх конструкцій було спрямовано на: забезпечення безперервного обертання колони і зменшення навантаження на механізми штангообертача, зменшення навантаження стиску на конулу склопластикових штанг шляхом зменшення гідродинамічного опору протекторів, збільшення зносостійкості протекторів, створення додаткового крутного моменту протекторами,

збільшення втомної міцності різьбових з'єднань з муфтами-протекторами [25].

В НГВУ «Долина нафтогаз» ПАТ «Укрнафта» впроваджено та щорічно за період з 2002 року по 2023 рік серійно використовуються штангообертачі та сталеві насосні штанги зі шкребками, розроблені згідно з ТУ У 11.2 – 0013530-117-2002 «Обертач колони насосних штанг» та ТУ У 11.2 – 0013530-117-2002 «Насосні штанги з шкребками-протекторами», що дозволяє ефективно попереджувати парафіноутворення та підвищувати ресурс насосних штанг. Штангообертачі та шкребки-протектори виготовляються Бориславською ЦБВО ПАТ «Укрнафта» (розроблені технічні умови), підтверджені патентами України № 49211А та № 50092А).

Оптимізація конструкцій та параметрів обладнання

На основі розроблених моделей проводиться дослідження та оптимізація конструкцій та параметрів різних вузлів ШСНУ, зокрема різьбових з'єднань, з'єднань склопластикових штанг, протекторів. Метою є підвищення міцності, герметичності, вібростійкості та довговічності обладнання. Запропоновано способи ефективного дослідження та удосконалення обладнання ШСНУ, оптимізації його конструкції або раціонального вибору значень її параметрів. Створено методики для оптимізації моменту згвинчування різьбових з'єднань та параметрів конструкції пресових з'єднань склопластикових штанг [34].

Важливим напрямком боротьби з піском та газом при видобуванні нафти за допомогою ШСНУ є застосування струминних насосних апаратів та газопіщаних сепараторів [30, 40-42]. Розроблена методика оптимізації місця розташування нафтогазових ежекторів у свердловинах з ШСНУ.

Мобільні системи контролю (МСК) та діагностики

Розроблено принципи побудови та реалізації МСК для контролю технічного стану ШСНУ, включаючи використання сучасних цифрових приладів та датчиків. Вперше на основі виконаних теоретично-експериментальних досліджень розроблено методичні засади проектування мобільних систем контролю (МСК) [31]. Також розроблено методи діагностики динамічного стану ШСНУ. Адаптація військових датчиків перевантаження для цих цілей є прикладом інноваційного підходу.

Створена комп'ютерна діагностична система з базою даних для вибору стратегії технічного обслуговування і ремонту ШСНУ. Така система попереджує аварійні ситуації на промислі і дає значний економічний ефект.

Запропоновано методи і технічні пристрої діагностики динамічного стану ШСНУ шляхом розроблення та обґрунтування класифікації та граничних параметрів динамічних станів системи, на базі яких із застосуванням комп'ютерних технологій створено нові методи і технічні рішення, що дозволяють підвищити безпеку експлуатації зношених ШСНУ. Вдало адаптовані військові датчики переважання для вимірювання лінійних прискорень з необхідною точністю та надійністю, які пройшли державну метрологічну атестацію у складі системи контролю.

Вперше розроблено трирівневу систему синтезу алгоритму проектування мобільної системи контролю ШСНУ з використанням сучасних цифрових приладів і устаткування з мінімально допустимою похибкою і високою надійністю, яка підтверджена теоретичними і експериментальними роботами на свердловинах НГВУ "Долина нафтогаз" та в умовах Бориславської центральної бази виробничого обслуговування (ЦБВО).

Вперше запропоновано гнучку функціональну блок-схему мобільної системою контролю (МСК) технічного стану ШСНУ у загальному вигляді, яка адаптується до умов та завдань контролю, чого не було у попередників. Розроблено безкамерний метод оцінки іскробезпеки електричних кіл МСК. Подальше розвинуто вирішення «задачі Ельвінга» для оптимізації складу МСК ШСНУ та метод атестації цифрових МСК ШСНУ.

Впровадження та практичне застосування

Наведені результати досліджень та розробок широко впроваджено в промисловість, зокрема в НГВУ "Долина нафтогаз" ПАТ "Укрнафта", Бориславській ЦБВО, завод «Компласт» (м. Харків), ТОВ НВП «Укрізоліт», ТОВ «Краснолиманське», ШУ ім. Героїв Космосу ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» та ВП «ШУ Першотравневе» ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля». Також основні результати інтегровано в навчальний процес Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу [29]. Розроблене програмне забезпечення доступне як відкрите через GitHub [32].

Напрямки подальших досліджень

Ґрунтуючись на першочерговості розвитку системного підходу до вирішення проблем ЖЦ ШСНУ та з орієнтацією на технології, що з нього випливають (такі як Industry 4.0, технології автоматизації проектування та виробництва, гнучкого виробництва, ощадливого виробництва та сучасні інформаційні технології, PLM), а також виходячи з досягнутих результатів наукової роботи, можна сформулювати наступні напрямки подальших досліджень:

1. Подальший розвиток та удосконалення інформаційної системи підтримки життєвого циклу ШСНУ. Необхідно продовжувати розвивати інформаційну систему (ІС), яка вже впроваджена в НГВУ "Долина нафтогаз" [32]. Система містить множину моделей обладнання та має такі закономірності складних систем як емерджентність та "необхідна різноманітність". Подальший розвиток цієї ІС, що належить до класів мультиагентних (MAS) та гібридних систем, має бути спрямований на посилення її самоорганізуючих властивостей та забезпечення простішого розширення та інтеграції гетерогенних компонентів. Це включає вдосконалення абстрактної моделі ІС та принципів її реалізації.

2. Інтеграція ІС та діагностичних систем з сучасними моделями машинного навчання та методами аналізу великих даних. Враховуючи використання в роботі методів математичної статистики та індуктивного машинного навчання для прогнозування відмов, наступним кроком є інтеграція ІС з більш складними та потужними моделями ШІ, такими як великі нейромережеві моделі [43]. Це дозволить підвищити якість прогнозування, оптимізувати прийняття рішень, забезпечити більш глибокий аналіз даних, що надходять під час експлуатації, а також реалізувати концепцію предиктивного обслуговування.

3. Розширення та поглиблення бази знань ІС. Існуюча база знань з проблем надійності різьбових з'єднань ШСНУ, що використовує логіку предикатів та мову Python, потребує систематичного розширення. Це включає додавання знань про інші проблемні вузли та деталі ШСНУ, різні види відмов та їхні причини, методи діагностики, ремонту та оптимізації, використовуючи результати симуляції, експертні знання та промислові дані.

4. Подальший розвиток та інтеграція імітаційних та скінченно-елементних моделей обладнання ШСНУ. Існуючі компонентно-орієнтовані моделі ШСНУ та деталізовані моделі окремих її компонентів (клапанів насоса,

з'єднань склопластикових штанг, різьбових з'єднань, штангових протекторів тощо), розроблені з використанням МСЕ та САПР, мають бути далі удосконалені для підвищення їхньої адекватності, спрощення використання та інтеграції в ІС. Це включає розробку нових моделей для інших компонентів ШСНУ та їх взаємодії, а також розвиток програмних каркасів для створення таких моделей.

5. Дослідження та впровадження нових матеріалів та конструктивних рішень. Використання полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) та розробка нових конструкцій обладнання (наприклад, гібридних та порожнистих штанг, удосконалених різьбових з'єднань, протекторів, бандажів) є ключовими напрямками, підтвердженими дослідженнями. Подальші дослідження мають бути спрямовані на комплексне вивчення працездатності цих рішень за допомогою розробленої методології та ІС, а також на розробку технологій їх виробництва та ремонту.

6. Розвиток та інтеграція систем контролю та діагностики. Мобільні системи контролю (МСК) є важливим елементом підтримки ЖЦ ШСНУ. Майбутні дослідження мають бути спрямовані на вдосконалення алгоритмів синтезу та роботи МСК, підвищення точності та надійності вимірювань, а також на їх повну інтеграцію з централізованою ІС для автоматизованого моніторингу, діагностики, прогнозування технічного стану та планування технічного обслуговування і ремонту обладнання. Розроблена множина моделей та МСК дозволяють реалізувати концепцію цифрових двійників (Digital Twins), яка є невід'ємною частиною Індустрії 4.0 та відіграє ключову роль у PLM. Цифровий двійник є віртуальною моделлю фізичного об'єкта, яка дозволяє оптимізувати різні процеси ЖЦ виробу. Загалом інтеграція компонентів важлива для досягнення системного ефекту ефективного управління якістю і витратами в ЖЦ ШСНУ.

Ці напрямки відповідають меті досліджень – підвищення енергетичної безпеки держави шляхом створення ефективного та надійного нафтопромислового обладнання ШСНУ та системи інформаційної підтримки його життєвого циклу.

Заходи зміцнення енергетичної безпеки держави

Проведений аналіз також дозволяє сформулювати можливі заходи зміцнення енергетичної безпеки держави, що стосуються видобування нафти:

1. Диверсифікація джерел надходження нафти.

2. Підвищення власного видобутку.

3. Розвідка нових родовищ на недосліджених територіях, буріння глибоких свердловин.

4. Відновлення свердловин з використанням новітнього або модернізованого надійного нафтопромислового обладнання. Перевагу слід віддавати модернізації та оптимізації використання наявного обладнання ШСНУ, опираючись на проведені дослідження.

5. Модернізація існуючих свердловин і застосування вискоєфективних технологій, у тому числі запропонованих авторами, для збільшення продуктивності та зменшення простоїв внаслідок відмов.

6. Оптимізація використання ресурсів і впровадження "ощадливого виробництва" та енергозберігаючих технологій у нафтогазовому машинобудуванні та нафтовидобуванні.

7. Повноцінне використання та підтримка науково-технічних ресурсів України, у першу чергу результатів досліджень в напрямку нафтогазового машинобудування, зокрема системи знань про підвищення ефективності та надійності ШСНУ.

8. Державно-приватне партнерство для залучення інвестицій у розвідку та видобуток.

9. Інтеграція з ЄС у сфері енергетичної безпеки, включаючи нормативно-правову гармонізацію та науково-технічне співробітництво.

10. Використання системного підходу та пов'язаних з ним новітніх технологій до вирішення галузевих і локальних проблем нафтової промисловості.

Висновки

Україна має потенціал для зменшення залежності від імпорту нафти через диверсифікацію, технологічну модернізацію та активізацію власного видобутку, проте це вимагає системних державних рішень і міжнародної підтримки.

Запропоновано десятки технологічних рішень в модернізації та підвищенні ефективності обладнання для видобування нафти, яке полягає в використанні сучасних методів проектування обладнання, застосування ПКМ для виготовлення суцільних і порожнистих насосних штанг, розробленні мобільної системи контролю та діагностики ШСНУ, нанесенні металізаційних та металополімерних покриттів на штанги, розробленні ефективних штангообертачів та шкребків для видалення смолопарафінових відкладів, бандажів з ПКМ для

ремонту пошкоджених викидних трубопроводів тощо.

Висвітлено комплексний підхід до підвищення ефективності та надійності ІСНУ, що є критично важливим для енергетичної безпеки України, особливо в умовах війни. Запропоновані рішення, включаючи розробку ІС ЖЦ на основі системного підходу, використання сучасних моделей (статистичних, імітаційних, скінченно-елементних), застосування нових матеріалів (ПКМ) та технологій зміцнення, оптимізація конструкцій та впровадження МСК, мають значний науковий та практичний

потенціал. Впровадження цих розробок на практиці, зокрема в НГВУ "Долиналифтогаз", свідчить про їхню актуальність та ефективність у вирішенні існуючих проблем зношеності обладнання та підвищення надійності процесу видобування нафти.

Подяки

Відсутні.

Конфлікт інтересів

Відсутній.

Список використаних джерел

1. Енергетична безпека держави: Високоєфективні технології видобування, постачання і використання природного газу / Крижанівський Є.І., Гончарук М.І., Грудз В.Я. та ін. Київ : Інтерпрес ЛТД. 2006. 282 с.
2. Misiagiewicz J. Energy security as a research area of international security. *Stosunki Międzynarodowe-International Relations*. 2022. Vol. 58. P. 116. URL: <https://doi.org/10.12688/stomiedintrelat.17622.2>
3. Бараннік В.О. Аналіз паливно-енергетичного балансу країни з точки зору енергетичної незалежності. *Стратегічна панорама*. № 3. 2004. С.13-18.
4. Дейна А.Ю. Енергетична незалежність України: статистична оцінка, моделювання та прогнозування. Дис. ... к.е.н. : 08.00.10 Статистика. Донецький національний університет імені Василя Стуса, Вінниця, Національна академія статистики, обліку та аудиту, Київ. 2018. 206 с. URL: http://nasoa.edu.ua/wp-content/uploads/zah/deina_dis.pdf
5. Мазаракі А., Мельник Т. Енергетична безпека країни. *Зовнішня торгівля: економіка, фінанси, право*. 2024. 133, 2.. С. 4–29. DOI: [https://doi.org/10.31617/3.2024\(133\)01](https://doi.org/10.31617/3.2024(133)01)
6. Кузь В. Енергетична безпека держави в умовах посилення глобалізаційних процесів. *Університетські наукові записки*. 2023. №3-4 (93-94). С.18-29. DOI: <https://doi.org/10.37491/UNZ.93-94.2>.
7. Oil and Gas Security During the Energy Transition. APEC Oil and Gas Security Studies. Series 19. APEC Energy Working Group. Tokyo : APERC. September 2023. 80 p. URL: https://aperc.or.jp/file/2023/9/26/Oil_and_Gas_Security_During_the_Energy_Transition-No19.pdf
8. Звідки власна нафта в Україні та як намагаються наростити видобуток в умовах війни/ URL: <https://www.rbc.ua/rus/news/zvidki-vlasna-nafta-ukrayini-ta-k-namagayutsya-1720367177.html> (accessed 12.06.2025).
9. Проект Плану відновлення України. Матеріали робочої групи «Енергетична безпека» Липень 2022. Національна рада з відновлення України від наслідків війни. 164 с. URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/energy-security.pdf>
10. Державна служба статистики України. Енергетичний баланс України. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/> (accessed 12.06.2025).
11. Державна служба статистики України. Загальне постачання первинної енергії за 2007-2021 роки. URL: https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2020/energ/z_post_pe/zp_pen_ue.xls
12. Ahmedov B., Hajiyevev A., Mustafayev V. Estimation of the equality of the beamless sucker-rod oil pumping unit by the value of the consumption current. *Nafta-Gaz*. 2021. №77. P.571-578. DOI: <https://doi.org/10.18668/NG.2021.09.01> .
13. 7.7 млрд грн на паливо для армії: ДОТ розпланував закупівлі на II квартал 2025 року. Міністерство оборони України. 3 березня 2025. URL: <https://mod.gov.ua/news/7-7-mlrd-grn-na-palivo-dlya-armiyi-dot-rozplanuvav-zakupivli-na-ii-kvartal-2025-roku> (accessed 12.06.2025).
14. Ge Z. Statistical analysis of sucker rod pumping failures in the Permian Basin Texas. Masters Thesis. Tech University. 1998. URL: <http://hdl.handle.net/2346/16616>
15. Поручник А. Інноваційний потенціал України та його реалізація в міжнародному науково-технічному співробітництві. *Міжнародна економічна політика*. № 1. 2004. С. 94-121. URL: <https://journals.uran.ua/jiep/article/download/27425/24572>

16. Електронний науковий архів Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. URL: <http://elar.nung.edu.ua/> (accessed 12.06.2025).
17. Наукові школи ІФНТУНГ. URL: <https://nung.edu.ua/departament/naukovi-shkoly> (accessed 12.06.2025).
18. Kryzhanivs'kyi E.I., Tsyurul'nyk O.T., Petryna D.Yu. Effect of hydrogenation and plastic predeformation of steel on its crack resistance. *Materials Science*. 1999. № 35(5). P. 674–677. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02359354>
19. Striletskyi Y., Ropyak L., Bandura A. Method of oscillation excitation for investigation of inconsistency of coating deposition on long parts. *Vibroengineering Procedia*. 2024, № 57, P. 25–31. DOI: <https://doi.org/10.21595/vp.2024.24567>
20. Створення способу і практичної методики покращення режимів роботи штангово-насосних свердловин з метою збільшення поточних відборів нафти : звіт про НДР : № 99/401 / КНВП «Нафтогазсервіс» ; керівник Бойко В. С. Івано-Франківськ, 2000. 223 с. Фонди КНВП «Нафтогазсервіс».
21. Заміховський Л.М., Ровінський В.А., Євчук О.В. Діагностика технічного стану штангових глибинно-насосних установок. Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2006.
22. Ультразвуковий контроль у нафтогазовій галузі: Івано-Франківська школа / В. О. Троїцький, О. М. Карпаш, І. С. Кісіль, П. Я. Криничний. *Методи та прилади контролю якості*. 2005. № 14. С.16-20. URL: <http://elar.nung.edu.ua/handle/123456789/1347>
23. Державна служба статистики України. Кількість працівників, задіяних у виконанні наукових досліджень і розробок за категоріями персоналу (2010-2024). URL: https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2021/ni/rik/kpzvndrkrp_10_20_ue.xlsx
24. Державна служба статистики України. Витрати на виконання наукових досліджень і розробок за видами робіт (2010-2024). URL: https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2021/ni/rik/vvndrvr_10_20ue.xlsx
25. Копей Б.В., Копей В.Б., Копей І.Б. Насосні штанги свердловинних установок для видобування нафти. Монографія. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2009. 406 с.
26. Hansen B., Tolbert B., Vernon C., Hedengren J. Model predictive automatic control of sucker rod pump system with simulation case study. *Computers & Chemical Engineering*. Vol. 121, 2 February 2019. P. 265-284. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2018.08.018>
27. Копей Б.В., Максимук О.В., Щербина Н.М., Розгонюк В.В., Копей В.Б. Насосні штанги та труби з полімерних композитів: проектування, розрахунок, випробування. Львів : ППММ ім. Я. С. Підстригача НАН України, 2003. 352 с.
28. Копей В. Б., Копей В. В. Нафтогазове обладнання: у 12 томах./ За заг. ред. Б. В. Копея. Т.12. Проектування та міцність колон і з'єднань насосних штанг з полімерних композитів: Монографія. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2021. 314 с.
29. Копей В. В., Копей В. Б. Використання методу скінченних елементів та тривимірного комп'ютерного моделювання для конструювання та оптимізації параметрів нафтогазового обладнання: Навчальний посібник. Івано-Франківськ : Факел, 2008. 117 с.
30. Копей В. В., Кузьмін О. О., Онищук С. Ю. Обладнання для попередження відкладень асфальтосмолистих речовин, парафіну та піску: Монографія: Серія «Нафтогазове обладнання», том 3. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2014. 216 с.
31. Копей Б.В., Лопатін В.В., Копей І.Б. Контроль технічного стану та підвищення ресурсу штангової свердловинної насосної установки : Монографія: Серія «Нафтогазове обладнання», том 11. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2020. 390 с.
32. Kopei V. Models and other PLM-componets for Sucker Rod Pumping Systems URL: <https://github.com/vkopey/PU> (accessed 12.06.2025).
33. Копей Б.В., Федорович Я.Т., Михайлюк В.В. Оцінка працездатності та підвищення довговічності насосних штанг. Монографія : Серія Нафтогазове обладнання: у 15 т. За заг. ред. Б.В. Копея. Т.15. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2023. 290 с.
34. Копей В.Б. Науково-методологічні основи автоматизованого проектування обладнання штангової свердловинної насосної установки : в 2 ч. дис. ... д-ра техн. наук : 05.05.12. Івано-Франківськ, 2020. Ч. 1. 428 с. URL: <http://elar.nung.edu.ua/handle/123456789/8465>

35. Копей В.Б. Абстрактна модель інформаційної системи підтримки життєвого циклу виробу. *Прикарпатський вісник НТШ*. Число. №2(38). 2017. С.71-96. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pvntsh_ch_2017_2_11

36. Designing a Multi-Agent PLM System for Threaded Connections Using the Principle of Isomorphism of Regularities of Complex Systems / Kopei, V., Onysko, O., Barz, C., Dašić, P., Panchuk, V. *Machines*. 2023. №11(2). P.263. URL: <https://doi.org/10.3390/machines11020263>

37. Kopei V.B., Onysko O.R., Panchuk V.G. Component-oriented acausal modeling of the dynamical systems in Python language on the example of the model of the sucker rod string. *PeerJ Computer Science*. 2019. 5:e227. URL: <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.227>

38. Чудик І. І., Копей І. Б., Копей В. Б., Кречковська Г. В., Пронюк І. В. Моделювання адгезійно-пресового з'єднання порожнистих склопластикових насосних штанг. *Науковий вісник Івано-Франківського Національного технічного університету нафти і газу*. 2024. № 2 (56). С.50-57. DOI: [https://doi.org/10.31471/1993-9965-2024-2\(57\)-50-57](https://doi.org/10.31471/1993-9965-2024-2(57)-50-57)

39. Chudyk I., Hyla P., Kopey B., Kopey I., Kuzmin O. Research and Development of Tubular Composite Sucker Rod. *Mining Machines*. 2025, Vol. 43. P. 58-68. URL: <http://dx.doi.org/10.32056/KOMAG2025.6>

40. Методика визначення раціонального місця розташування нафтогазових ежекторів у нафтогазових свердловинах, що експлуатуються штанговими насосами: галуз. документ / В.С. Бойко, Б.В. Копей, О.В. Паневник та ін. ; ПАТ "Укрнафта" ; Івано-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу, НДПІ. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2016. 88 с.

41. Копей Б.В., Кузьмін О.О., Костур Б.М. Газопісочний сепаратор. Патент України на корисну модель №.91092, По заявці № u200807646. 4.06.08. Бюл.№ 12, 2010, 25.06.10.

42. Chudyk I., Panevnyk D. Determination of Experimental Characteristics of a Jet-vortex Pump. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*. 2024. № 68(4). P. 361–369. DOI: <https://doi.org/10.3311/PPme.38631>

43. Wolf T., Debut L. et al. Transformers: State-of-the-Art Natural Language Processing. Proceedings of the 2020 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing: System Demonstrations, 2020. P. 38–45. URL: <https://aclanthology.org/2020.emnlp-demos.6>

References

1. Enerhetychna bezpeka derzhavy: Vysokoeфекtyvni tekhnolohii vydobuvannya, postachannia i vykorystannia pryrodnoho hazu / Kryzhanivskiy Ye.I., Honcharuk M.I., Hrudz V.Ia. ta in. Kyiv : Interpres LTD. 2006. 282 p. [in Ukrainian]

2. Misiagiewicz J. Energy security as a research area of international security. *Stosunki Międzynarodowe–International Relations*. 2022. Vol. 58. P. 116. URL: <https://doi.org/10.12688/stomiedintrelat.17622.2>

3. Barannik V.O. Analiz palyvno-enerhetychnoho balansu krainy z tochky zoru enerhetychnoi nezalezhnosti. *Stratehichna panorama*. No 3. 2004. P.13-18. [in Ukrainian]

4. Deina A.Iu. Enerhetychna nezalezhnist Ukrainy: statystychna otsinka, modeliuvannia ta prohnouzuvannia. Dys. ... k.e.n. : 08.00.10 Statystyka. Donetskyy natsionalnyi universytet imeni Vasyliia Stusa, Vinnytsia, Natsionalna yakademiia statystyky, obliku ta audytu, Kyiv. 2018. 206 p. URL: http://nasoa.edu.ua/wp-content/uploads/zah/deina_dis.pdf [in Ukrainian]

5. Mazaraki A., Melnyk T. Enerhetychna bezpeka krainy. *Zovnishnia torhivlia: ekonomika, finansy, pravo*. 2024. 133, 2. P. 4–29. DOI: [https://doi.org/10.31617/3.2024\(133\)01](https://doi.org/10.31617/3.2024(133)01) [in Ukrainian]

6. Kuz V. Enerhetychna bezpeka derzhavy v umovakh posylennia hlobalizatsiinykh protsesiv. *Universytetski naukovi zapysky*. 2023. No 3-4 (93-94). P.18-29. DOI: <https://doi.org/10.37491/UNZ.93-94.2>. [in Ukrainian]

7. Oil and Gas Security During the Energy Transition. APEC Oil and Gas Security Studies. Series 19. APEC Energy Working Group. Tokyo : APERC. September 2023. 80 p. URL: https://aperc.or.jp/file/2023/9/26/Oil_and_Gas_Security_During_the_Energy_Transition-No19.pdf

8. Zvidky vlasna nafta v Ukraini ta yak namahaiutsia narostyty vydobutok v umovakh viiny. URL: <https://www.rbc.ua/rus/news/zvidki-vlasna-nafta-ukrayini-ta-k-namagayutsya-1720367177.html> (accessed 12.06.2025). [in Ukrainian]

9. Proekt Planu vidnovlennia Ukrainy. Materialy robochoi hrupy «Enerhetychna bezpeka» Lypen 2022. Natsionalna rada z vidnovlennia Ukrainy vid naslidkiv viiny. 164 p. URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/energy-security.pdf> [in Ukrainian]
10. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. Enerhetychnyi balans Ukrainy. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/> (accessed 12.06.2025). [in Ukrainian]
11. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. Zahalne postachannia pervynnoi enerhii za 2007-2021 roky. URL: https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2020/energ/z_post_pe/zp_pen_ue.xls [in Ukrainian]
12. Ahmedov B., Hajiyevev A., Mustafayev V. Estimation of the equality of the beamless sucker-rod oil pumping unit by the value of the consumption current. *Nafta-Gaz*. 2021. No 77. P.571-578. DOI: <https://doi.org/10.18668/NG.2021.09.01>.
13. 7.7 mlrd hrn na palyvo dlia armii: DOT rozplanuvav zakupivli na II kvartal 2025 roku. Minister - tvo oborony Ukrainy. 3 bereznia 2025. URL: <https://mod.gov.ua/news/7-7-mlrd-grn-na-palivo-dlya-armiyi-dot-rozplanuvav-zakupivli-na-ii-kvartal-2025-roku> (accessed 12.06.2025). [in Ukrainian]
14. Ge Z. Statistical analysis of sucker rod pumping failures in the Permian Basin Texas. Masters T- Thesis. Tech University. 1998. URL: <http://hdl.handle.net/2346/16616>
15. Poruchnyk A. Innovatsiyni potentsial Ukrainy ta yoho realizatsiia v mizhnarodnomu naukovotekhnichnomu spivrobotnytstvi. *Mizhnarodna ekonomichna polityka*. No 1. 2004. P. 94-121. URL: <https://journals.urau.ua/jiep/article/download/27425/24572> [in Ukrainian]
16. Elektronnyi naukovyi arkhiv Ivano-Frankivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu nafty i hazu. URL: <http://elar.nung.edu.ua/> (accessed 12.06.2025). [in Ukrainian]
17. Naukovi shkoly IFNTUNH. URL: <https://nung.edu.ua/department/naukovi-shkoly> (accessed 12.06.2025). [in Ukrainian]
18. Kryzhanivskiy E.I., Tsyurulnyk O.T., Petryna D.Yu. Effect of hydrogenation and plastic predeformation of steel on its crack resistance. *Materials Science*. 1999. No 35(5). P. 674–677. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02359354>
19. Striletskyi Y., Ropyak L., Bandura A. Method of oscillation excitation for investigation of inconsistency of coating deposition on long parts. *Vibroengineering Procedia*. 2024, No 57, P. 25–31. DOI: <https://doi.org/10.21595/vp.2024.24567>
20. Stvorennia sposobu i praktychnoi metodyky pokrashchennia rezhymiv roboty shtanhovonasosnykh sverdlovyn z metoiu zbilshennia potochnykh vidboriv nafty : zvit pro NDR : No 99/401 / KHPB «Naftohazservis»; kerivnyk Boiko V. S. Ivano-Frankivsk, 2000. 223 p. Fondy KNVP «Naftohazservis».
21. Zamikhovskiy L.M., Rovinskyy V.A., Yevchuk O.V. Diahnostyka tekhnichnoho stanu shtanhovykh hlybynnonasosnykh ustanovok. Ivano-Frankivsk : Symfonia forte, 2006. [in Ukrainian]
22. Ultrazvukovy kontrol u naftohazovii haluzi: Ivano-Frankivska shkola / V. O. Troitskyi, O. M. Karpash, I. S. Kisil, P. Ya. Krynychnyi. *Metody ta prylady kontroliu yakosti*. 2005. No 14. S.16-20. URL: <http://elar.nung.edu.ua/handle/123456789/1347> [in Ukrainian]
23. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. Kil'kist pratsivnykiv, zadaniykh u vykonanni naukovykh doslidzhen i rozrobok za katehoriiami personalu (2010-2024). URL: https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2021/ni/rik/kpzvndrpk_10_20_ue.xlsx [in Ukrainian]
24. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. Vytraty na vykonannya naukovykh doslidzhen i rozrobok za vydamy robot (2010-2024). URL: https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2021/ni/rik/vvndrvr_10_20ue.xlsx [in Ukrainian]
25. Kopei B.V., Kopei V.B., Kopei I.B. Nasosni shtanhy sverdlovynnykh ustanovok dlia vydobuvania nafty. *Monohrafiia*. Ivano-Frankivsk : IFNTUNH, 2009. 406 p. [in Ukrainian]
26. Hansen B., Tolbert B., Vernon C., Hedengren J. Model predictive automatic control of sucker rod pump system with simulation case study. *Computers & Chemical Engineering*. Vol. 121, 2 February 2019. P. 265-284. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2018.08.018>
27. Kopei B.V., Maksymuk O.V., Shcherbyna N.M., Rozghoniuk V.V., Kopei V.B. Nasosni shtanhy ta truby z polimernykh kompozytiv: proektuvannia, rozrakhunok, vyprovuvannia. Lviv : IPPMM im. Ya. S. Pidstryhacha NAN Ukrainy, 2003. 352 p. [in Ukrainian]
28. Kopei V. B., Kopei B. V. Naftohazove obladnannia: u 12 tomakh. / Za zah.red. B. V. Kopeia. T.12. Proektuvannia ta mitsnist kolon i ziednan nasosnykh shtanh z polimernykh kompozytiv: Monohrafiia. Ivano-Frankivsk : IFNTUNH, 2021. 314 p. [in Ukrainian]

29. Kopei B. V., Kopei V. B. Vykorystannia metodu skinchennykh elementiv ta tryvymirnoho kompiuternoho modeliuvannia dlia konstruiuvannia ta optymizatsii parametriv naftohazovoho oblad-?annia: Navchalnyi posibnyk. Ivano-Frankivsk : Fakel, 2008. 117 p. [in Ukrainian]
30. Kopei B. V., Kuzmin O. O., Onyshchuk S. Yu. Obladnannia dlia poperedzhennia vidkladen asfaltosmolystykh rehovyn, parafinu ta pisku: Monohrafiia: Seriia «Naftohazove obladnannia», tom 3. Ivano-Frankivsk : IFNTUNH, 2014. 216 p. [in Ukrainian]
31. Kopei B.V., Lopatin V.V., Kopei I.B. Kontrol tekhnichnoho stanu ta pidvyshchennia resursu shtanhovoi sverdlodynnoi nasosnoi ustanovky : Monohrafiia: Seriia «Naftohazove obladnannia», tom 11. Ivano-Frankivsk : IFNTUNH, 2020. 390 p. [in Ukrainian]
32. Kopei V. Models and other PLM-componets for Sucker Rod Pumping Systems URL: <https://github.com/vkopey/PU> (accessed 12.06.2025).
33. Kopei B.V., Fedorovych Ya.T., Mykhailiuk V.V. Otsinka pratsezdatsnosti ta pidvyshchennia dovhovichnosti nasosnykh shtanh. Monohrafiia : Seriia Naftohazove obladnannia: u 15 t. Za zah. red. B.V. Kopeia. Vol.15. Ivano-Frankivsk: IFNTUNH, 2023. 290 p. [in Ukrainian]
34. Kopei V.B. Naukovo-metodolohichni osnovy avtomatyzovanoho proektuvannia obladnannia shtanhovoi sverdlodynnoi nasosnoi ustanovky : v 2 ch. dys. ... d-ra tekhn. nauk : 05.05.12. Ivano-Frankivsk, 2020. Ch. 1. 428 p. URL: <http://elar.nung.edu.ua/handle/123456789/8465> [in Ukrainian]
35. Kopei V.B. Abstraktna model informatsiinoi systemy pidtrymky zhyttievoho tsyklu vyrobu. *Prykarpatskyi visnyk NTSh. Chyslo.* 2017. № 2(38). P. 71-96. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pvntsh_ch_2017_2_11 [in Ukrainian]
36. Designing a Multi-Agent PLM System for Threaded Connections Using the Principle of Isomorphism of Regularities of Complex Systems / Kopei, V., Onysko, O., Barz, C., Dašić, P., Panchuk, V. *Machines.* 2023. №11(2). P.263. URL: <https://doi.org/10.3390/machines11020263>
37. Kopei V.B., Onysko O.R., Panchuk V.G. Component-oriented acausal modeling of the dynamical systems in Python language on the example of the model of the sucker rod string. *PeerJ Computer Science.* 2019. 5:e227. URL: <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.227>
38. Chudyk I. I., Kopei I. B., Kopei V. B., Krechkovska H. V., Proniuk I. V. Modeliuvannia adheziino-presovoho ziednannia porozhnistykh skloplastykovykh nasosnykh shtanh. *Naukovyi visnyk Ivano-Frankivskoho Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu nafty i hazu.* 2024. Тщ 2 (56). P.50-57. DOI: [https://doi.org/10.31471/1993-9965-2024-2\(57\)-50-57](https://doi.org/10.31471/1993-9965-2024-2(57)-50-57) [in Ukrainian]
39. Chudyk I., Hyla P., Kopey B., Kopey I., Kuzmin O. Research and Development of Tubular Composite Sucker Rod. *Mining Machines.* 2025, Vol. 43. P. 58-68. URL: <http://dx.doi.org/10.32056/KOMAG2025.6>
40. Metodyka vyznachennia ratsionalnoho mistsia roztashuvannia naftohazovykh ezhektoriv u naftohazovykh sverdlodynakh, shcho ekspluatuiutsia shtanhovymy nasosamy: haluz. dokument / V.S. Boiko, B.V. Kopei, O.V. Panevnyk ta in. ; PAT "Ukrnafta" ; Ivano-Frankiv. nats. tekhn. un-t nafty i hazu, NDPI. Ivano-Frankivsk : IFNTUNH, 2016. 88 p. [in Ukrainian]
41. Kopei B.V., Kuzmin O.O., Kostur B.M. Hazopisochnyi separator. Patent Ukrainy na korysnu model No.91092, Po zaiavtsi No u200807646. 4.06.08. Biul.№ 12, 2010, 25.06.10. [in Ukrainian]
42. Chudyk I., Panevnyk D. Determination of Experimental Characteristics of a Jet-vortex Pump. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering.* 2024. No 68(4). P. 361–369. DOI: <https://doi.org/10.3311/PPme.38631>
43. Wolf T., Debut L. et al. Transformers: State-of-the-Art Natural Language Processing. *Proceedings of the 2020 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing: System Demonstrations,* 2020. P. 38–45. URL: <https://aclanthology.org/2020.emnlp-demos.6>

INCREASING THE STATE'S ENERGY SECURITY BY CREATING RELIABLE EQUIPMENT FOR OIL EXTRACTION

Chudyk I. I.

Rector, Dr of Technical Sciences, professor
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
76019, Karpatska Str., 15, Ivano-Frankivsk, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-7402-6962>
e-mail: i.chudyk@nung.edu.ua

Kopei B. V.

Dr of Technical Sciences, professor
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
76019, Karpatska Str., 15, Ivano-Frankivsk, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-5445-103X>
e-mail: kopeyb@ukr.net

Kopei V. B.

Dr of Technical Sciences, professor
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
76019, Karpatska Str., 15, Ivano-Frankivsk, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0008-8260>
e-mail: volodymyr.kopey@nung.edu.ua

Abstract. It is shown that the energy security of the state largely depends on its own fuel and energy base, especially during the period of emergency and martial law. Today, oil is undoubtedly a strategic energy carrier. The use of sucker rod-type well pumping units (SRPU) for oil production is currently the most widespread, effective, universal, reliable, safe and easy to maintain compared to other methods. Effective and reliable SRPU are important strategic objects, especially during martial law. The durability of well equipment significantly depends on taking into account operating conditions that may change over time when designing it. In view of this, the issues of designing SRPU, tubing strings and sucker rods, discharge pipelines, developing equipment to prevent asphalt resin-paraffin deposits, as well as monitoring the technical condition and increasing the service life of the rod pumping unit as a whole are currently relevant and deserve attention. To increase the efficiency and reliability of SRPU, the authors conducted scientific research and developed a number of measures that consist in the application of design automation and information support of the SRPU life cycle, the creation of simulation parametric models of SRPU equipment, which help optimize the design of the product and increase its efficiency, the development of technologies for strengthening sucker rods by surface plastic deformation and applying metallization and metal-polymer coatings, the development of methods and technical devices for diagnosing the dynamic state of SRPU by developing and substantiating the classification and limit parameters of the dynamic states of the system, on the basis of which, using computer technologies, new methods and technical solutions were created that allow increasing the safety of operation of worn SRPU. Ukraine has the potential to reduce its dependence on oil imports through diversification, technological modernization, and increased domestic production, but this requires systemic government decisions and international support.

Key words: energy security; sucker rod pumping units; polymer composites; metal-polymer coatings; systems approach.