

**ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ТОЛЩИНЫ МАСЛЯНОГО СЛОЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МАТЕРИАЛА ПАР ТРЕНИЯ**

В работе представлены результаты исследования влияния твердости материала образцов на кинетику изменения толщины смазочного слоя. Установлено, что уменьшение твердости контактных поверхностей приводит к доминированию в контакте эластогидродинамических факторов, причем отработанный образец масла характеризуется более интенсивным начальным формированием предельной пленки по сравнению с товарным образцом.

**Ключевые слова:** масло, смазочный слой, вязкость, граничный слой.

*Дмитриченко Микола Федорович, доктор технічних наук, професор, ректор, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: dmitrichenko@ntu.edu.ua.*

*Білякович Олег Миколайович, кандидат технічних наук, професор, кафедра технологій аеропортів, Національний авіаційний університет, Київ, Україна.*

*Глухонець Андрій Олексійович, асистент, кафедра екології та безпеки життєдіяльності, Національний транспортний університет, Київ, Україна.*

*Миняйло Костянтин Миколайович, аспірант, кафедра виробництва, ремонту та матеріалознавства, Національний транспортний університет, Київ, Україна.*

*Дмитриченко Николай Федорович, доктор технических наук, профессор, ректор, Национальный транспортный университет, Киев, Украина.*

*Билякович Олег Николаевич, кандидат технических наук, профессор, кафедра технологий аэропортов, Национальный авиационный университет, Киев, Украина.*

*Глухонец Андрей Алексеевич, ассистент, кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности, Национальный транспортный университет, Киев, Украина.*

*Миняйло Константин Николаевич, аспирант, кафедра производства, ремонта и материаловедения, Национальный транспортный университет, Киев, Украина.*

*Dmitrichenko Nikolay, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: dmitrichenko@ntu.edu.ua.*

*Bilyakovich Oleg, National Aviation University, Kyiv, Ukraine.*

*Gluhonets Andrey, National Transport University, Kyiv, Ukraine.*

*Minyaylo Konstantin, National Transport University, Kyiv, Ukraine.*

УДК 622.245.3

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.55851

**Івасів В. М.,  
Гриджук Я. С.,  
Гриців В. В.,  
Юрич Л. Р.**

## ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ БУРИЛЬНИХ КОЛОН

В статті проведений критичний огляд досліджень, які спрямовані на розв'язання проблеми забезпечення експлуатаційної надійності елементів бурильних колон. Зроблено висновки про недосконалість запропонованих методів прогнозування їх довговічності та оцінки залишкового ресурсу. Відзначено необхідність розроблення методу, який би дозволяв не тільки максимально оперативно оцінювати фактичні навантаження і ризики відмов її елементів, а й забезпечував експлуатаційну надійність бурильної колони.

**Ключові слова:** компоновка низу бурильної колони, надійність, довговічність, ресурс.

### 1. Вступ

На сьогодні розвиток нафтогазовидобувної промисловості характеризується зростанням об'ємів буріння похило-скерованих та горизонтальних свердловин [1–3]. Не є виключенням у даному аспекті і Україна. При чому споруджуються як нові свердловини, так і проводять зарізання додаткових бокових стволів у свердловинах старого фонду, які вважалися нерентабельними та низькодебітними. Проведення таких робіт підвищує вимоги до надійності обладнання в цілому і бурильної колони (БК) зокрема.

Проблема забезпечення надійної експлуатації бурильної колони залишається актуальною, оскільки показники надійності суттєво залежать не лише від конструкції і технології виготовлення елементів колони, але й від діючих навантажень. Рівень навантажень, що діють на елементи бурильної колони у свердловині, визначається станом стовбура свердловини, інтенсивністю його викривлення, властивостями пробурюваних порід, режимом буріння тощо. Особливої актуальності

проблема набуває в складних геологічних та технічних умовах буріння.

Аналіз сучасного стану досліджень, пов'язаних з забезпеченням експлуатаційної надійності елементів бурильної колони, дасть змогу комплексно оцінити проблему та запропонувати нові шляхи її вирішення.

### 2. Аналіз літературних робіт та постановка проблеми

Як показує практика бурових робіт регулярно виникають різного роду нестандартні ситуації, які утруднюють, а іноді і унеможливають їх ведення. В тому числі відбуваються руйнування елементів БК [4, 5], які складають приблизно четверту частину від усіх аварій. Зокрема аналіз аварійності на площах БУ «Укрбургаз» показав наступний розподіл аварій, що пов'язані з елементами бурильної колони (табл. 1).

Головним чинником, який обмежує довговічність елементів БК, є їх складний напружений стан. Він визначається дією цілого ряду різноманітних детермінованих

та випадкових навантажень. Точні значення та характер навантажень, які діють на елементи бурильної колони, повністю не вивчені до цього часу. Деколи сумарні напруження у випадку перевантажень досягають значення границі плинності і навіть границі міцності матеріалу бурильних труб. Урахування їх комплексної дії є дуже складною проблемою.

Таблиця 1

Аналіз аварійності на площах БУ «Укрбургаз»

Тип аварії	Відсоток руйнування, %
Злом бурильних труб по тілу	33,3
Злом і зрив різьбового з'єднання ОБТ	37,5
Злом перевідника і зрив по різьбі	4,4
Відкручування долота	4,1
Злом гвинтового двигуна	4,1
Відкручування частин бурильної колони	8,3
Злом калібратора	8,3

### 3. Об'єкт, мета та задачі дослідження

Об'єкт дослідження — забезпечення експлуатаційної надійності елементів бурильних колон.

Для ефективного вирішення проблеми, зазначеної у попередньому розділі, перш за все слід оцінити її сучасний стан, шляхом аналізу отриманих результатів проведених аналітичних та експериментальних досліджень. Це і є основною метою цієї статті.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

1. Встановити основні види навантажень, що діють на елементи бурильної колони.
2. Провести критичний огляд досліджень спрямованих на забезпечення експлуатаційної надійності елементів бурильних колон.
3. Запропонувати нові шляхи вирішення проблеми.

### 4. Критичний огляд досліджень, спрямованих на розв'язання проблеми забезпечення експлуатаційної надійності елементів бурильних колон

Вирішенню даної проблеми присвячені праці багатьох вітчизняних та зарубіжних вчених. Серед них слід відмітити роботи Р. М. Саркісова, О. Г. Сарояна, Р. М. Ерліха, М. Д. Щербюка, Л. А. Лачиняна, Б. З. Султанова, Є. І. Крижанівського, Б. Д. Малька, О. М. Карпаша.

Згідно з висновками згаданих авторів, можна виділити такі основні навантаження:

- осьові зусилля розтягу від власної ваги колони;
- осьові зусилля стиску в нижній частині колони, спричинені прикладанням навантаження на долото;
- згинаючий момент, який виникає під час роботи елементів БК у викривлених ділянках свердловини;
- згинаючий момент, викликаний втратою стійкості і відцентровими силами під час обертання;
- крутний момент у процесі роторного буріння;
- динамічні навантаження при спуско-підйомних операціях;
- зусилля від різниці тиску бурового розчину всередині та ззовні БК;

— динамічні зусилля, спричинені вібраціями БК від роботи долота і нерівномірністю подачі бурового розчину.

Як бачимо кількість чинників, які так чи інакше впливають на довговічність елементів БК є суттєвою, а врахування всіх їх одночасно при дослідженні є неможливим. Тому у більшості досліджень обмежувались окремими навантажувальними чинниками і досліджували їх вплив.

З розвитком комп'ютерних технологій та програмного забезпечення відкрились нові можливості для досліджень, які знайшли своє відображення у роботах [6–10].

Так у роботі [6], опираючись на теоретичні дослідження взаємодії БК зі стінками як криволінійної, так і прилеглих до неї прямолінійних ділянок похило-скерованої або горизонтальної свердловини, розроблені розрахункові моделі, побудовано залежності напружень згину у бурильних трубах від довжини криволінійної ділянки. Кількісно досліджено вплив виробок необсадженого стовбура на деформацію бурильної колони. Виявлено значний вплив жолобів та каверн на навантаженість елементів бурильної колони. Обґрунтовано доцільність застосування С-критерію для прогнозування довговічності елементів БК, враховуючи при розрахунку як напруження, що мають місце в небезпечному перерізі, так і ступінь його пошкодження. За результатами досліджень вдосконалено метод прогнозування довговічності різьбових з'єднань БК за умови поширення в поперечному перерізі півеліптичних поверхневих втомних тріщин.

Подальший розвиток подібного роду дослідження знайшли відображення у роботі [7], автор якої визначив локальні напруження згину в елементах колон на викривлених ділянках із урахуванням сил розтягу і параметрів викривлення свердловини. За результатами досліджень запропоновано розрахунково-експериментальний метод оцінки залишкового ресурсу колон, в основі якого лежить удосконалений метод підсумовування втомних пошкоджень елементів колон за випадкового навантаження та розроблене чотирипараметричне рівняння кривої корозійної втоми.

У роботі [8] значну увагу приділено напружено-деформованому стану безпосередньо різьбового з'єднання. Автором розроблено тривимірну модель замкового різьбового з'єднання елементів бурильної колони із повним відтворенням його конструктивних та технологічних параметрів. На основі імітаційного моделювання одержано характер розподілу нормальних напружень у різьбовому з'єднанні 3–42 від прикладеного моменту згвинчування.

За результатами експериментальних досліджень із визначення втомної міцності натурних зразків різьбових з'єднань бурильних труб СБТ-50 при блоковому навантажуванні доведено, що зміна схеми блокового навантажування зразків із такої, що імітує типові умови роботи БК на ускладнені, зменшує відносну довговічність близько 2 разів.

Також шляхом врахування локальних напружень, що виникають у впадині різьби різьбового з'єднання бурильної труби удосконалено метод прогнозування втомного ресурсу бурильних труб на основі С-критерію.

Децю інший підхід до питання забезпечення надійності елементів БК запропонований автором у роботі [9]. Зокрема автор обмежився дослідженням різьбових з'єднань обважнених бурильних труб (ОБТ). Для

оцінювання їх навантаженості і прогнозування довговічності запропоновано використання індикаторів втоми. З використанням програмних продуктів на базі методу скінчених елементів автором створено тривимірну модель напружено-деформованого стану індикаторів, які встановлені у ніпель замкового різьбового з'єднання ОБТ. За результатами імітаційного моделювання дано кількісну оцінку впливу параметрів охоплюючої деталі (ніпеля) на індикатор і величини діючих на різьбові з'єднання БК зовнішніх навантажень на напружений стан в його небезпечних перерізах.

Також на основі тривимірної моделі індикаторів та аналітичного дослідження впливу на напруження в небезпечному перерізі індикатора, встановленого в замкове різьбове з'єднання, його конструктивних параметрів та особливостей контакту пари індикатор-ніпель, встановлені співвідношення між напруженим станом в перерізах індикаторів і зовнішнім навантаженням, що діє на замкові різьбові з'єднання БК.

За результатами досліджень запропоновано метод пришвидшеної оцінки навантаженості різьбових з'єднань ОБТ, що зазнають дії статичних та динамічних навантажень.

Автор роботи [10] до питання забезпечення надійної експлуатації БК підійшов з позиції впливу на неї вібраційних навантажень. На основі аналізу математичних моделей, спираючись на методи фізичної інтерпретації динаміки складних механічних систем в середовищі MapleSim, створено комп'ютерну модель для дослідження повздовжніх коливань БК. За результатами моделювання встановлено залежності між кінематичними характеристиками у верхній та нижній частинах колони.

За результатами досліджень запропоновано метод прогнозування довговічності елементів БК, відповідно до якого пропонується реєструвати вібрацію (віброшвидкість, віброприскорення) на усті свердловини. За допомогою передавальної функції перераховувати її для елементів, які знаходяться у свердловині, та прогнозувати їх довговічність за удосконаленою математичною моделлю, яка дозволяє врахувати вібраційне навантаження.

## 5. Висновки

У результаті проведених досліджень:

1. Систематизовано основні чинники, які впливають на напружено-деформований стан бурової колони.
2. Зроблено висновок про відсутність єдиного підходу до вирішення питання забезпечення експлуатаційної надійності елементів БК. Практично відсутні дослідження, орієнтовані, перш за все, на практичне застосування теоретичних основ, які б постійно ув'язувалися з промисловими результатами їх впровадження.

Прогнозування довговічності та забезпечення експлуатаційної надійності елементів БК можливе тільки при постійному моніторингу навантажень.

Зважаючи на актуальність використання для спорудження свердловин доліт РДС у поєднанні з вибійними двигунами необхідним є дослідження динамічних навантажень, спричинених взаємодією долота з вибоєм. Зокрема потребує досліджень вплив стану озброєння долота та режимних параметрів буріння на динамічні навантаження. Особливо це актуально для елементів, які входять в компоновку низу бурової колони.

3. Автори даної статті вважають, що першочерговим завданням при вирішенні науково-технологічної задачі є розроблення методу, який би дозволяв максимально оперативно оцінювати фактичні навантаження і ризики відмов її елементів.

На другому етапі слід удосконалити систему реєстрації фактичних навантажень, які діють на БК та систему моніторингу наробітку елементів БК, від моменту поступлення їх в бурову організацію і до списання. Розробити метод оцінки ризиків відмов елементів БК з урахуванням накопиченої інформації на етапі проектування та безпосередньо в процесі роботи.

## Література

1. Florence, G. Can Unconventional Gas be a Game Changer in European Gas Markets? [Текст] / G. Florence. — Oxford Institute for Energy Studies, 2010. — 120 p.
2. Golden Rules for a Golden Age of Gas [Текст]: World Energy Outlook Special Report on Unconventional Gas // International Energy Agency. — Paris: OECD/IEA, 2012. — 148 p.
3. Energy Resource Potential of Methane Hydrate [Текст]: An introduction to the science and energy potential of a unique resource. — Washington: U. S. Department of Energy, 2011. — 24 p.
4. Артим, В. І. Аналіз корозійно-втомних руйнувань елементів бурової колони [Текст] / В. І. Артим, І. І. Яциняк, В. В. Гриців, А. Р. Юрич // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. — 2012. — № 2(43). — С. 197–202.
5. Івасів, В. М. Аналіз причин руйнування елементів бурової колони [Текст] / В. М. Івасів, Я. С. Гриджук, Л. Р. Юрич // Технологічний аудит та резерви виробництва. — 2014. — № 6/4(20). — С. 15–17. doi:10.15587/2312-8372.2014.31838
6. Рачкевич, Р. В. Удосконалення методів прогнозування довговічності бурової колони в ускладнених умовах буріння свердловин [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.12 / Р. В. Рачкевич. — Івано-Франківськ: Івано-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу, 2006. — 20 с.
7. Артим, В. І. Підвищення експлуатаційної надійності трубних і штангових колон для буріння та видобування нафти і газу [Текст]: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.15.12 / В. І. Артим. — Івано-Франківськ: Івано-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу, 2010. — 36 с.
8. Гриців, В. В. Удосконалення методів прогнозування ресурсу елементів бурової колони [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.12 / В. В. Гриців. — Івано-Франківськ: Івано-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу, 2013. — 20 с.
9. Джус, А. П. Прогнозування довговічності елементів бурової колони індикаторами втоми [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.12 / А. П. Джус. — Івано-Франківськ: Івано-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу, 2011. — 20 с.
10. Гриджук, Я. С. Прогнозування довговічності елементів бурової колони при вібраційному навантаженні [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.12 / Я. С. Гриджук. — Івано-Франківськ: Івано-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу, 2013. — 20 с.

## ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ БУРИЛЬНОЙ КОЛОНЫ

В статье проведен критический обзор исследований, направленных на решение проблемы обеспечения эксплуатационной надежности элементов буровых колонн. Сделаны выводы о несовершенстве предложенных методов прогнозирования их долговечности и оценки остаточного ресурса. Отмечена необходимость разработки метода, который бы давал возможность не только максимально оперативно оценивать фактические нагрузки и риски отказов ее элементов, но и обеспечивал эксплуатационную надежность буровой колонны.

**Ключевые слова:** компоновка низа бурової колони, надежность, долговечность, ресурс.

*Івасів Василь Михайлович, доктор технічних наук, професор, кафедра нафтогазового обладнання, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна.*

*Гриджук Ярослав Степанович*, кандидат технічних наук, доцент, кафедра теоретичної механіки, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна.

*Гриців Василь Васильович*, кандидат технічних наук, доцент, кафедра буріння нафтових і газових свердловин, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна.

*Юрич Лідія Романівна*, аспірант, кафедра нафтогазового обладнання, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна, e-mail: lidusiau@ukr.net.

*Івасюк Василь Михайлович*, доктор технічних наук, професор, кафедра нафтогазового обладнання, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна.

*Гриджук Ярослав Степанович*, кандидат технічних наук, доцент, кафедра теоретичної механіки, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна.

*Гриців Василь Васильович*, кандидат технічних наук, доцент, кафедра буріння нафтяних і газових скважин, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна.

*Юрич Лідія Романівна*, аспірант, кафедра нафтогазового обладнання, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна.

*Ivasiuk Vasil*, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine.

*Grydzhuk Jaroslav*, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine.

*Grytsiv Vasyl*, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine.

*Yurich Lidia*, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine, e-mail: lidusiau@ukr.net

УДК 621.791.92

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.55866

Мазур В. О.

## ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ПЛАЗМОВОЇ ОБРОБКИ КРАНОВИХ РЕЙОК

Експлуатація кранів супроводжується зношуванням рейок та кранових коліс. Актуальним напрямком є реновація та підвищення працездатності цих деталей. Запропоновано підвищувати працездатність кранових рейок поверхневою плазмовою обробкою. Проведено роботу з вибору та оптимізації режимів обробки, що відповідають вимогам виробництва. Досліджено структурні перетворення в матеріалі кранової рейки при плазмовому зміцненні.

**Ключові слова:** рейка, кран, плазма, структура, перетворення, зміцнений шар, твердість.

### 1. Вступ

Взаємодія колеса і рейки є фізичною основою руху. Від параметрів цієї взаємодії багато в чому залежать безпека руху і основні техніко-економічні показники. Так, зокрема, втрати енергії, обумовлені зношуванням в системі колесо-рейка, складають 10–30 %, що витрачаються на переміщення. Крім того, витрати на реновацію рейок і колісних пар складають чималу частину загальних витрат кранового господарства.

Актуальною задачею є підвищення експлуатаційних властивостей (твердості, тріщиностійкості, зносостійкості) поверхневого шару головки рейки, що дозволить збільшити ресурс деталі, зменшити витрати на ремонт та заміну рейки.

### 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Підвищення працездатності кранових рейок та коліс є важливим та перспективним напрямком застосування поверхневої обробки висококонцентрованими джерелами нагріву.

Відомі способи підвищення працездатності кранових коліс та рейок дуговим наплавленням матеріалами з вмістом марганцю [1–3]. Окрім того підвищення працездатності можливо за рахунок поверхневого зміцнення токами високої частоти (ТВЧ) [4, 5]. Перспективною, але найменш дослідженою є обробка кранових рейок та

коліс висококонцентрованими джерелами нагріву: лазерним випромінюванням, плазмовим струменем. Вплив лазерного променя на структуру та властивості сталей подібних до рейкових досліджено в роботі [6].

Плазмовий струмінь є найбільш економічним висококонцентрованим джерелом нагріву в порівнянні з лазерним і електронним променями, має достатньо високий ККД (50 % і більш — залежно від типу плазмотрону) [7].

Важливою задачею є моделювання процесу розповсюдження тепла в об'єкті складної форми для визначення оптимальних режимів плазмової обробки, які дозволять отримати в поверхневому шарі комплекс потрібних властивостей. Відомі способи кінцево-елементного аналізу теплових процесів при зварюванні та споріднених технологіях [8–10], але питання моделювання плазмової обробки залишається актуальним.

### 3. Об'єкт, мета та задачі дослідження

Об'єкт дослідження — кранові рейки.

Метою проведених досліджень було визначення технології та оптимальних режимів плазмової поверхневої модифікації кранових рейок.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні основні задачі:

1. Встановити можливість підвищення експлуатаційних властивостей кранових рейок поверхневою обробкою висококонцентрованим плазмовим струменем.