

Технічні науки

УДК 622. 276.53

**Копей Богдан Володимирович**

*доктор технічних наук, професор,*

*завідувач кафедри нафтогазового обладнання*

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти й газу*

**Копей Богдан Владимирович**

*доктор технических наук, профессор,*

*заведующий кафедрой нефтегазового оборудования*

*Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа*

**Korey Bogdan**

*Doctor of Technical Sciences, Professor,*

*Head of the Department of Oil and Gas Equipment*

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas*

**Мартинець Оксана Романівна**

*асистент кафедри РЕНГР*

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти й газу*

**Мартынец Оксана Романовна**

*ассистент кафедры РЭНГР*

*Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа*

**Martynets Oksana**

*Assistant of the*

*Department of Development and Exploitation of Oil and Gas Fields*

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas*

**ПОДОВЖЕННЯ РЕСУРСУ НАСОСНИХ ШТАНГ З ДЕФЕКТАМИ  
НАНЕСЕННЯ ПОЛІУРЕТАНОВИХ ПОКРИТТІВ  
ПРОДЛЕНИЕ РЕСУРСА НАСОСНЫХ ШТАНГ С ДЕФЕКТАМИ  
НАНЕСЕНИЯ ПОЛИУРЕТАНОВОГО ПОКРЫТИЯ**

## REPLACEMENT OF THE POWER STEAM WITH DEFECTS APPLICATION OF POLYURETHANE COATINGS

*Анотація.* В останні роки в нафтовій промисловості України постійно зростає діючий фонд механізованих свердловин, з яких більше половини складають свердловини, обладнані штанговими свердловинними насосами. Експлуатація таких свердловин пов'язана з цілим рядом ускладнень, які часто призводять до аварій зі штангами. Штанги – одне з основних ланок у штангових насосних установках, і від їх надійності та довговічності залежить величина видобутку нафти і її собівартість при експлуатації свердловин штанговими насосними установками.

**Ключові слова:** насосні штанги, навантаження, тріщини, напруження, поломки.

*Аннотация.* В последние годы в нефтяной промышленности Украины постоянно растет действующий фонд механизированных скважин, из которых более половины составляют скважины, оборудованные штанговыми скважинными насосами. Эксплуатация таких скважин связана с целым рядом осложнений, которые часто приводят к авариям со штангами. Штанги - одно из основных звеньев в штанговых насосных установках, и от их надежности и долговечности зависит величина добычи нефти и ее себестоимость при эксплуатации скважин штанговыми насосными установками.

**Ключевые слова:** насосные штанги, нагрузка, трещины, напряжения, поломки.

*Summary.* In recent years, the oil industry in Ukraine is growing operating fund mechanized oil wells, of which more than half were well equipped with down hole rod pumps. Exploitation of these wells is linked to a number of complications that often lead to failures. Sucker rods – one of the main parts in rod pumping

*units and their reliability and durability depends on the value of oil and the cost of the operation of rod pumping units.*

**Key words:** *pumping sucker rods, loads, cracks, stress, breaks.*

**Виклад основного матеріалу.** Для оцінки можливості відновлення ресурсу насосних штанг з експлуатаційними дефектами був проведений експеримент. Серію зразків з нових насосних штанг (5шт.) випробовували на опір корозійній втомі в і вирощували в їх тілі тріщини при дії змінних напружень різної величини, що відповідали діапазону можливих експлуатаційних навантажень.

Під час контролю елементів штанг насосної колони використовували магнітопорошковий метод.

Для перевірки на наявність поверхневих дефектів типу «тріщина» було представлено три фрагменти насосних штанг, що включали головку штанги і частину тіла. Для їх ідентифікації на квадратних шийках нанесені позначення «1», «2», на двох штангах, та без позначення на третій штанзі. Матеріал штанг – вуглецева та низьколегована термооброблена сталь 20Н2М, що нормується ГОСТ 13877-96. За магнітними властивостями дана сталь відносять до магнітожорстких матеріалів.

Для намагнічування зразків штанг використовували магнітний дефектоскоп ПМД-70 (рис.1) (блок управління №396 та блок імпульсний №378 по ТУ25-06.1604-79) для формування намагнічуючого струму з пристроями для намагнічування постійним магнітним полем, що входять в комплект дефектоскопа: соленоїд (рис.1) – для намагнічування вздовж осі штанг, та приставний електромагніт (рис.2) для намагнічування поперек осі.



**Рис. 1. Магнітний дефектоскоп ПМД-70**



**Рис. 2**



**Рис. 3**

Для індикації та візуалізації місць розташування, визначення форми та протяжності дефектів типу порушення суцільності застосовували рідкий магнітний аерозоль (магнітну суспензію чорного порошку) MR 76 S фірми MR® Chemie GmbH (Німеччина). Для виявлення, огляду та аналізу дефектів застосовувалась оглядова лупа ЛПК-471 (2<sup>X</sup>).

Реалізація технології контролю проводилась у відповідності до:

- 1) ГОСТ 21105 «Контроль неруйнівний. Магнітопорошковий метод»;
- 2) ISO 6933;
- 3) PrEN 13262;
- 4) DIN EN ISO – 9934 – 1,2,3;
- 5) AAR M 107.

В даних умовах проведення контролю забезпечувалась умовна чутливість магнітопорошкового контролю "В" згідно ГОСТ 21105, що забезпечує виявлення поверхневих дефектів мінімальної умовної довжини 2 мм з шириною розкриття не менше 25 мкм.

Технологічний процес контролю заданих штанг включав такий перелік операцій:

1. Підготовка об'єктів контролю. З поверхні ділянок контролю штанг (тіло та піделеваторний бурт) було видалено пил, продукти корозії і інші забруднення. Поверхні із залишками забруднення очищалися вручну за допомогою металевих щіток з незначними натискними зусиллями і миючих препаратів. Оскільки дані об'єкти контролю характеризувалися темною поверхнею і передбачалося проводити контроль із застосуванням чорного магнітного порошку, то на очищену і знежирену контрольовану поверхню було нанесено фонове покриття завтовшки до 20 мкм аерозольною білою фарбою-контрастом MR 72 фірми MR® Chemie GmbH (Німеччина), що забезпечило необхідний контраст дефектів на фоні поверхні зразків.

2. Підключення, налаштування та перевірку роботоздатності дефектоскопа проводили згідно керівництва з експлуатації, що входить в комплект дефектоскопа. Перевірку працездатності дефектоскопу і якості дефектоскопічних матеріалів здійснили за допомогою стандартного зразка РСО-МД-15-09 згідно ГОСТ 21105-87.
3. Для намагнічування контрольованих зразків застосовували полюсне поздовжнє (соленоїдом) та поперечне (приставним електромагнітом) намагнічування для виявлення поперечних та поздовжніх відносно осі штанг тріщино подібних дефектів. Враховуючи особливості матеріалу штанг, контроль проводився по залишковій намагніченості. Струм намагнічування – постійний, величини струмів 15 А – при намагнічуванні приставним електромагнітом, 45 А – при намагнічуванні соленоїдом.
4. Магнітна суспензія наносилась після намагнічування аерозольним способом із аерозольного балона ємкістю 500 мл – так званий мокрий спосіб нанесення індикаторного порошку.
5. Після стікання залишків суспензії з поверхні контрольованих штанг проводився візуальний огляд поверхонь із застосуванням оглядової лупи двократного збільшення. Огляд проводився при комбінованому видимому освітленні яскравістю не менше 1000 лк.
6. Виявлені в ході контролю тріщиноподібні дефекти фіксувалися на цифрову фотокамеру і зберігалися в ПК для їх подальшого аналізу. Результати контролю представлені на фотознімку (рис.4).

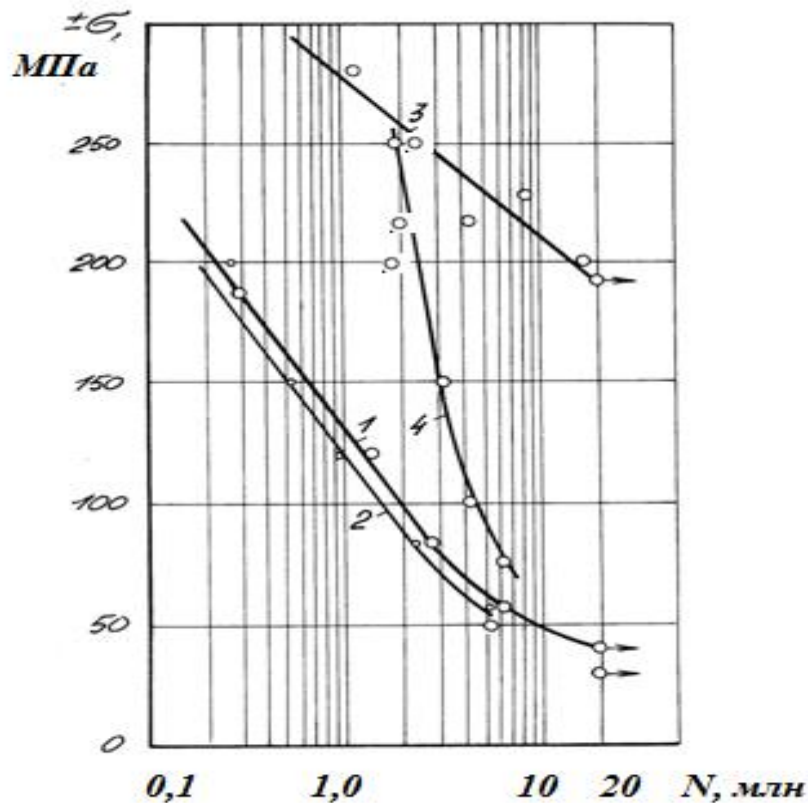




**Рис. 4. Тріщини втоми, утворені в тілі штанг після випробувань при змінному напруженні  $\sigma=140$  МПа**

Випробовування штанг проводили на втомній машині ЗКШ-25 на протязі часу, який складає 50...75% довговічності штанг з початку навантаження до поломки. На рис. 5 приведені криві втоми штанг до повного руйнування (крива 1) і з вирощеними в їх тілі дефектами до 50...75% ресурсу (крива 2). Потім зразки знімали з машини, проводили дефектоскопію і обробляли металевими щітками та робили нанесення поліуретанового покриття на поверхню штанги.

Наступні випробування відновлених таким методом штанг, які проводили при більш високих напруженнях (на 25% вище раніше діючих), показали значне підвищення їх ресурсу в порівнянні з незміцненими зразками (крива 4 на рис. 1). Границя обмеженої витривалості відновлених штанг збільшилася в 1,5...2,0 рази при низьких рівнях напружень (70-150) МПа і в 4...10 раз при високих рівнях напружень (150-250) МПа. При дії змінних напружень біля 250 МПа ресурс відновлених штанг досягає ресурсу нових зміцнених штанг і навіть може перевищити його (крива 3 на рис. 5).



1 – до повного руйнування, 2 – з вищеними в тілі дефектами до 75-97% повного ресурсу, 3 – нові штанги, 4 – з тріщинами, відновленими запропонованим методом

**Рис. 5. Криві корозійної втоми насосних штанг діаметром 22 мм з сталі 20Н2М серійних (1,2) і оброблених металевими щітками і з нанесенням поліуретанового покриття (3,4)**

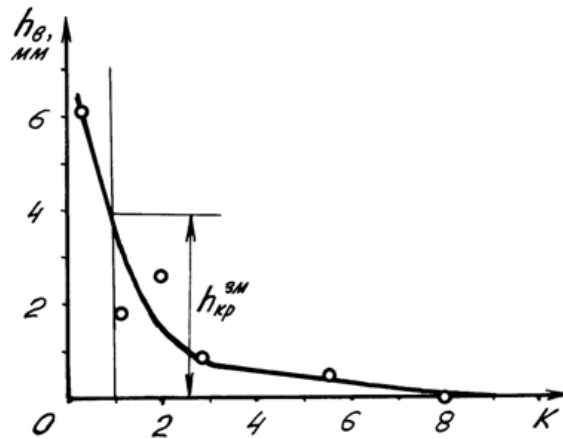
Випробування підтвердили можливість відновлення насосних штанг з експлуатаційними дефектами за рахунок значного гальмування їх росту. Ефективність ремонту штанг з дефектами визначали за формулою:

$$k = N_p/N,$$

де  $N_p$  - довговічність відремонтованих штанг, які мають дефекти типу втомних тріщин;  $N$  - довговічність нових стандартних штанг.

Експериментально доказано [2], що відновленню підлягають насосні штанги, які мають глибини корозійно-втомних тріщин до 2-3 мм, максимум до 4 мм, коли величина ефективності  $k > 1$  (рис. 6).





**Рис. 6.** Залежність ефективності ремонту  $k$  насосних штанг комбінованим методом від глибини корозійно-втомної тріщини  $h_e$

Недопустимо відновлення насосних штанг з дефектами глибиною  $h_e > 4$  мм. Наприклад, при  $h_e = 6,2$  мм ефективність ремонту різко знижується і її значення складає величину менше 1 ( $k = 0,84$ ), тобто ресурс зміцнених штанг з дефектом вказаної глибини менше ресурсу серійних штанг.

Критичні розміри дефектів в даному випадку близькі до запропонованих раніше [2] і можуть бути критеріями відбракування при ремонті штанг, які були в експлуатації.

На основі проведених експериментів запропоновано рівняння експоненційної регресії, яке дозволяє визначити ефективність ремонту  $k$  в залежності від глибини зміцненої втомної тріщини:

$$k=5,65e^{-0,49h_e}.$$

**Висновки з даного дослідження.** Насосні штанги, які проробили певний час в свердловині, також можливо відновити шляхом нанесення полімерних покриттів чи металополімерів. В таблиці 1 приведені результати лабораторних випробувань штанг, які відпрацювали в свердловинах ПАТ «Укрнафта» і Азербайджанської нафтової компанії SOCAR від 2 до 8 років. На підставі аналізу результатів випробувань нових і відпрацьованих в свердловинах насосних штанг можливо зробити висновок, що нанесення поліуретанового покриття збільшує довговічність штанг в декілька раз. Таким чином, зміцнення нових і насосних штанг, які були в експлуатації,

дозволяє значно підвищити довговічність перших і продовжити час роботи штанг, які проробили певний час в агресивних середовищах в нафтових свердловинах. Це, в свою чергу, дозволить скоротити витрату штанг, які вводяться в експлуатацію. Отримано патент на вказану технологію (Патент на корисну модель № 116217) [3].

Таблиця 1

**Довговічність відпрацьованих в свердловині насосних штанг після нанесення полімерного поліуретанового покриття**

Діаметр штанг d, мм	Ресурс роботи насосних штанг в свердловині, роки	Довговічність в стендових умовах N, млн циклів/величина змінного напруження, МПа	
		Без покриття	З покриттям
22	8*	0,538/+140	>20/+140
		2,938/+140	>50/+140
25	2**	4,00/+100	28/+200
		13,52/+80	20/+250

\* - Азербайджанська нафтова компанія SOCAR

\*\* - НГВУ "Долина нафтогаз" ПАТ "Укрнафта"

### Література

1. Копей Б.В., Федорович Я.Т. Устранение технологических и эксплуатационных дефектов насосных штанг с одновременным их упрочнением. Обзорная информация, ВНИИОЭНГ. М. – 1987. - 42 с.
2. Копей Б.В., Копей В.Б., Копей І.Б. Насосні штанги свердловинних установок для видобування нафти. Монографія. Івано-Франківськ, ІФНТУНГ, 2009. – 406 с.
3. Копей Б.В., Мартинець О.Р., Ісса Салман. Спосіб ремонту насосних штанг за допомогою металевих обертових щіток. Патент на корисну модель № 116217. По заявці у 2016 12230 від 01.12.2016. Опубл. 10.05.2017, Бюл. №9.