

## АНАЛІЗ ПОЛОМОК НАСОСНИХ ШТАНГ У ПРОМИСЛОВИХ УМОВАХ

Б.В.Копей, Ю.С.Зінченко, В.Б.Копей

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 40534,  
e-mail: kopeyb@nuing.edu.ua

*Проведен анализ характерных поломок насосных штанг по результатам данных, полученных на промышленных скважинах, оборудованных штанговыми насосными установками добычи нефти.*

*The analysis of sucker rod failures based on results of data of got on industrial wells with artificial lift systems for oil production was conducted.*

Більшість поломок свердловинних штангових насосних установок (СШНУ) пов'язана з поломками насоса, насосних штанг або насосно-компресорних труб. Поломки насосу, насосних штанг, або насосно-компресорних труб призводять до втрат часу і коштів на вилучення пошкоджених елементів з свердловини їх ремонт і заміну. За визначенням, частота поломок – це число відмов, що відбуваються на одній свердловині за один рік. Свердловини з високою частотою поломок часто класифікуються як "проблемні", тому керівництво промислів має визначити, що ефективніше – продовжувати експлуатацію цих свердловин, чи закрити їх. Основні організаційні заходи, пов'язані з поломкою, включають: запобігання поломці, виявлення поломки, визначення і реєстрування основної причини кожної поломки, визначення ефективних та рентабельних заходів для усунення поломки.

Аналіз останніх досліджень [1-3] свідчить, що ефективні заходи з боротьби з поломками починаються із дій, що сприяють запобігання наступній поломки. Просте вилучення і вилучення обірваних насосних штанг не перешкодить повторенню поломки. Фактично, більшість поломок повторюються зі збільшенням частоти, поки ціла колона насосних штанг не буде піднята з свердловини і замінена. Існують певні способи запобігання передчасному руйнуванню насосних штанг. Для обслуговуючого персоналу важливо усвідомлювати наслідки від незначного пошкодження колони штанг, яким чином це пошкодження може привести до суттєвої поломки, що спричинить зупинку роботи свердловини на довгий період часу. Вміння ідентифікувати поломки і фактори, що їм сприяють, дозволяє визначити заходи для виправлення основної причини поломки. Для стабільної роботи СШНУ важливо своєчасно визначити і виконати усі можливі заходи, щоб виключити передчасні поломки насосних штанг.

Щоб досягти зниження частоти поломок, необхідно провести точний аналіз основних причин поломки, і усунути ці причини, щоб перешкодити повторенню поломки. Для того, щоб відстежити і ідентифікувати тенденції поломки, потрібна база даних про історію поломок. Для її створення необхідно провести аналіз основних механізмів, характерних зовнішніх ознак та зробити класифікації поломок на-

сосних штанг. Після того як тенденція поломки визначена, необхідно протягом обслуговування свердловини здійснювати запобіжні заходи, щоб перешкодити передчасним поломкам колони штанг. База даних історії поломки повинна включати інформацію про тип поломки, розташування, глибину, основну причину, і ремонтні дії або заходи спрямовані на усунення поломки.

Метою даної статті є дослідження основних причин і механізмів поломок насосних штанг, опис характерних ознак і їх класифікація для створення бази даних історії поломок. Це буде сприяти своєчасному виявленню поломок і запобігання передчасним поломкам колони насосних штанг. На основі проведених досліджень необхідно розробити і запровадити навчальні програми для обслуговуючого персоналу промислових свердловин видобутку нафти. Навчальні програми по насосних штангах, повинні включати формальні і неформальні курси, під час яких будуть надаватись рекомендації для працівників СШНУ стосовно обслуговування, зберігання, перевезення, експлуатації, повторної експлуатації, процесів складання і демонтажу насосних штанг.

Основні види поломок насосних штанг можна розділити на чотири групи:

- технологічні (дефекти при виготовленні прокату і насосних штанг);
- конструкторські (помилки під час проектування колони насосних штанг і її елементів);
- монтажні і транспортні (порушення правил зберігання, транспортування і монтажу);
- експлуатаційні (поломки, які виникають переважно на етапі експлуатації штангової колони).

Причинами багатьох поломок насосних штанг є різноманітні концентратори навантажень. Концентратор навантажень – це видима або мікроскопічна виїмка, яка під дією навантаження на колону штанг викликає зростання напруженості в місці її утворення. Типові види концентратори навантажень на насосних штангах і муфтах це – згини, корозія, тріщини, механічні пошкодження, різьби, місця зносу або будь-яка комбінація цих пошкоджень. Безпека поломки найбільш критична, коли на колону штанг діють навантаження перпендику-

Таблиця 1 - Причини відмов колони насосних штанг

№	Причини відмов елементів колони: тіла штанги (Т), ніпеля (Н), муфти (М), різьби (Р), з'єднання (З)	Види відмов			
		Стат. і корозійно-втомне руйнування	Механічне спрацювання	Корозійні дефекти	Відгвинчування
	<b>Технологічні. Дефекти при виготовленні:</b>				
1	Прокату заготовки	ТНМ			
2	Штапування головки	ТН			
3	Механічної обробки	НМР			3
4	Термообробки	ТНМР	ТМ	ТНМ	
	<b>Конструкторські (помилки при проектуванні колони і її елементів):</b>				
5	Завищені навантаження на колону	ТНМР			3
6	Неправильна компоновка колони	ТНМР	ТМ		3
7	Неправильний вибір матеріалу і термообробки	ТНМР	ТМ	ТНМ	
8	Неправильно вибраний діаметр плунжера насоса і НКТ	ТНМР	ТМ		3
	<b>Монтажні (порушення правил зберігання, транспортування і монтажу):</b>				
9	Пошкодження поверхні штанг і муфти з утворенням концентраторів напружень	ТНМР			
10	Згин штанг	Т	ТМ		
11	Неналежно закріплені НКТ	ТНМР	ТМ		3
12	Неоптимальний момент згвинчування	НМР		Н	3
13	Згвинчування забрудненої муфти, відсутність змащування	НМР		Н	3
14	Неправильна посадка плунжера	ТНМР			3
15	Неоптимальне занурення під динамічний рівень	ТНМР			3
	<b>Експлуатаційні (причини, які виникають переважно на етапі експлуатації):</b>				
16	Корозійно-втомні дефекти	ТНМР			
17	Дефекти механічного спрацювання	ТНМР		М	3
18	Часткове відгвинчування	НР		Н	3
19	Корозійні дефекти	ТНМР	ТМ		
20	Викривлена свердловина	ТНМР	ТМ		3
21	Згин тіла штанги	Т	Т		
22	Згин нижньої частини колони	ТНМР	ТМ		3
23	Навантаження стиску	ТНМ	ТМ		3
24	Падіння обірваної частини колони	ТР			
25	Спрацювання внаслідок тертя об НКТ	ТНМР	ТМ	ТМ	3
26	Удари муфти по НКТ	ТМ	М	М	3
27	Вібрації, динамічні навантаження, удари	ТНМР			3
28	В'язка рідини	ТНМР	ТМ		3
29	Наявність піску	ТНМР	ТМ	ТМ	3
30	Висока концентрація напружень	ТНМР			
31	Інші експлуатаційні дефекти	ТНМР			3
32	Відкладення парафіну і АСР	ТНМР	ТМ		3
33	Заїдання (прихоплення) плунжера	ТНМР	М		3
34	Корозія, проникнення корозійного середовища. Висока обводненість свердловини	ТНМР	ТМ	ТНМ	
35	Високий газовий фактор	ТНМР			3
36	Дефекти насоса	ТНМР	Т		3

лярні до основного розтяжного навантаження. Для виявлення концентраторів навантажень, після поломки місця розриву штанг необхідно ретельно очистити і уважно оглядати. Поломки насосних штанг та муфт мають видимі або мікроскопічні особливості на поверхні перелому,

які допомагають визначити розташування концентратора навантажень і відповідно причини поломки.

Класифікація причин відмов колони насосних штанг наведена в табл. 1.

## 1 Виробничі дефекти

Поломки як наслідок виробничих дефектів легко розпізнаються. До дефектів виробництва відносяться:

- дефекти прокату (залівини, струпи, закати);
- дефекти кування (рис.1);
- дефекти обробки.

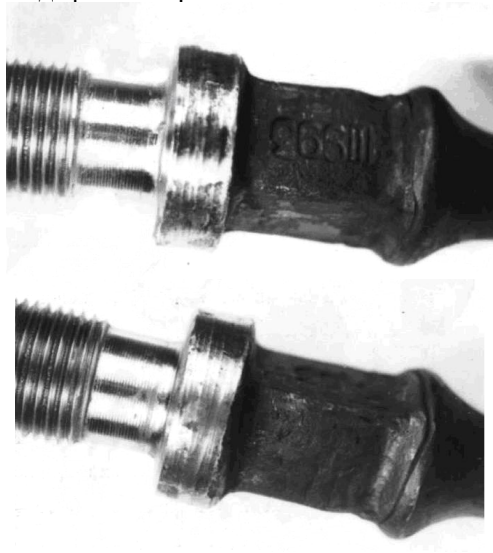


Рисунок 1 — Дефекти кування головки штанги

Заливина – це невеликий, а струп – великий вирваний сегмент матеріалу, поздовжньо закатаний в поверхню штанги. Закат – це поздовжній уривчастості поверхні, які мають вигляд шва (зморшки) внаслідок прокатування з гострими кромками, зігнутими догори і закатаними в поверхню прутка без металургійного з'єднання.

## 2 Поломки, що залежать від конструкції і проектування колони насосних штанг

Запобігання поломці насосної штанги починається з її проектування. Наслідком невдалого проектування штанги чи підбору колони насосних штанг можуть бути поломки інших елементів СШНУ. Програми комп'ютерного проектування SolidWorks чи інші дають змогу конструктору оптимально спроектувати і підібрати обладнання з метою найкращого пристосування до умов реальних свердловин.

На рис. 2 зображено приклади поломок штанг і муфт як наслідок помилок при проектуванні і механічних пошкоджень, що виникають під час експлуатації.

До поломок такого типу призводять: зношування, втомленість від згину, втомленість однонаправленого згинання, поломки від втоми під дією стискаючих навантажень на штанги, викривлення свердловин, удар плунжера насоса по рідині, перевантаження насосних штанг, неналежно закріплених обсадних труб, заїдання плунжера насоса, невдале закріплення обсадних труб, або деякі комбінації наведених вище поломок.



Рисунок 2 — Поломки і пошкодження насосних штанг і муфт

Зношування викликає поломки штанги чи муфт внаслідок зменшення поперечного перерізу, при цьому піддаються корозії нові зовнішні шари металу, що призводить до поломки від подвійної дії ударних і згинаючих навантажень. Зношування колони насосних штанг – це поступове видалення зовнішніх шарів металу шляхом контакту з насосно-компресорними трубами.

На рис. 3 зображено пошкодження від удару муфт в насосно-компресорні труби. Удари муфт в насосно-компресорні труби є результатом надзвичайно сильного кутового зіткнення колони штанг з НКТ. Це зіткнення є прямим наслідком сильного удару плунжера насоса об рідину, незакріплених (або неналежно закріплених) насосно-компресорних труб, заклинювання плунжера насоса чи будь-якої комбінації наведених вище причин.



Рисунок 3 — Пошкодження від удару муфти об НКТ

## 3 Механічні поломки

Механічні поломки складають великий відсоток всіх поломок колони штанг. Механічні поломки включають всі типи поломок, окрім виробничих дефектів і корозійної втоми.

Механічне пошкодження колони штанг, що призводить до її поломки, обумовлюється наявністю концентраторів напружень. На причини поломки впливають багато чинників, з яких найбільш важливими є: максимальне навантаження; робоче середовище; місце розташування пошкодження; хімічний склад матеріалу насосної штанги; тип термічної обробки насосної штанги; діапазон навантажень; вид пошкодження. Механічні пошкодження можуть виникнути внаслідок: помилки в конструкції СШНУ; невідповідного обслуговування і транспортних операцій; недбалих монтажних робіт; застарілих виробничих процесів або будь-якої комбінації цих причин. На рис.4 зображено типову механічну поломку штанги.



Рисунок 4 — Механічна поломка штанги

### 3.1 Механічні поломки від згину штанг

Поломки від згинаючих напружень – основна причина механічних поломок. Коли викрилене тіло штанги розтягується під дією навантаження, то швидко досягається межа міцності матеріалу. Цикл постійного перевищення межі міцності матеріалу повторюється протягом циклу роботи насосної установки і сприяє утворенню втомних тріщин на внутрішньому боці згину. Під дією навантаження ці втомні тріщини збільшуються в перпендикулярному напрямку до осі штанги до того моменту, поки залишки тіла штанги витримують навантаження. Після цього відбувається перелом.

На рис. 5 зображено приклади втомних поломок від згину. Характерною ознакою втомної поломки від згину є коса поверхня перелому, яка нахилена до осі тіла штанги під кутом відмінним від 90°. Як правило, причиною згину штанг є недбале транспортування, зберігання і обслуговування.

### 3.2 Поломки, спричинені пошкодженням зовнішньої поверхні штанг

Зовнішні пошкодження збільшують критичні навантаження при використанні колони штанги, що може спричинити поломки. Від типу пошкодження і його розташування залежить величина збільшення цих критичних навантажень. Значно сильніше збільшується напруження при поперечних пошкодженнях порівняно з повздовжніми. Гостра заглибина створить

вищу концентрацію напружень, і поверхня виявиться більш вразливою для навантаження, ніж у разі неглибокої виїмки з широкою основою. Насосні штанги з пошкодженнями зовнішніх поверхонь повинні бути замінені і вилучені з експлуатації. Щоб запобігти пошкодженню насосних штанг, необхідно поміщати дерев'яні підкладки між металевими складськими стелажми і між кожним шаром насосних штанг. Металеві інструменти, що не використовуються на насосних штангах під час СПО, і всі інші металеві предмети потрібно зберігати окремо від штанг.



Рисунок 5 — Втомні поломки штанг по тілу від згину

### 3.3 Поломки з'єднання

З'єднання насосних штанг сконструйоване як упорне різьбове з'єднання. Оскільки втомна міцність з'єднання насосної штанги низька, коли воно піддається циклічним навантаженням, то необхідно обмежити циклічні навантаження попереднім затягуванням муфти і ніпеля НШ. Якщо попередній натяг муфти і ніпеля НШ виявиться більшим за навантаження від ваги штанг і рідини та сил тертя і інерції, то напруження в з'єднанні залишається сталим і ніякої втоми від циклічних навантажень не буде. Сила тертя, яка виникає між поверхнею торця буртика ніпеля НШ і поверхнею торця муфти, допомагає замкнути з'єднання, щоб запобігти розгвинчуванню. Проте, якщо попередній натяг є меншим за застосоване навантаження, торець буртика головки НШ від'єднається від поверхні торця муфти і з'єднання буде піддаватися циклічним навантаженням, що призведе до поломок.

Втрата натягу може відбуватися внаслідок недостатнього змашування, невідповідного обслуговування, розбалансування, зношування від ударів об НКТ або будь-якої комбінації цих причин.

На рис. 6 (справа) зображено типовий зовнішній вид поломки головки НШ від втрати натягу. Поломки зображені зліва і в середині частіше відбуваються, коли на поверхні зарізьбової канавки головки НШ виявляється корозія або механічне пошкодження.

На рис. 7 зображено поломки муфти, характерні для насосних штанг високої міцності.



**Рисунок 6 – Поломки головок НШ внаслідок втрати затягнення різьбового з'єднання**



**Рисунок 7 — Поломки муфти від втрати затягнення різьбового з'єднання**

Поломки з'єднання виникають також внаслідок зношування різьби. Зношування різьби – це результат пошкодження або забруднення, що сприяє виникненню достатньо великого натягу між її витками. Різьби згвинчуються під час монтажу, і розгвинчуються при демонтажі. Внаслідок цього з'єднання пошкоджується. Очищення різьби до монтажу, відповідне змащування і обережне виконання монтажних операцій запобігає зношуванню різьби.

#### 4 Поломки, спричиненні корозією

Корозія є причиною майже половини всіх поломок насосних штанг. Корозія – це результат електрохімічної реакції між сталлю, що використовується для виготовлення насосних штанг, і корозійно-активним середовищем, в якому вони працюють. Елементарне залізо в складі сталі взаємодіє з водою або кислотами, внаслідок чого утворюються інші сполуки, наприклад оксид заліза, сульфід заліза, карбонат заліза тощо. Вода в певних формах і концентраціях присутня у всіх свердловинах, і крім того, вона містить значну кількість розчинених домішок і газів. Наприклад, кислотні гази – вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ) і сірководень ( $\text{H}_2\text{S}$ ), які присутні в більшості свердловин, легко розчиняються у воді, яка прагне знизити їх рН. Всі рідини з низькими значеннями рН вважаються

корозійними щодо сталі. Оскільки нові насосні штанги занурюються в свердловину без корозійного шару, вони часто розпадаються швидше ніж старі штанги, які покриті корозійним шаром. Проте, якщо цей шар безперервно відколюється під час згинання або очищується під абразивним впливом середовища, то на цьому місці виникає глибока корозійна раковина.

Термічно необроблені штанги більш корозійнозійкі. Тому необхідно використовувати менш зміцнену штангу, яка буде витримувати проектні навантаження. Проте, якщо великі навантаження вимагають використання високоміцних штанг, тоді важливо захистити останні поверхневим шаром, який ефективно сповільнює корозію (цинк, алюміній, полімерні покриття тощо).

#### 4.1 Кислотна корозія

З метою стимулювання свердловин і для очисних робіт на СШНУ використовують кислоти. Всі роботи з кислотами повинні проводитись із застосуванням сповільнювача корозії (інгібітора), що змішується з кислотою до введення в свердловину. Використані кислоти залишаються корозійними щодо сталі і свердловину потрібно достатньо довго "промивати", щоб видалити всю кислоту. Деякі рідини, що видобуваються з свердловини, містять органічні кислоти, як, наприклад, оцтову, соляну і сірчану. Кислотна корозія – це процес витравлювання металу, після якого на поверхні залишаються гострі, гребенеподібні або ґратчасті виступи. При цьому в раковинах металева окалина не утворюється.

#### 4.2 Хлоридна корозія

Хлориди сприяють зростанню кількості поломок насосних штанг, пов'язаних із корозією. Корозійність води зростає із зростанням концентрації хлоридів. У свердловинах з високими концентраціями хлоридів сповільнювачі корозії мають меншу ефективність. Корозія від води з високою концентрацією хлоридів більше впливає на насосні штанги з вуглецевої сталі, ніж на насосні штанги з легованої сталі. Хлоридна корозія руйнує зовнішню поверхню насосної штанги, утворюючи дрібні, плоскодонні раковини нерегулярної форми. Особливостями форми раковин є круті стінки і гострі краї.

#### 4.3 $\text{CO}_2$ - корозія

Після взаємодії  $\text{CO}_2$  з водою утворюється вуглекислота, яка знижує рН води. Вуглекислота дуже агресивна до сталі, внаслідок чого відбувається швидка корозія великих об'ємів металу, що може призвести до повного роз'їдання насосних штанг і муфт. Інтенсивність корозії зростає із збільшенням температури і парціального тиску  $\text{CO}_2$ . Від  $\text{CO}_2$ -корозії утворюються глибокі раковини з круглою основою, крутими стінками і гострими краями. Раковини, як правило, з'єднуються в довгі ланцюжки, але іноді бувають одиночними і ізольованими. Дно раковини наповнюється окалиною карбонату заліза.

На рис. 8 зображено типові приклади  $\text{CO}_2$ -корозії на муфтах.



Рисунок 8 — Типові приклади  $\text{CO}_2$ -корозії на муфтах

#### 4.4 Корозія різнорідних металів

Корозія різнорідних металів - це пошкодження, яке виникає, коли з'єднуються два метали з різними електродними потенціалами. Один метал має схильність кородувати сильніше, ніж інший, і за певних умов менш благородний метал роз'їдається в розчинах швидше. Як правило, корозія різнорідних металів найбільш виражена біля місця з'єднання двох металів. Оскільки більшість матеріалів насосної штанги сумісна за хімічним складом, то ця поломка виникає дуже рідко.

#### 4.5 $\text{H}_2\text{S}$ -корозія

$\text{H}_2\text{S}$ -раковини глибокі, мають дно округлої форми, круті стінки і фаски на краях. Вони, як правило, невеликі і розміщені хаотично по всій поверхні штанги. Другий корозійний чинник, що утворюється від  $\text{H}_2\text{S}$ , - це плівка сульфиду заліза. Поверхні як самої насосної штанги, так і раковин, будуть покриті щільно прилипаючою чорною плівкою (окалиною). Плівка сульфиду заліза дуже погано розчиняється і утворює зі сталлю гальванічний елемент, який прагне прискорити ступінь проникнення корозії. Третій чинник корозії - це водневе окрихчення, що спричиняє утворення крихкої або гранульованої поверхні перелому.

#### 4.6 Корозія від впливу мікроорганізмів (КВМ)

Майже в кожній експлуатаційній свердловині присутня невелика кількість форм мікрокопічного життя. В основному на насосні штанги впливають одноклітинні організми, які розмножуються з неймовірною швидкістю, і здатні до життя у всіх видах умов. Як правило, - це бактерії або комахи. Щоб контролювати популяції бактерій в рідинах, необхідно використовувати бактерициди. Деякі бактерії виробляють  $\text{H}_2\text{S}$ , органічні кислоти або ензими, окисляють розчинне залізо у воді. Можлива

будь-яка комбінація перерахованих властивостей.

КВМ має ті ж основні особливості форми раковини як і  $\text{H}_2\text{S}$ -корозія. Бактерії дуже агресивні, і всі типи насосних штанг швидко роз'їдаються в середовищах свердловин, що містять бактерії. Бактерії, що виробляють  $\text{H}_2\text{S}$ , спричиняють найбільше проблем з устаткуванням СШНУ, порівняно з іншими типами бактерій. Численні тріщини в основі раковини є наслідком дії сірководню, що є побічним продуктом життя бактерій, які роз'їдають і роблять крихкою поверхню сталі під своєю колонією.

#### 4.7 Киснева корозія (аеробна корозія)

Киснева корозія найбільш характерна для муфт. Ступінь кисневої корозії прямо пропорційній концентрації кисню в розчині, вмісту хлориду в пластовій воді та(або) залежить від присутності інших кислотних газів. Розчинений кисень в невеликій концентрації може викликати значну корозію і знищувати велику кількість металу. Раковини, як правило, дрібні, плоскодонні, з широкою основою, з тенденцією до їх об'єднання. Раковини можуть мати гострі краї і круті стінки (за наявності  $\text{CO}_2$ ) або широкі, гладкі кратери з скошеними краями, якщо наявний  $\text{H}_2\text{S}$ . Ступінь корозії зростає із збільшенням концентрації розчиненого кисню.

Муфта зліва на рис. 9 - це приклад кисневої корозії, підсиленої  $\text{CO}_2$ , посередині - приклад  $\text{H}_2\text{S}$ -корозії і справа - хлоридна корозія.



Рисунок 9 — Киснева корозія

#### 4.8 Корозія від солевідкладення

Під час експлуатації свердловин, потрібно перешкоджати утворенню на поверхні насосних штанг солей: сульфату барію, карбонату кальцію, сульфату кальцію, карбонату заліза, оксиду заліза (іржі), сульфиду заліза і сульфату стронцію. Хоча твердий осад на насосних штангах уповільнює ступінь проникнення корозії, він також зменшує ефективність хімічних уповільнювачів корозії. Сильна локальна корозія у формі утворення раковин є наслідком відколу солевідкладень від згинальних рухів або очищення в результаті абразивного впливу середовища.

Таблиця 2 — Характеристика поломок насосних штанг в НГВУ «Долинанaftогаз»

Обрив	Рік проведення спостережень									Сума	
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007		%
по тілу	93	75	45	46	31	37	37	40	41	445	35%
по різьбі	30	48	56	36	37	27	16	31	30	311	24%
по муфті	13	13	15	10	13	14	18	21	16	133	10%
по штоку	23	32	49	41	23	21	33	27	19	268	21%
Відкручування штанг	6	19	22	38	16	7	5	12	4	129	10%
Всього	165	187	187	171	120	106	109	131	110	1286	100%

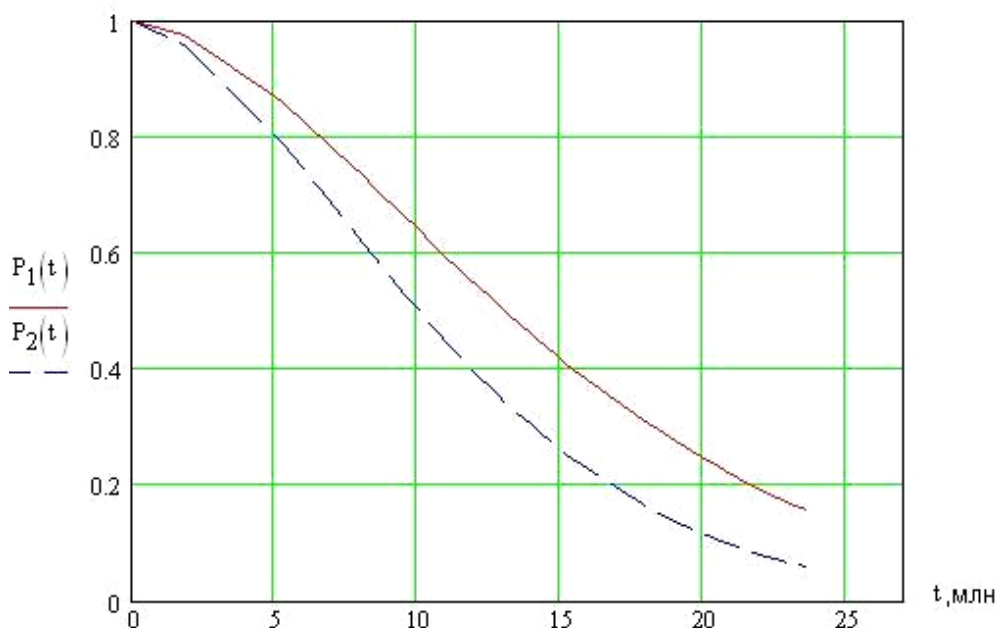


Рисунок 10 — Ймовірність безвідмовної роботи насосних штанг  $P_1(t)$ (2006р.) та  $P_2(t)$  (2007р.) від числа циклів навантаження  $N$

#### 4.9 Корозія спричинена паразитними струмами

У більшості свердловинах корозія, що спричинена паразитними струмами, виникає внаслідок індуктивних або паразитних електричних струмів. Корозія паразитними струмами може виникати внаслідок впливу заземлення електроапаратури до насосно-компресорних труб свердловини або від сусідніх систем катодного захисту трубопроводів. Електричні розряди, що виникають від насосних штанг, залишають глибокі, неправильної форми раковини з гладкими стінками, гострими краями і невеликим конусом в основі раковини.

Нами був проведений аналіз обривів та параметрів надійності насосних штанг в умовах НГВУ.

Результати аналізу поломок насосних штанг на НГВУ «Долинанaftогаз» наведені в таблиці 2, на графіках рис. 10 і рис. 11.

На основі даних про поломки насосних штанг, що були отримані у 2006 році, виведено залежність ймовірності безвідмовної роботи насосних штанг  $P_1(t)$  від числа циклів навантаження  $N$ .

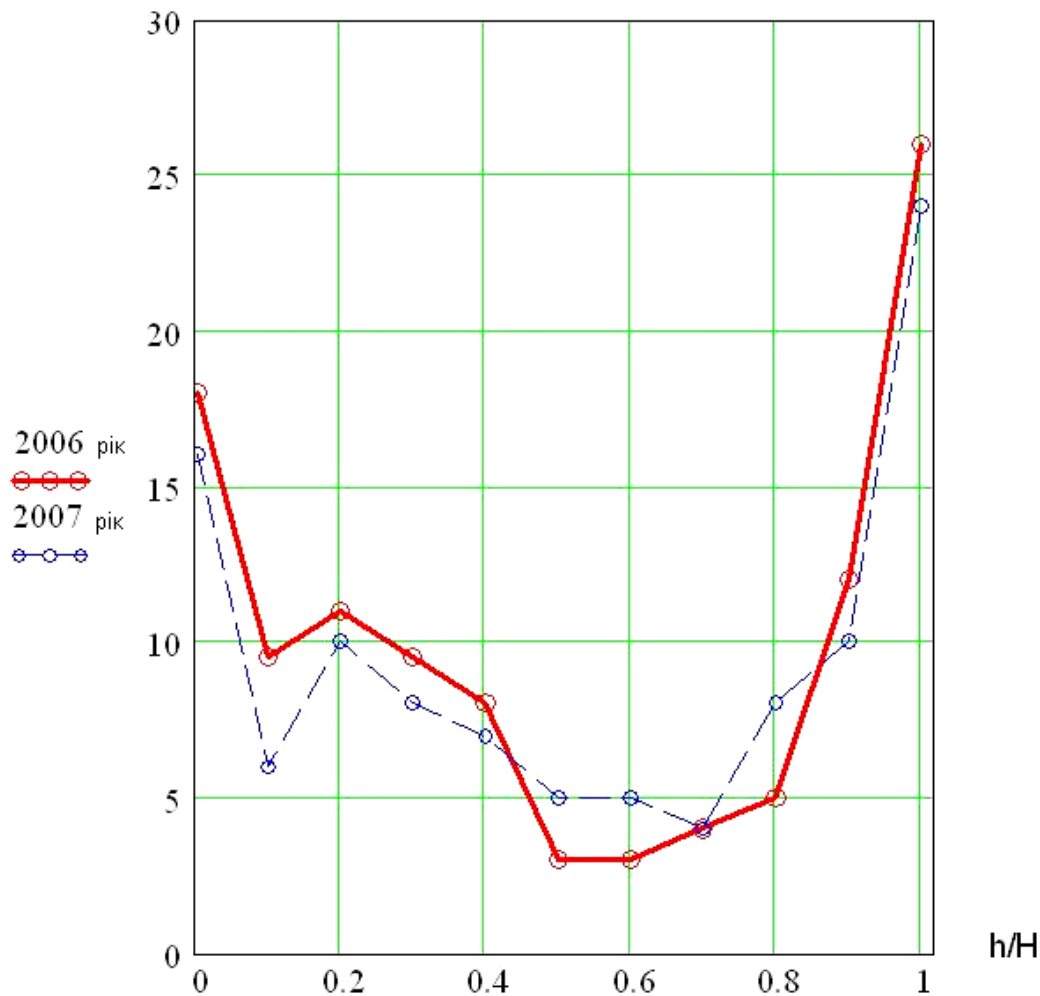
$$P_1(t) = e^{-\left(\frac{t}{16,75}\right)^{1,66}}$$

Відповідно для даних, що були отримані у 2007 році,

$$P_2(t) = e^{-\left(\frac{t}{13,51}\right)^{1,65}}$$

На рис. 11 зображені графіки залежності частоти обривів від відносної глибини обриву насосних штанг, отримані із використанням промислових даних, зібраних у 2006 і 2007 роках. Найбільше обривів відбувається внизу колони насосних штанг над насосом. Велика частота поломок відбувається по полірованому штоці, що підтверджується даними, наведеними у таблиці 2.

Витрати, пов'язані із заміною пошкоджених насосних штанг, перевищують початкову вартість нової колони штанг. Необхідно застосувати усі можливі заходи для підвищення терміну безаварійної роботи колони насосних штанг. Важливо точно діагностувати поломки штанг і здійснювати попереджувальні заходи,



*h* – глибина обриву, *H* – глибина підвіски свердловинного насоса

Рисунок 11 — Залежність частоти обривів від відносної глибини обриву насосних штанг

щоб перешкодити майбутнім поломкам. Матеріали наведені в даній статті будуть використані як науково-практична інформація в аналізі поломок насосних штанг. Тут пояснюється як відбуваються поломки штанг, і висвітлюються методи для ідентифікації особливостей деяких механізмів поломок. Після визначення візуальних особливостей різних механізмів поломок можуть бути вжиті запобіжні заходи, щоб перешкодити поломкам насосних штанг.

### Література

- 1 Копей В.Б., Стеліга І.І. Аналіз відмов колон насосних штанг в НГВУ “Долина нафтогаз” // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2002. – №4. – С. 78-80.
- 2 Clayton T. Hendricks, Russell D. Stevens. Sucker rod failure analysis. Special report from Norris. Tulsa – 2005, 15 pp.
- 3 Круман Б.Б. Глубинно-насосные штанги. – М.: Недра, 1977. – 179 с.