

УДК 622.245:622.647

## МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ СТАЛЕВИХ КАНАТІВ

**Івасів В.М., Слободян В.І., Гриців В.В., Юрич А.Р.**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

**Пірко В.М.**

Івано-Франківське бюро

ТОВ СП «Товариство технічного нагляду ДІЕКС»

**Піруг М.Б.**

Державне підприємство «Карпатський експертно-технічний центр»

Проаналізовано основні причини відбракування сталевих канатів. З метою найбільш об'єктивного і точного визначення діючих зусиль та оцінки залишкового ресурсу канату проведено промислово-експериментальні дослідження його роботи. В ході досліджень здійснено візуальний та дефектоскопічний контроль, за результатами якого встановлено фактичний технічний стан канату. Проведено втомні випробування дротин канату та отримано їх втомні характеристики, за допомогою трипараметричного рівняння.

**Ключові слова:** канати, пасажирські канатні дороги, експлуатаційна надійність, залишковий ресурс.

**Постановка проблеми.** На сьогодні сталеві канати отримали велике поширення в різних областях техніки: підвісні канатні дороги, підйомно-транспортні механізми, шахтне і ліфтове обладнання, нафтогазове обладнання. Сталеві канати є складними за структурою і відповідальними за своїм призначенням конструкціями, що працюють у важких умовах. На працездатність канату, при правильному підборі його конструкції, розмірів, розривного зусилля дротин, а також діаметра барабана і шківів, радіусів жолобів шківів та інших конструктивних характеристик підйомного обладнання, впливають два визначальні чинники: корозія і механічний знос. Оскільки руйнування канату може бути пов'язане не тільки з економічними втратами, але і з людськими жертвами, то вимоги до надійності функціонування канатів в процесі експлуатації, є доволі жорсткими. Саме тому канати, що застосовуються в нафтогазовидобувній та гірничій промисловості, туристичній галузі та безпосередньо у побуті в різного роду підйомно-транспортних механізмах, вимагають систематичного контролю і своєчасної заміни. Все це обумовлює необхідність своєчасного огляду і ретельної перевірки (дефектоскопії) канату на предмет можливості його подальшої експлуатації.

Розвиток індустрії туризму та відпочинку в горах призвів до зростання обсягів будівництва пасажирських канатних доріг (ПКД) різного типу. Не є виключенням у цьому аспекті і Україна де за даними Державної служби гірничого нагляду та промислової безпеки України налічується 43 пасажирські підвісні канатні дороги та 125 буксирних витягів [1]. У процесі їх експлуатації в несучих, несуче-тягових і тягових канатах можуть виникати різноманітні пошкодження, а саме обриви дротин, розриви сталок, поверхневе та внутрішнє спрацювання, поверхневе та внутрішнє корозія, місцеве зменшення діаметра канату, зменшення площі поперечного перерізу, деформації, пошкодження в результаті термічної дії або електричного дугового розряду. Оскільки технічний стан канатів є одним із основних чинників, які впливають на безпеку, дуже важливим фактором при оцінці стану механізмів є своєчасний огляд та інструментальний контроль цих канатів. Під-

твердженням цього є вимоги зазначені у «Правилах будови і безпечної експлуатації пасажирських підвісних канатних доріг», затвердженими Наказом № 49 від 22 січня 2014 року Міністерства енергетики та вугільної промисловості України. Відповідно до них передбачено проведення візуального огляду несучих, несуче-тягових, тягових канатів і обладнання канатної дороги під час проведення технічного огляду канатної дороги фахівцями спеціалізованої організації, а також періодичні огляди працівниками організації, яка її експлуатує. Крім того, згідно із «Правилами...», стан несучих, несуче-тягових, тягових канатів перевіряється магнітним або іншим методом неруйнівного контролю в такі терміни:

– несучий – безпосередньо після закінчення монтажу канатної дороги перед введенням її в експлуатацію;

– несучий, несуче-тяговий – у термін, визначений настановою щодо експлуатації, але не рідше одного разу на три роки в перші 15 років експлуатації з урахуванням строку попередньої експлуатації канатів, що використовуються повторно, і надалі не рідше одного разу на рік;

– тяговий – у термін, визначений настановою щодо експлуатації, але не рідше одного разу на рік після п'яти років експлуатації.

Бракування канатів канатних доріг, що перебувають в експлуатації, повинно проводитися згідно з настановою щодо експлуатації канатної дороги. За відсутності в настанові з експлуатації таких вимог бракування проводиться відповідно до «Правил...», в залежності від конструкції канату. Основними критеріями бракування є: кількість обірваних дротин на певній довжині, різноманітні деформації канату, відповідність діаметра номінальному, корозія, втрата металевого перерізу тощо.

Наприклад, відбракування закритого канату проводиться у разі наявності:

– обірваних 1/6 кількості дротин його зовнішнього шару на довжині канату в межах двох метрів (під час підрахунку обірваних дротин повторні обриви не враховуються);

– розрив двох або більше суміжних дротин зовнішнього шару в межах одного кроку звивання, чим порушується замок панцира;

– обірваних кінців окремих дротин, що виступають з канату;  
 – деформованого поперечного перерізу канату (частіш за все це буває безпосередньо на опорних башмаках або поблизу від них), що характеризує наявність великої кількості обривів внутрішніх дротин.

У разі зменшення діаметра канату на 5% і більше необхідно перевіряти його магнітним або іншим методом неруйнівного контролю. У разі

виявлення загальної втрати 10% і більше металевого перерізу канат бракують.

Бракування сталевих канатів хрестового і одностороннього звивання, що перебувають в експлуатації, здійснюється за кількістю обривів дротин на довжині одного кроку звивання, в залежності від конструкції канату.

Унаслідок цього постає питання оцінки залишкового ресурсу канатів у випадках наявності пошкоджень, які не дають підстав до його відбракування згідно з чинними нормативними документами.

Як відомо, у процесі роботи на канат діє цілий ряд різноманітних детермінованих та випадкових навантажень, які характеризують його складний напружено-деформований стан (НДС). Так, основними складовими НДС канату є:

а) нормальні напруження розтягу, які викликані діючими навантаженнями;

б) згинальні напруження, що виникають при переході каната через направляючі шківни та навиванні на барабан;

в) контактні напруження, що виникають в місцях взаємодії канату із шківом чи барабаном, а також дровинок між собою;

г) динамічні напруження, що виникають від неусталеного періодичного руху;

д) технологічні напруження, що виникають при завивці дровинок у канат.

Таким чином, проведення промислово-експериментальних досліджень роботи канату дає можливість найбільш об'єктивно і точно визначити діючі зусилля та провести оцінку його залишкового ресурсу. А разом з тим, у кінцевому результаті, розробити методику оцінки залишкового ресурсу сталевих канатів.

**Мета проведення досліджень** – розроблення методики оцінки залишкового ресурсу сталевих канатів.

**Виклад основного матеріалу.** Експериментальні випробовування були проведені на зрізці несуче-тягового канату 6×31 S+PPC-GALVANISED виробника RedaelliTecnicaDivision eCordatiS.p.A.

Для більш детального вивчення впливу експлуатаційних факторів на втомну міцність канату дослідження проведено в декілька етапів. На першому етапі, для оцінки технічного стану канату, у визначені періоди часу, здійснено його візуальний та дефектоскопічний контроль за допомогою приладу «ІНТРОС». В основу роботи дефектоскопа покладено магнітний метод неруйнівного контролю, який дає змогу одночасного вимірювання відносної втрати перерізу сталевих канатів від корозії або стирання, і виявлення зовнішніх і внутрішніх обривів дровинок. Результати дефектоскопічного обстеження відпрацьованого канату наведено на рисунку 1.

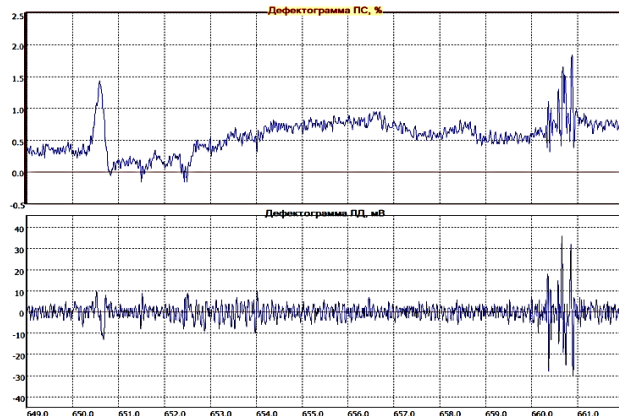
Дефектоскопічні обстеження (рис. 1) показують, що кількість обривів дровинок канату складають:

– 6 зовнішніх і 2 внутрішні на першому обстеженні;

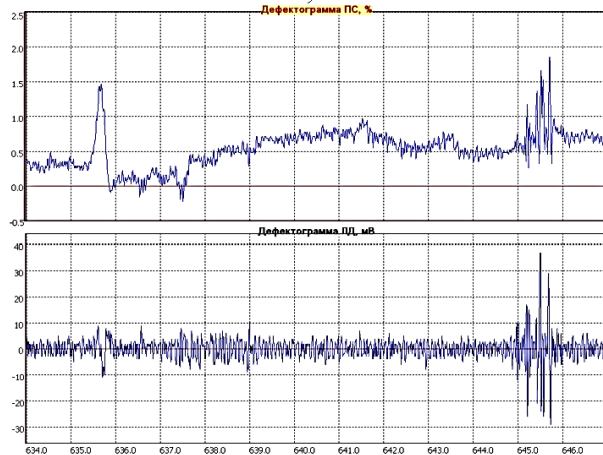
– 8 зовнішніх та 2 внутрішні на другому обстеженні;

– 9 зовнішніх та 2 внутрішні на третьому обстеженні.

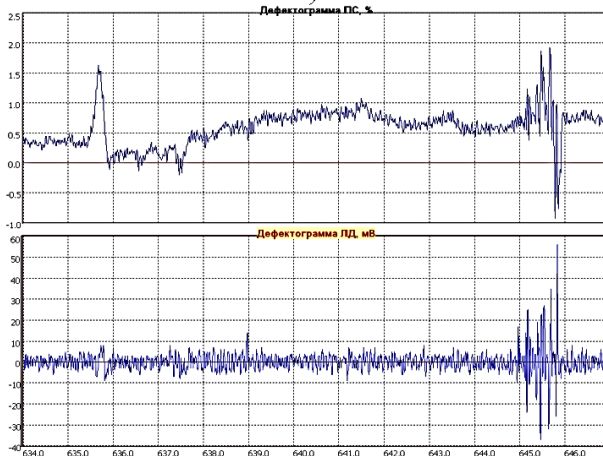
При цьому кількість циклів відпрацювання для кожного обстеження складає 86560, 95230 та 97010 циклів відповідно.



а)



б)



в)

**Рис. 1.** Дефектограми відпрацьованого канату в різні періоди технічного огляду: а) – 11.10.2012 р. (обстеження № 1); б) – 21.01.2013 р. (обстеження № 2); в) – 06.03.2013 р. (обстеження № 3)

На другому етапі досліджень проведено випробування на втомну міцність дротинок на установці розробленій та виготовленій в ДП «Карпатський ЕТЦ». Навантажування дротинони здійснювали за схемою чистого згину з обертанням.

Перед дослідженнями на втомну міцність було проведено випробування дротин на міцність при розтягу за ГОСТ 10446-80. В результаті випробувань встановлено, що розривне зусилля всіх нових дротинок сталки канату складає 273200 Н, а після відпрацювання ресурсу – 262600 Н.

Для аналізу втомних випробувань дротинок канатів ПКД до та після їх експлуатації скористаємось трипараметричним рівнянням Почтенного С. К., оскільки воно пройшло ґрунтовну експериментальну перевірку [2-4]:

$$N = \frac{Q}{\sigma} \ln \left\{ 1 + \left[ \exp \left( \frac{\sigma - \sigma_R}{V_0} \right) - 1 \right]^{-1} \right\}, \quad (1)$$

де:  $N$  – кількість циклів до руйнування деталі, *цикл*;

$\sigma_R$  – границя витривалості, МПа;

$V_0$  – параметр з розмірністю напруження, що характеризує кут нахилу кривої втоми, МПа;

$Q = N_0 \cdot \sigma_0$  – коефіцієнт витривалості, МПа · *цикл*;

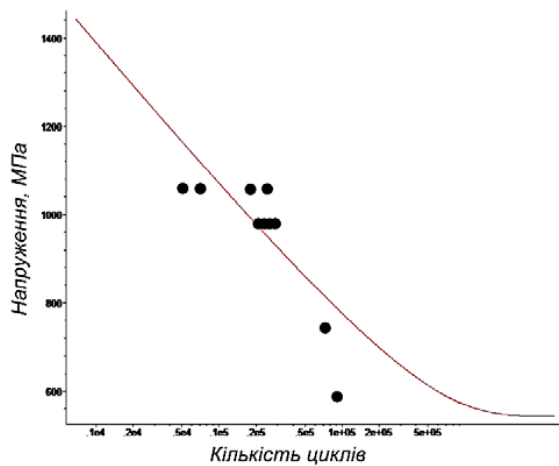
$\sigma$  – максимальне напруження циклу, МПа;

$N_0$  – параметр, що характеризує кількість циклів до точки нижнього перегину кривої втоми, *цикл*.

За результатами розрахунків побудовано криві втоми (рис. 2) і визначено їх параметри:

а) нових дротинок:

$Q_1 = 0,3 \cdot 10^9$  МПа·цикл,  $\sigma_{R1} = 543,4$  МПа,  $V_{01} = 157,41$  МПа;



а)

б) дротинок після експлуатації:  
 $Q_2 = 0,3 \cdot 10^9$  МПа·цикл,  $\sigma_{R1} = 448,9$  МПа,  $V_{02} = 144,8$  МПа;

Для визначення еквівалентного експлуатаційного напруження  $\sigma_{екв}$  пропонується використання рівняння кривої втоми у формі [3]:

$$\Delta N_{1-2} = \frac{Q_1}{\sigma_{екв}} \ln \left\{ 1 + \left[ \exp \left( \frac{\sigma_{екв} - \bar{\sigma}_{R1}}{V_{01}} \right) - 1 \right]^{-1} \right\} - \frac{Q_2}{\sigma_{екв}} \ln \left\{ 1 + \left[ \exp \left( \frac{\sigma_{екв} - \bar{\sigma}_{R2}}{V_{02}} \right) - 1 \right]^{-1} \right\}, \quad (2)$$

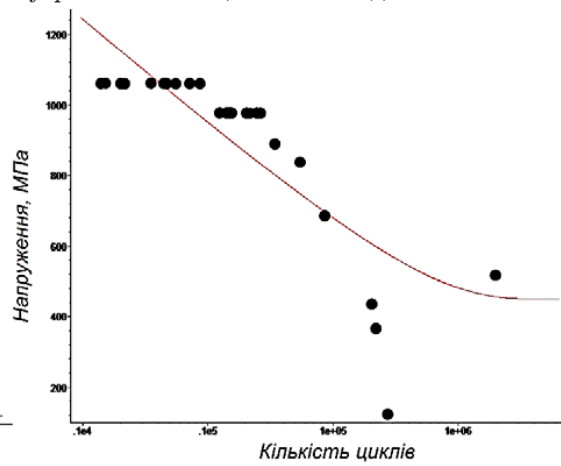
При цьому еквівалентна кількість циклів навантажування  $\Delta N_{1-2}$  визначено як середньоарифметичне значення зафіксоване при кожному дефектоскопічному обстеженні:

$$\Delta N_{1-2} = \frac{86560 + 95230 + 97010}{3} = 92933 \text{ (цикли)}$$

Отже, із рівняння (2) визначаємо еквівалентне експлуатаційне напруження  $\sigma_{екв} = 721,9$  МПа.

Маючи визначені параметри кінетичних кривих втоми і, розраховують за формулою (3) еквівалентне експлуатаційне напруження  $\sigma_{екв} = 721,9$  МПа. Підставивши  $\sigma_{екв}$  у рівняння (1), визначають залишковий ресурс дротинок канатів в даних експлуатаційних умовах  $N = 68406$  *цикли*.

**Висновки.** Отже, розрахунок залишкового ресурсу за наведеним вище алгоритмом є необхідною умовою, як для раціонального планування діагностики сталевих канатів, так і при прийнятті рішення щодо їх заміни. Цим досягається зниження імовірності виникнення обривів, перебоїв у роботі та нещасних випадків.



б)

Рис. 2. Криві втоми дротинок канатів до (а) та після експлуатації (б)

### Список літератури:

1. Держгірпромнагляд перевірив технічний стан пасажирських підвісних канатних доріг та витягів буксирних канатних <http://www.dnop.gov.ua/index.php/uk/pres-sluzhba/vsi-novini/10058-derzhgirpromnaglyad-pereviriv-tekhnichnij-stan-pasazhirskih-pidvisnikh-kanatnikh-dorig-ta-vityagiv-buksirnikh-kanatnikh>
2. Артим В.І. Підвищення експлуатаційної надійності трубних і штангових колон для буріння та видобування нафти і газу: дис. докт. техн. наук: 05.05.12 «Машини нафтової та газової промисловості» / Артим Володимир Іванович. – Івано-Франківськ, 2010. – 281 с.
3. Почтенный Е.К. Кинетическая теория механической усталости и ее приложения / Е.К. Почтенный. – Минск: Наука и техника, 1973. – 213 с.
4. Почтенный Е.К. Кинетика усталости машиностроительных конструкций / Е.К. Почтенный. – Мн.: УП «АртиФекс», – 2002. – 186 с.

**Ивасив В.М., Слободян В.И., Грыцив В.В., Юрыч А.Р.**

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа

**Пирко В.М.**

Ивано-Франковске бюро ООО СП «Общество технического надзора ДИЕКС»

**Пируг В.М.**

Государственное предприятие «Карпатский экспертно-технический центр»

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА СТАЛЬНЫХ КАНАТОВ

### Аннотация

Проанализированы основные причины отбраковки стальных канатов. С целью наиболее объективного и точного определения действующих усилий и оценки остаточного ресурса каната проведены промышленно-экспериментальные исследования его работы. В ходе исследований осуществлен визуальный и дефектоскопический контроль, за результатами которого определено фактическое техническое состояние каната. Проведены усталостные испытания проволок каната и получено их характеристики, с помощью трипараметричного уравнения.

**Ключевые слова:** канаты, пассажирские канатные дороги, эксплуатационная надежность, остаточный ресурс.

**Ivasiv V.M., Slobodyan V.I., Grytsiv V.V., Yurych A.R.**

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

**Pirko V.M.**

Ivano-Frankivsk Bureau LLC JV «Technical supervision Company DIEX»

**Pirug V.M.**

State Enterprise «Carpathian expert technical center»

## EVALUATION METHODS OF STEEL ROPES' RESIDUAL LIFE

### Summary

The basic reasons for rejection of roads' ropes have been analysed. The industrial-experimental studies of the rope's work have been performed in order to most objective and accurate determination of current efforts and evaluation of residual rope's life. During research visual and defectoscopic control were conducted. As the results of the control the actual technical state of the rope was determined. A fatigue tests of rope's wires and analysing of their results using three-parametrical equation have been performed.

**Keywords:** rope, passenger lifts, service reliability, remaining life.