

УДК 622.673.8

**АНАЛІЗ ОСНОВНИХ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ РОЗВАНТАЖЕННЯ
КАБЕЛЮ НА БАРАБАНИ КАРОТАЖНОГО ПІДЙОМНИКА**

©Смоляков С. Л., Ісьєміні І. І.

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про авторів:

Смоляков Сергій Леонідович: ORCID: 0000-0002-3772-6310; 2008ssl@mail.ru; кандидат технічних наук; доцент кафедри металоріжучого обладання і транспортних систем; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Ісьєміні Ілля Ігорович: ORCID: 0000-0001-7872-8526; isyem@mail.ru; кандидат технічних наук; асистент кафедри металоріжучого обладання і транспортних систем; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Наведено результати аналізу основних конструктивних рішень розвантаження кабелю на барабані каротажного підйомника, що дозволило надати оцінку його міцності за допомогою розрахунку навантажень в канаті, що виникають при багат шаровому навіванні.

Було проведено аналіз двадцяти літературних джерел, в яких описуються основні конструктивні рішення розвантаження кабелю на барабані каротажного підйомника.

Встановлено, що причинами виникнення поздовжніх коливань кабелю є: у період підйому – зачепи геофізичного приладу в замках, що з'єднують труби; при спуску – періодичні зависання приладу з наступним зривом. Розрахунки показують, що для свердловини глибиною 12000 м нижча частота коливань становить 0,352 рад/с, період коливань – близько 18 с.

Програма глибинного дослідження земних надр містить у собі буріння глибоких і надглибоких свердловин в основних нафтогазоносних і рудних родовищах, а також питання вивчення будови Землі й формування родовищ корисних копалин. Геофізичні дослідження глибоких і надглибоких свердловин становлять великий інтерес, через що питання каротажу набувають особливої значимості і потребують розробок керівного технічного матеріалу на проектування підйомників каротажних, норм та правил деяких міцнісних і інших розрахунків.

Ключові слова: підйомник каротажний; нафтогазоносні та рудні родовища; надглибока свердловина; багат шарове навівання; поздовжні коливання кабелю.

Смоляков С. Л., Ісьємини И. И. «Анализ основных конструктивных решений разгрузки кабеля на барабане каротажного подъемника».

Приведены результаты анализа основных конструктивных решений разгрузки кабеля на барабане каротажного подъемника, что позволило дать оценку его прочности при помощи расчета нагрузок в канате, возникающих при многослойной навивке.

Был проведен анализ двадцати литературных источников, в которых описываются основные конструктивные решения разгрузки кабеля на барабане каротажного подъемника.

Установлено, что причинами возникновения продольных колебаний кабеля являются: в период подъема – зацепы геофизического прибора в замках, соединяющих трубы; при спуске – периодические зависания прибора с последующим срывом. Расчеты показывают, что для скважины глубиной 12000 м нижняя частота колебаний составляет 0,352 рад/с, период колебаний – около 18 с.

Программа глубинного исследования земных недр включает в себя бурение глубоких и сверхглубоких скважин в основных нефтегазоносных и рудных месторождениях, а также вопросы изучения строения Земли и формирования месторождений полезных ископаемых. Геофизические исследования глубоких и сверхглубоких скважин представляют большой интерес, поэтому вопросы каротажа приобретают особую значимость и требуют разработок руководящего технического материала на проектирование подъемников каротажных, норм и правил некоторых прочностных и других расчетов.

Ключевые слова: подъемник каротажный; нефтегазоносные и рудные месторождения; сверхглубокая скважина; многослойная навивка; продольные колебания кабеля.

Smolyakov S., Isyemini I. “The analysis of the main constructive decisions of the cable’s unloading on the drum of well logging truck hoist”.

The results of the analysis of the main constructive decisions of the cable’s unloading on the drum of well logging truck hoist are given. This allowed to give an estimation of strength of the well logging truck hoist with load calculation in a rope, that appears during multilayer winding.

The analysis of twenty references was conducted. They consist main constructive decisions of the cable’s unloading on the drum of well logging truck hoist.

It is established that reasons of the longitudinal vibrations of cable are: during ascent – hooks of geophysical instrument in locks that join pipes; during descent – periodic hang-up of instrument with following stalling. Calculations are shown that for borehole with depth of 12000 m lower oscillation frequency is 0,352 rad/s, and oscillation period – about 18 s.

The program of subsurface investigation of Earth interiors includes the deep and ultradeep well-borings in the main oil-and-gas bearing and ore deposits also the questions of the studying of Earth structure and forming of the mineral wealth deposits. Geophysical investigations of the deep and ultradeep well-borings are very interesting so the questions of the well-logging take on special significance and require guidance technical material development for designing of well logging truck hoists, standards and regulations of some strengthening and other calculations.

Keywords: well logging truck hoist; oil-and-gas bearing and ore deposits; ultradeep well-boring; multilayer winding; longitudinal vibrations of cable.

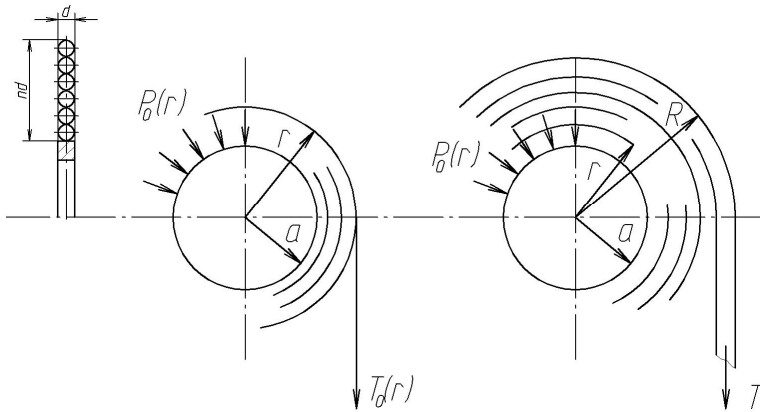
1. Постановка проблеми

При великій глибині свердловини багатшарова навивання кабелю на барабан (рис. 1) є єдиним можливим рішенням підйомної установки. Рішення може бути надано в різноманітних варіантах, кожний з яких має свої переваги та недоліки, оцінка їх є достатньо складною.

2. Аналіз літературних джерел

Є конструктивно простим рішення у вигляді барабана, на який навивається кабель під змінним натягом, створованим власною вагою кабелю (каната), в малому ступені, вагою свердловинного приладу (рис. 2, а).

Проте, великий натяг каната (100–200 кН), утворює складності в укладанні витків кабелю на барабані навіть при застосуванні канатокладальника тієї чи іншої конструкції, при малих же натягах канатокладальники зазвичай надійно забезпечують стійке укладання витків каната у всіх шарах навивання.

Піднімально-транспортні машини**Рис. 1** – Схема багатошарового навивання каната

Крім того, наслідком великого на тяжіння кабелю є доволі напружений стан елементів барабана, що призводить у ряді випадків до руйнування обичайки та лобовин. Прикладів руйнування є немало [1] і цей момент має серйозне значення для надглибоких свердловин.

Створення теорії багатошарового навивання кабелю [2-9] має звільнити конструкторів і експлуатаційників від побоювань за міцність барабана, але великий натяг кабелю викликає й інші затруднення. Одним з них є високий радіальний тиск витків кабелю різних шарів один на одного та на стінку барабана. За відомою границею радіальний тиск, стискаючи кабель в поперечному напрямі, може вивести його з ладу, замкнувши струмопровідні жили. Обмеження радіального тиску може бути досягнуто за рахунок збільшення діаметра барабана.

2. Мета даної роботи полягає в аналізі основних конструктивних рішень розвантаження кабелю на барабані каротажного підйомника для надання оцінки його міцності за допомогою розрахунку навантажень в канаті, що виникають при багатошаровому навиванні.

3. Основний матеріал

Можливе й інше рішення, – підйом кабелю здійснюється за допомогою фрикційного приводу, зі шківом (або шківками) третя, барабан же є збірником кабелю, натягнутого невеликим зусиллям, достатнім для роботи шківів, $t = Te^{f\alpha}$ – мова йде про залежності Ейлера (рис. 2, б).

Між цими крайніми рішеннями знаходиться середнє, – тягове зусилля створюється й фрикційним пристроєм й барабаном з канатом, який навивається (рис. 2, в). З точки зору управління роботою підйомного пристрою найпростішою є схема з барабаном, що створює тягове зусилля безпосередньо (рис. 2, в).

При постійній швидкості кабелю кутова швидкість барабана повинна бути змінною. Якщо тягове зусилля створюється шківками тертя (рис. 2, б), то натяг каната, що навивається на барабан, може бути доволі малим, але достатнім для створення необхідного натягу в збіжній гілці каната, про що вже було сказано. Більш складною є схема (рис. 2, в) сумісної роботи шківів тертя та барабана. Управління в цьому випадку значно складніше, ніж в описаних вище схемах, оскільки необхідно забезпечити в умовах реверсивного обертання барабана та змінного навантаження, достатнє на тяжіння кабелю, що виключає значну зміни натягу та динамічні перевантаження. Але притому є можливим до певної глибини свердловини працювати з барабанною лебідкою, а потім вже вмикати в роботу фрикційний привод.

Піднімально-транспортні машини

При застосуванні фрикційних шківів, коли кабель обходить систему блоків і з невеликим натягінням навивається на барабан, – товщини обичайки та лобовин виявляються значно меншими, зменшується радіальний тиск витків кабелю один на одного й на стінку барабана, що виключає вихід кабелю з ладу через замикання струмопровідних жил, полегшується укладання кабелю на барабані. Якщо мати на увазі, що в цій схемі підйому – спуску значно зменшується натягіння кабелю на барабані, то фрикційну систему можна розглядати, що як розвантажувальну.

Вибір однієї з описаних схем приводу визначається рядом технічних і економічних міркувань. Останнє стане ясным, якщо врахувати, наприклад, можливість роботи підйомника протягом ряду років при обмеженому натягу кабелю, обмеженій потужності приводу (двигуна), а пізніше ввести в систему фрикційне розвантаження барабана й працювати при більшій глибині свердловини при комбінованому приводі. Вибір варіанта вимагає розрахунків, але можливі випадки, коли розв'язок питання диктується спеціальними міркуваннями. Слід урахувати, що в реалізації завдання розвантаження кабелю ми зустрічаємося з деякими завданнями вперше. Наприклад, коли свердловина пройдена до оцінки 10000–12000 м рішення існує, але ще не створена конструкція кабелю для роботи до 15000 м і, можливо, для ще більшої глибини. Якою буде поведінка кабелю при навивці під більшим натягом? Чи раціонально відразу йти на більший діаметр барабана, редуктор з більшим передаточним числом, потужнішу гальмову систему? При достатньому досвіді такі питання не є особливо значимими, але мова йде про відсутність досвіду в нас і за кордоном, і це вимагає дослідження ряду моментів, що не мають вичерпного висвітлення в літературі.

Вирішуючи питання про встаткування свердловини досить великої глибини, не так просто задати параметри лебідки й можна думати, що тут позначився вплив наявної суміжної практики. Так, для лебідки, використовуваної для дослідження Кольської свердловини великої глибини, був прийнятий діаметр барабана такий же, як і для бурових установок, хоча глибина буріння останніми не становить і половини від запланованої глибини Кольської свердловини. Діаметр кабелю, застосовуваного на свердловині, удвічі менше, ніж каната на бурових установках, міцність дротів броні кабелю значно вище, ніж у дротів у сталці каната подвійного звивання. Що ж стосується умов роботи кабелю, то питання про радіальне його навантаження має дуже велике значення, у випадку ж бурових установок цей момент має значення, незрівнянно менше. Тому дослідження варіантів приводу виявляється цілком виправданим, стосовно ж до розробки технології буріння свердловин глибиною до 15000 м для вивчення надр земної кори завдання слід вважати актуальним.

Звичайно, що одним із суттєво важливих є питання про вплив поперечного навантаження кабелю на його надійне функціонування. Спеціальне дослідження цього питання виконане на кафедрі Підйомно-транспортних машин УПА [4]. Випробуваннями охоплені кабелі різної конструкції, діаметрами $d = 6,1; 12,0; 14,5$ мм. Деякі результати наведені далі. У тих випадках, коли радіальне навантаження кабелю велике, виникає питання про ушкодження струмопровідних жил кабелю, внаслідок здавлювання кабелю в

Піднімально-транспортні машини

поперечному напрямку. Тоді, робота за схемою (рис. 2, а.) неможлива, тому що потрібне обмеження натягу кабелю на барабані. При якій глибині свердловини буде потрібно обмеження натягу кабелю, чи залежить воно від його навантаження, від будови приводу, від діаметра навивання, – ці моменти розглядаються далі.

Але при будь-якому варіанті розв'язку завдання необхідно зважати на можливостями, обумовленими умови формування сил тертя кабелю на поверхні рівчака тягового шківів. У літературі є численні дані про тертя канатів подвійний звивання на шківів чавунних, сталевих, футерованих [10-13], але для кабелів на шківів тертя таких даних ми не маємо [14].

Цим диктується необхідність постановки спеціального експерименту, маючи при цьому на увазі особливі умови роботи каротажного кабелю: кабель не змщений (на відміну від інших випадків канатного приводу), покритий шаром глинистого розчину й не повинен бути навантажений особливо великим поперечним тиском. У зв'язку з останнім є неможливим застосування підрізаного профілю рівчака шківів тертя, настільки ефективного для приводу ліфта [15], і в інших випадках [16, 17].

Основним навантаженням кабелю є його власна вага й кінцеве навантаження (вага свердловинного приладу мала та може не враховуватися). При визначенні натягу кабелю слід враховувати також взаємодію кабелю з розчином, у який він занурений майже на всій довжині й тертя кабелю о стінки свердловини, – ці питання знайшли відбиття в [4], де викладений розв'язок завдання про поздовжні коливання кабелю в свердловині, запропонований Б. О. Скородумовим. У зазначеному розв'язку геофізичний кабель розглядається як пружний брус із розподіленою масою та розподіленими силами опору, з урахуванням втрат від внутрішнього тертя в кабелі. Поздовжні коливання такої системи описуються диференціальним рівнянням

$$\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} - a^2 \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = -\frac{g}{q} \left[(W_{ж} + W_{с}) \text{sign} \frac{\partial U}{\partial t} + W_{в} \right],$$

де U – переміщення x -го перерізу кабелю в момент часу t

g – прискорення вільного падіння;

q – погонна вага кабелю;

$W_{ж}$ – сила внутрішнього тертя в рідині, що зповнює колону та припадає на один метр довжини кабелю;

$W_{с}$ – сила тертя кабелю по внутрішній поверхні бурових труб, що припадає на один метр довжини кабелю;

$W_{в}$ – сила опору від внутрішнього тертя в геофізичному кабелі при його деформації, що припадає на один погонний метр кабелю.

Причинами виникнення поздовжніх коливань кабелю є: у період підйому – зачепи геофізичного приладу в замках, що з'єднують труби; при спуску – періодичні зависання приладу з наступним зривом. Крім того, геофізичний кабель, опущений у постав труб свердловини, завдяки великій довжині, має значну масу й дуже високу пружну

Піднімально-транспортні машини

піддатливістю, що визначає досить низькі частоти й великі амплітуди коливань. Розрахунки показують, що для свердловини глибиною 12000 м нижча частота коливань становить 0,352 рад/с, період коливань – близько 18 с. Розв’язок Б. О. Скородумова дозволяє також судити про динаміку підйому – спуска каната (кабелю). Проте, втрати на внутрішнє тертя при розтяганні кабелю вимагають подальшого вивчення, – досвіди були виконані С. Л. Смоляковим і В. М. Беспаловим. Результати опубліковані в [3, 18–20].

Висновки

Геофізичні дослідження глибоких і надглибоких свердловин здійснюються по довгостроковій комплексній програмі глибинного дослідження земних надр. Ця програма містить у собі буріння глибоких і надглибоких свердловин в основних нафтогазоносних і рудних родовищах, а також питання вивчення будови Землі й формування родовищ корисних копалин. Оскільки геофізичні дослідження глибоких і надглибоких свердловин становлять великий інтерес, то питання каротажу набувають особливої значимості і їм приділяється особлива увага з боку Державної служби геології та надр України. У той же час у системі Державної служби геології та надр України, де питання, що розглядаються, мають важливе значення, немає, наприклад, керівного технічного матеріалу на проектування підйомників каротажних, відсутні норми та правила деяких міцнісних і інших розрахунків. У статті зроблена спроба заповнити ці пробіли.

Список використаних джерел:

1. Фидровская Н. Н. Совершенствование конструкции и технологии изготовления крановых барабанов и обеспечение их устойчивости: дис. ... канд. тех. наук / Н. Н. Фидровская. – Харьков, 1986. – 122 с.
2. Фідровська Н. М. Канатні барабани : моногр. / Н. М. Фідровська ; Укр. інж.-пед. акад. – Х. : НГМТ, 2011. – 195 с.
3. Беспалов В. Н. Определение гистерезиса сухого трения в канате / В. Н. Беспалов, С. Л. Смоляков // *Подъемно-транспортное оборудование : респ. межвед. научн.-техн. сб.* – К., 1988. – Вып. 19. – С. 51–56.
4. Исследование влияния температурных режимов эксплуатации на работу элементов барабана, тормозной системы и кабеля для каротажного подъемника ПК-15: Отчет НИР (заключительный) / Укр. заоч. политехн. ин-т им. И. С. Соколова. – Харьков, 1985. – 291 с. – № ГР 01820081675. – Инв. № 02860099758.
5. Ковальский Б. С. Теория многослойной навивки каната / Б. С. Ковальский // *Доклады АН СССР.* – 1950. – Т. 74, № 3. – С. 427–432.
6. Ковальский Б. С. Радиальная нагрузка футерованного барабана / Б. С. Ковальский // *Стальные канаты: Респ. межвед. научн.-техн. сб.* – 1968. – Вып. 5. – С. 162–168.
7. Ковальский Б. С. Влияние футеровки на нагрузку барабана / Б. С. Ковальский // *Расчёты деталей машин и элементов сооружений.* – Харьков: ХВКИУ, 1970. – Вып. 3. – С. 6–14.
8. Исследование работы элементов системы кабель-барабан для каротажного подъемника ПК-15: отчет о НИР (заключительный) / Укр. заоч. политехн. ин-т им. И. С. Соколова. – Харьков, 1982. – 100 с. – № ГР 01820084675.
9. Исследование способов фрикционной разгрузки барабанов каротажных подъемников: отчет о НИР (заключительный) / Укр. заоч. политехн. ин-т им. И. С. Соколова. – Харьков, 1987. – 65с. – № ГР 01860123789. – Инв. № 02880030638.
10. Дукельский А.И. Подвесные канатные дороги / А. И. Дукельский. – М.: Машгиз, 1938. – 400 с.
11. Дукельский А. И. Подвесные канатные дороги и кабельные краны / А. И. Дукельский. – М.: *Машиностроение*, 1966.- 484 с.
12. Stephan P. *Die Drahtseilbahnen* / P. Stephan. – Berlin : Springer, 1926. – 572 p.
13. Цикавый Л. А. Тяговая способность канатоведущего шкива : дис. ... канд. техн. наук / Л. А. Цикавый ; ХВКУ. – Харьков, 1951. – 128 с.
14. Беспалов В. Н. Коэффициент трения геофизического кабеля о шкив / В. Н. Беспалов, С. Л. Смоляков // *Подъемно-транспортное оборудование: Респ. межвед. научн. техн. сб.* – К., 1989. – Вып. 20. – С. 66–68.
15. Кифер Л. Г. Грузоподъемные машины : учеб. пособие для вузов. Т. 2 / Л. Г. Кифер, Г. И. Абрамович. – М.: Машгиз, 1949. – 604 с.

16. Коган И.Я., Панцулая Т.И. Маятниковые канатные дороги на горных предприятиях // *Изв. вузов. Горн. журн.* – 1947. – № 4. – С. 66–73.
17. Хайменс Ф. Подъёмники с канатоведущими шкивами / Ф. Хайменс, А. Хельборн. – М. : ОНТИ НКТП, 1937. – 320 с.
18. Беспалов В. Н. Гистерезис при статическом растяжении каротажного кабеля / В. Н. Беспалов, С. Л. Смоляков // *Механика технологического оборудования / МО СССР, ХВКИУ.* – 1988. – Вып. 1. – С. 57–72.
19. Беспалов В.Н. Гистерезисные явления в проволочных канатах / В. Н. Беспалов, С. Л. Смоляков // *Материалы XVI научно-технической конференции ИПМаш АН УССР.* – Харьков, 1988. – С. 64.
20. Определение коэффициента линейного расширения каротажных кабелей / В. Н. Беспалов, А. И. Еганов, Л. Г. Нечипоренко, С. Л. Смоляков // *Подъёмно-транспортное оборудование: Респ. межвед. научн.-техн. сб.* – К., 1988. – Вып. 19. – С. 41–44.

References

1. Fidrovskaya, N 1986, 'Sovershenstvovaniye konstruksii i tekhnologii izgotovleniya kranovykh barabanov i obespecheniye ikh ustoychivosti', *Kand.tekh.n. thesis, Ukrainska inzhenerno-pedahohichna akademiia, Kharkiv.*
2. Fidrovskaya, N 2011, *Kanatni barabany*, NTMT, Kharkiv.
3. Bespalov, V & Smolyakov, S 1988, 'Opredeleniye gisterezisa sukhogo treniya v kanate', *Podyemno-transportnoye oborudovaniye: Resp. mezhved. nauchn.-tekhn. sb.*, iss. 19, pp. 51-56.
4. Ukrainskiy zaochnyy politekhnicheskyy institut im. I. S. Sokolova 1985, *Issledovaniye vliyaniya temperaturnykh rezhimov ekspluatatsii na rabotu elementov barabana, tormoznoy sistemy i kabelya dlya karotazhnogo podyemnika PK-15*, Otchet NIR (zaklyuchitelnyy) № GR 01820081675; Inv. № 02860099758, Kharkiv.
5. Kovalskii, B 1950, 'Teoriya mnogoslonoynoy navivki kanata', *Doklady AN SSSR*, vol. 74, no. 3, pp. 427-432.
6. Kovalskiy, B 1968, 'Radialnaya nagruzka futerovannogo barabana', *Stalnyye kanaty: Resp. mezhved. nauchn.-tekhn. sb.*, iss. 5, pp. 162-168.
7. Kovalskiy, B 1970, 'Vliyaniye futerovki na nagruzku barabana', *Raschety detaley mashin i elementov sooruzheniy*, KhVКИU, Kharkiv, iss. 3, pp. 6-14.
8. Ukrainskiy zaochnyy politekhnicheskyy institut im. I. S. Sokolova 1982, *Issledovaniye raboty elementov sistemy kabel-baraban dlya karotazhnogo podyemnika PK-15*, Otchet o NIR (zaklyuchitelnyy), № GR 01820084675, Kharkiv.
9. Ukrainskiy zaochnyy politekhnicheskyy institut im. I. S. Sokolova 1987, *Issledovaniye sposobov friksionnoy razgruzki barabanov karotazhnykh podyemnikov*, Otchet o NIR (zaklyuchitelnyy), № GR 01860123789; Inv. № 02880030638, Kharkiv.
10. Dukelskiy, A 1938, *Podvesnyye kanatnyye dorogi*, Mashgiz, Moskva.
11. Dukelskiy, A 1966, *Podvesnyye kanatnyye dorogi i kabelnyye krany*, Mashinostroyeniye, Moskva.
12. Stephan, P 1926, *Die Drahtseilbahnen*, Springer, Berlin.
13. Tsikavyy, L 1951, 'Tyagovaya sposobnost kanatovedushchego shkiva', *Kand.tekh.n. thesis, Kharkovskoe vysshee komandnoye uchilishche, Kharkiv.*
14. Bespalov, V & Smolyakov, S 1989, 'Koeffitsient treniya geofizicheskogo kabelya o shkiv', *Podyemno-transportnoye oborudovaniye: Resp. mezhved. nauchn. tekhn. sb.*, iss. 20, pp. 66-68.
15. Kifer, L & Abramovich, G 1949, *Gruzopodyemnyye mashiny*, vol. 2, Mashgiz, Moskva.
16. Kogan, I & Pantsulaya, T 1947, 'Mayatnikovyye kanatnyye dorogi na gornyx predpriyatiyakh', *Izvestiya vuzov. gornyy zhurnal*, no. 4, pp. 66-73.
17. Khaymens, F & Khelborn, A 1937, *Podyemniki s kanatovedushchimi shkivami*, ONTI НКТП, Moskva.
18. Bespalov, V & Smolyakov, S 1988, 'Gisterezis pri staticheskom rastyazhenii karotazhnogo kabelya', *Mekhanika tekhnologicheskogo oborudovaniya*, MO SSSR, KhVКИU, iss. 1, pp. 57-72.
19. Bespalov, V & Smolyakov, S 1988, 'Gisterezisnyye yavleniya v provolochnykh kanatakh', *Materialy KhUI nauchno-tekhnicheskoy konferentsii IPMash AN USSR, Kharkiv*, pp. 64.
20. Bespalov, V, Yeganov, A, Nechiporenko, L & Smolyakov, S 1988, 'Opredeleniye koeffitsienta lineynogo rasshireniya karotazhnykh kabelye', *Podyemno-transportnoye oborudovaniye: Resp. mezhved. nauchn.-tekhn. sb.*, iss. 19, pp. 41-44.

Стаття надійшла до редакції 16 листопада 2015 р.