

Техніка і технології

УДК 621.315

ПРИСТРІЙ АВАРІЙНОГО ЗАХИСТУ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА ВІД ЗАБРУДНЕННЯ НАФТОЮ

О.І. Білоус, Г.І. Таниця

Дніпродзержинський державний технічний університет,
51900, м. Дніпродзержинськ, вул. Дніпробудівська, 2, тел. (0569) 551389,
e-mail: science@dstu.dp.ua

Обґрунтована технічна можливість встановити навколо ушкодженої обсадної труби захисний циліндр. Циліндр створюється шляхом згину плоского канату, попередньо намотаного на бобіну в декілька шарів. Для бобіни, як системи кілець, досліджено розподіл поміжшарових сил тиску. Показано, що сили тиску практично близькі до нуля поміж усіма шарами, окрім двох верхніх. Визначено кут, на який повернеться бобіна у разі прикладення робочого навантаження до стрічки під час пуску машини.

Ключові слова: захист водного середовища, конструкція, стрічка, надання стрічці циліндричної форми, багатошарова намотка, розподіл сил

Обоснована техническая возможность установить вокруг поврежденной обсадной трубы защитный цилиндр. Цилиндр создается путем изгиба плоского каната, предварительно намотанного на бобину в несколько слоев. Для бобин, как системы колец, исследовано распределение сил давления между слоями. Показано, что силы давления практически близки к нулю между всеми слоями, кроме двух верхних. Определен угол, на который повернется бобина в случае приложения рабочей нагрузки к ленте при пуске машины.

Ключевые слова: защита водной среды, конструкция, лента, предоставление ленте цилиндрической формы, многослойная намотка, распределение сил

Possibility to set a protective cylindrical body round the damaged pipe is rotined. It is created by the bend of flat rope, preliminary winded on a bobbin in a few layers. For reels, as the ring system has been studied the distribution of pressure forces between the layers. It is shown that the pressure force is almost close to zero between all layers except the top two. Defined angle at which the spool rotates in the case of an application workload to a tape at start-up mechanism.

Keywords: defence of aquatic environment, construction, ribbon, grant to the ribbon of cylindrical form, multi-layered winding, distribution of forces.

Україна найближчим часом планує розпочати освоєння родовищ шельфу Чорного моря. Приклад аварії на нафтовидобувній платформі компанії British Petroleum, що призводить вилливу нафти в Мексиканської затоці вказують на те, що проблема екологічної безпеки підводного видобутку цього енергоносія поки, що не повністю розв'язана.

Причиною витoku нафти було руйнування обсадної труби. Для зменшення обсягів неконтрольованого витoku нафти у водне середовище нами розроблено пристрій для захисту довкілля від протікання обсадних труб у товщі води [1]. Пристрій (рис.1) з підйомною машиною з циліндричним барабаном 1. На барабан намотана стрічка 2 із западиною 3 та виступом 4.

Стрічці роликами 5 надається форма кругового циліндра навколо обсадної труби 6. До

вільного кінця стрічки приєднано деталь конічної форми 7.

При відмотуванні плоского канату з барабану стрічка циліндричної форми охоплює обсадну трубу та опускає на дно водного басейну конічну деталь. Таким чином, труба охоплюється циліндричною порожнистою деталлю зі стрічкою. Оскільки ролики 5 розташовані не нижче рівня води, то зона витoku нафти стрічкою циліндричної форми відокремлюється від водного простору. Нафта піднімається в порожнині поміж обсадною трубою та утвореним циліндром. Її відсмоктують помпами, що унеможливує її витік у водне середовище. Конічна деталь значної маси дає змогу спрямовувати нафту в потрібному напрямку, навіть коли ушкоджена навколосвердловинна зона.

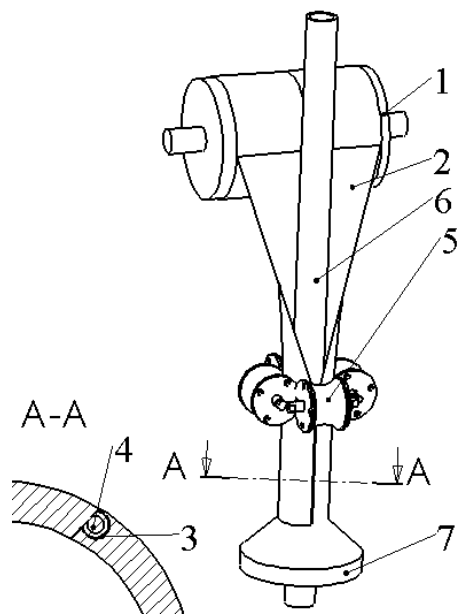


Рисунок 1 – Пристрій для захисту довкілля від протікання обсадних труб у товщі води

Запропонований пристрій – це машина нової конструкції. Створення нової машини пов'язане з розв'язанням ряду технічних проблем. З метою спрощення розв'язання таких задач використовують метод аналогії. В нашому випадку найближчим аналогом пристрою є шахтна підйомна машина. Тяговим елементом цієї машини має бути стрічка. Цій стрічці має бути надана додаткова функція – створення навколо обсадної труби додаткового циліндричного тіла. Глибини видобутку корисних копалин можуть бути значними. Стрічка повинна мати значну міцність на розрив. Відповідно до кінематики підйомної машини, тяговий орган має бути намотаний на барабан. Для тягового органу у вигляді стрічки намотування на барабан має здійснюватися пошарово, а жорсткість стрічки на згин має бути незначною. Стрічка не повинна руйнуватися і від взаємодії з нафтою.

Переліченим умовам задовольняє гумотросова стрічка, що використовується в Україні (понад 30 років), в Польщі як канат підйомної машини. Карагандинський завод (Узбекистан) має технічну можливість виготовляти стрічки шириною 1,6-2 м на основі тросів діаметром 12-16 мм. Такі стрічки використовуються і на конвеєрах, включно підвісних трубчастих, на яких стрічки задається кругова або грушоподібна замкнена форма.

Для використання плоского тягового органу при однокінцевому підйомі треба побудувати підйомну машину з бобінним виконавчим органом. Над створенням такої машини працюють науковці національного гірничого університету та Новокраматорського машинобудівельного заводу [2]. Особливістю умов роботи підйомної машини в запропонованому пристрої є те, що стрічка на барабан має бути намотана без натягу. Лише після цього до стрічки має бути навантажена масою приєднаного конуса та власною вагою змотаної частини канату.

В роботах професора Національного гірничого університету К.С.Заболотного та доцента цього ж університету О.В.Панченко досліджено розподіл сил в тілі утвореному багатшаровим намотуванням гумотросового канату. Роботи виконувалися для шахтних підйомних машин. В цих машинах канат намотано під дією на нього зовнішньої сили розтягу. Навантаження канату під час його намотування на барабан на наземних підйомних машинах забезпечується тим, що до кінця канату приєднується вантаж.

Для запропонованого пристрою таке намотування є неможливим. Канат має бути намотаний в декілька шарів, практично без натягу до моменту підвішування вантажу – конуса. Вільний кінець канату спочатку має бути заведений між роликками над водною поверхнею. Лише після цього до нього можна буде приєднати вантаж – конус. Вантаж і створить початкове робоче натягнення канату. Така послідовність прикладення сил змінює умову взаємодії шарів канату та барабана. Зміна умов взаємодії віказаних елементів призводить до зміни характеру розподілу сил та деформацій, має бути врахована в процесі проектування пристрою. Дослідження умов взаємодії плоского канату та барабана – актуальна науково-технічна задача, розв'язання якої дозволить обґрунтовано вибрати параметри барабана.

Метою роботи є визначення сил, що діють поміж шарами та на барабан підйомної машини. У вказаній конструкції плоский канат без попереднього натягнення намотано на барабан в декілька шарів. Після намотування до вільного кінця канату прикладене зусилля розтягу. Задачу розв'яжемо, скориставшись результатами роботи [2], в якій гвинтова форма канату замінена дискретними кільцями. Перше кільце вважається насадженим на барабан. Кожне наступне – на попереднє. Тиск поміж шарами та тиск на барабан вважається рівномірною розподіленім. Додатково врахуємо і те, що гумотросовий канат – це система паралельних розташованих в одній площині тросів, запресованих в гумову оболонку. Крок розташування тросів незмінний по усій ширині канату. Ширину канату приймемо рівною одиниці (одичною). Напружений стан утвореної системи шарів канату відповідатиме плоскому.

Систему дискретних тросів уявимо як суцільний металевий шар, розташований поміж двома гумовими шарами обкладинками канату. При намотуванні гумові обкладинки суміжних шарів канату взаємодіють поміж собою. Відповідно до умов задачі між ними немає зазору та вони не рухаються один відносно іншого. Це дає підстави два суміжних гумових шари розглядати як один. Аналіз напруженого стану композитного ортотропного матеріалу, яким є гумотросовий канат, засвідчив, що товщину гумового шару слід прийняти рівним першому члену розкладеного за косинусами в ряд Фур'є змінної товщини гумового шару. Для збереження кінематичних умов намотування канату,

його загальна товщина має залишитися незмінною.

Після приєднання вантажу до канату зусилля розтягу у верхньому шарі зростає до сили, що дорівнюватиме вазі вантажу, та створить тиск на попередній шар. Цей тиск задамо розподіленою силою q_N . Кільця позначимо номерами від 1 до N – кількості намотаних шарів без урахування верхнього. Шар канату, що взаємодіє з барабаном, позначимо номером 1. В кожному шарі канату номерам гумових кілець додамо індекс g , а металевим – t .

Тиск зовнішнього шару, відповідно до прийнятих умов, розподілений рівномірно та симетрично відносно осі барабану. Кожне кільце навантажено рівномірно розподіленими зовнішніми зусиллями, що діють в площині кілець. Прийmemo функцію напружень (функцію Ері) в наступній формі

$$\varphi(r) = B \ln r + Cr^2. \quad (1)$$

Відповідно до прийнятої функції, враховуючи те що кільця виконані з різного матеріалу, напруження та деформації для i -того:

а) гумового кілець

$$Rr_{gi} = \frac{B_{gi}}{r^2} - 2 C_{gi},$$

$$B\beta_{gi} = -\frac{B_{gi}}{r^2} - 2 C_{gi}, \quad (2)$$

$$u_{gi} = \frac{1}{G_g} \left(\frac{B_{gi}}{2r^2} + C_{gi} \frac{1 - \mu_g}{1 + \mu_g} r \right),$$

де: r , β ; Rr_{gi} , $B\beta_{gi}$ – складові тензора напружень гумового кілець в циліндричних координатах; B_{gi} , C_{gi} – невідомі сталі інтегрування; G_g – модуль зсуву для гуми; μ_g – коефіцієнт Пуассона для гуми,

б) металевого кілець

$$Rr_{ti} = \frac{B_{ti}}{r^2} - 2 C_{ti},$$

$$B\beta_{ti} = -\frac{B_{ti}}{r^2} - 2 C_{ti}, \quad (3)$$

$$u_{ti} = \frac{1}{G_t} \left(\frac{B_{ti}}{2r^2} + C_{ti} \frac{1 - \mu_t}{1 + \mu_t} r \right),$$

де: Rr_{ti} , $B\beta_{ti}$ – складові тензора напружень умовно суцільного металевого кілець в циліндричних координатах; G_t – приведений модуль зсуву умовного металевого кілець; μ_t – приведений коефіцієнт Пуассона умовно суцільного металевого кілець.

Внутрішній радіус i -того гумового кілець позначимо a_{gi} , a_{ti} . Складемо умови сумісного деформування кілець:

коли $r = at_i$ $u_{gi} = u_{ti}$,

$$Rr_{gi} = Rr_{ti} \quad (i=1, 2, \dots, N), \quad (4)$$

коли $r = ag_i$ $u_{gi} = u_{ti-1}$,

$$Rr_{gi} = Rr_{ti-1} \quad (i=2, 3, \dots, N). \quad (5)$$

Граничні умови деформування

коли $r = ag_N$,

$$Rr_{tN} = q, \quad (6)$$

коли $r = ag_1$,

$$u_{\beta 1} = 0. \quad (7)$$

Після підстановки граничних умов (6, 7) та умов сумісності деформування шарів (4, 5) в залежності (2 та 3) отримаємо систему рівнянь. Порядок цієї системи дорівнює $6N$. Розв'язання системи рівнянь дозволить визначити невідомі сталі інтегрування, відповідно і напруження та деформації кілець при багатшаровому намотуванні канату.

Нами виконані розрахунки розподілу сил тиску поміж шарами гумотросового канату типу ГТК-3150 намотаного в десять шарів на барабан радіусом 0,8 м. Модулі зсуву та коефіцієнти Пуассона для матеріалу троса з урахуванням заповнення перерізу троса металом та гуми прийняті відповідно рівними 10^4 МПа і 0,23 та 10 МПа і 0,48. Натягнення верхнього шару прийнято таким, що забезпечував тиск десятого шару на дев'ятому рівні одиниці, тобто $Rr_{t10} = 1$. Результати розрахунків наведені на рис. 2. Крива 1 відповідає канату з наведеними механічними показниками.

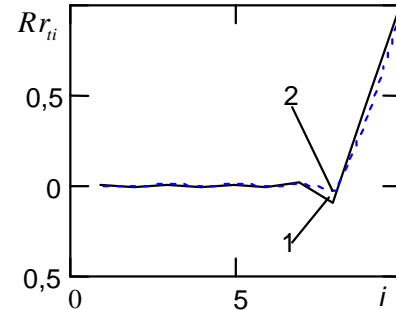


Рисунок 2 – Розподіл радіальних напружень стискування в шарах намотаного канату

Наведений розподіл свідчить, що напруження стискування, від максимального рівного одиниці під десятим шаром канату, зменшуються. У восьмому (в третьому при підрахунку від зовнішнього шару) виникають навіть незначні напруження стискування, як в гумі так і в тросі. В решті шарах напруження практично відсутні, як і до моменту навантаження зовнішнього шару. Тобто навантаження верхнього шару впливає локально – на три суміжних шари, що збігається з висновками роботи О.В. Панченко. Ця закономірність зберігається за умови, коли кількість шарів перевищує два і не залежить від механічних характеристик канату, діаметру барабана. Наслідком зростання сил розтягу канату в разі його навантаження зовнішнім зусиллям призведе до деформацій (подовженню) канату. Так, в межах прийнятої умови незмінності сил

розтягу кілець, та без урахування стискання канату деформації двох верхніх шарів мають становити

$$v = \frac{M g}{EF} \pi (2R_N + R_{N-1}),$$

де: M – маса вантажу; g – прискорення вільного падіння; EF – приведена жорсткість тросів канату на розтяг; R_N, R_{N-1} – радіус останнього (верхнього) та попереднього шарів канату.

Відповідно, до моменту повного прикладення сили розтягу до канату, барабан має здійснити поворот на кут

$$v = 3\pi \frac{M g}{EF}.$$

Останнє має бути враховано при аналізі динаміки та в системі пуску машини.

Виконані дослідження вказують також на те, що механічні властивості матеріалу оболонки канату впливають на розподіл сил в кільцях намотаного канату. Так, зменшення коефіцієнта Пуассона від 0,48 до 0,24 зменшує рівень напружень стискання у третьому від зовнішнього шару. Таке зменшення зумовлено тим, що коефіцієнт Пуассона гуми – 0,48, практично відповідає незмінності обсягу гуми під дією нормальних напружень. Водночас, прийняте умовне значення цього коефіцієнта 0,24 відповідає матеріалу, що частково стискається. Така умовна властивість оболонки канату не суттєво впливає на напружено-деформований стан шарів канату. Вона практично усуває появу напружень стискання в гумі та дещо зменшує напруження стискання третього від зовнішньої поверхні тросу.

Під час експлуатації канатів їх деформації лінійно залежать від зусиль. Нами розв'язана лінійна задача. Прийнятний за таких умов принцип суперпозиції дає підстави стверджувати, що загалом будь-яка зміна зусилля натягнення канату, намотаного з натягом або без нього, призведе до зміни напруженого стану лише у верхніх трьох шарах, намотаних на барабан. Така зміна напруженого стану призведе і до відповідного повороту цих шарів відносно барабана. При цьому кут повороту буде залежати лише від величини зміни зовнішнього навантаження та жорсткості тросів канату на розтяг і не буде залежати від кількості шарів. Вказана особливість має бути врахована при динамічному аналізі машини.

Запропонована машина може бути використана неодноразово. У разі потреби, кінцевий вантаж, шляхом намотування канату на барабан, може бути піднято. Над поверхнею води його від'єднано від машини. Умови експлуатації канату, що у багато шарів намотуються на барабан, досліджені. Тиск на барабан буде більшим встановленого нами. Відповідно запропоновані в дисертації О.В.Панченко методи розрахунку барабана прийнятні і для розрахунку барабана запропонованого пристрою аварійного захисту водного середовища від забруднення нафтою.

Висновки

1. Основні конструктивні рішення та матеріали застосовані в пристрої для захисту довкілля від протікання обсадних труб у товщі води масово виробляються, апробовані в умовах виробництва.

2. Розподіл сил в тілі, утвореному багатошаровим намотуванням не навантаженого канату, що змінюється при миттєвому навантаженні канату, не досліджено.

3. Зміна сили натягнення вільного кінця канату, намотаного в декілька шарів на барабан, включно і у разі зростання від нуля, призведе до зміни напруженого стану лише у верхніх трьох шарах, намотаних на барабан.

4. В процесі навантаження канату масою вантажу, барабан буде повертатися. Ця особливість має бути врахована при розробці системи керування приводом машини.

5. Зміна величини зовнішнього навантаження канату призведе до повороту практично двох верхніх шарів відносно барабана. Кут повороту буде залежати від величини зміни зовнішнього навантаження та жорсткості тросів канату на розтяг і не буде залежати від кількості шарів.

6. Розробка, виготовлення та використання пристрою аварійного захисту водного середовища від забруднення нафтою можливо і доцільно під час експлуатації нафтових підводних родовищ.

Література

1 Пат. 59953 Україна, МПК В65G 43/02 Пристрій для захисту довкілля від протікання обсадних труб у товщі води [Текст] / Білоус О.І., Танцур Г.І. ; заявник та патентоутримувач Дніпродзерж. держ. техн. універ. – № u201012610; заявл. 25.10.2010; опубл. 10.06.2011, Бюл.11 – 2 с.: іл.

2 Панченко Е.В. Определение расчетных нагрузок в витках многослойной намотки резинокросового каната [Текст]: дис. ...канд. техн. наук: 05.02.09 / Панченко Елена Владимировна. – Днепропетровск, 2007. – 206 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії
02.11.11

Рекомендована до друку професором
Мойшишиним В.М.