



УКРАЇНА

(19) UA (11) 70980 (13) C2

(51) 7 E02B9/06

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

## (54) СПОСІБ ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ НАПОРУ НА ТЕРТЯ ПОТОКУ У ТУНЕЛЯХ

1

2

(21) 2001074556

(22) 13.12.1999

(24) 15.11.2004

(86) PCT/NO99/00376, 13.12.1999

(31) 19986193

(32) 30.12.1998

(33) NO

(46) 15.11.2004, Бюл. № 11, 2004 р.

(72) Якобсен Том, NO, Ёнссен Ларс, NO

(73) ЛЕЙВ ЕЙРІКСОН НЮФОТЕК АС, NO

(56) UA 24558, E02B9/06, 30.10.98

SU 896170, E02B9/06, 07.01.82

GB 2087456, E21D11/38, 26.05.82

GB 2088516, F16L55/18, 09.06.82

GB 2045835, E21D11/38, 05.11.80

SE 320684, E01G5/10, 16.11.70

(57) 1. Спосіб зниження втрат напору на тертя потоку у необлицьованих тунелях або інших тунелях з шорсткими поверхнями стінки і/або неправильним поперечним перерізом, який **відрізняється** тим, що в тунель вводять гнучку або жорстку трубу, яка має поперечний переріз, що пасує до поперечного перерізу тунелю по всій його довжині, прикріплюють трубу до стінки тунелю безперервно чи у певних точках і встановлюють засоби для створення надлишкового тиску потоку в трубі порівняно з тиском ззовні, які вибирають з групи, до якої входять постійно звужена ділянка труби, помпа, невеликі патрубки та невелика трубка.

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що матеріал для труби вибирають серед гнучких, бажано синтетичних тканин з гладкою поверхнею.

3. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що трубу складають із жорстких тонкостінних трубних секцій відносно малої маси, утворюючи суттєво жорстку конструкцію.

4. Спосіб за будь-яким із пп. 1-3, який **відрізняється** тим, що постійно звужену ділянку труби виконують поблизу впускної частини труби і що поперечний переріз ділянки поступово збільшують до повного поперечного перерізу труби, через що швидкість потоку поступово зменшується і кінетична енергія частково перетворюється на енергію тиску, і звуженій ділянці надають таких розмірів, які виключають динамічні напруження, що виникають через коливання тиску, а також тим, що трубу, якщо вона виготовлена з гнучкого матеріалу, утримують в натягнутому стані із забезпеченням приблизно круглого поперечного перерізу та у звуженій ділянці виконують отвори для пропускання обмеженої кількості води із зони звуженої ділянки назовні труби.

5. Спосіб за п. 4, який **відрізняється** тим, що поблизу впускної частини труби виконують звужену ділянку труби, яка відповідає звуженій ділянці поблизу впускної частини труби, через що за нормальних робочих умов зовні труби підтримується незначний потік води.

6. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що трубу прикріплюють до рейки чи подібного пристрою, закріпленого на верхній частині стінки тунелю, у певних точках або майже безперервно вздовж верхньої частини стінки тунелю за допомогою крипильних пристроїв, виконаних на трубі.

7. Спосіб за п. 6, який **відрізняється** тим, що крипильні пристрої пересувають вздовж рейки під час монтажу та демонтажу.

8. Спосіб за п. 6, який **відрізняється** тим, що крипильні пристрої постійно або тимчасово прикріплюють до рейки у визначених місцях.

Винахід стосується способу зниження втрат напору на тертя потоку в напірних тунелях гідроелектростанцій.

Тунелі гідроелектростанцій слугують для транспортування води від резервуару або водоприймача до електростанції, де потенційна енергія води перетворюється на електричну енергію. Коли

вода тече по тунелю, виникають енергетичні втрати, викликані тертям. Оскільки частина потенційної енергії втрачається, одержана енергія є меншою за теоретично можливу. Споживання енергії в світі швидко і безперервно зростає, через що виникає постійна потреба у нових електростанціях і, як наслідок, шкода довкіллю. Очевидно, що зниження

(13) C2

(11) 70980

(19) UA

втрат енергії приносить значну користь довкіллю і суспільству.

Багато тунелів, наприклад у Норвегії, прокладають без кріплення бетоном або без інших подібних заходів за винятком кріплення бетоном послаблених ділянок. Коли вода тече по дуже шорсткій поверхні стінок тунелю, втрати напору на тертя потоку значно більші за втрати потоку по гладеньких стінках.

Старі тунелі з відносно малим поперечним перерізом характеризуються більшими втратами напору, ніж нові. Причиною цього може бути те, що раніше розміри тунелів визначали за старими критеріями (вищі процентні прибутки, вищі витрати на будівництво і нижча вартість енергії) на відміну від сьогоденної ситуації.

Мало того, у деяких випадках бажано збільшити пропуск води по тунелю, наприклад, для підвищення продуктивності електростанції та/або для збільшення подачі води до електростанції, що призводить до непропорційно великих втрат напору.

Під час прокладання нових тунелів зниження втрат напору забезпечують виконанням поперечного перерізу достатньо великим і максимальним згладжуванням стінок. Іноді для зменшення втрат ґрунт виробки тунелю згладжують асфальтом або іншим матеріалом. Такі заходи, однак, мають технічні і економічні обмеження, внаслідок чого втрати у більшості тунелів залишаються досить значними. Досі практичним рішенням для значного підвищення подачі води до електростанції було прокладання нового паралельного тунелю або розширення існуючого. Обидва варіанти пов'язані із значними витратами.

Мета винаходу полягає у зниженні втрат напору на тертя потоку води по неукріплених тунелях або тунелях з шорсткими стінками і у досягненні цього економічними засобами, які легко встановлювати і такими, що потребують мінімального обслуговування. Отже, винахід полягає у способі, який може сприяти підвищенню продуктивності існуючих електростанцій до їх максимальної теоретичної продуктивності, через що масштабне будівництво нових гідроелектростанцій стає непоприйнятним.

Поставленої мети досягнуто способом зниження втрат напору на тертя потоку в нефутерованих тунелях або інших тунелях з шорсткими стінками та/або неправильним поперечним перерізом, в якому згідно з винаходом в тунель уводять гнучку або жорстку трубу, яка має поперечний переріз, що пасує до поперечного перерізу тунелю на всій його довжині, прикріплюють трубу до стінки тунелю безперервно чи у певних точках і встановлюють засоби, вибрані з групи, яка складається з постійно звуженої ділянки труби, pomp, невеликих патрубків та невеликої трубки, для створення надлишкового тиску потоку в трубі порівняно з тиском зовні.

Згідно з переважним втіленням винаходу, з гнучкого матеріалу можна заздалегідь виготовити довгу трубу як одну суцільну циліндричну деталь, припасовану для певного тунелю. Це дозволяє уникнути з'єднання/складання окремих елементів. Можливою вадою може бути надмірна вага. Для

виготовлення труби можна використати пластичну, бажано, зміцнену тканину, подібну до такої, яку використовують для нафтоутримуючих бонів.

Проблему надмірної маси можна вирішити у деяких випадках складанням труби із секцій, заздалегідь виготовлених з гнучкого матеріалу. Ці секції можуть бути циліндричними і їх можна з'єднувати одну за одною, наприклад зварюванням, до досягнення бажаної довжини. У іншому варіанті секції можуть бути прямокутними, і одну або більше таких секцій можна спочатку зварюванням приєднувати до циліндричної секції з подальшим послідовним з'єднанням циліндричних секцій.

Розміри обирають такими, що коли готова труба під надлишковим тиском набирає бажаної майже циліндричної форми, вона майже повністю заповнює правильну (циліндричну) частину тунелю. Зрозуміло, що між трубою і стінкою тунелю існують порожнини різної форми і розмірів залежно від стану шорсткої поверхні стінок тунелю. Згідно із переважним втіленням винаходу, ці порожнини також використовуються для пропуску обмеженого водного потоку з підтриманням належного надлишкового тиску в трубі, через що труба у нормальних робочих умовах знаходиться у напруженому (має циліндричну форму) стані.

Із засобів для створення надлишкового тиску потоку в трубі порівняно з тиском зовні доцільно постійно звужену ділянку труби виконувати поблизу впускної частини труби. Поперечний переріз ділянки має поступово збільшуватись до повного поперечного перерізу труби, через що швидкість потоку поступово знижується і кінетична енергія частково перетворюється на енергію тиску, а розміри звуженої ділянки мають бути такими, що викликають динамічні напруження, які виникають через коливання тиску. У звуженій ділянці бажано виконати отвори для пропуску обмеженої кількості води із зони звуженої ділянки назовні труби.

Також доцільно поблизу впускної частини труби виконувати звужену ділянку труби, яка є відповідною звуженій ділянці поблизу впускної частини труби, через що за нормальних робочих умов зовні труби підтримується незначний потік води.

Навантаження на трубу під час роботи є значним і тому необхідно запобігати поздовжньому зміщенню труби, прикріплюючи її до стінки тунелю безперервно або з певними інтервалами. Напружень, викликаних коливаннями тиску, не буде, оскільки внутрішній (надлишковий) тиск завжди буде перевищувати зовнішній.

Прикріплювати трубу до стінки тунелю доцільно за допомогою рейки чи подібного пристрою, закріпленого на верхній частині стінки тунелю, у певних точках або майже безперервно вздовж верхньої частини стінки тунелю кріпильними пристроями, виконаними на трубі.

Кріпильні пристрої можна пересувати вздовж рейки під час монтажу та демонтажу, або прикріплювати їх до рейки у визначених місцях постійно чи тимчасово.

Далі наведено опис винаходу з посиланнями на креслення, на яких:

фіг.1 - поздовжній переріз тунелю і зображення з'єднання/складання циліндричних секцій згідно

з винаходом,

фіг.2 - поперечний переріз тунелю, зображеного на фіг.1,

фіг.3 - кріпильний пристрій для закріплення труби згідно з переважним втіленням винаходу,

фіг.4 - варіант зображення на фіг.2 з додатковими точками кріплення на "лінії стелі" тунелю,

фіг.5 та 6 - втілення винаходу, які передбачають складання жорсткої труби із секцій більшої жорсткості,

фіг.7 - поздовжній переріз труби згідно з переважним втіленням винаходу у випадку, коли поперечний переріз труби дещо зменшується поблизу кінців тунелю для забезпечення надлишкового тиску у трубі 1,

фіг.8-10 - ілюстрація різних засобів підтримання надлишкового тиску у трубі 1.

На Фіг.1 зображено поздовжній переріз тунелю, в який уведено суцільну циліндричну гнучку трубу 1. За допомоги кріпильних елементів 2 трубу 1 по її периферії через рівні інтервали закріплено по прямій лінії до рейки (стрижня) 3, що простягається уздовж "стелі" тунелю, тобто через найвищу точку поперечного перерізу 5 тунелю або поблизу цієї точки. Рейку 3 прикріплено до стінки 6 тунелю болтами 4 або іншими подібними засобами.

Перевагою такого кріплення є те, що рейка 3 несе більшу частину ваги конструкції з самого початку складання, оскільки кріпильні елементи 2 конструкції 1 (або труби) у отворі тунелю насувають уздовж рейки і звідси пересувають у належні положення у тунелі без значних зусиль, які довелося б прикладати для піднімання у тунелі.

На фіг.2 зображено поперечний переріз тунелю фіг.1. Як уже відзначалось, кріплення такого типу можна використовувати з трубами, складеними з більш жорстких трубних секцій, тобто труба 1 фіг.2 може бути як гнучкою, так і жорсткою.

Після належного введення конструкції, чи труби, в тунель, її можна прикріпити до стінки тунелю, щоб зменшити можливе пересування вздовж тунелю. На Фіг.3 докладно зображено переважне виконання кріпильних елементів 2 і рейки 3. Кріплення 2 має щонайменше одне колесо 8, пристосоване котиться уздовж нижньої частини рейки 3, а також запірну шпильку 9 або болт, пристосовані для просування через отвори у першому вертикальному фланці кріплення 2 і через отвір у рейці 3 з подальшим угвинчуванням у різьбовий отвір у другому вертикальному фланці кріплення 2. Завдяки цьому після позиціонування і запирання кріплення 2 вже не може пересуватись уздовж рейки.

Зрозуміло, що за необхідності утримання труби можна використовувати кілька рейок. Фіг.4 ілюструє використання трьох рейок, встановлених з кутовим інтервалом  $120^\circ$  у поперечному перерізі. Це дає особливо надійне остаточне закріплення труби, але потребує додаткових трудовитрат і використовується лише за нагальної потреби. Можна також використовувати рейку, встановлену уздовж верхньої лінії тунелю, і інше, більш гнучке кріплення у інших точках 2'. Отже система 3' кріплення може включати рейку і також кріпильні хомути тощо, не обов'язково розташовані рівномірно або поблизу одна одної, як кріплення 2 уздовж стелі тунелю.

Кріплення 2 на тканині або трубі можуть бути будь-якого типу, здатного витримувати необхідне навантаження. З цієї точки зору бажано використовувати кріпильні вушка, сформовані як єдине ціле з конструкцією або трубою.

Хоча використання рейки є особливо зручним способом закріплення труби у тунелі завдяки зручності процедури встановлення, винахід не обмежується будь-яким конкретним способом закріплення. Будь-які відомі кріпильні засоби, включаючи жорсткі болти і гнучкі хомути, або комбінації таких засобів входять в об'єм винаходу. Не є також обов'язковим розташування точок закріплення на одній лінії, хоча це часто є найзручнішим.

Зрозуміло, що використання гнучкої тканини робить складання зручним, вимагає небагато місця для її транспортування і у процесі закріплення завжди забезпечує для робітника місце між тканиною і стінкою тунелю, оскільки тканину можна легко відігнути, якщо проміжок між стінкою і трубою є недостатнім.

Якщо тунель має відхилення від загальної циліндричної форми, до них легше пристосувати гнучку, а не жорстку трубу, і завдяки цьому за наявності у тунелі одного вузького місця не обов'язково звужувати всю трубу.

У інших випадках краще використовувати трубу, складену з більш жорстких трубних секцій, одержуючи жорстку трубну конструкцію, зображену на фіг.4. Її перевагою є менша рухомість, внаслідок чого вона вимагає меншої кількості місць закріплення до стінки тунелю і не зминається при випорожнюванні. З іншого боку вона не має згаданих вище переваг гнучкої труби. Закріплення жорсткої труби у тунелі здійснюється, по суті, у той же спосіб, що і гнучкої.

Секції 1' гнучкої труби є циліндричними (фіг.5), але часто більш зручно, коли вони становлять лише частину, наприклад, половину циліндричної стінки (фіг.6). Це зумовлюється вимогами транспортування і введення секцій у тунель, їх з'єднання і закріплення в належних місцях у умовах обмеженості місця. Інші втілення передбачають використання листів, що становлять лише частину циліндричної стінки. Такі елементи можуть мати форму зігнутих листів дуже жорсткої структури, яка дозволяє дуже обмежені зміни форми. Ці елементи можуть також мати форму тонкостінних листів, які можна згинати щонайменше у одному напрямку і які у ненапруженому стані є плоскими і мають форму прямокутника. Після надання такому листу бажаної циліндричності і скріплення з обох боків з суміжними листами, його рухливість стає дуже обмеженою, оскільки він утворює частину жорсткої стінної конструкції.

Проблемою, пов'язаною з використанням у тунелі таких труб, особливо виготовлених з гнучкої тканини, є можливість піків тиску у трубі час від часу. Труба має бути здатною витримувати такі піки без руйнування. У подальшому описано кілька шляхів розв'язання цієї проблеми, але всі вони передбачають підтримання у трубі певного надлишкового тиску порівняно з зовнішнім.

Для створення надлишкового тиску (фіг.7) доцільно поблизу вхідного кінця труби 1 утворити з металу або бетону постійно звужену ділянку 10.

Гладкий рівномірне конусоподібне розширення 12 поперечного перерізу труби забезпечує нетурбулентне протікання води по цьому вузькому проходу. Отвори 13 у стінці вузького проходу дозволяють протікання певної кількості води зсередини назовні і подальше протікання цієї води уздовж зовнішньої поверхні труби у проміжку між трубою і стінкою тунелю. Головна маса води, однак, тече по вузький прохід 10 трубою 1, і швидкість потоку у вузькому проході буде вищою, ніж у трубі.

Коли вода проходить через звужений поперечний переріз і конічну частину 12 вузького проходу і входить у трубу, її швидкість дещо зменшується і частина її кінетичної енергії перетворюється у енергію тиску, що призводить до деякого підвищення внутрішнього тиску порівняно з зовнішнім. Степінь звуження визначає, наскільки вищим буде тиск. Таку конструкцію можна адаптувати згідно з потребою у кожному випадку. Слід відзначити, що надлишковий тиск можна підтримувати незалежно від напрямку потоку, що дає переваги на стадії налагодження турбін. Надлишковий тиск можна забезпечити для різних швидкостей води, аж до швидкості прогону турбін (яка приблизно вдвічі перевищує нормальну).

Для підтримання надлишкового тиску при зворотному потоці, вузький прохід 11, подібний до проходу 12 може бути передбачений нижче за потоком. Швидкість води назовні труби автоматично пристосовується і втрати усередині і назовні будуть однаковими. Це означає, що швидкість назовні буде меншою, ніж усередині, але зовнішній потік принаймні дасть певний внесок у загальний потік.

Винахід передбачає також інші способи створення надлишкового тиску у трубі. Одним з таких способів є встановлення pomp 14 нижче і вище труби за течією (фіг.8). Обидві помпи накачують воду у трубу (пунктирні лінії на фіг.), причому помпа, розташована нижче, накачує проти течії головного потоку. Цим створюється надлишковий тиск на ділянці між помпами. Вадою цього способу є використання рухомих компонентів, що вимагає постачання енергії.

Інше втілення (фіг.9) передбачає встановлення невеликих патрубків 15 на вхідному і вихідному кінцях труби. Один кінець кожного з патрубків 15 проходить перпендикулярно через стінку труби 1 з можливістю обертання. Якщо нема потреби обертання напрямку потоку, патрубки не повертають. Згідно з винаходом, патрубки мають поперечний переріз, значно менший за поперечний переріз труби 1, і зігнуті під кутом 90°, завдяки чому їх вільні кінці розташовуються паралельно напрямку потоку у трубі 1. Силою водного потоку вони спрямовуються у напрямку потоку. Безпосередньо нижче за потоком від патрубків створиться відносно зниження тиску, яке буде передане назовні труби через патрубок 15.

Найбільш надійним способом створення надлишкового тиску є застосування описаного вище вузького проходу (фіг.7). Залежно від обставин можна модифікувати цей спосіб. У описаному втіленні передбачено наявність невеликого водного потоку поза трубою. У довгих тунелях може виявитись бажаним мати більш, ніж два вузькі проходи,

розташовані з належним інтервалом між ними, для контролю надлишкового тиску на різних ділянках тунелю. Для підтримання надлишкового тиску у трубах обмеженої довжини можна використовувати лише один вузький прохід. У цьому випадку позатрубного потоку не буде.

Якщо водний потік завжди має один напрямок, порожнина поза трубою може бути з'єднана невеликою трубою 16 з точкою низького тиску нижче за течією (фіг.10, де потік йде зліва направо). Цим створюється відносний надлишок тиску у трубі.

Незалежно від того, з яких листів виготовлена труба - жорстких чи гнучких, поверхня труби, особливо внутрішня, має бути якомога гладкішою і створювати мінімальне тертя. Цим визначається вибір матеріалу і спосіб обробки його поверхні перед введенням конструкції у тунель. Бажано також піддавати матеріал спеціальній обробці, наприклад, щоб запобігти розвитку грибка тощо. Однак, це є другорядним міркуванням по відношенню до винаходу, який полягає в використанні у тунелі трубоподібної конструкції стійкої постійної форми, переважно з круглим поперечним перерізом. Хоча цей поперечний переріз завжди буде меншим за поперечний переріз тунелю, зниження втрат на тертя дасть значне збереження енергії.

#### Приклад

У цьому прикладі наведено обчислення, які дають економічну оцінку способу, наведеному у винаході. У прикладі розглянуто тунель з 50м<sup>2</sup>, який проводить 150м<sup>3</sup>/с. Можна бачити, що застосування винаходу дає зниження втрат на тертя на 3/4, а у випадку, коли необхідно збільшити потік у існуючому тунелі, зниження втрат є ще більшим. Якщо водний потік становить 100м<sup>3</sup>/с, додаткова енергія становитиме 2,7ГВт·год. на км тунелю, а для потоку 120м<sup>3</sup>/с - 4,7ГВт·год. на км (1ГВт·год. відповідає споживанню енергії приблизно 40 звичайними окремими будинками у Норвегії).

Тунель з поперечним перерізом 50м і різні пропуски води

Максимальний пропуск води, м <sup>3</sup> /с	100	120	150
--	-----	-----	-----

#### Тунель у початковому стані

Поперечний переріз	50	50	50
Гідравлічний діаметр	7,5	7,5	7,5
Швидкість	2	2,4	3
Шорсткість	250	250	250
Втрати напору на тертя потоку	0,06	0,06	0,06
Втрати напору на км	1,6	1,6	1,6

#### Тунель з гладеньким кріпленням

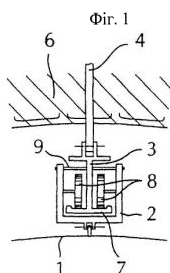
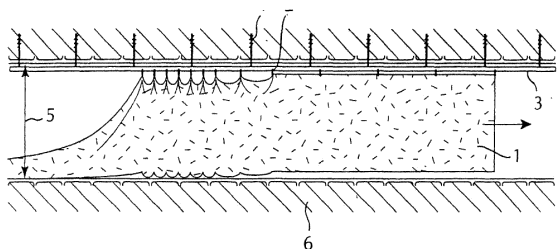
Поперечний переріз	38,4	38,4	38,4
Гідравлічний діаметр	7	7	7
Швидкість	2,6	3,12	3,9
Шорсткість	0,01	0,01	0,01
Втрати напору на тертя потоку	0,0080	0,0080	0,008
Втрати напору на км	0,4	0,6	0,9
Зменшення втрат напору	1,2	1,8	2,8

Економічні дані для обладнання згідно з винаходом

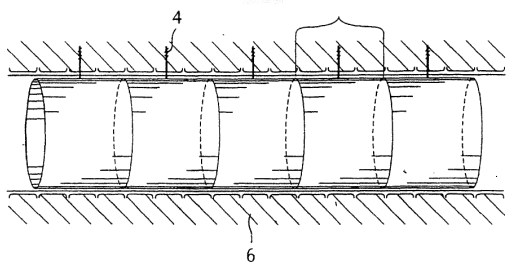
Час утилізації втрат напору, год./рік	2500	2500	2500
Ккд	0,9	0,9	0,9
Вартість енергії, крон/кВт·год.	0,2	0,2	0,2
Прибуток (розрахунк.)	7%	7%	7%
Обліковий час рік	40	40	40

Зворотний річний коефіцієнт переоцінки	13,3	13,3	13,3
Економія			
Річний приріст виробництва енергії, ГВт/км	2,7	4,7	9,2

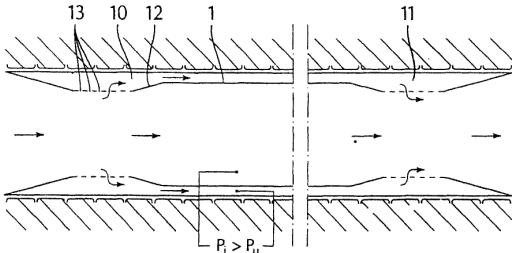
Річна економія, млн. крон на км	7,3	12,5	24,5
Річна економія, крон на м <sup>2</sup> труби	330	570	1100
Витрати на встановлення, крон/кВтгод.	1,62	0,94	0,48
Вартість енергії, крон/кВтгод.	0,14	0,08	0,04



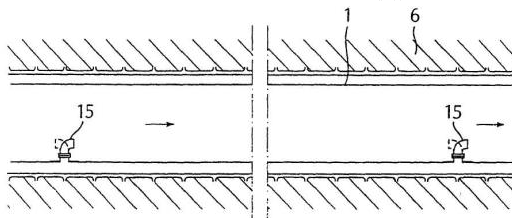
Фиг. 3



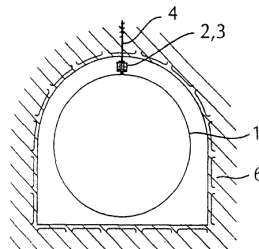
Фиг. 5



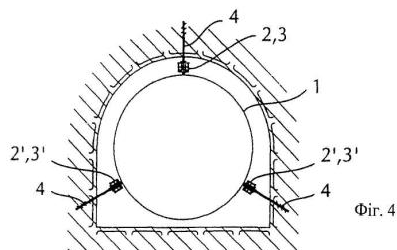
Фиг. 7



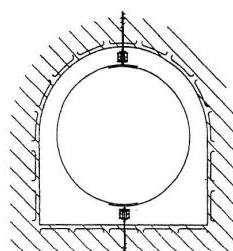
Фиг. 9



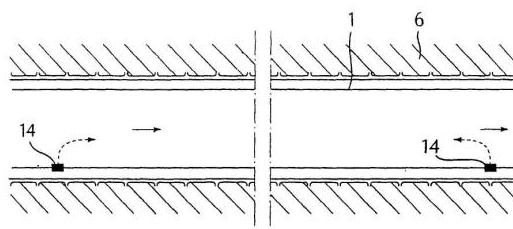
Фиг. 2



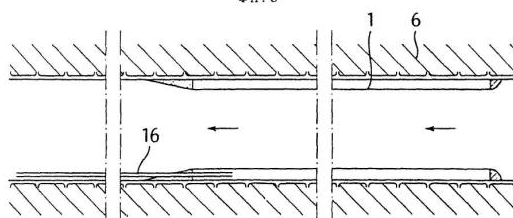
Фиг. 4



Фиг. 6



Фиг. 8



Фиг. 10