



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **102007** (13) **C2**
(51) МПК (2013.01)
D07B 5/00
D07B 1/00
F03D 5/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

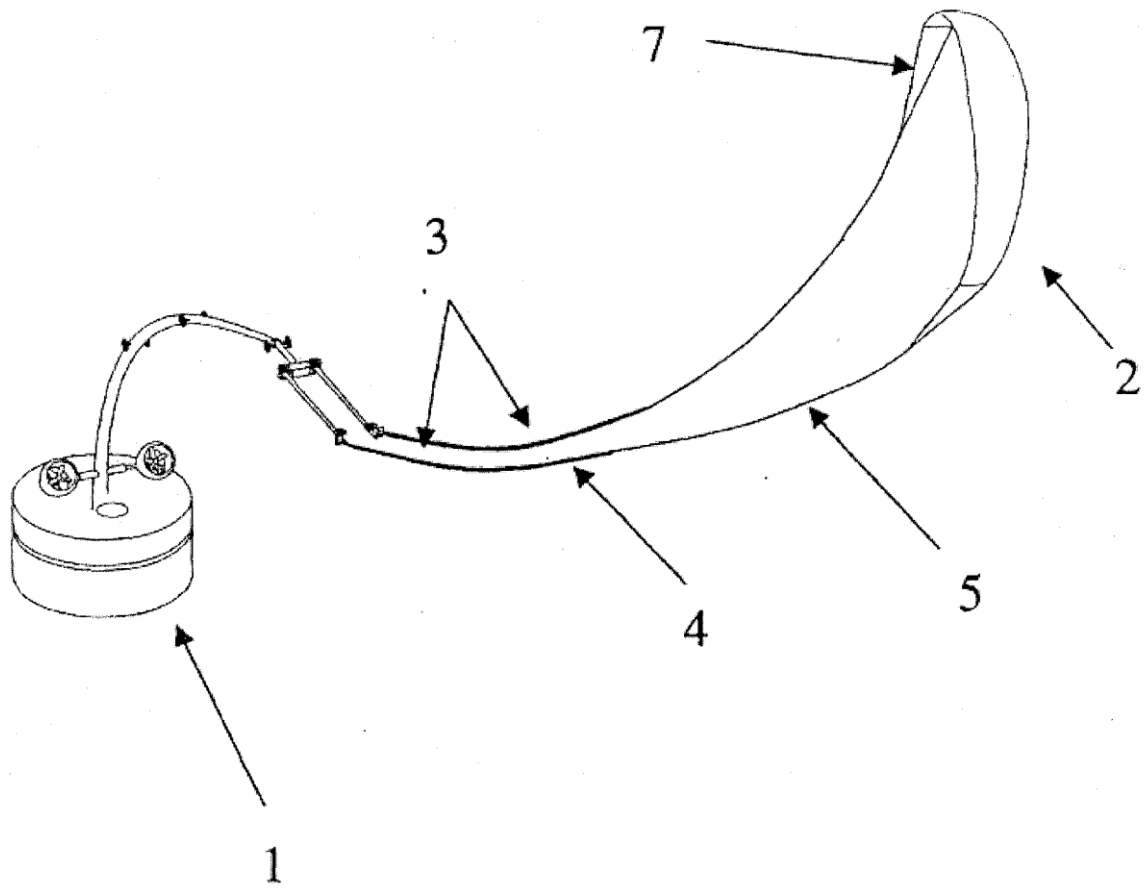
(21) Номер заявки:	а 2011 09331	(72) Винахідник(и):	Іпполіто Массімо (ІТ)
(22) Дата подання заявки:	20.01.2010	(73) Власник(и):	СЕКУОЯ АУТОМАТЪОН С.Р.Л., viale XXV Aprile 8, I-10023 Chieri (TO), Italy (ІТ)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід:	27.05.2013	(74) Представник:	Зуєва Олена Миколаївна, реєстр. №249
(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції:	ТО2009U000008	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:	DE 2626659 A1, 22.12.1977 FR 2573446 A1, 23.05.1986 WO 2007133724 A2, 22.11.2007
(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції:	23.01.2009		
(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку:	ІТ		
(41) Публікація відомостей про заявку:	26.09.2011, Бюл.№ 18		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	27.05.2013, Бюл.№ 10		
(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ	РСТ/ІТ2010/000015, 20.01.2010		

(54) КАНАТ ДЛЯ ТРОПОСФЕРНОГО ВІТРОВОГО ГЕНЕРАТОРА ТА БАГАТОЖИЛЬНИЙ КАНАТ, ЩО СКЛАДАЄТЬСЯ З МНОЖИНИ ЦИХ КАНАТІВ

(57) Реферат:

Канат (3) для тропосферного вітрового генератора (1) складається по своїй довжині щонайменше з одного першого сектора (4), який здатен витримувати багаторазові цикли згинання і має запас міцності (S1), діаметр D(b1) та коефіцієнт аеродинамічного опору C_{D1}, і щонайменше з одного другого сектора (5), який здатен витримувати багаторазові цикли розтягу з великим навантаженням і має запас міцності(S2)<(S1) та діаметр D(b2)<D(b1).

UA 102007 C2



ФІГ. 1

Даний винахід стосується канату для тропосферного вітрового генератора.

В даній області техніки відома нова категорія тропосферних вітрових генераторів, розробкою яких в даний час займаються декілька різних груп дослідників, і спільною метою яких є використання великої кількості вітрової енергії на значних висотах за допомогою повітряних

змій, крил, аеростатів та повітряних літальних апаратів, прив'язаних до землі за допомогою довгих канатів з високим механічним опором.

Спільний принцип дії тропосферних вітрових генераторів базується на утримуванні в стані польоту тіл аеродинамічної форми, здатних перетворювати енергію вітру на значних висотах в механічну енергію, придатну для виконання різних видів роботи, а в подальшому - на перетворенні механічної енергії в електричну енергію, яку можна застосовувати для побутових та промислових потреб в цілому.

В своїй найпростішій, найефективнішій та найбезпечнішій конфігурації таке тіло аеродинамічної форми може бути просто крилом з високою аеродинамічною ефективністю, яке утримується в польоті на висотах, недосяжних для сучасних вітрових двигунів, і прив'язане до землі канатами високої міцності.

В альтернативному варіанті тіло аеродинамічної форми може бути значно складнішим, наприклад, ротором турбіни вітрового генератора, який утримується в польоті за допомогою дирижабля або повітряного літального апарата з хвостовими стабілізаторами та іншими стабілізуючими елементами.

Зокрема, всі генератори цієї категорії оснащені, щонайменше, одним фіксуючим канатом, який періодично намотується та розмотується за допомогою лебідки або системи лебідок.

Даний винахід може дати переваги у випадку його застосування не лише в генераторах, які використовують обертання лебідки для перетворення механічної енергії на електричну енергію, а також і в генераторах, в яких розмотування та змотування канату використовується лише для контролю висоти польоту та його траєкторії, або ще простіше - лише для фаз зльоту та посадки.

Крім того, застосування даного винаходу може бути корисним для морських систем тяги, або для тих систем вироблення електричної енергії на борту кораблів та інших суден, базовими елементами яких є повітряні змії.

Приклади таких вітрових генераторів розкрито в італійських патентах №№ 0001344401 та 00013444926, виданих на ім'я Іпполіто Массімо, в яких описано загальну концепцію принципів дії тропосферного вітрового генератора, в європейському патенті EP 1672214 на ім'я Іпполіто Массімо, де описано конфігурацію карусельного типу, в заявці на патент PCT WO2007 / 129341 від компанії Kite Gen Research S.r.l., де описано систему управління, а також в заявці на патент Італії TO2008A000423, де описано інфраструктуру генератора з конфігурацією, яка називається "йо-йо".

Зокрема, величина енергії, яку можна виробити за допомогою вищезгаданих відомих генераторів, залежить, по-перше, від атмосферних явищ, таких як швидкість та напрям вітру, які проектувальник може оцінити та врахувати при проектуванні, але не може на них впливати. Проте, кількість енергії, яку можна виробити, також залежить від точного вибору елементів проекту, які можна контролювати, наприклад, від поверхні та аеродинамічних характеристик крил вітрового генератора.

Всі виконані Заявником розрахунки кількості енергії, яку можна виробити за допомогою відомих згаданих вище генераторів, підтвердили, що серед параметрів, які проектувальник може вибирати на власний розсуд, найважливішим елементом є аеродинамічна ефективність всієї системи, складеної з крил та канатів: дійсно, в формулі, яка описує та прогнозує величину імовірно отриманої енергії, ця величина пропорційна аеродинамічній ефективності в квадраті, в той час, як залежність від поверхні крила є лінійною. Ефективність крила, представлена відношенням коефіцієнта підйомної сили до коефіцієнта опору, в загальному випадку є високою завдяки аеродинамічному перерізу крила, який дає низьке значення коефіцієнта аеродинамічного опору.

З метою підвищення безпечності та надійності генераторів, розкритих Заявником, було зроблено вибір на користь застосування пари канатів замість одного канату, якому віддають перевагу інші, згідно з описом, наприклад, в заявці на патент США 2008/0210826, поданий Окелсом та ін. Дійсно, пара канатів дає можливість перш за все контролювати траєкторію вітру, не потребуючи встановлення електромеханічних компонентів на борту, захищає здатність до маневру від неналежного функціонування, виходів з ладу, можливих компонентів, які потрібно було б встановлювати на борту повітряного змія, а також від труднощів в обміні даними з цими компонентами, не кажучи вже про неконтрольоване падіння та втрату крила у випадку розриву єдиного канату.

Пара канатів також перетворює рідкісний випадок розриву канату (наприклад, внаслідок заводського дефекту), з потенційно небезпечного випадку на просту процедуру відновлення та обслуговування: насправді розрив одного з двох канатів призводить до миттєвої втрати крилом підйомної сили з наступним зниженням механічного напруження, яке діє на неушкоджений канат. Таким чином, завжди є можливість опустити крило на землю шляхом швидкого змотування неушкодженого канату, завдяки поведінці крила, яку можна уподібнити поведінці парашута.

Той же самий принцип приймається і з користю використовується в умовах роботи на стадії розмотування канату, яка виконується після стадії змотування та генерації енергії: насправді, відпустивши у контрольований спосіб один з канатів і утримуючи в напруженому стані другий канат, крило природним чином встановлюють в положення, в якому результуюча з аеродинамічних сил складається майже виключно з сили опору, в той час, як підйомна сила зменшується до величини, якою можна знехтувати. Процедура утримання крила в такому конкретному положенні в повітрі, яку можна назвати «бічним ковзанням» за аналогією з маневром, який виконують пілоти під час аварійних ситуацій або під час повітряного бою, дає можливість розмотувати канати управління з великою швидкістю та з мінімальними затратами енергії.

Таким чином, застосування двох канатів призводить до збільшення загального опору у порівнянні з одноканатним варіантом, але дає безсумнівні переваги в питаннях надійності та безпеки.

Проте, наявні у продажу канати ми не розглядаємо з точки зору застосування для тропосферних вітрових генераторів (а отже, не розглядається і оптимізація їх застосування), оскільки вони жорстко обмежують аеродинамічні характеристики системи.

За відомими математичними моделями поведінку канатів можна описати у першому наближенні поведінкою гладенького циліндра нескінченної довжини, перпендикулярно до осі якого проходить потік, при цьому коефіцієнт опору в типовому випадку вважають рівним $C_D = 1,2$ і, в залежності від дослідних даних в галереї вітру, пов'язаним з числом Рейнольдса, що є типовим для багатьох практичних застосувань. Такий підхід, який не бере до уваги дійсну форму канату, шорсткість поверхні, пружність при поздовжньому розтягуванні та при скручуванні, призводить до недооцінки дійсного значення коефіцієнта опору системи в цілому.

Наприклад, канат, утворений з великої кількості сталок, може мати ще більший коефіцієнт опору, рівний $C_D = 1,5$, при зануренні в однорідне текуче середовище. У випадку довгих канатів, коли спрацьовує явище вібрації, викликані вихорами (VIV), коефіцієнт опору може навіть досягати величин порядку $C_D = 2,5-3$, крім того, можуть з'явитись сили, направлені перпендикулярно до потоку, якому відповідає коефіцієнт підйомної сили C_L . Ця проблема особливо відчутна для багатьох областей застосування, зокрема, для морських і наземних галузей, де особливо довгі канати і троси знаходяться під дією потоків змінної інтенсивності, наприклад, розтяжки нафтових платформ або троси, якими буксирують підводні судна з дистанційним управлінням (ROV).

Очевидно, також, що існує багато прикладів в техніці і побуті, де протягнуті лінії для передачі електроенергії або розтяжки підвісних мостів можуть знаходитись під дією потенційно небезпечних коливань. В таких застосуваннях перш за все шукають вирішення, здатні зменшити амплітуду таких коливань та унеможливити нестабільність пружної рівноваги, при цьому ефективність вимагається незалежно від напрямку руху навколишнього текучого середовища.

В інших застосуваннях перш за все намагаються отримати зниження гідро- і газодинамічного опору канату.

Серед багатьох запропонованих способів можна згадати розподіл шорсткості з певною періодичністю, розподіл поверхневих виступів або впадин, спіральних звивин, додавання стрічок тканини, жорстких або гнучких обтічних елементів з більш-менш прийнятними аеродинамічними характеристиками.

Проте, коли канат працює в умовах багаторазових циклів змотування і розмотування на барабані лебідки, як в вітрових генераторах описаного вище типу, дана технічна проблема ускладнюється, а вибір можливих рішень звужується.

Крім того, в повітроплаванні ця проблема є особливо гострою, оскільки вже в часи біпланів в Англії були розроблені конструктивні елементи з певним профілем, які називались «дроти королівських ВПС» і замінили розтяжки, зроблені зі сталевих тросів або зі сталевих стрижнів. Важливість цього явища можна оцінити, розпочавши з оцінки розмірів типового тропосферного генератора. Крило повітряного літального апарата може створювати підйомну силу величиною порядку 10 кН/м^2 .

Наприклад, для Боїнга 747-400 з повним навантаженням під час зльоту співвідношення між вагою та площею поверхні крил становить

$W/S = 7500 \text{ Н/м}^2$. Оскільки цей літальний апарат призначено для транспортування пасажирів, а, отже, його прискорення має бути обмеженим (коефіцієнт навантаження $n = 2,5$), то можна визначити, що конструкція крила має витримувати за умов безпечної роботи питому

підйомну силу величиною 18750 Н/м^2 . Номінальне значення співвідношення між вагою та площею крил для літального апарату без двигуна, наприклад, для планерів, дельтапланів, ексцентричних літальних апаратів та повітряних зміїв, може складати величину порядку $W/S = 300 \text{ Н/м}^2$.

Такі літальні апарати, незважаючи на те, що питома вага конструкції їхніх крил становить приблизно 50 Н/м^2 , здатні виконувати маневри з великою кількістю g (перевантаження $n = 6$ для акробатичної категорії), а отже, можуть розвивати і витримувати значення питомої підйомної сили порядку 1800 Н/м^2 .

Припустивши, що для конструкції повітряного змія генератора, розробленого Заявником і описаного в згаданих вище патентах, коефіцієнт підйомної сили становить $C_L = 1$, значення густини матеріалу $\rho = 1,225 \text{ кг/м}^3$, площа крила $S = 100 \text{ м}^2$, швидкість польоту $V = 40 \text{ м/сек}$, з класичної формули отримуємо значення підйомної сили $98\,000 \text{ Н}$, а, значить, питома підйомна сила буде приблизно 1000 Н/м^2 .

Припустивши для прикладу, що значення сили, створеної повітряним змієм і призначеної для передачі до генератора через канати, $F = 100 \text{ кН}$, приходимо до очевидного висновку, що розміри останніх мають бути відповідно підібраними.

Проаналізувавши таблиці виробників найкращих синтетичних канатів, припустивши, що буде застосовуватись один канат (рішення А), оптимізований для багаторазових циклів згинання, та прийнявши запас міцності $S = 3$, робимо висновок, що такий один канат повинен мати діаметр $D(a) = 18 \text{ мм}$ при розривному зусиллі розтягу 304 кН .

Натомість, припустивши використання пари канатів (рішення В) з огляду на надійність та безпеку, про що йшла мова вище, приходимо до висновку про необхідність двох канатів діаметром $D(b) = 14 \text{ мм}$ з розривним зусиллям розтягу $168,6 \text{ кН}$ при повному значенні 337 кН . Дійсно, зробивши досить грубе припущення (яке проте, відповідає типовій поведінці), що канат рухається з нульовою швидкістю відносно повітря біля наземного генератора, та зі швидкістю, рівною швидкості повітряного змія біля самого змія, за лінійним законом зміни швидкості вздовж канату, можна зробити оцінку повного опору канату.

Прийнявши значення коефіцієнта аеродинамічного опору $C_D = 1,2$, а швидкість польоту $V = 40 \text{ м/сек}$, отримаємо, що один повністю розмотаний канат діаметром $D(a) = 18 \text{ мм}$ і довжиною 1000 м створює повний опір близько 7054 Н . За тих же умов канат діаметром $D(b) = 14 \text{ мм}$ створює повний опір близько 5487 Н , отже, якщо взяти пару канатів діаметром $D(b) = 14 \text{ мм}$, то їх повний опір буде близько 10974 Н .

Очевидно, що з огляду на аеродинамічний опір обидва описані вище рішення А і В в кожному випадку будуть проблемними, причому рішення з двома канатами (рішення В) буде мати більше недоліків, які, проте повністю нівелюються за рахунок підвищення безпеки та надійності.

З огляду на вищезгадане в даній області техніки було запропоновано декілька рішень, придатних для поліпшення стійкості канатів до втомленості під дією циклів багаторазового згинання навколо блоків та лебідок.

Наприклад, заявка на патент PCT WO2004 / 035896, авторами якої є Кнудсен Р. Б., та Слоун Ф. Е. (Knudsen R.B., Sloan F. E.), розкриває конструкцію канату, виготовленого з суміші ниток різного походження, в цьому випадку - з високо-модульного поліетилену та рідкокристалічних полімерів, взятих у певній пропорції.

Заявка на патент PCT WO2005 / 019525, авторами якої є Фрейзер (Frazer) та інші, розкриває конструкцію канату з серцевиною, яка не виконує конструктивної функції, а заповнює порожній простір між сталками, які тримають підвішений вантаж.

Аналогічно, заявка на патент PCT WO2006 / 086338, авторами якої є Бучер (Bucher) та інші, представляє новачку у вигляді волокон з низьким коефіцієнтом тертя, зокрема, фторполімерних волокон для виготовлення канатних сталок.

Подібне рішення описано в заявці на патент PCT WO2006 / 101723, автором якої є Най (Nye), яке пропонує використання нитки з фторовуглецевого полімеру.

В той же час в заявці на патент PCT WO2006 / 133881, автором якої є Босман Р. (Bosnian R.) розкрито конструкцію канату, поперечний переріз якого є видовженим, з величиною видовження від $1,2$ до $4,0$ включно, а також конструкцію шківів з пазом, пристосованим для такого поперечного перерізу канату.

В усіх випадках мета полягає в збільшенні кількості циклів життя канату без надмірного збільшення діаметра та ваги канату, в той же час, зберігаючи можливість візуального спостереження за зовнішнім виглядом канату, яке дає можливість оцінити стан зношеності канату та наявність можливих локальних пошкоджень.

Запропоновано також декілька рішень для зменшення гідро- і газодинамічної зношуваності канатів, які здійснюють відносне переміщення по відношенню до текучого середовища, при цьому майже всі вони стосуються застосування в області морської техніки та океанографії, а тому, всі вони значною мірою відрізняються від рішень, необхідних для тропосферного вітрового генератора.

Як приклади джерел з варіантами покриттів, обтічних елементів, профілів, придатних для протидії вібраціям, спричиненим вихорами, та зменшення аеродинамічного опору циліндричних тіл, занурених в морське середовище, можна навести наступні: патент CA887428 на ім'я Пірса та ін. (Pearce et al), патент США 3859949 на ім'я Туссана і Мейєра (Toussaint and Mayer), патент США 4365574 на ім'я Нормінтона (Norminton), патент США 4836122 на ім'я Хендерсона і Уінгема (Henderson and Wingham), патент США 6179524 на ім'я Аллена та ін. (Allen et al), заявка на патент PCT WO2005 / 116459 на ім'я Аллена та ін. (Allen et al), заявка на патент PCT WO2006 / 134381 на ім'я Пірса (Pearse), патент США 6179524 на ім'я Макміллана (McMillan), патент США 6223672 на ім'я Аллена та ін. (Allen et al).

Цікавими прикладами є патент США 4084065 на ім'я Свенсона (Swenson) та більш пізній патент США 5067384 на ім'я Скали (Scala), в яких описаний спосіб виготовлення троса, в одній зі сталок якого ряд ниток можуть вільно орієнтуватись в потоці і зменшувати вимушені коливання та аеродинамічний опір.

Ознайомившись з результатами випробувань з отримання електроенергії за допомогою генератора, описаного в вищезгаданих патентах, Заявник виявив, що немає необхідності повністю розмотувати канати в кінці позитивної фази кожного робочого циклу, щоразу опускаючи повітряний змій до землі, натомість дуже бажано повторювати робочі цикли на великій висоті, між проміжною та максимально досяжною висотою, а отже, лише частково розмотуючи канати перед початком нового циклу: з застосуванням цієї стратегії стає очевидним, що лише на певний сектор канату обмеженої довжини буде здійснюватись багаторазова дія циклів згинання з великим навантаженням в механічних елементах генератора, в той час, як інший сектор канату розмотують або змотують на лебідках лише під час обмежених випадків виконання зльоту та посадки.

Таким чином, мета даного винаходу полягає в вирішенні зазначених вище проблем, наявних за сучасного стану техніки в даній області, шляхом розробки такого оптимізованого для однієї чи кількох певних функцій канату для тропосферного вітрового генератора, який має в своєму складі, щонайменше два сектори різної довжини та конструкції, з плавним переходом між різними секторами.

Інша мета даного винаходу полягає в розробці такого канату для тропосферного вітрового генератора, який складається щонайменше з двох секторів, причому найближчий до генератора сектор канату, на який діють багаторазові циклічні згинання всередині системи для передачі і перетворення механічної енергії в електричну енергію, сконструйовано так, щоб гарантувати багаторазове виконання циклів роботи протягом довгого терміну служби до розриву від втомлюваності.

Інша мета даного винаходу полягає в розробці такого канату для тропосферного вітрового генератора, який складається щонайменше з двох секторів, причому найближчий до крила чи повітряного змія сектор канату, який можна назвати повітряною частиною канату, має конструкцію і профіль, здатні забезпечити низький аеродинамічний опір та мінімальну вагу.

Наведені вище цілі та переваги даного винаходу, як буде очевидно з наступного опису, досягнуто у вигляді канату для тропосферного вітрового генератора згідно п. 1 формули винаходу. Оптимальні варіанти виконання даного винаходу та їх нетривіальні варіації є предметом відповідних пунктів формули винаходу.

Сутність даного винаходу легше зрозуміти на прикладі певних оптимальних варіантів його виконання (якими даний винахід не обмежується) з посиланням на подані в додатку фігури, де:

- на Фігурі 1 подано вигляд у перспективі тропосферного генератора, оснащеного оптимальним варіантом канату за даним винаходом;

- на Фігурі 2 подано вигляд у перспективі тропосферного генератора, оснащеного іншим оптимальним варіантом канату за даним винаходом;

- на Фігурі 3 подано графік з порівнянням характеристик роботи канату за даним винаходом з характеристиками існуючих канатів;

- на Фігурі 4 подано вигляд збоку іншого оптимального варіанта канату за даним винаходом;

- на Фігурі 5 подано вигляд у розрізі канату за Фігурою 4;
- на Фігурі 6 подано вигляд збоку іншого оптимального варіанта канату за даним винаходом;
- на Фігурі 7 подано детальний вигляд канату по Фігурі 6; і
- на Фігурі 8 подано інший детальний вигляд канату по Фігурі 6.

5 На Фігурі 1 показано тропосферний вітровий генератор 1 в конфігурації 3 з двома канатами за даним винаходом, причому ці канати можуть досягати довжини порядку десятків тисяч метрів для здійснення управління та передачі механічної енергії від повітряного змія 2 до генератора 1: зокрема, канат 3 за даним винаходом для тропосферного вітрового генератора 1 складається по своїй довжині з:

10 - щонайменше одного першого сектора 4, оптимізованого для витримування багаторазових циклів згинання, в оптимальному варіанті виготовленого з суміші синтетичних волокон з високим модулем пружності, та з розмірами у відповідності до запасу міцності S_1 , а саме - до співвідношення між статичним розривним зусиллям розтягу канату та максимальною величиною навантаження під час роботи, яке може становити від 3 до 15 включно, при цьому діаметр канату $D(b_1)$ в типовому випадку становить від 6 мм до 72 мм включно, в оптимальному випадку - від 8 мм до 48 мм, а коефіцієнт аеродинамічного опору канату C_{D1} ;

15 - щонайменше один сектор 5, оптимізований для стійкості проти багаторазових циклів розтягу з великим навантаженням, в оптимальному випадку виготовлений з суміші синтетичних волокон з високим модулем пружності та розмірами, вибраними у відповідності до запасу міцності $S_2 < S_1$ таким чином, що діаметр $D(b_2)$ другого сектора 5 менший, ніж діаметр $D(b_1)$ першого сектора 4. Зокрема, другий сектор 5 має круглий поперечний переріз та оптимізований для зменшення аеродинамічного опору і/або має покриття з низьким коефіцієнтом тертя з метою забезпечити відносно ковзання канатів один по одному у випадку їх переплутання.

20 Зокрема, перший і другий сектори, відповідно 4 та 5, мають закінчення на своїх кінцях і з'єднані між собою одним або кількома з'єднувальними елементами, виготовленими з металевого або композитного матеріалу, або з'єднані пайкою, або, в оптимальному випадку, з плавним переходом між різними секторами 4, 5 зробленим під час одного й того ж процесу виготовлення, або у вигляді безперервної зміни діаметра в одному напрямку.

25 Переважно такі синтетичні волокна являють собою волокна з високо-модульного поліетилену. Насправді, головною характеристикою канатів, виготовлених з високо-модульного поліетилену, наприклад, з волокон, наявних на ринку під торговими марками Dyneema® та Spectra®, є чудова здатність опору простим циклам розтягу, які виконуються з навантаженням, яке становить значний процент розривного зусилля розтягу.

30 В оптимальному варіанті кожен з канатів 3 за даним винаходом приєднано до повітряного змія 2 за допомогою, щонайменше, двох строп 7, передньої стропи та задньої стропи, відповідно, виготовлених з матеріалів з різними модулями пружності, а отже здатних до різного видовження під одним і тим же навантаженням, що дає можливість змінювати кут рівноважного положення повітряного змія 2 в залежності від навантаження на сам повітряний змій 2.

35 Виконуючи дослідження, Заявник насправді виявив, що фіксоване регулювання довжини вказаних чотирьох строп 7, відповідно двох передніх строп і двох задніх строп, визначає, хоча і не регульованим способом, кут рівноваги повітряного змія 2 по відношенню до повітря, накладаючи обмеження на легкий зліт повітряного змія, або на кількість енергії, яку можна виробити протягом операції.

40 Протягом фази зльоту, коли на повітряний змій діють малі навантаження, довжину строп 7 за даним винаходом підбирають так, щоб гарантувати потрібну для зльоту орієнтацію повітряного змія, наприклад, значення кута рівноваги $\alpha = \alpha_1$.

45 Натомість, протягом фаз польоту, коли на повітряний змій 2 діють дуже високі навантаження, є можливість зробити пару строп 7, наприклад дві передні стропи (відповідно, праву передню стропу і ліву передню стропу), здатними більше видовжуватись під дією навантаження, ніж задні стропи (відповідно, права задня стропи та ліва задня стропи), що надає змію орієнтацію більшої спрямованості вгору, ніж орієнтація під час зльоту, з кутом рівноваги $\alpha = \alpha_2 > \alpha_1$.

50 Аналогічні міркування можна застосувати у випадку, коли протягом фаз польоту орієнтацію повітряного змія треба зробити більш спрямованою донизу, ніж орієнтація під час зльоту, для чого роблять так, щоб задні стропи під дією навантаження видовжувались сильніше, ніж передні стропи.

55 Величину видовження для строп можна обчислити під час проектування з метою управління бажаною польотною орієнтацією в залежності від навантаження на повітряний змій, а отже, від взаємозв'язку між навантаженням і польотною швидкістю, який залежить від по льотної швидкості.

Припустивши, що на сектор 5 канату, який можна назвати «повітряним», діють лише цикли розтягу, в той час, як багаторазові цикли згинання на шківках і лебідках не діють на нього, для його виготовлення можна порекомендувати такі волокна, як волокна з високо-модульного поліетилену, які відрізняються оптимальними характеристиками стійкості до розтягу, в

результаті чого запас міцності можна знизити до величин, ближчих до одиниці.
Зосередивши увагу на випадку, в якому використовуються два канати, знижений запас міцності, рівний $S2 = 1,5$, можна прийняти лише для повітряного сектора 5, а отже, для нього і діаметр можна взяти зменшеним до значення $D(b2) = 9$ мм, що відповідає величині розривного зусилля розтягу 77,8 кН, або повній величині 155,6 кН.

Прийняття зниженого значення запасу міцності дозволяє зменшити діаметр другого сектора 5 повітряної частини канату 3 за даним винаходом, не впливаючи на довжину та міцність канату в цілому.

Співвідношення між запасом міцності другого повітряного сектора 5 канату 3 та запасом міцності першого сектора 4 канату 3, який знаходиться під дією багаторазових циклів згинання, можна визначити і оптимізувати на етапі проектування таким чином, щоб термін служби до руйнування від втомленості для обох секторів, які знаходяться під дією різних напружень, був однаковим.

Повертаючись до числових значень з попереднього прикладу, слід зазначити, що першою великою перевагою вибору канату 3 за даним винаходом є можливість застосувати два канати 3, другий сектор 5 яких має діаметр $D(b2) = 9$ мм замість традиційного одного канату з постійним діаметром, рівним $D(a) 18$ мм, без будь-яких аеродинамічних втрат, але з великою перевагою в питаннях надійності та безпеки.

Насправді, взявши канат, який складається з першого сектора 4, на який діють багаторазові цикли згинання і діаметр якого $D(b1) = 14$ мм, а довжина 500 м, та з другого сектора діаметром $D(b2) = 9$ мм і довжиною 500 м, отримаємо, що загальний опір канату, обчислений для швидкості повітряного змія 2 величиною $V = 40$ м/сек., при зміні лінійної швидкості в межах від 0 до 40 м/сек., зменшується до 3772 Н, а, отже, для двох канатів повний опір дорівнює 7544 Н.

Перевага запропонованого рішення полягає в тому, що величина повного опору зменшується приблизно на 31% по відношенню до згаданого вище рішення А, в якому застосовуються існуючі канати.

Це пов'язано з тим, що найбільший внесок в повний аеродинамічний опір вносить другий сектор 5 канату 3, який рухається з більшою швидкістю відносно повітря, а, отже, частина канату, яка є найближчою до крила 2.

В той же час, досить прийнятним є вибір великих значень діаметра для першого сектора 4 канату 3 (який рухається значно повільніше, знаходячись поблизу генератора 1), які гарантують тривалий термін служби до руйнування від втомлюваності.

Друга велика перевага, пов'язана зі стратегією повторення циклів роботи на великих висотах, полягає в можливості покращення аеродинамічних характеристик повітряної ділянки канату за допомогою рішень, які були б неможливими при повному і багаторазовому змотуванні канату. Насправді, протягом зльоту та посадки повітряного змія прийнятними можуть бути процедури, які передбачають знижені значення швидкостей обертання лебідки та напружень канату, наявність автоматизованих систем для управління канатами, під'єднання та від'єднання тіл аеродинамічної форми.

Натомість, протягом фази генерації система управління має бути здатною використовувати всі механічні потенційні можливості генератора, як от: максимальні значення напруження канату та швидкості обертання; таким чином, фундаментальною стає здатність маневрувати сектором канату, механічні елементи якого багаторазово згинаються.

Перше удосконалення, яке значно покращить роботу тропосферного вітрового генератора 1, можна отримати, взявши лише для другого сектора 5 повітряної ділянки канату 3 зі зменшеним діаметром прийнятні рішення, подібні до тих, які успішно застосовувались в інших галузях, але адаптовані до операційних потреб генератора з метою зниження коефіцієнта аеродинамічного опору.

Наприклад, існує можливість покрити лише другий сектор 5 канату 3 надзвичайно гладенькою оболонкою або покриттям з пластикового матеріалу для зменшення шорсткості поверхні та приведення C_D до значень, близьких до значень для гладенького циліндра ($C_D = 1,2$).

Також існує можливість покрити лише другий сектор 5 канату 3 оболонкою або покриттям з пластикового матеріалу, вкритим виступами та впадинами для того, щоб запобігти турбулентному переходу граничного шару та знизити коефіцієнт аеродинамічного опору.

Наступне рішення полягає в тому, щоб покрити лише другий сектор 5 канату 3 оболонкою, на поверхні якої розташований, щонайменше, один спіральний профіль з відповідним кроком для зниження ефекту відокремлення кільватерних вихорів, запобігання вібраціям, викликаним вихорами, та зниження коефіцієнта аеродинамічного опору.

5 Наступне рішення полягає в тому, щоб покрити лише другий сектор 5 канату 3 захисним обплетенням, яке містить нитки, здатні вільно орієнтуватись вздовж ліній потоку з метою запобігти турбулентному переходу граничного шару та знизити коефіцієнт аеродинамічного опору.

10 Наступне рішення полягає в тому, щоб лише другий сектор 5 канату 3 обвити стрічками тканини або пластикового матеріалу, які можуть вільно орієнтуватись вздовж ліній потоку з метою запобігти турбулентному переходу граничного шару та знизити коефіцієнт аеродинамічного опору.

Наступне рішення полягає в тому, щоб лише повітряну частину канату одягнути в оболонку, виготовлену з пластикового матеріалу, яка має аеродинамічний профіль.

15 Натомість зовсім нове рішення полягає в тому, щоб при виготовленні лише другого сектора 5 канату 3, який зазвичай має круглий переріз, надавати йому видовженого поперечного перерізу, для якого співвідношення між довгою віссю та короткою віссю буде знаходитись в діапазоні між 1,5 та 5. З технічного погляду це можна зробити, хоча отриманий в результаті переріз ще не отримує бажаних аеродинамічних характеристик. Поліпшення аеродинамічних характеристик можна отримати, обмотавши виготовлений з видовженим поперечним перерізом канат 3 обплетенням та заповнивши порожнини матеріалом з низькою густиною, що дозволить отримати еліптичний поперечний переріз. В альтернативному варіанті можна шляхом екструзії вкрити канат 3, виготовлений з видовженим поперечним перерізом, оболонкою з гнучкого пластичного матеріалу по всій його довжині, що дозволить отримати еліптичний поперечний переріз. Проте, ще більше вдосконалення стосовно цього рішення полягає в тому, що замість одного канату 3 застосовують два або більшу кількість канатів різного діаметра, які розташовують паралельно один до одного, в результаті чого сума поперечних перерізів цих одиничних канатів 3 дорівнює величині поперечного перерізу, розроблений для протистояння механічним напруженням, створеним на етапі проектування. Заповнивши порожнини між канатами 3 різного діаметра матеріалом низької густини, можна надати поперечному перерізу крилоподібного профілю, при цьому канат 3 більшого діаметра буде займати область максимальної товщини (Фігура 5). Багатожильний канат 8 з утвореним таким чином профілем, як показано, наприклад на Фігурах 4, 5 та 6, можна покрити захисним обплетенням, розробленим для участі в загальному механічному опорі.

35 В альтернативному варіанті багатожильний канат 8 з утвореним таким чином профілем можна покрити гнучкою оболонкою, виготовленою з пластикового матеріалу, з метою зменшення шорсткості поверхні до мінімуму.

В альтернативному варіанті сам канат можна виготовити шляхом плетіння з метою отримати аеродинамічний поперечний переріз.

40 В альтернативному варіанті канат можна виконати шляхом плетіння за традиційними методиками, а потім вплавити в матеріал з пластику або еластомеру та деформувати під тиском для отримання аеродинамічного поперечного перерізу.

Можливе захисне обплетення, виготовлене з тканини, або можлива оболонка, виготовлена з пластикового матеріалу, можуть мати розриви, утворені з регулярними інтервалами (наприклад, такі, як показано на Фігурі 6), для підвищення гнучкості повітряної частини канату, утвореної з одного канату чи з набору канатів, та надання можливості намотування на барабани лебідки.

Крім того, враховуючи різні польотні швидкості, з якими рухаються різні ділянки повітряної частини профільованого канату по відношенню до повітря, вибраний крилоподібний профіль може мати різні геометричні, а отже й аеродинамічні характеристики на різних ділянках повітряної частини канату.

50 Проте, надання канату профілю згідно з формами, які відрізняються від круглого поперечного перерізу, тягне за собою можливі явища нестабільності, подібні до тих, які відбуваються з крилами повітряних літальних апаратів. Дійсно, ми знаємо, що еліптичні профілі і симетричні крилоподібні профілі є нестабільними, причому, ця нестабільність полягає в тому, що збільшення кута атаки генерує аеродинамічний момент, який прагне ще сильніше збільшувати кут атаки до того часу, поки профіль не стане орієнтованим перпендикулярно до потоку. Така поведінка може очевидно викликати розділення кільватерних потоків, підвищення опору та аеро-еластичну нестабільність всього канату.

60 З огляду на це, особливо посилаючись на Фігури 2, 4, 5, 6, 7 та 8, інший оптимальний варіант виконання канату 3 за даним винаходом може містити другий сектор 5, оснащений

справжніми хвостовими стабілізаторами, подібними до тих, які застосовуються в повітряних суднах, здатними врівноважувати аеродинамічний момент, створюваний змінами нахилу канату, та гарантувати стабільну поведінку. Таким чином, звертаючись, зокрема до Фігури 2, можна зазначити, що інший оптимальний варіант виконання канату 3 за даним винаходом для тропосферного вітрового генератора 1 має в своєму складі по довжині, щонайменше один третій сектор 6, причому такий третій сектор 6 має таку профільовану ділянку 9, власний поперечний переріз якої має коефіцієнт аеродинамічного опору C_{D3} зі значенням в діапазоні між 1,2 та 0,05 включно, ще більш оптимально - між 0,6 та 0,05, таким чином $C_{D3} < C_{D1}$; більше того, такий третій сектор 6 може бути оснащено хвостовими стабілізаторами 10, причому їх кількість і відстань між ними мають гарантувати стабільність всього канату.

Як показано на Фігурах 6 і 7, хвостові стабілізатори 10 в оптимальному варіанті кріплять до третього сектора 6 канату 3 за допомогою, щонайменше однієї завіси 12 та однієї шпильки 13, які, даючи можливість хвостовим стабілізаторам 10 обертатись навколо осі, перпендикулярної до осі канату 3, гарантують впорядковане змотування третього сектора 6 канату 3, включно з хвостовими стабілізаторами 10, на колекторний барабан для канату 3 протягом процедури посадки. В оптимальному варіанті завісу 12 кріплять до профільованої ділянки 9 за допомогою, щонайменше, однієї лямки 11. Як показано на Фігурі 8, хвостові стабілізатори 10 можуть повертатись на осі завіси 12 для того, щоб пригинатись до канату 3.

Кількість хвостових стабілізаторів 10 та їх взаємне розташування, очевидно, будуть залежати від аеродинамічних характеристик канату 3 та від максимальної швидкості канату 3 відносно повітря, і вибір цього рішення має гарантувати стабільність канату 3 за будь-яких умов роботи, а також мінімальний додатковий аеродинамічний опір, внесений хвостовими стабілізаторами 10.

Хвостові стабілізатори 10 можна наглухо прикріплювати до повітряної частини канату, або кріпити до тросу автоматично за допомогою механізму затискного типу в процесі запуску генератора та повільного розмотування повітряної частини канату, при цьому аналогічно, вони можуть відкріплюватись в процесі змотування повітряної частини канату і зупинки генератора.

Якщо хвостові стабілізатори 10 прикріплені наглухо до повітряної частини канату, то потрібно, щоб їх можна було намотувати на колекторні лебідки як одне ціле з канатом під час обмежених фаз зльоту та посадки.

Було виявлено, що, якщо прикріплювати хвостові стабілізатори на завісах 12 біля кромки аеродинамічного профілю 9, то з'являється можливість, щоб хвостові стабілізатори 10 згинались біля барабанів лебідок, і упорядковано розташовувались на колекторному барабані.

Очевидно, що хвостові стабілізатори 10 легше можна намотувати на останньому, найбільш периферійному шарі канату, який намотується на колекторний барабан.

Для того, щоб гарантувати правильну орієнтацію хвостових стабілізаторів 10 протягом фаз польоту, як з'ясувалось, біля завіси 12 можна розташувати пружину, наприклад, торсійну пружину з достатньою жорсткістю, яка буде утримувати хвостові стабілізатори 10 в потрібному положенні, незважаючи на дію аеродинамічних сил, та ефективно вирішуватиме цю технічну проблему.

Як вже зазначалось, інновації, пов'язані з даним винаходом, можна з користю використати для будь-якого тропосферного або висотного вітрового генератора.

Проте, зокрема у випадку, коли для передачі механічної енергії до землі застосовується рішення 3 з двома канатами 3, як у випадку з генератором, описаним в згаданих вище патентах даного Заявника, необхідно враховувати можливість того, що канати можуть переплутуватись протягом польоту та фаз генерації. Під час експериментів з прототипом такого генератора було проведено широке тестування поведінки крил та системи управління у випадку переплутування канатів.

Було продемонстровано, що система може стабільно працювати також і за наявності багаторазових переплутувань канатів, оскільки управління крилом виконується для різних значень довжини канатів, а також для різних значень напруження в канатах.

Проте канати з круглим поперечним перерізом здатні вільно ковзати один по одному, навіть якщо вони й переплутані, більше того, кількість переплутувань канатів не знижує ефективності системи управління польотом.

Очевидно також, що свобода взаємного ковзання канатів буде обмеженою для канатів з профільованим поперечним перерізом, а наявність хвостових стабілізаторів буде впливати на цю свободу, або й зовсім ліквідує її.

В процесі досліджень також вдалось впевнитись в тому, що переплутування канатів відбувається, починаючи з центральної частини літаючої ділянки канату, а при подальшому закручуванні розширюється в напрямку до крила, а також у напрямку до наземного генератора.

У зв'язку з цим було виявлено, що повітряну частину канату в оптимальному варіанті виконання можна в свою чергу розділити на два сектори, загалом отримавши три сектори.

Таким чином, просуваючись вздовж повністю розмотаного канату, починаючи від генератора, у напрямку крила, в цьому випадку простежується наступна послідовність ділянок:

5 перший сектор, який знаходиться під дією багаторазових циклів згинання, другий сектор з круглим поперечним перерізом, невразливий до взаємних переплутувань канатів, а також третій сектор канату, який має аеродинамічний профіль і оснащений хвостовими стабілізаторами.

Зокрема, сектор повітряної частини канату з круглим поперечним перерізом можна покрити обплетенням, оболонкою, або поверхневим покриттям з низьким коефіцієнтом поверхневого тертя, що полегшить взаємне ковзання канатів один по одному поряд з тими зонами, де можуть спостерігатись випадки переплетень канатів.

Корисно було б також, щоб такі оболонка або покриття мали пази на поверхні для запобігання турбулентним переходам та зменшення коефіцієнта аеродинамічного опору.

Повертаючись до попереднього прикладу з числовими даними, слід зазначити, що в оптимальному варіанті виконання канат 3 можна виготовити у складі: перший сектор 4 діаметром $D(b1) = 14$ мм, довжиною 500 мм, $C_D = 1,2$; другий сектор 5 діаметром $D(b2) = 9$ мм, довжиною 300 мм, $C_D = 1,2$; третій сектор 6 діаметром $D(b3) = 9$ мм, довжиною 200 мм та зі знизеним коефіцієнтом аеродинамічного опору $C_D = 0,5$ з повним значенням опору, рівним 2768 Н.

Нарешті, канат для тропосферного вітрового генератора за даним винаходом складається, щонайменше, з двох секторів різної довжини та з різними конструктивними особливостями. Структуру найближчого до генератора сектора канату, який знаходиться під дією багаторазових циклів згинання всередині системи передачі та перетворення механічної енергії в електричну енергію, вибирають таким чином, щоб гарантувати тривалий термін служби в умовах циклічного згинання до розриву від втомлюваності.

Структуру і профіль того сектора канату, який знаходиться найближче до крила чи повітряного змія, і який можна назвати повітряною частиною канату, вибирають таким чином, щоб забезпечити низький аеродинамічний опір та мінімальну вагу.

Перехід між суміжними секторами канату виконують таким чином, щоб забезпечити плавний перехід.

Наступна перевага застосування канату 3 за даним винаходом полягає в тому, що у випадку розриву одного з канатів шматок цього канату м'яко спускається, а не падає на землю, таким чином автоматична система управління має достатньо часу для швидкого змотування пошкодженого канату перш, ніж він досягне землі.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Канат (3) для тропосферного вітрового генератора (1), який по своїй довжині складається:

- щонайменше з одного першого сектора (4), що здатний витримувати багаторазові цикли згинання і має запас міцності S_1 , який являє собою відношення статичного розривного зусилля розтягу каната (3) до максимального навантаження, яке виникає в процесі роботи каната (3), в діапазоні між 3 та 15, діаметр $D(b1)$ в діапазоні між 6 мм та 72 мм та коефіцієнт аеродинамічного опору C_{D1} ,

- щонайменше одного другого сектора (5), здатного витримувати багаторазові цикли розтягу з великим навантаженням, з запасом міцності $S_2 < S_1$ та з діаметром $D(b2) < D(b1)$.

2. Канат (3) за п. 1, який **відрізняється** тим, що додатково включає в своїй довжині, щонайменше один третій сектор (6), вказаний третій сектор (6) має профільовану ділянку 9, поперечний переріз якої має такий коефіцієнт аеродинамічного опору (C_{D3}), що $C_{D3} < C_{D1}$.

3. Канат (3) за п. 2, який **відрізняється** тим, що величина вказаного коефіцієнта аеродинамічного опору (C_{D3}) в оптимальному випадку знаходиться в діапазоні між 1,2 та 0,05, а ще оптимальніше - між 0,6 та 0,05.

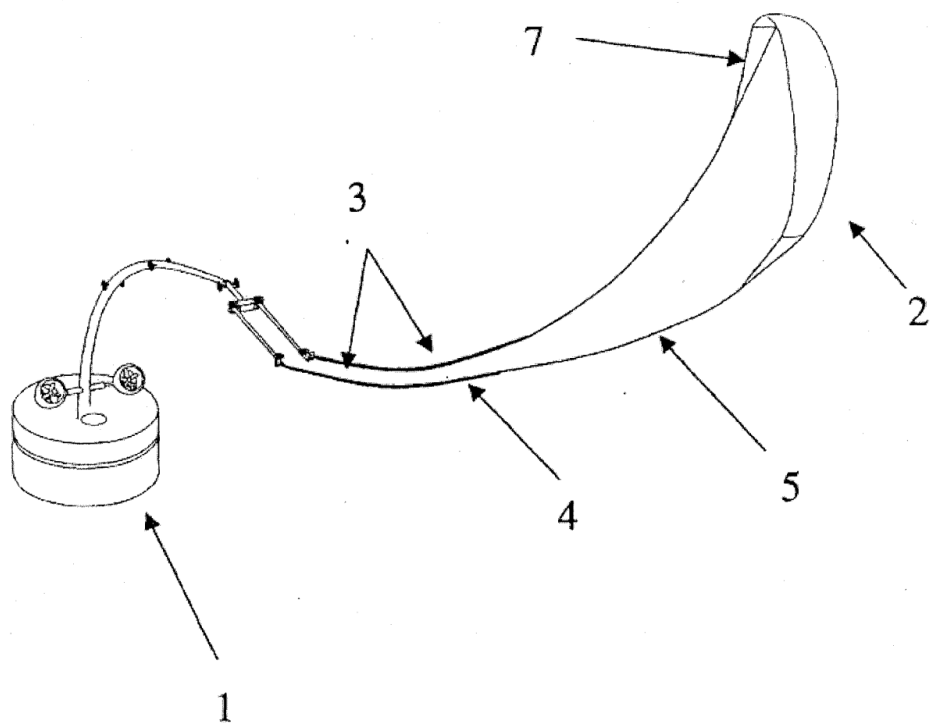
4. Канат (3) за будь-яким з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що вказані сектори (4, 5, 6) з'єднують між собою для отримання безперервного каната з однобічно направленою зміною діаметра, причому вказані сектори (4, 5, 6) мають закінчення на своїх кінцях, взаємоз'єднаних за допомогою одного чи кількох сполучних елементів з металу чи композитного матеріалу.

5. Канат (3) за п. 1, який **відрізняється** тим, що пристосований для приєднання до повітряного змія (2) за допомогою щонайменше однієї пари строп (7), виготовлених з матеріалів з різними модулями пружності.

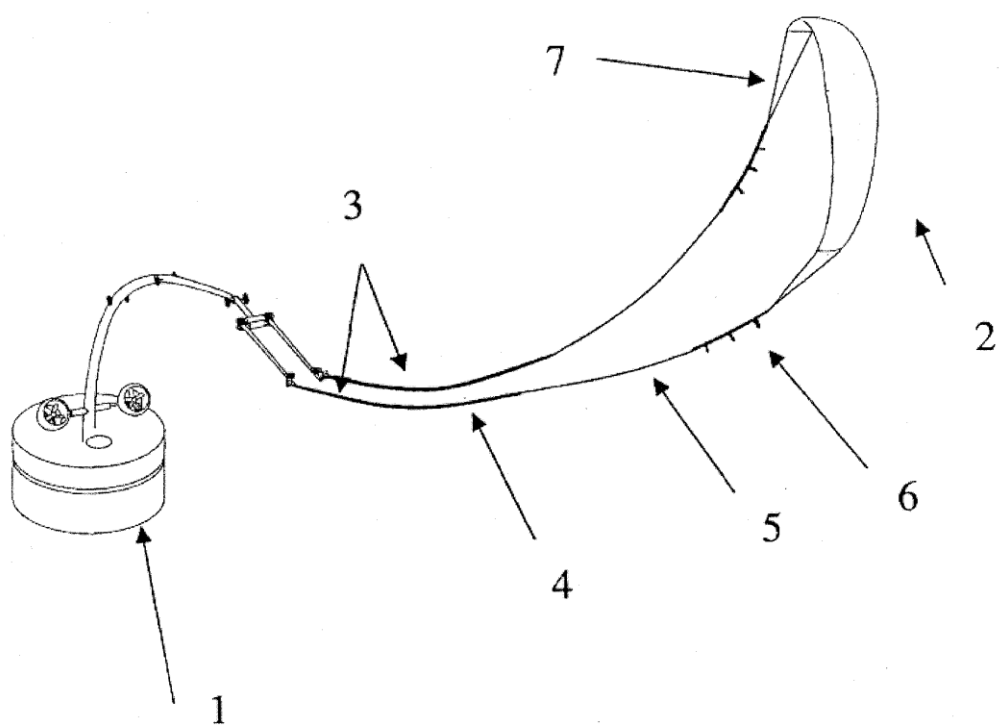
6. Канат (3) за п. 2, який **відрізняється** тим, що вказаний третій сектор (6) оснащено хвостовими стабілізаторами (10), причому вказані хвостові стабілізатори (10) переважно

прикріплено до вказаного третього сектора (6) за допомогою, щонайменше однієї, завіси (12) та однієї шпильки (13), призначених для створення можливості обертання вказаних хвостових стабілізаторів (10) навколо осі, перпендикулярної осі вказаного канату (3).

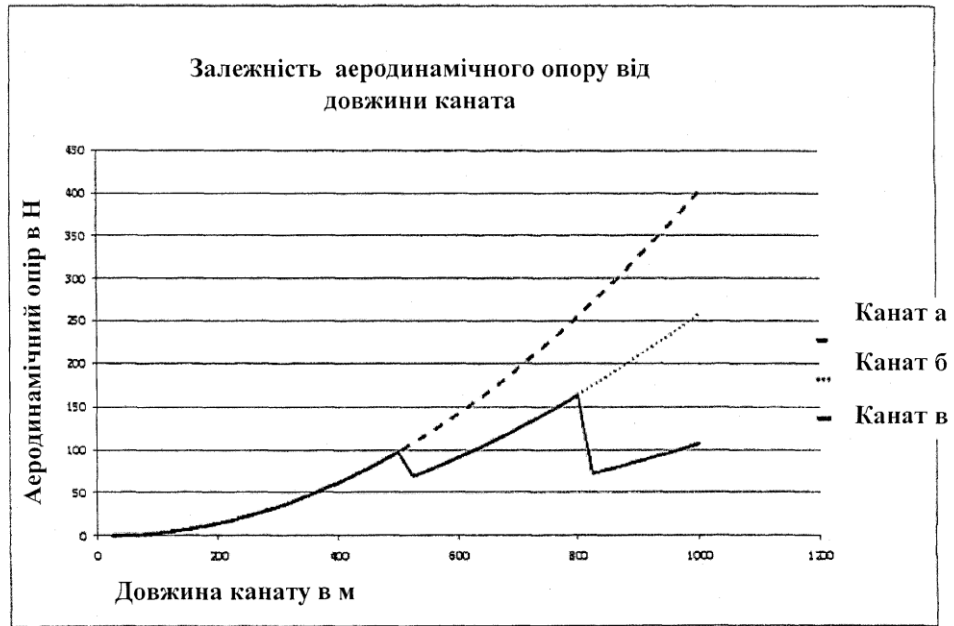
7. Канат (3) за п. 6, який **відрізняється** тим, що вказана завіса (12) прикріплена до вказаної профільованої ділянки (9) за допомогою, щонайменше однієї, лямки (11) або оснащена, щонайменше однією, пружиною, призначеною для утримання хвостових стабілізаторів (10) в потрібному положенні.
8. Канат (3) за п. 1, який **відрізняється** тим, що вказаний перший сектор (4) і вказаний другий сектор (5) виготовлено з суміші синтетичних волокон, переважно з високомодульних поліетиленових волокон.
9. Канат (3) за п. 1, який **відрізняється** тим, що вказаний другий сектор (5) має круглий поперечний переріз і вкритий покриттям.
10. Канат (3) за п. 1, який **відрізняється** тим, що вказаний другий сектор (5) вкритий гладенькою оболонкою або покриттям з пластикового матеріалу.
11. Канат (3) за п. 1, який **відрізняється** тим, що вказаний другий сектор (5) вкритий оболонкою або покриттям з пластикового матеріалу, на якому нанесено впадини та ребра для запобігання турбулентному переходу граничного шару та зниження коефіцієнта аеродинамічного опору.
12. Канат (3) за п. 1, який **відрізняється** тим, що вказаний другий сектор (5) покритий оболонкою, яка містить на своїй поверхні щонайменше один спіральний профіль, або він покритий захисним обплетенням з нитками, які можуть вільно орієнтуватись вздовж ліній потоку.
13. Канат (3) за п. 1, який **відрізняється** тим, що вказаний другий сектор (5) обвитий стрічками з тканини або пластикового матеріалу, які можуть вільно орієнтуватись вздовж ліній потоку.
14. Канат (3) за п. 1, який **відрізняється** тим, що вказаний другий сектор (5) покрито пластиковою оболонкою, яка має аеродинамічний профіль.
15. Канат (3) за п. 1, який **відрізняється** тим, що вказаний другий сектор (5) має поперечний переріз видовженої форми зі співвідношенням між довшою та коротшою осями в діапазоні між 1,5 та 5.
16. Багатожильний канат (8), який **відрізняється** тим, що складається з множини канатів (3) за п. 1, розташованих паралельно один до одного.
17. Багатожильний канат (8) за п. 16, який **відрізняється** тим, що впадини між вказаними канатами (3) з різними діаметрами заповнено матеріалом низької густини для утворення профілю з крилоподібним поперечним перерізом, в якому один з вказаних канатів (3) більшого діаметра займає область максимальної товщини у вказаному крилоподібному профілі.
18. Багатожильний канат (8) за п. 16, який **відрізняється** тим, що покритий захисним обплетенням або гнучкою оболонкою, виготовленою з пластикового матеріалу.
19. Канат (3) за п. 1 або багатожильний канат (8) за п. 16, який **відрізняється** тим, що є сплетеним та/або вплавленим в матеріал з пластику чи еластомеру, та /або деформованим для отримання аеродинамічного поперечного перерізу.
20. Канат (3) за п. 1 або багатожильний канат (8) за п. 16, який **відрізняється** тим, що вказане захисне обплетення, виготовлене з тканини, або вказана оболонка з пластикового матеріалу мають розриви, виконані з постійними інтервалами для можливості вказаному канату (3) або вказаному багатожильному канату (8) вільно згинатись.



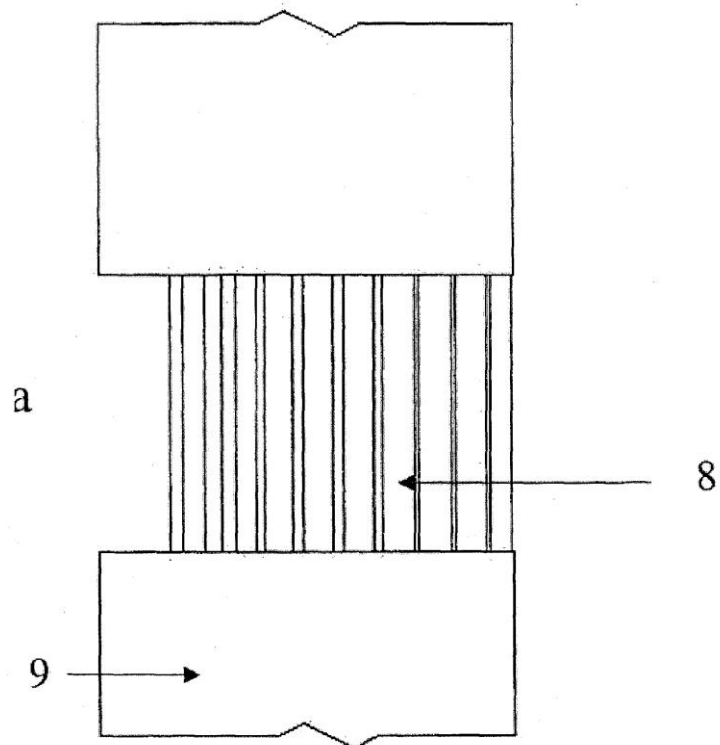
ФІГ. 1



ФІГ. 2



ФІГ. 3



ФІГ. 4

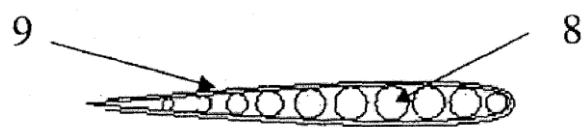


FIG. 5

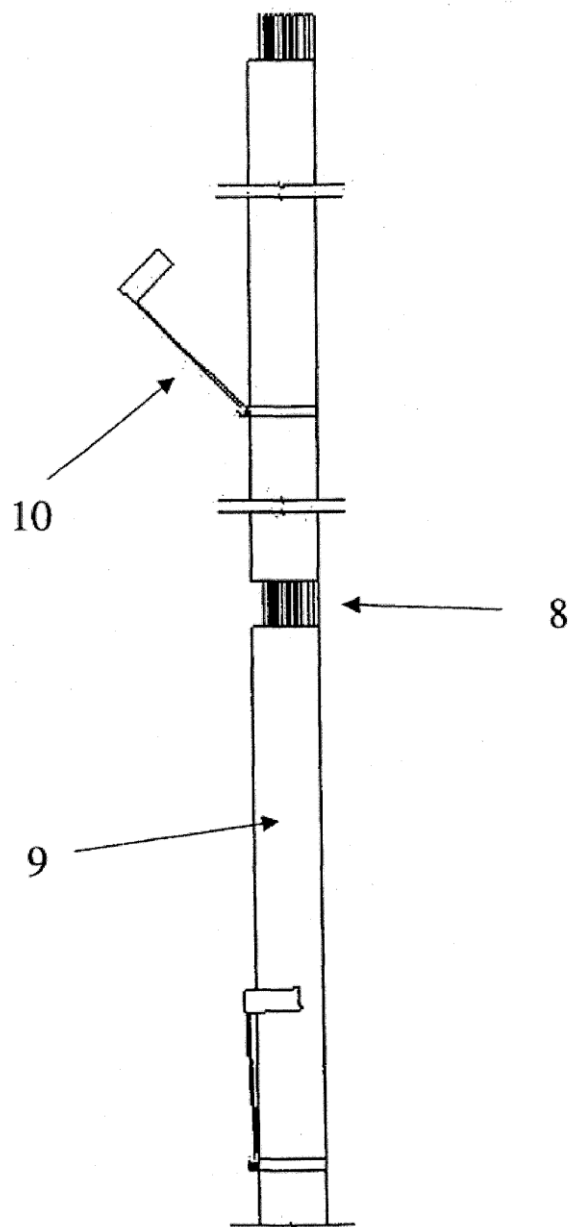
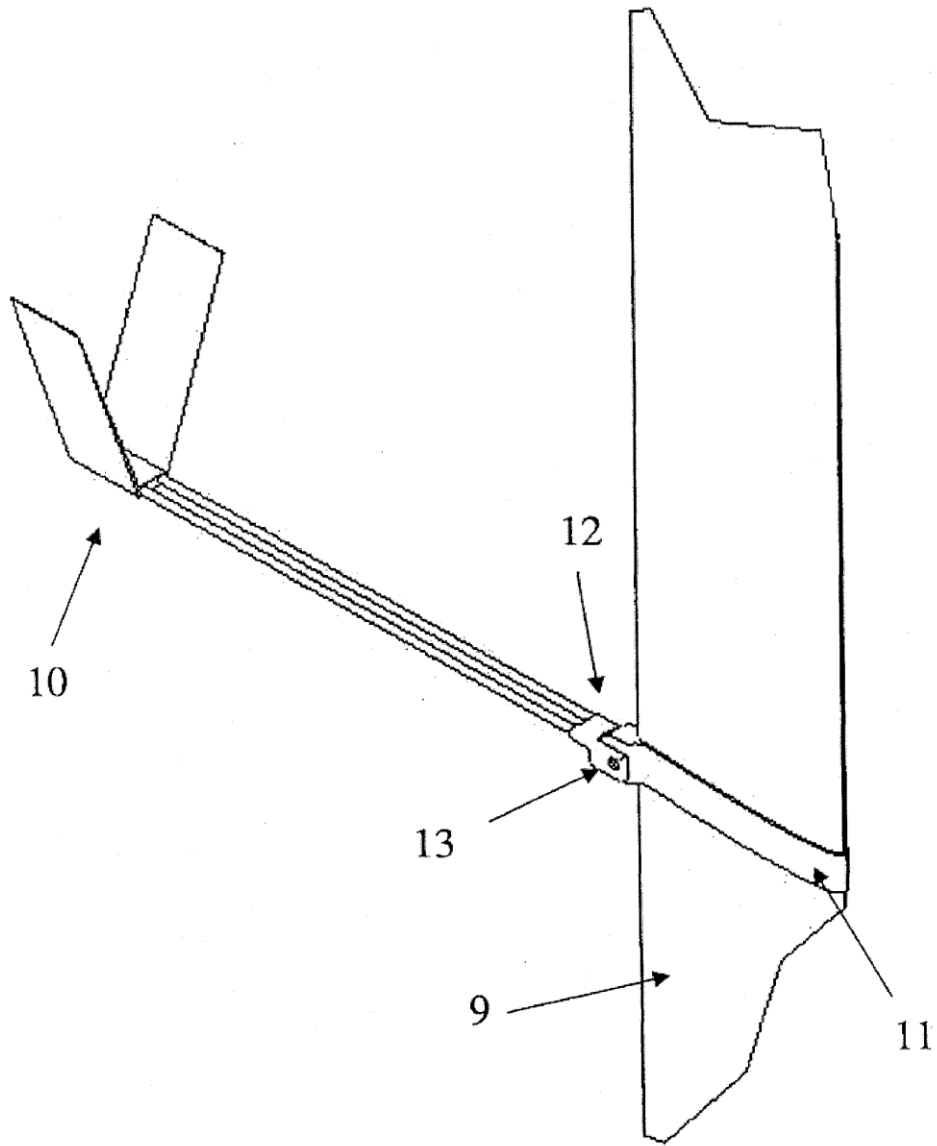
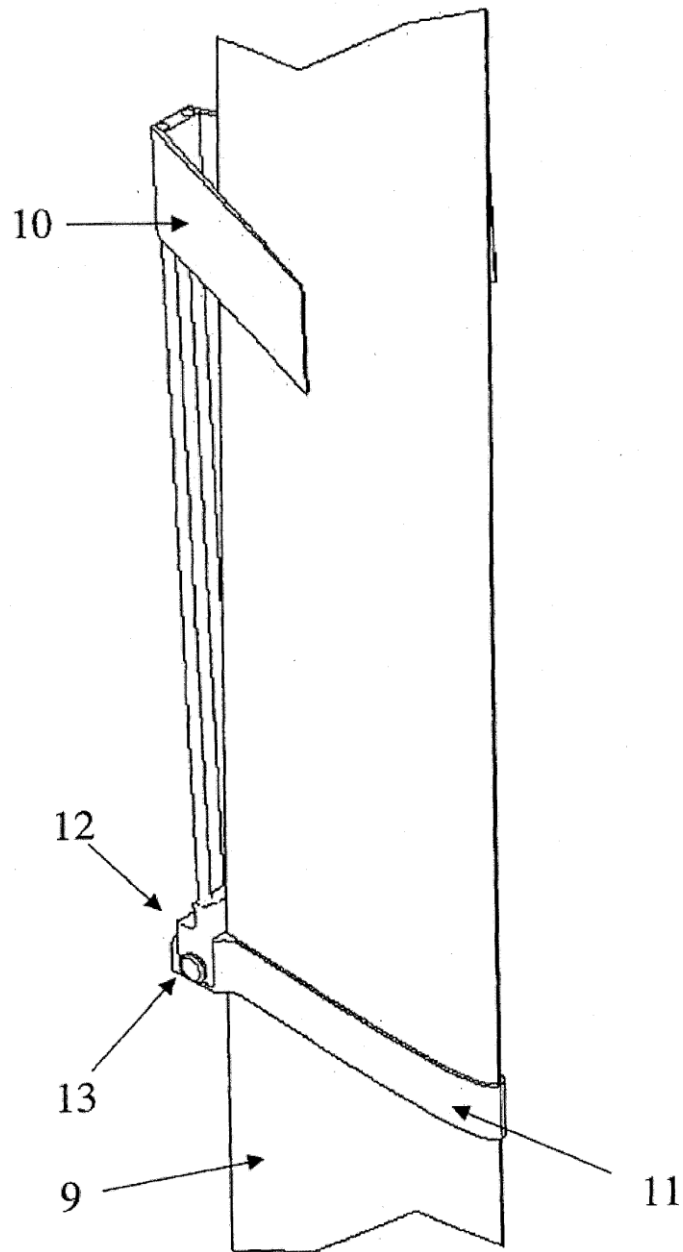


FIG. 6



ФІГ. 7



ФІГ. 8

Комп'ютерна верстка А. Крулевський

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601