



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

F03D 5/00 (2017.02); F03D 7/00 (2017.02); F03D 9/00 (2017.02)

(21)(22) Заявка: 2015149825, 20.11.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
20.11.2015

Дата регистрации:
23.01.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 20.11.2015

(43) Дата публикации заявки: 25.05.2017 Бюл. № 15

(45) Опубликовано: 23.01.2018 Бюл. № 3

Адрес для переписки:

141700, Московская обл., г. Долгопрудный, ул.
Летная, 1, генеральному директору АО "ДКБА"
В.Н. Голубятникову

(72) Автор(ы):

Голубятников Виктор Николаевич (RU),
Ворогушин Владимир Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Акционерное общество "Долгопрудненское
конструкторское бюро автоматики" (RU)

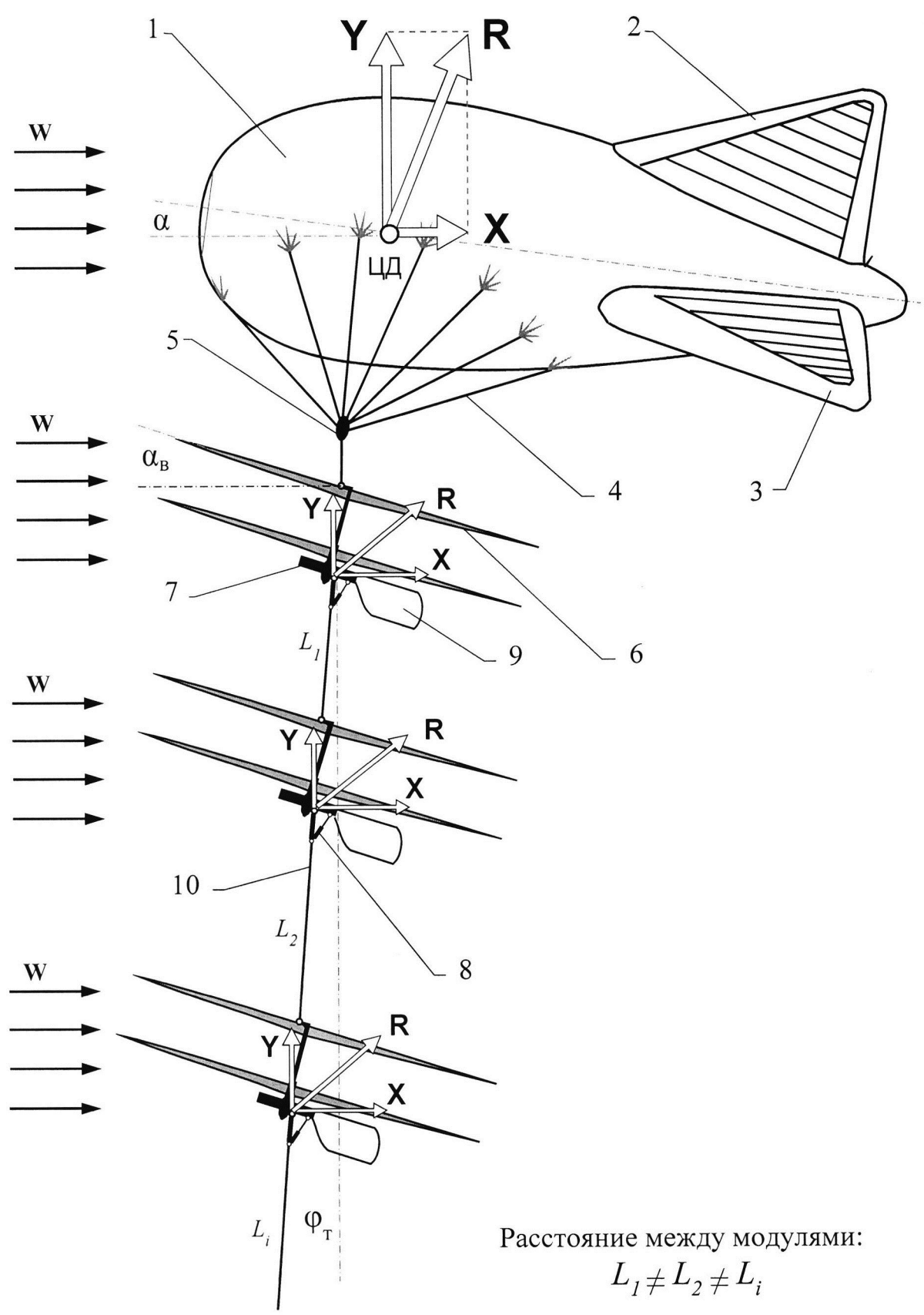
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: SU 1176103 A1, 30.08.1985. RU
99079 U1, 10.11.2010. KR 20080103936 A,
28.11.2008. US 20050067839 A1, 31.03.2005. US
5435259 A, 27.05.1995.

(54) Многомодульная высотная ветровая энергетическая установка

(57) Реферат:

Изобретение относится к высотным ветроэнергетическим установкам. Многомодульная высотная ветровая энергетическая установка, содержащая привязной аэростат и кабель-трос, на кабель-тросе по высоте подъема последовательно подвешены по меньшей мере два модуля ветряного двигателя, каждый из которых включает соосные винты, расположенные под углом атаки к набегающему

потoku, и блок генератора электрической энергии, причем углы атаки соосных винтов и их наклон влево или вправо может регулироваться системой управления совместно с углами атаки винтов остальных модулей. Изобретение направлено на уменьшение аэродинамического сопротивления модулей и автоматическую ориентацию по направлению ветра. 1 з.п. ф-лы, 2 ил.



Фиг.1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC

F03D 5/00 (2017.02); F03D 7/00 (2017.02); F03D 9/00 (2017.02)(21)(22) Application: **2015149825, 20.11.2015**(24) Effective date for property rights:
20.11.2015Registration date:
23.01.2018

Priority:

(22) Date of filing: **20.11.2015**(43) Application published: **25.05.2017** Bull. № 15(45) Date of publication: **23.01.2018** Bull. № 3

Mail address:

**141700, Moskovskaya obl., g. Dolgoprudnyj, ul.
Letnaya, 1, generalnomu direktoru AO "DKBA"
V.N. Golubyatnikovu**

(72) Inventor(s):

**Golubyatnikov Viktor Nikolaevich (RU),
Vorogushin Vladimir Aleksandrovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Aksionernoe obshchestvo "Dolgoprudenskoe
konstruktorskoe byuro avtomatiki" (RU)**

(54) MULTIMODULAR HIGH-ALTITUDE WIND POWER PLANT

(57) Abstract:

FIELD: power industry.

SUBSTANCE: multimodular high-altitude wind power plant comprising a tethered balloon and a cable-rope, at least two wind turbine modules are suspended in series on the cable-cable in height, each of which includes coaxial screws positioned at an angle of attack against the incoming flow, and electric energy

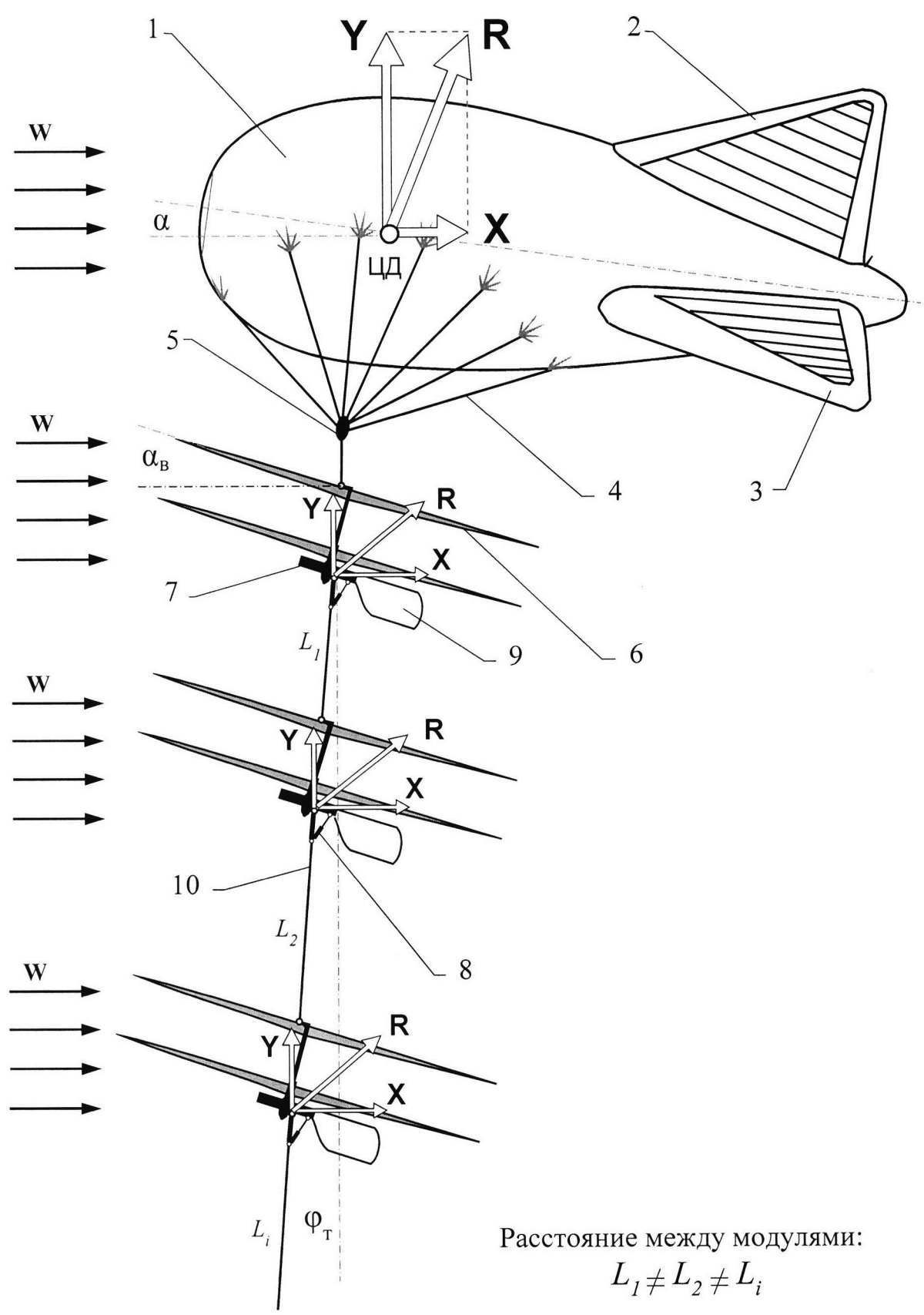
generator. The angles of attack of coaxial screws and their inclination to the left or right can be adjusted by the control system together with attack angles of the screws of the remaining modules.

EFFECT: reduction of aerodynamic resistance modules and automatic orientation in the wind direction.

2 cl, 2 dwg

R U
2 6 4 2 0 0 4
C 2

C 2
4 0 0 4
2 6 4 2 0 0 4
R U



Расстояние между модулями:
 $L_1 \neq L_2 \neq L_i$

Фиг.1

Изобретение относится к авиации, в частности к воздухоплаванию, а именно, к устройству привязных аэростатных комплексов, предназначенных для подъема ветроэнергетических установок и обеспечения их работы на больших высотах.

Модуль высотной лопастной ветровой энергетической установки (ВЭУ),

5 поднимаемый в составе аэростатного комплекса на высоты 2000-5000 м и имеющий рабочее положение соосных винтов под углом атаки к набегающему ветровому потоку, обладает важным преимуществом. Оно заключается в том, что помимо выработки электроэнергии модуль создает вертикальную составляющую вектора подъемной силы, которая позволяет компенсировать вес относительно тяжелого привязного кабель-

10 троса, сданного от лебедки. Поэтому при расчете потребной подъемной силы аэростата вес кабель троса, за исключением участка 150-200 м, не учитывается. В результате необходимый объем газовой оболочки получается наименьшим. Однако увеличение мощности единичного модуля высотной ВЭУ сдерживается ростом потребных диаметральных размеров винтов и, соответственно, их веса.

15 Наращивание энергетической эффективности высотных ВЭУ может идти по пути создания многомодульных аэростатных комплексов. В этом случае кроме выработки электроэнергии нижний модуль ВЭУ своей составляющей подъемной силы компенсирует вес протяженного участка кабель-троса до лебедки, а каждый модуль ВЭУ выше крайнего нижнего компенсирует вес предыдущего и вес участка кабель-троса между

20 ними, если он присутствует. Кроме того, установленную мощность такого комплекса в эксплуатации можно увеличивать по мере роста потребления электроэнергии путем периодического добавления очередного дополнительного модуля ВЭУ.

Известна высотная ветровая энергетическая установка, содержащая аэростат и

25 подвешенный на ферме под его нижней поверхностью лопастной ветряной двигатель, ось вращения которого расположена горизонтально или параллельна продольной оси аэростата. К нижней вершине фермы, к переднему узлу оси вращения ветряного двигателя и к носовой шайбе аэростата подсоединены ответвления общего кабель-

троса, противоположный конец которого сдается или выбирается барабаном наземной лебедки (Б.Б. Кажинский, А.Г. Уфимцев. Патент СССР №8970 от 30.04.1929 г.).

30 Такая конструкция имеет несколько недостатков:

- невозможно использовать принцип многомодульности;
- диаметр винта ограничен допустимыми габаритами фермы подвески;
- реактивный момент на статоре генератора воспринимается моментом силы веса,

35 приложенной в центре тяжести, на плече, создаваемым креном всего комплекса, что при постоянных изменениях электрической нагрузки приводит к колебаниям крена и раскачке всего аппарата;

- подъемная сила аэростата должна быть больше суммы веса ветряного двигателя и привязного троса для заданной высоты стоянки;

40 - суммарная сила сопротивления аэростата и ветряного двигателя в направлении оси его вращения создает повышенные нагрузки на привязной трос, способные привести к его обрыву.

Известна высотная ветровая энергетическая установка (Книга. Герман Оберт «Энергетическая установка на воздушном змее» 1977 г.), у которой несколько змеев поднимаются в воздух на едином кабеле. Каждый змей поднимает один большой

45 силовой ветроагрегат с горизонтальной осью вращения, предназначенный для генерирования электроэнергии. Змеи с ветроагрегатами распределены по вертикали. Отмечается, что на высотах между 3000 м и 10000 м можно установить порядка 27 таких силовых агрегатов. Для компенсации нехватки подъемной силы змеев и для

удержания силовых агрегатов на нужных высотах (например, при уменьшении силы ветра) предложено на конце цепочки змеев закрепить шар, наполненный несущим газом. В этом случае подъемная сила всей системы складывается из аэродинамической подъемной силы змеев и аэростатической подъемной силы шара. Предусматривается, что вся система должна иметь блок регулирования, задачей которого является обеспечение нужных режимов работы всех агрегатов системы.

По технической сущности указанная схема выбрана в качестве наиболее близкого прототипа. Основными недостатками прототипа являются:

- чрезмерная нагрузка на кабель-трос, так как винтовые ветроагрегаты с горизонтальной осью вращения создают большую силу лобового сопротивления и не имеют составляющей подъемной силы, что в сочетании с большим количеством агрегатов, подвешенных на кабель-росе, критически осложняют задачу их подъема и удержания на заданной высоте;

- отсутствие элементов конструкции, ориентирующих несущие поверхности змеев по направлению потока и углу атаки;

- возможность попадания несущих поверхностей змея в срывные режимы обтекания с потерей подъемной силы;

- неустойчивое положение несущей поверхности змея на тросе, сопровождающееся самовозбуждающимися колебаниями в поперечной плоскости.

Задачей изобретения является синтез комплексного технического решения, позволяющего получить многомодульную высотную ветровую энергетическую установку с улучшенными параметрами по весу, габаритам и надежности, которая способна эффективно осуществлять преобразование энергии ветра в электрическую мощность, приспосабливаясь к изменениям скорости ветрового потока и уровню потребления электроэнергии.

Задача изобретения решается тем, что предложено использовать привязной аэростатный комплекс, в состав которого входят по меньшей мере два модуля установки с соосными винтами, шарнирно подвешенными на кабель-тросе, причем углы атаки винтов по отношению к набегающему ветровому потоку и углы крена могут регулироваться системой управления.

Полученный технический результат характеризуется следующими существенными признаками:

- на кабель-тросе по высоте подъема последовательно подвешены по меньшей мере два модуля ветряного двигателя, каждый из которых включает соосные винты, расположенные под углом атаки к набегающему потоку, причем углы атаки соосных винтов и их наклон влево или вправо может регулироваться системой управления совместно с углами атаки винтов остальных модулей;

- по меньшей мере три модуля подвешены на кабель-тросе на разных расстояниях друг от друга, с таким расчетом, чтобы частоты их собственных колебаний на кабель-тросе были максимально отдалены от частот собственных колебаний на кабель-тросе остальных модулей.

На Фиг. 1 показана схема многомодульной высотной ветровой энергетической установки, у которой модули ветряных двигателей шарнирно подвешены через промежуточные участки несущего кабель-троса.

На Фиг. 2 показана схема многомодульной высотной ветровой энергетической установки, у которой модули ветряных двигателей шарнирно подвешены непосредственно друг за другом.

Устройство высотной ветровой энергетической установки по Фиг. 1, 2 включает:

Корпус аэростата (1) оптимальной формы, например «ПФ», с вертикальными (2) и боковыми (3) стабилизаторами в хвостовой части. Стропы (4) узла привязи (5), к которому шарнирно подвешен первый модуль ветряного двигателя, включающий соосные винты (6), расположенные под углом атаки α_v к набегающему ветровому потоку W и блок генератора электрической энергии (7), состоящий из генератора и исполнительного устройства системы управления (8). Каждый модуль содержит вспомогательную килевую поверхность (9). Снизу через шарнирный узел к ветряному двигателю подсоединен привязной трос (10). Ось вращения соосных винтов имеет заданное исполнительным устройством системы управления (8) положение относительно линии примыкающего участка троса. W - скорость воздушного потока, набегающего на ветровую энергетическую установку. R - полная аэродинамическая сила. Y - аэродинамическая подъемная сила. X - сила аэродинамического сопротивления, α - угол дифферента аэростата, α_v - угол атаки диска винта, ϕ_T - угол отклонения привязного троса.

Устройство высотной ветровой энергетической установки работает следующим образом (Фиг. 1, 2):

Как и в случае с одним модулем ВЭУ, основное отличие предлагаемого решения устройства многомодульной высотной ВЭУ от установок с горизонтальной осью винта состоит в том, что винты каждого модуля работают на углах атаки к набегающему ветровому потоку, образуя вектор полной аэродинамической силы, который может быть разложен на две составляющие - вертикальную аэродинамическую подъемную силу Y и горизонтальную силу аэродинамического сопротивления X (Фиг. 1, 2). Поэтому помимо крутящего момента на валу генератора каждый модуль может поднимать служебный груз, например вес кабель-троса, сдаваемого с лебедки или вес подвешенного ниже смежного модуля. В результате потребный объем несущей оболочки аэростата принимает наименьшее значение и не изменяется при любом количестве поднимаемых на высоту модулей ВЭУ. В то время как полная аэродинамическая сила ветровых энергетических установок с горизонтальной осью направлена по оси вращения и выражает собой только силу полного аэродинамического сопротивления X . Полезная составляющая подъемной силы Y отсутствует и для поднятия многомодульного аэростатного комплекса на высоту стоянки требуется большой потребный объем несущей оболочки, причем добавление в комплекс дополнительно одного или нескольких модулей ВЭУ в этом случае требует замены оболочки аэростата на больший несущий объем.

Следовательно, в предложенном устройстве многомодульной высотной ветровой энергетической установки достаточно принять такой объем несущей оболочки (1), который бы с некоторым запасом компенсировал собственный вес аэростата, вес частей первого модуля ВЭУ (6), (7), (8), (9) и небольшой участок веса кабель-троса. Это дает возможность осуществить подъем первого модуля комплекса на небольшую начальную высоту, где в стартерном режиме работы генератора и под воздействием ветрового потока соосные винты первого модуля ВЭУ раскручиваются до рабочих оборотов, создавая подъемную силу, позволяющую продолжить подъем комплекса до уровня начала раскрутки в стартерном режиме второго модуля ВЭУ. После выхода на режим второй модуль ВЭУ позволяет поднять на уровень запуска третий модуль ВЭУ и т.д. В итоге весь аэростатный комплекс ВЭУ под действием большого избытка подъемной силы тяги (генераторный режим модулей отключен) ускоренно поднимается на рабочую высоту стоянки, где система управления с учетом силы ветровых потоков и уровнем нагрузки от потребителей включает генераторный режим работы всех модулей и задает

необходимый угол атаки винтам ВЭУ, непрерывно контролируя и поддерживая необходимый баланс потребных и располагаемых электрических мощностей.

При сдавании троса с лебедки воздушный поток непрерывно обтекает корпус аэростата, хвостовое оперение и соосные винты ветряного двигателя со скоростью W . Угол дифферента аэростата α , который обычно находится в пределах $\alpha=5-10$ градусов, принимает значения, близкие к расчетным. Возникающая при этом аэродинамическая подъемная сила оболочки аэростата помогает системе управления удерживать комплекс на заданной высоте.

Одновременно с подъемом на высоту, ветровой воздушный поток увеличивает снос комплекса за счет горизонтальной составляющей силы лобового сопротивления X оболочки аэростата и модулей ВЭУ. В свою очередь, снос комплекса приводит к изменению угла наклона троса ϕ_T и, следовательно, к увеличению угла атаки плоскостей вращения винтов α_B . Полная аэродинамическая сила R винтов модулей ВЭУ

увеличивается, комплекс продолжает подниматься вверх сначала ускоренно, а затем замедленно по мере уменьшения угла наклона троса ϕ_T и угла атаки α_B . На высоте равновесия общая подъемная сила модулей ветровых двигателей ВЭУ сравняется с весом поднятого участка кабель-троса. В результате, комплекс автоматически займет такую высоту стоянки, которая будет обусловлена сданной длиной кабель-троса и силой ветра, воспринимаемой модулями ВЭУ на равновесной высоте.

Бортовое или наземное оборудование системы управления в автоматическом режиме поддерживает параметры работы комплекса с использованием сигналов датчиков давления и температуры среды, скорости ветра, высоты и сноса, измеренных на уровне рабочей высоты каждого модуля ВЭУ. При достижении предельных значений скорости ветра система управления автоматически уменьшает угол атаки винтов модулей ВЭУ, контролируя установленный предельный порог вырабатываемой электрической мощности и ветровую нагрузку на оболочку аэростата.

Предложенная многомодульная высотная ветровая энергетическая установка, в которой для решения задачи изобретения использован привязной аэростатный комплекс, имеющий по меньшей мере два модуля ВЭУ, позволила:

- достигнуть минимального и постоянного потребного объема аэростата за счет использования подъемной силы винтов модулей ВЭУ для компенсации веса примыкающего снизу ВЭУ и кабель-троса;
- обеспечить хороший доступ к агрегатам ветряного двигателя и винтам при обслуживании за счет распределения модулей ВЭУ на кабель-тросе;
- создать хорошие условия для охлаждения генераторов в свободном воздушном потоке;
- уменьшить общее аэродинамическое сопротивление комплекса за счет уменьшения миделя аэростата и снижения сопротивления модулей ВЭУ;
- обеспечить технические условия для независимого и точного управления углом атаки винтов каждого модуля ВЭУ;
- обеспечить автоматическую ориентацию комплекса по направлению ветра,
- создать возможность наращивания мощности комплекса без изменения объема аэростата путем простого добавления очередного модуля ВЭУ;
- реализовать конструктивные мероприятия, предотвращающие наступление резонанса колебаний кабель-троса.

(57) Формула изобретения

1. Многомодульная высотная ветровая энергетическая установка, содержащая

привязной аэростат, блок генератора электрической энергии и кабель-трос, отличающаяся тем, что на кабель-тросе по высоте подъема последовательно подвешены по меньшей мере два модуля ветряного двигателя, каждый из которых включает соосные винты, расположенные под углом атаки к набегающему потоку, причем углы атаки
5 соосных винтов и их наклон влево или вправо может регулироваться системой управления совместно с углами атаки винтов остальных модулей.

2. Многомодульная высотная ветровая энергетическая установка по п. 1, отличающаяся тем, что по меньшей мере три модуля подвешены на кабель-тросе на разных расстояниях друг от друга, с таким расчетом, чтобы частоты их собственных
10 колебаний на кабель-тросе были максимально отдалены от частот собственных колебаний на кабель-тросе остальных модулей.

15

20

25

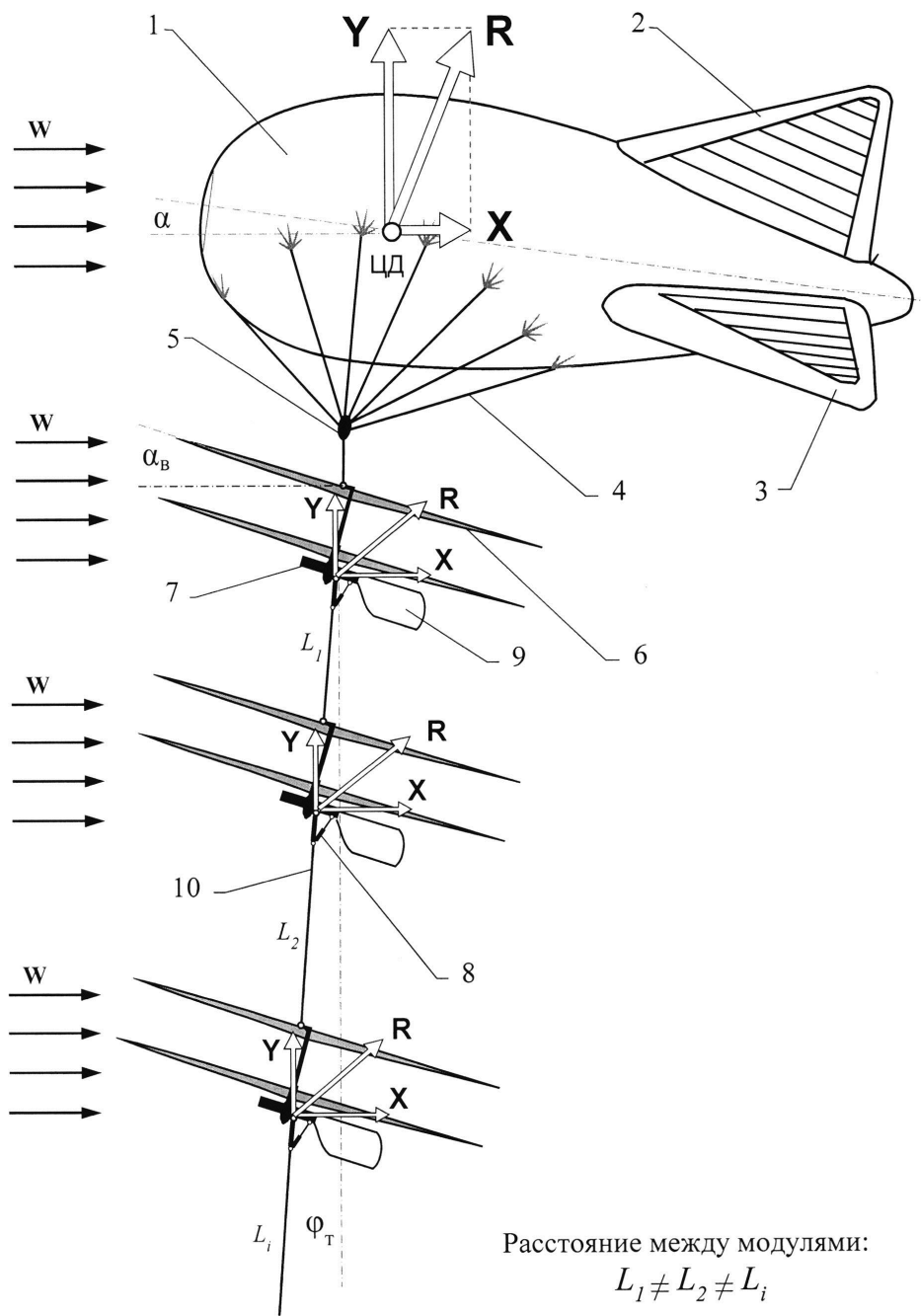
30

35

40

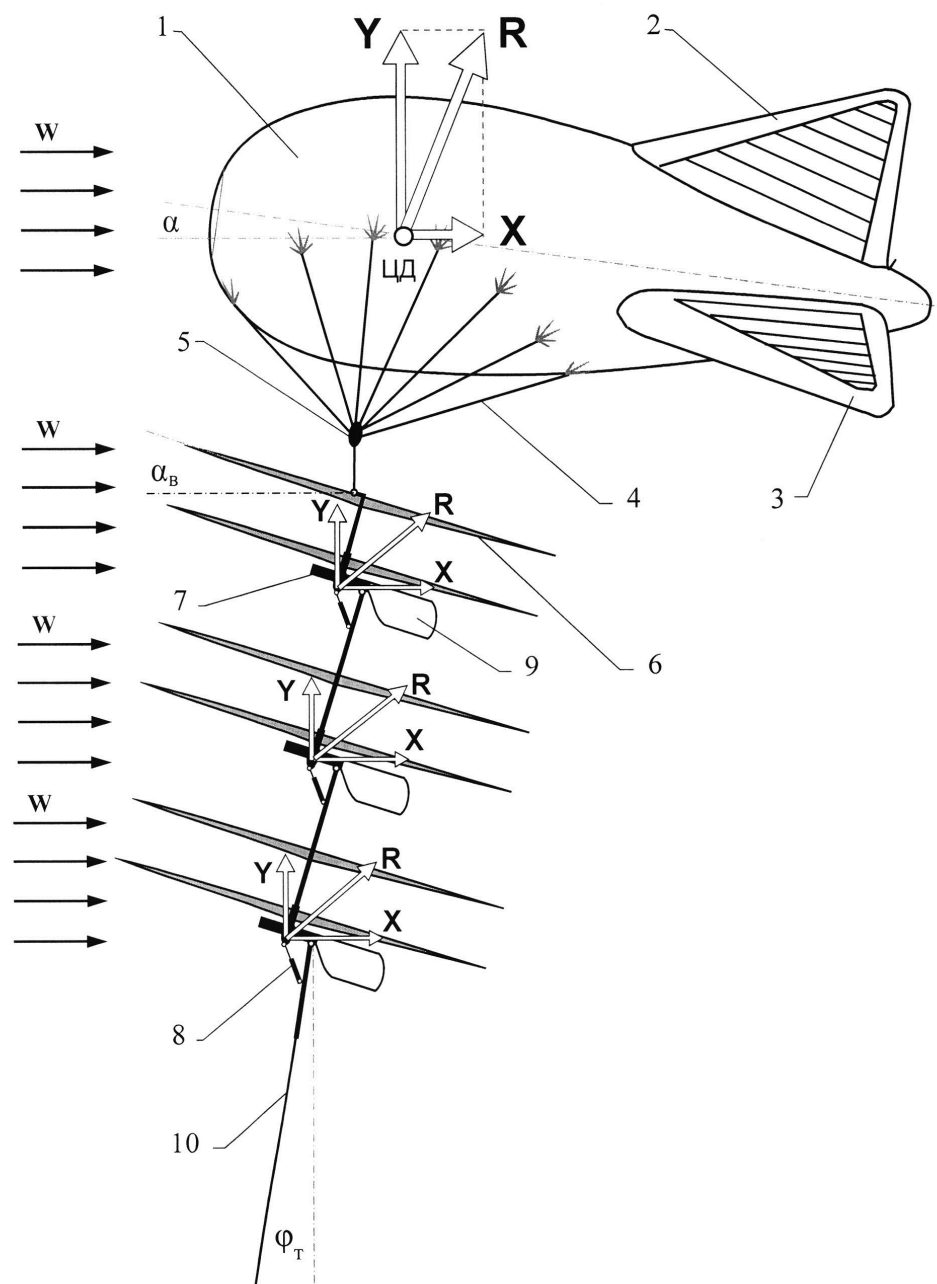
45

1



Фиг.1

2



Фиг.2