

ЛЕТАЮЩИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

Соколовский Юлий
Кандидат технических наук.
Хайфа..(Израиль).
Тел. +(972) 549065410

NEW SOLUTIONS IN THE DESIGN OF WIND POWER PLANTS

Sokolovsky Yuliy
Ph.D. Haifa. (Israel)
Tel. +(972) 54 906 5410

Аннотация. Среди возобновляемых источников энергии важное место занимает энергия воздушного потока (ВП), которая может быть утилизирована и доступна практически в любом регионе Земли. Описаны оригинальные варианты конструкции таких установок.

Abstract. Among renewable energy it occupies an important place energy airflow (AF), which can be recycled and is available in almost any region of the Earth. The paper discusses the features of the two main types of construction of wind power plants: a horizontal rotation axis parallel to the direction of the AF, and a vertical axis perpendicular to the direction AF.

Ключевые слова: ветровая энергетическая установка, ось вращения, генератор, крыло, закрылок, лопасть, ветронасос.

Keywords: wind power plant, axis of rotation, generator, wing, flap, blade, wind pump.

Существенного прорыва по средней выходной мощности приземных традиционных ветроустановок не ожидается из-за невысокой среднегодовой скорости воздушных потоков (ВП). Высотная ветроэнергетика имеет огромный, долгосрочный потенциал, но сталкивается с разнообразными инженерными и нормативными проблемами. Исследователям еще предстоит выяснить, как безопасно подвесить ветровые турбины на высоте, как держать их в воздухе в течение длительного периода времени при сильных ветрах, и как избежать взаимных помех для авиации. Высотная энергия ветра может в конечном итоге стать более простым и дешевым способом извлекать энергию из ветра, нежели развитие традиционной ветроэнергетики. Такая ситуация может возникнуть по той причине, что не будет никакой необходимости в гигантских стальных и бетонных башнях или в поворотном механизме, который переориентирует стандартные ветровые турбины по мере изменения направления ветра. А в масштабах всего мира, высотная ветроэнергетика сможет обеспечить потребности всей планеты, обладая низкими затратами, используя специальные системы захвата ветра, которые будут парить на высотах, где сила ветра намного выше, чем она есть на уровне земли.

Скорость ВП - одна из основных характеристик, определяющая его энергию. Она измеряется в метрах в секунду (м/сек). Кинетическая энергия ВП определяется известным соотношением

$$E_{ВП} = \frac{1}{2} MV^2 \quad (1)$$

Масса M воздуха, протекающего со скоростью V через сечение S в 1 секунду, равна

$$M = \rho SV^2 \quad (2)$$

где ρ - плотность воздуха ($\rho = 1,23 \text{ кг/м}^3$) при температуре $t = 15^\circ\text{C}$ и атмосферном давлении 760 мм. рт. ст.

Повышение скорости ВП на высоте 1000м в 2,7раза и более повышает энергию ВП до 25 раз. Перерасчет скорости ВП V_0 с высоты H_0 на высоту оси ротора H_1 осуществляется по известной зависимости [1].

$$V_1 = V_0 \left(\frac{H_1}{H_0} \right)^K \quad (3)$$

Проблема заключается в выборе значений показателя k . Величина k во многих работах принимается $k = 0,143$. В нормативных документах [2] рекомендуют $k = 0,2$. В работе [3] для различных районов США представлены значения $k = 0,23$.

Летающие ветроустановки (ЛВУ) не требуют фундаментов и значительных транспортных издержек. При этом они работают с хорошим «коммерческим» ветром. Поэтому коэффициент использования установленной мощности ЛВУ достигает 70%. Но воздушная ветроэнергетика – это все еще перспективная инновация. Насколько

близка коммерческая эксплуатация? ЛВУ занимаются десятки компаний и уже довольно долго. Сможет ли новая технология трансформировать мировой рынок ветроэнергетики, поскольку ЛВУ дешевле в производстве и обслуживании, чем традиционные ветряки. Кроме того, их проще устанавливать в глубоководных местах, что особенно важно для таких рынков, как Португалия, Япония и Соединенные Штаты. Разработано и испытано несколько вариантов высотных ВЭУ, но все они обладают существенными недостатками: низкой надежностью и сложностью передачи энергии, циклическим характером производства электроэнергии и т.п.

Перерасчет скорости ВП V_0 с высоты H_0 на высоту оси ротора H_1 осуществляется по известной зависимости [1]:

$$V_1 = V_0 \left(\frac{H_1}{H_0} \right)^k. \quad (4)$$

где: V_0 и H_0 - известные значения скорости ветра (м/с) на исходной высоте (м); H_1 - запланированная высота (м); V_1 - определяемая скорость ветра (м/с); k - эмпирический показатель степени.

Проблема заключается в выборе значений показателя k . Значения k во многих работах принимается $k=0,143$. В нормативных документах [2] рекомендуют $k=0,2$. В [3] для различных мест США представлены значения $k=0,23$. Поэтому повышение скорости ВП на высотах порядка 1000м в 2,7раза и более увеличивает энергию ВП более чем в 20 раз.

1. При активном участии компании Omnicea был разработан HAWK (High Altitude Wind Energy) [4]. Эта воздушная платформа предназначена для производства электроэнергии. Платформа может подниматься на высоту до двух километров над землей. На такой высоте энергия ветра в восемь раз мощнее, а ВП — более устойчив.

Поэтому можно получать значительно больше энергии. Электромоторы вращают модуль, чтобы стабилизировать его в воздухе, а также для того, чтобы создать физическое явление, известное под названием **эффект Магнуса**, что значительно увеличивает подъемную силу. Это значительно увеличивает подъемную силу аэростата. Аэростат поднимается, натягивает трос, который вращает барабан, соединённый с электрическим генератором.

2. Запатентован Электрогенерирующий гироплан (ЭГ) [5] по рис.1.

В нем предусмотрено изменение угла атаки лопастей относительно вектора ВП.

Первый конец троса расположен рядом с землей, а второй - проходит вверх и закреплен на ЭГ. Для управления натяжением троса предусмотрен бортовой измеритель натяжения. Контроллер принимает сигналы от бортового измерителя натяжения, датчика скорости ВП и обеспечивает циклический контроль натяжения в тросе. Гиродины приводят в действие пропеллер при взлете ЭГ, а затем он летает с вращающимся пропеллером. Причем двигатель-маховик раскручивает пропеллер для подъема ЭГ в рабочую зону. ЭГ периодически возвращается на нижний уровень траектории. Происходит намотка троса на катушку, а ее электромашинка переходит в двигательный режим. Недостатки рассмотренной конструкции как в п.3.

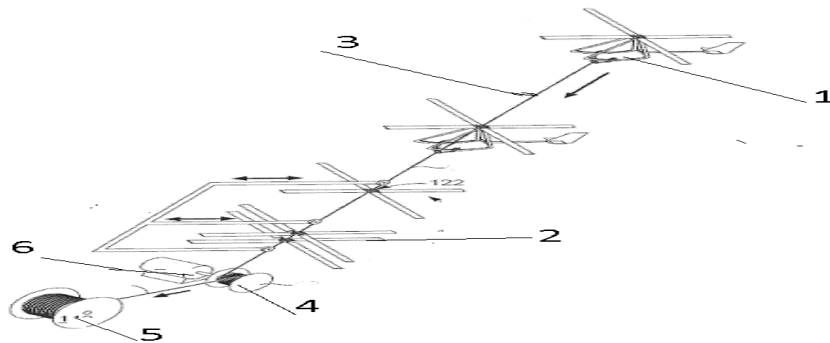


Рис.1 Электрогенерирующий гироплан.

(1-гироплан, 2-пропеллер, 3-трос, 4,5-катушки, 6-генератор.)

3. Подразделение Makani американской компании Google [6] разработало летающий ветрогенератор по рис. 2. При скоростях ветра ниже или выше расчетных ветрогенератор перестает работать. Аппарат, выполненный в виде самолета, который специальным тросом соединен с землей. Он оснащен восемью небольшими генераторами, соединенными с воздушными винтами диаметром 2,3 метра каждый. После взлета аппарат будет подниматься на рабочую высоту, а затем — кружить вокруг точки привязки.

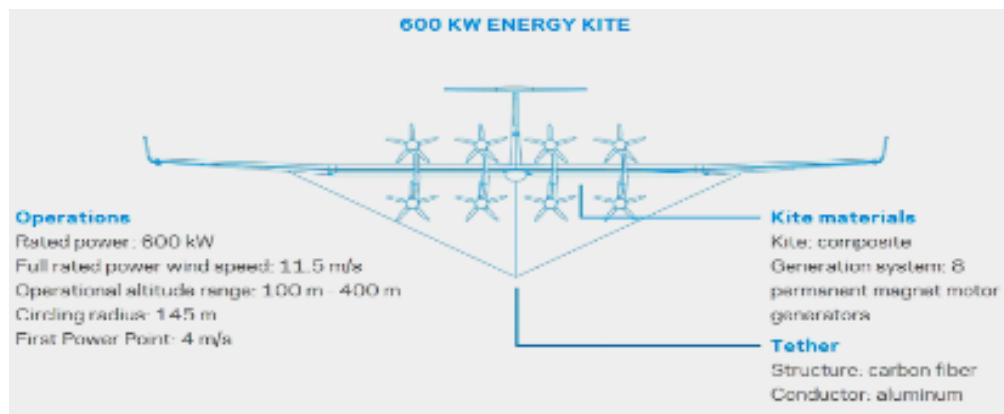


Рис.2. Ветрогенератор в виде кордового планера.

Недостатки рассмотренной конструкции:

1. В связи с наиболее вероятным движением ветрогенератора по траектории типа восьмерки преобразование энергии ВП в электроэнергию в разы больше при движении его против ветра, чем по направлению ветра. Т.е. имеет место циклический характер, существенно снижающий его эффективность.

2. Для выдачи нормализованного напряжения в промышленную сеть необходимы дополнительно большой емкости аккумулятор и соответствующие входные и выходные преобразователи.

4. Разработана летающая ветроэнергетическая установка [7,8] по рис.3. Был учтен опыт конструирования разработок [4-6]. Особенность разработанной конструкции ЛВУ в том, что пропеллер ее используется в основном для удержания ее в зоне заданной рабочей точки т.е. отсутствует движение по восьмерке. И лишь частично пропеллер- источник энергии ЛВУ. Энергию ВП, преобразуемую в электрическую энергию, получают непрерывно в рабочем режиме, в основном на ее ветроустановке, например, по [9].

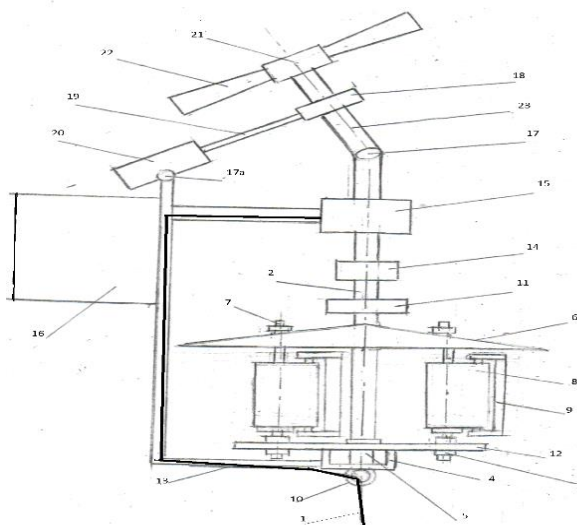


Рис.3. Летающая ветроэнергетическая установка.

1-кабель связи (КС), 2-основной вал, 3-крепёж ЛВУ, 4-опорный стакан, 5-опорный подшипник, 6-аэродинамическое крыло-летающая тарелка-(ЛТ), 7-ось крыла, 8-крыло, 9-закрылок, 10-кабельное кольцо, 11-коммутационная муфта, 12-нижний опорный диск, 13-вспомогательная скоба, 14-ускоряющий редуктор, 15-электрическая машина(ЭМ), 16-флюгер, 17-шарнир валов, 18-подшипник на валу-23 пропеллера гироплана -22, 21-узел управления положением крыльев -управляется из узла стабилизации (УС), 19-винт, жестко закрепленный к к обойме подшипника-18, 20-мотор –гайка с УС для ЛВУ.

Предлагается верхнему опорному диску - 6 собственно ветроустановки придать аэродинамическую форму крыла -летающей тарелки-(ЛТ) с (изменяемым) углом атаки относительно вектора ВП по рис.4 (а) -угол $\alpha \geq 0$), 5(б)- угол $\alpha \leq 0$ градусов.

Рабочий режим ЛВУ заключается в том, что до ее подъема в рабочую точку, пространственные координаты задают предварительно на стартовом столе в узел стабилизации УС-20 и контролируются системой ГЛАНАС (GPS). Для съема энергии ВП в ветроустановке верхний опорный диск-ЛТ , жестко связан с валом-2, который через включенную коммутационную муфту -11 и ускоряющий редуктор-14 вращает нижний конец вала ЭМ-15, работающей в генераторном режиме и передающей электроэнергию через КС-1 на стартовый стол. (см.Рис.5, вид сверху).

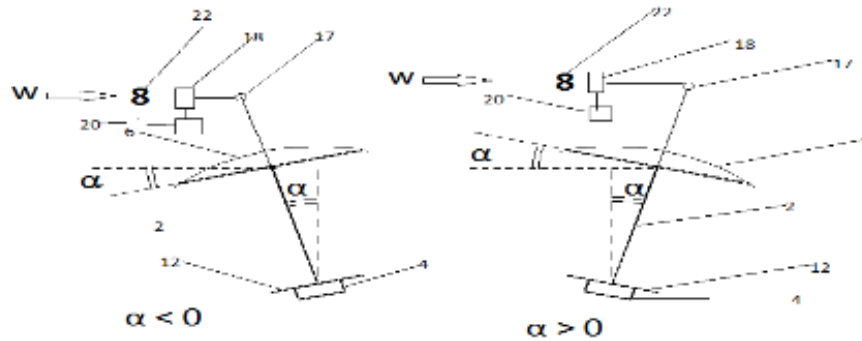


Рис.4.Изменение угла атаки ЛТ в ЛВУотносительно вектора ветра В.
2-основной вал, 6-летающая тарелка-ЛТ, 17-шарнир, мотор-гайки и узел стабилизации УС-20, 22-пропеллер,23- вал пропеллера.

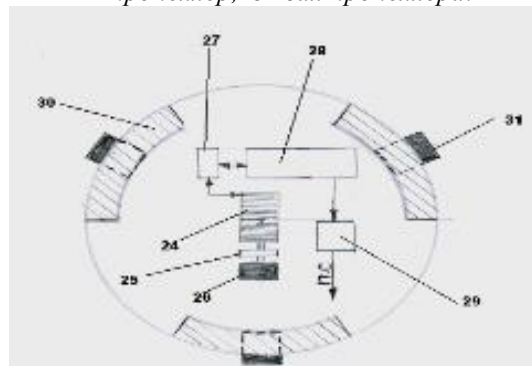


Рис.5. Стартовый стол (вид сверху).
24-катушка с КС,25- муфта, 26- реверсивный электродвигатель перемотки катушки, 27-РТЗР, 28- емкий аккумулятор, 29-инвертор,30-опорные полки для ЛТ, 31- несущие конструкции стартового стола, П.С.-промышленная сеть.

Установочный режим. Вертикальный подъем (возвращение на стартовый стол) ЛВУ осуществляется пропеллером, причем вертикальное положение КС обеспечивается флюгером и УС, который задает положение шарнира и пропеллера в плоскости параллельной ВП. С учетом координат рабочей точки и информации от системы ГЛАНАС, выставляется положение крыльев пропеллера на оптимальный угол атаки α и задается скорость его оборотов от ЭМ в режиме двигателя, который получает электроэнергию со стартового стола через КС.

Контроль натяжения КС в обоих режимах осуществляется на стартовом столе. Используется информации от датчиков скорости ВП и задание тока ЭМ (т.е. оборотов ЭМ в режиме генератора за счет изменения нагрузки) УС. Натяжение КС в зоне контроля (у кабельной катушки - 24 на стартовом столе при запуске и в рабочем режиме) задается регулятором натяжения (РН). Если на земле рассматриваемая ЛВУ имела бы примерно 40 квт при скорости ВП на земле 10м/сек , то при работе на высоте 1км скорость ВП имеем порядка 30 м/сек и мощность более мегаватта. При этом вес ЭМ мощностью мегаватт сопоставим с весом 8 генераторов мощностью 600квватт в [6]. Оценим подъемную силу ЛТ в конструкции по Рис.3.4. Подъемная сила крыла при угле атаки α по Рис.6. определяется по известной формуле

$$Y=C_y * \rho * V^2 * S/2 \quad (5)$$

где C_y - коэффициент подъемной силы крыла -0,7, ρ -массовая плотность воздуха - $1,2\text{кг/м}^3$. V -скорость ветра на рабочей высоте ЛВУ- 10-30м/сек., S - площадь крыла- летающей тарелки- 1256м^2

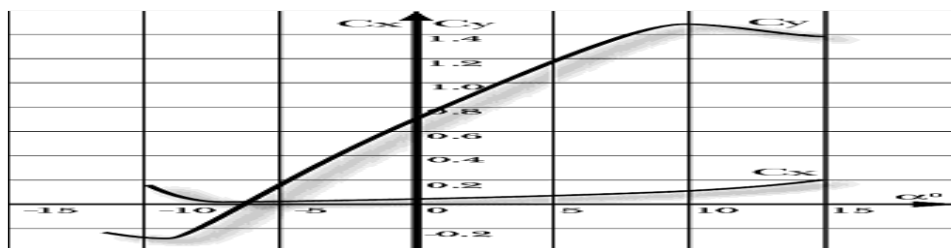


Рис.6. Зависимость коэффициентов от угла атаки аэродинамического крыла.

При минимальной рабочей скорости ВП 10 м/сек. и угле атаки 10 градусов подъемная сила

ЛТ $Y = 1,5 * 1,2\text{кг/м}^3 * 100\text{ м}^2/\text{сек}^2 * 628\text{м}^2 = 113040\text{ кгм/сек}^2$ (ньютонов) = 11304кг.

При рабочей скорости ВП 30м/сек и угле атаки 10 градусов подъемная сила ЛТ $Y = 1,5 * 1,2\text{кг/м}^3 * 900\text{ м}^2/\text{сек}^2 * 628\text{м}^2 = 1017360\text{ кгм/сек}^2$ (ньютонов) = 101.736кг

При весе кабеля-2тонны и ЛВУ с электрооборудованием порядка 5 тонн с учетом подъемной силы ЛТ нагрузка на пропеллер минимизируется в широком диапазоне скоростей ВП.

Рассмотренная ЛВУ имеет ряд недостатков, снижающих ее эффективность и вероятность реализации.

1. УС с помощью пропеллера и флюгера поддерживает положение вертикального вала в плоскости параллельной ВП, но в конструкции ЛВУ отсутствует средство поддержания положения вертикального вала перпендикулярной земной поверхности.

2. Аэродинамическое крыло в виде ЛТ не может обеспечить оптимальный профиль по всей поверхности ЛТ. Это заметно снижает его эффективность (величину подъемной силы при соответствующем угле атаки).

Для ликвидации указанных недостатков проведена корректировка конструкции выше рассмотренной ЛВУ [10] по рис.7.

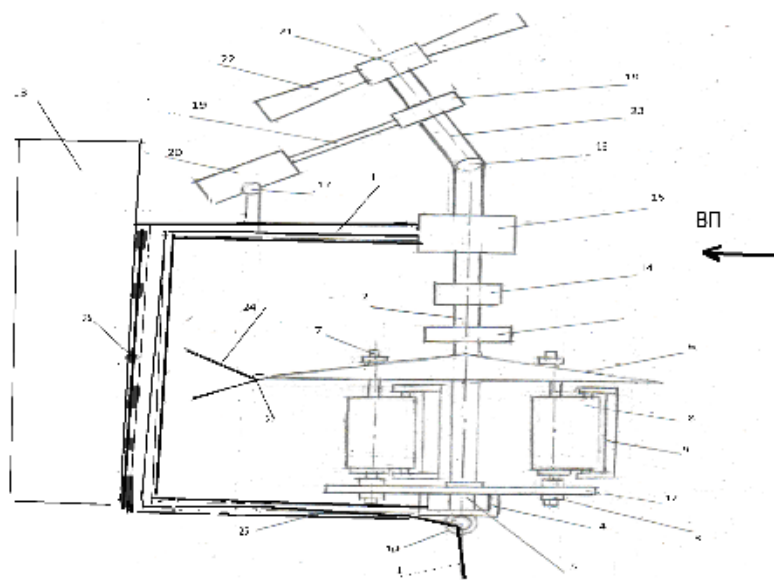


Рис.7.

1-кабель связи, 2-вертикальный вал, 3-крепежные гайки ветроустановки, 4-опорный стакан, 5-опорный подшипник, 6-несущее аэродинамическое крыло, 7-ось крыла ветроустановки, 8-крыло ветроустановки, 9-закрылок крыла ветроустановки, 10-кабельное кольцо, 11-коммутационная муфта, 12-нижний опорный диск, 13-флюгер, 14-ускоряющий редуктор, 15-электромашина. 16-шарнир валов, 17- вспомогательный шарнир, 18-подшипник на валу-23 пропеллера - 22,19-винт, жестко закрепленный к обойме подшипника -18, 20 - мотор – гайка с узлом управления и стабилизации (УС) ЛВУ. В состав ЛВУ входит собственно ветроустановка с вертикальным валом типа Дарье, например, по [7], 24 - левый и правый закрылки несущего аэродинамического крыла-6, 25 - несущая скоба, 26 - жесткий крепеж флюгера к несущей скобе, 27 –сервоприводы закрылков несущего аэродинамического крыла. Корпус электрической машины жестко прикреплен к несущей скобе -25,

причем верхний конец ее вала подключен к валу – 23, пропеллера - 22 через шарнирное соединение валов -16, причем УС - 20 поддерживает положение вертикального вала в плоскости параллельной ВП и перпендикулярной земной поверхности с помощью пропеллера - 22, флюгера - 13, гироскопа и сервоприводов – 27, закрылков – 24, несущего аэродинамического крыла - 6. Крыло - 6 жестко закрепляют к вертикальному валу - 2 собственно ветроустановки вместо ЛТ при сохранении нижнего опорного диска -12. Этим же узлом управляют мотор-гайкой - 20 с винтом - 19, соединяющим мотор-гайку с подшипником - 18 на валу пропеллера -23.

С помощью шарнира валов - 16 устанавливают угловое положение вала пропеллера-23 относительно вертикального вала-2, обеспечивая стационарное положение ЛВУ в заданной рабочей точке пространства при некотором угле атаки α несущего аэродинамического крыла-6 относительно направления ВП примерно в диапазоне от +10 до - 6 градусов при изменениях скорости ВП в диапазоне 10-30м /сек.

Для эффективного внедрения предлагаемого “Способа.....” необходима ЛВУ значительной мощности (5-15мегаватт) в связи со сложностью систем управления и их согласования, а также значительных веса, габаритов ее отдельных узлов и требований к прочности отдельных деталей (валов, крыльев, закрылков, флюгера и т.п. при силовых ветровых нагрузках). Очевидно, что применение новых перспективных материалов, обладающих повышенной прочностью и проводимостью, упростит реализацию рассмотренной ЛВУ. Сегодня нанотехнологии позволили ученым изготовить углеродную пластину-графен более твердую, чем алмаз. Это самый тонкий и прочный материал во Вселенной, который пропускает электричество намного лучше кремния.

БИБЛИОГРАФИЯ

- 1.Васько П.Ф. Разрахунок показників технічної ефективності застосування вітроелектричних установок за результатами строкових вимірювань швидкості вітру / Технічна електродинаміка, №6, 2001. – с.45-49.
- 2.Системи турбогенераторні вітряні. Частина 1. Вимоги безпеки / ДСТУ ІЕС 61400-1. – К.: Держспоживстандарт України, 2003.
- 3.Justus C.G., Mikhail A. Height Variations of Wind Speed and Wind Distributions Statistics, Geophy. Res. Letters, 3, 251-264, 1976.
- 4.Аэростат с эффектом Магнуса. <http://omnidea.net/site/>.
- 5.Grant Howard Calverley, Электрогенерирующий гироплан, устройство и методика управления. United States Patent № 9,759,188 В2 от12.09.2017г.
- 6.Летающий ветрогенератор. [1//https://ecotechnica.com.ua/energy/veter/2471-makani-ispytala-novyj-letayushchij-vetrogenerator-video](https://ecotechnica.com.ua/energy/veter/2471-makani-ispytala-novyj-letayushchij-vetrogenerator-video).
7. Соколовский Ю.Б, Рыжевский Ю.М., Иванова О.Ю. Способ преобразования кинетической энергии ветра на летающей ветроэнергетической установке. Заявка РФ с положительным решением №2018127364 от 25.07.2018г.
8. Sokolovsky Y.B. High-altitude wind plants. Sita-Journal (vol.21, no.2-3, 2019)
9. Гуревич В.А., Соколовский Ю.Б, Соколовский Д.Ю., Фролов Е.А. Способ преобразования кинетической энергии потока во вращательном движении крыла и установка для осуществления этого способа. Патент RU №2589569. Опубликовано 10.07.2016г. Бюлл. № 19.
- 10.Соколовский Ю.Б., Иванова О.Ю. Способ преобразования кинетической энергии воздушного потока на летающей ветроэнергетической установке. Заявка РФ № 2019122923/20. Дата подачи заявки 16.07.2019г.