

ВЫСОТНАЯ ЗЕЛЁНАЯ ЭНЕРГЕТИКА НА ОСНОВЕ АЭРОСТАТОВ С ПОЛИСПАСТНЫМИ ПРИВЯЗНЫМИ СИСТЕМАМИ

HIGH-ALTITUDE GREEN ENERGY BASED ON BALLOONS WITH POLISPAST TETHERED SYSTEMS

Александр Косарев, д.т.н., профессор.

Оренбургское отделение АН «Векторной энергетики» (Россия)

E - mail: nikita_kosarev@mail.ru

Alexander Kosarev, Doctor of Technical Sciences, Professor.

Orenburg Branch of the Academy of Sciences "Vector Energy" (Russia)

E-mail: nikita_kosarev@mail.ru

Аннотация

Предложено конструктивное решение по расположению на большой высоте солнечных панелей и ветрогенераторов. По оценкам энергия высотных ветровых потоков в 100 раз превышает сегодняшнее потребление энергии на планете. Потоки солнечной энергии многократно мощнее. Это обеспечит энергопотребление на десятилетия вперёд. Промышленность серийно производит оборудование и материалы для реализации высотных проектов в области зеленой энергетики. Высотная зеленая энергетика придаст новый импульс развитию экологически чистой возобновляемой энергетики.

Ключевые слова: аэростат, полиспаст, солнечные панели, ветрогенераторы, экологическая безопасность, чистая энергия.

Abstract

A constructive solution is proposed for the location of solar panels and wind generators at a high altitude. According to estimates, the energy of high-altitude wind flows is 100 times higher than today's energy consumption on the planet. Solar energy flows are many times more powerful. This will ensure energy consumption for decades to come. The industry produces equipment and materials for the implementation of high-altitude green energy projects in series. High-altitude green energy will give a new impetus to the development of environmentally friendly renewable energy.

Keywords: balloon, polispast, solar panels, wind generators, environmental safety, clean energy.

На 5-ой Международной научно-практической конференции “Формирование комфортной среды Средиземноморья” был представлен доклад «Телекоммуникационный и туристический развлекательный комплекс на основе привязного аэростата». [3]. Конструктивное решение было направлено на создание высотной несущей конструкции (до нескольких километров), повышение её устойчивости против стихийных бедствий, в частности против ураганных ветровых нагрузок и землетрясений, повышение надёжности несущей гелиевой оболочки и создание условий для ремонта конструкции при длительной эксплуатации в течении десятков лет без опускания её на землю. Полезная нагрузка, которую способна нести конструкция, может составлять тысячи тонн. Эти результаты достигались применением полиспастной привязной системы. [2]. При обсуждении доклада коллегами Ильёй Златкис и Михаилом Козловым было предложено, наряду с предложениями автора, использовать несущую конструкцию и для расположения на высоте солнечных батарей. Это давало многие очевидные преимущества в сравнении с расположением солнечных панелей на поверхности Земли. Не требуется всё более дефицитных больших площадей на поверхности. На высоте атмосфера чище, что улучшает работу панелей и не так загрязняются их поверхности. Значительно меньше влияние осадков.

Вторым побудительным мотивом для доклада по теме «Высотная зелёная энергетика» стала информация, полученная мною на ЗУМ - семинаре института «Интеграции и адаптации» от 20 марта 2022 года по теме: “Высотные ветровые энергоустановки”. Доклад д.т.н. Юлия Соколовского. Но особое впечатление на меня произвёл содоклад по теме профессора Германа Трофимова. Должен сказать, что до этого семинара я скептически относился к приземной ветроэнергетике, так как не понаслышке знал о тех проблемах, которые озвучил для приземной ветроэнергетики профессор Трофимов. Но информация предоставленная Трофимовым Г.Г. по возможностям высотной ветроэнергетики буквально перевернула мои представления. Таким образом коллеги побудившие написать этот доклад по факту являются соавторами.

НЕСУЩАЯ КОНСТРУКЦИЯ ДЛЯ ВЫСОТНОЙ ЗЕЛЁНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

На прошлой конференции несущую конструкцию на основе привязного аэростата было предложено использовать для длительного расположения на большой высоте радио и теле передатчиков, сотовой связи. Для организации мест отдыха и развлечений. В данном докладе предлагается использование конструкции для целей высотной солнечной и ветрогенерации.

Обратимся к рисунку -1. На рисунке слева изображён отдельный конструкционный элемент, из которых набирается конструкция любой требуемой мощности. Конструкция элемента состоит из гелиевой оболочки - 1 и привязной полиспастной системы (выделена розовым цветом). На поверхности оболочки аэростата с солнечной стороны располагаются солнечные панели -2. В раме, привязанной на весу к гелиевой оболочке, крепятся ветрогенераторы -3.

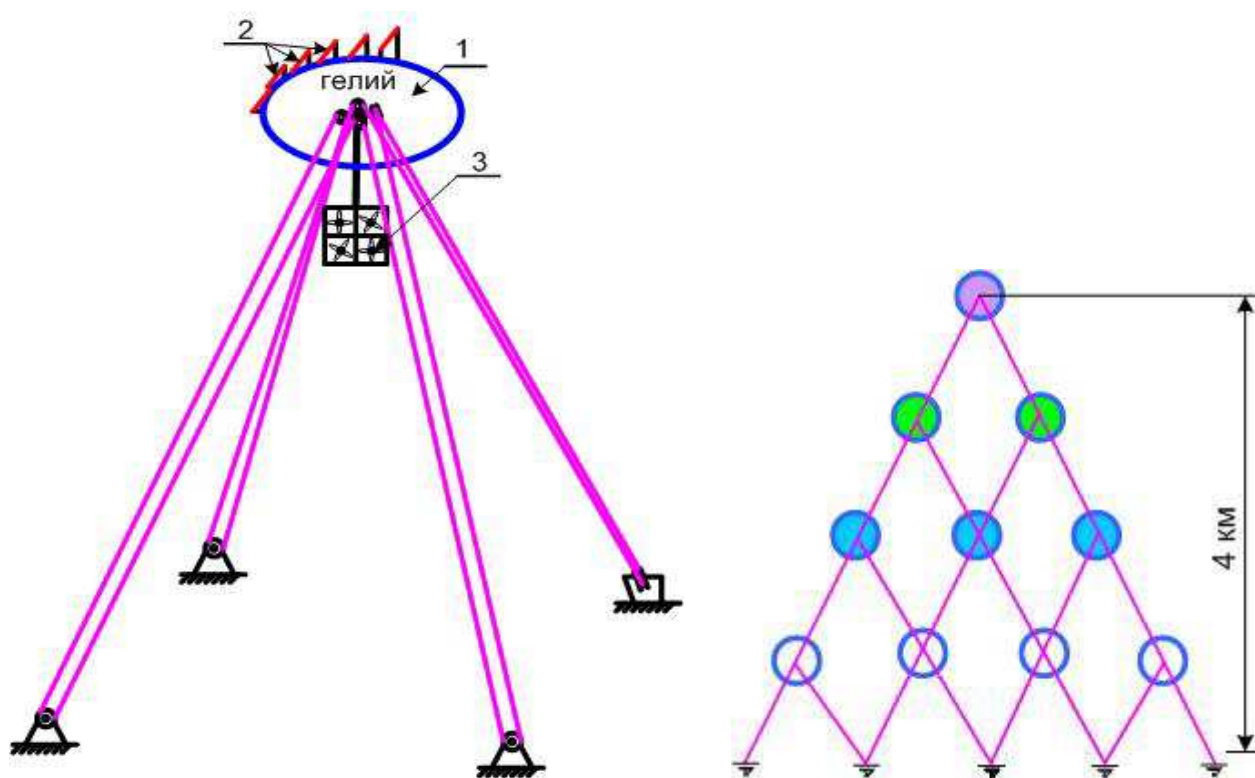


Рис. 1. Схема отдельного конструкционного элемента, слева. Справа, схема сборки конструкции необходимой высоты и мощности из отдельных элементов.

На рисунке -2 ниже показана схема сборки конструкции требуемой мощности из элементов изображённых на рисунке -1 (слева). Для примера изображена конструкция высотой 4-е километра, включающая 30-ть несущих гелиевых оболочек. Справа изображён вид сбоку, слева - вид в плане.

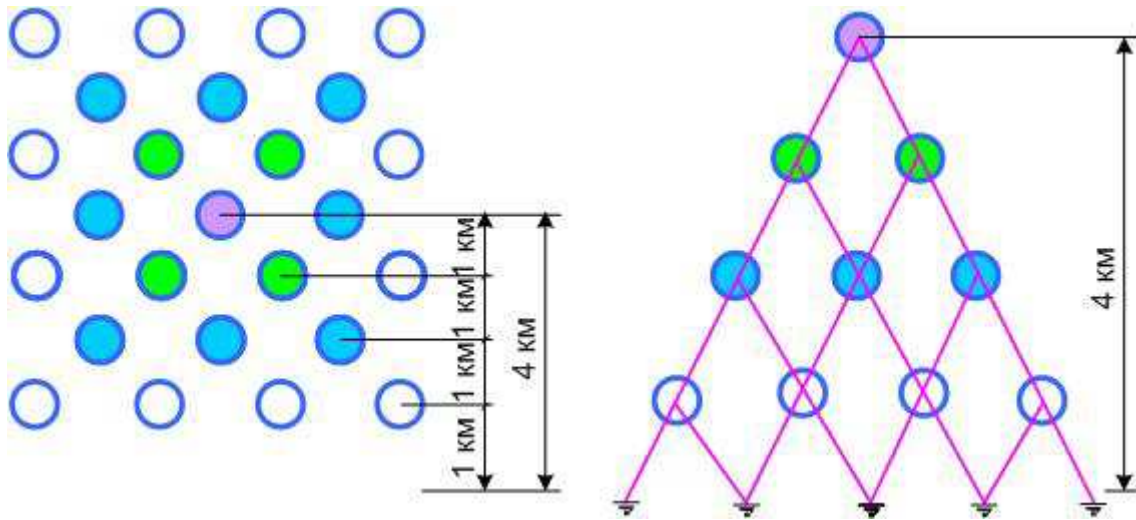


Рис. 2. Схема пирамидальной конструкции.

Площадь поверхности под конструкцией составляет порядка 20 -ти км². Но она практически пустая, т.к. занята только фундаментными якорями конструкции. Фундаментных площадок будет 25 штук (Рис. 2) на 20 квадратных километров. Площадь под конструкцией может быть использована в хозяйственных целях.

ПРЕИМУЩЕСТВА ВЫСОТНОЙ СОЛНЕЧНОЙ И ВЕТРОВОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Расположение солнечных панелей на высоте нескольких километров даёт многие очевидные преимущества в сравнении с их расположением на поверхности Земли. Не требуется больших всё более дефицитных площадей на поверхности. На высоте атмосфера чище, что улучшает работу панелей и не так загрязняются их поверхности. Значительно меньше влияние осадков, т.к. дождевые облака имеют высоту порядка 2-х километров. Преимущества расположения ветрогенераторов на высоте ещё большие. Это связано с тем, что скорость ветровых потоков с высотой увеличивается с 5 м/сек вблизи поверхности до более 20 м/сек на высоте 10 километров. Это видно из известного графика зависимости скорости ветра с высотой на рисунке - 3 слева. Замеры проводились на территории Нидерландов. А мощность ветровых потоков в зависимости от скорости потоков изменяется в кубической зависимости. Ещё одна особенность ветровых потоков на высоте в том, что с высотой они становятся более стабильными и по величине и по направлению, нежели приземные.

Сделаем оценку обеспечения энергетических возможностей для отдельного конструкционного элемента, изображённого на Рис.1 и конструкции изображённой на Рис.2 для диаметра аэростата равного 200 метров. Мы принимаем форму оболочки аэростата шаровой с целью упрощения численных оценок. При реальном воплощении форму аэростата того же объёма лучше принять в виде сплюснутого эллипсоида вращения. При неизменной грузоподъёмности такая форма оболочки будет иметь меньшее ветровое сопротивление и большую площадь для установки солнечных панелей. Сразу отметим, что цель доклада - показать возможности высотной солнечной и ветрогенерации. Отсюда численные оценки будут приближёнными. Это не конкретное проектное решение, где требуется скрупулёзная точность.

Полный объём шара: $V = 1/6 \pi D^3 = 1/6 \cdot 3,14 \cdot 200^3 = 4186667 м^3$.

Площадь внешней поверхности шара (несущей гелиевой оболочки):

$$S = \pi D^2 = 3,14 \cdot 200^2 = 125600 м^2.$$

Принимаем площадь солнечных панелей равной 1/4 площади шара, т.е. поверхности на которую падает солнечный свет. $S_{с.п.} = 31400 м^2$. КПД современных панелей достигает 20% и мощность снимаемая с 1-го м² поверхности составляет примерно 200 ватт. Примем среднесуточную мощность в 100 ватт, т.к. ночью солнечная генерация не работает. Средняя

мощность солнечной энергии в течении суток снимаемая с поверхности шара диаметром 200 м^2 составит: $N_{\text{с.п.}} = 100 \text{ Вт} * 31400 \text{ м}^2 = 3,14 \text{ МВт}$.

Теперь оценим мощность ветрогенерации, которую обеспечит конструкционный элемент, изображённый на Рис.1. Оценку произведём по совокупной мощности и весовым характеристикам ветрогенераторов Enecon E-126, подвешенных на конструкционный элемент. Ветрогенератор Enecon E-126 имеет мощность - $7,58 \text{ МВт}$. Общий вес конструкции - 6000 тонн . В том числе вес бетонного фундамента - 2500 тонн . Вес самого ветрогенератора - 2800 тонн , в том числе вес электрогенератора - 220 тонн , вес ротора с лопастями - 364 тонны . Вес рабочих органов (электрогенератора и ротора с лопастями) составляет 584 тонны . Пусть вместе с подвесной системой будет $700 - 800 \text{ тонн}$.

Определим подъёмную силу рабочего объёма гелиевой оболочки аэростата:

Рабочий объём несущей оболочки заполняем гелием. Для увеличения надёжности гелиевой оболочки на случай порыва, заполним рабочий объём гелиевой оболочки большим количеством гелиевых шаров малого диаметра. Если диаметр малых гелиевых шаров принять равным 20 метров , то для заполнения шара диаметром в 200 метров потребуется 900 малых шаров. При диаметре малых шаров в 30 метров потребуется 270 малых шаров. Материал оболочки малых шаров займёт часть полезного объёма аэростата. Будут возможно и другие причины снижения полезного объёма. С учётом этого снижаем на 10% полезный объём. Отсюда рабочий объём гелиевой оболочки, обеспечивающий подъёмную силу:

$$V_p = 0,9V = 0,9 \cdot 4186667 = 3768000 \text{ м}^3.$$

С учётом этого подъёмная сила гелиевой оболочки аэростата составит:

$$F^{(200)} = (\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{He}}) \cdot V_p = (1,2047 - 0,1785) \cdot 3768000 = 3866721 \text{ кг} \approx 3860 \text{ тн}.$$

Эта подъёмная сила за вычетом веса гелиевой оболочки, веса привязной системы и избыточной силы для уравнивания ветровой нагрузки даёт величину полезного веса размещаемого на конструктивном элементе (Рис. 1).

Определим ветровую нагрузку на несущую гелиевую оболочку:

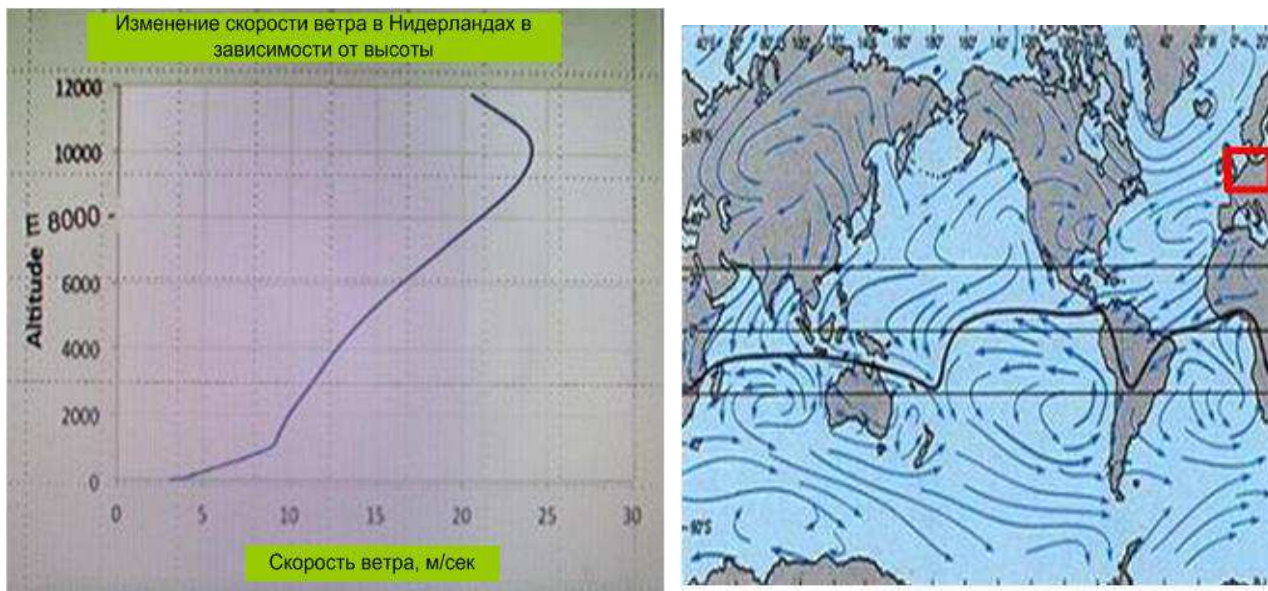


Рис. 3. Ветровые диаграммы.

Динамическую ветровую нагрузку на шар будем определять как нагрузку на плоскость большого круга шара. На самом деле нагрузка на шар будет несколько меньше из-за обтекаемости шара. Площадь ветровой нагрузки, площадь большого круга составит:

$$S_{ветровой\ нагрузки} = \pi \frac{D^2}{4} = 3,14 \frac{(200\text{м})^2}{4} = 31400\text{м}^2$$

Динамическое давление на один квадратный метр площади при скорости ветра в 12 м/сек определим по формуле: $P_{дин.} = \frac{v^2 \cdot \rho_v}{2} = \frac{(12\text{м/сек})^2 \cdot 1,2047\text{кг/м}^3}{2} = 86,7\text{Па} = \frac{86,7}{100000}\text{кг/см}^2$

Скорость ветра находим из графика на Рис. 3. На графике слева изображено изменение скорости ветра с высотой в Нидерландах. Справа изображена схема ветровых потоков в атмосфере Земли. Красным квадратом отмечено место над Нидерландами. Как отметил профессор Трофимов скорость и направление ветра на больших высотах достаточно стабильны. Скорость ветра для пирамидальной конструкции на Рис. 2, согласно графика на рисунке - 3, меняется от 7 до 12 м/сек. В расчёте принимаем максимальную скорость 12 м/сек. Общая динамическая нагрузка на шар составит:

$$P_{дин.}^{(200)} = P_{дин.} \cdot S_{ветровой\ нагрузки} = \frac{86,7}{100000}\text{кг/см}^2 \cdot (31400 \cdot 10000)\text{см}^2 = 272238\text{кг} \approx 272\text{тн.}$$

Подъёмная сила, уравнивающая данную ветровую нагрузку при угле наклона канатов к поверхности Земли в 60° составит 470 тонн.

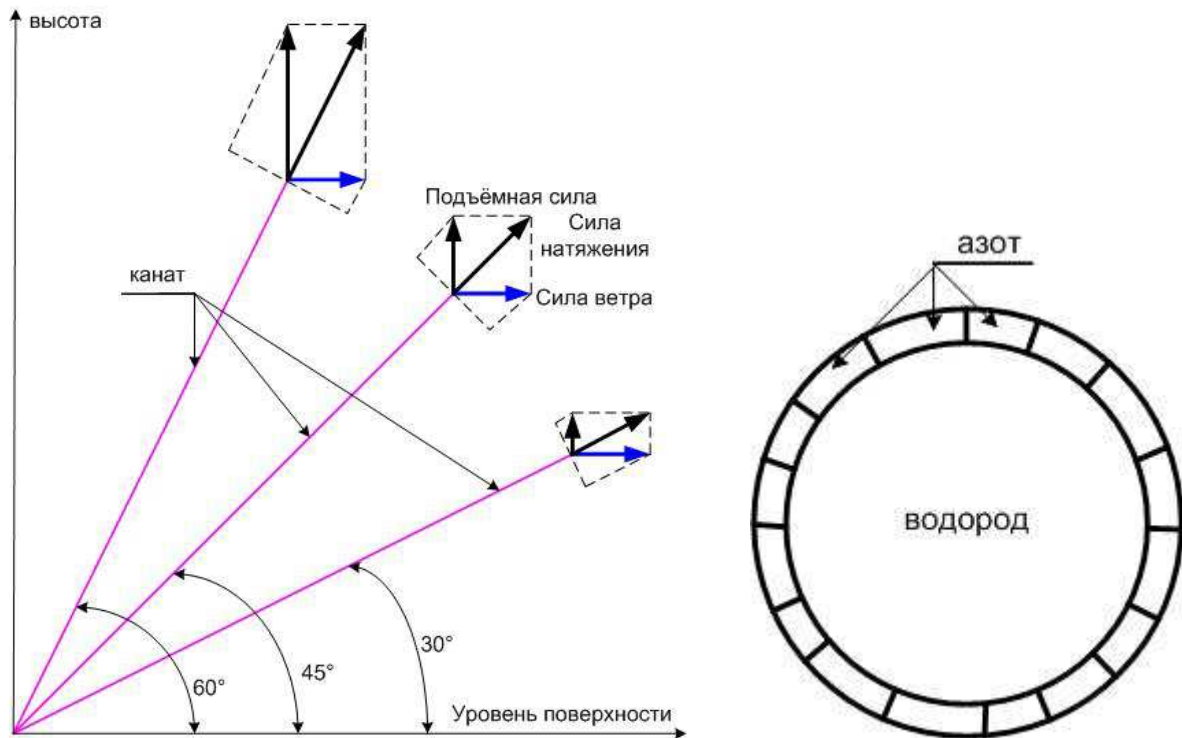


Рис. 4. Диаграмма ветровых нагрузок в зависимости от угла наклона канатов (слева). Справа - вариант конструкции малого шара оболочки аэростата.

Оценки проводились для гелиевой оболочки в 200 м и высоте конструкции в 1000 м. В расчётах использовались стальные канаты с 3-х кратным запасом прочности привязной системы. Учитывались затраты подъёмной силы для компенсации ветровых нагрузок. Даже для тяжёлых стальных канатов величина полезного веса размещаемого на одном конструктивном элементе составляет более тысячи тонн. Если заменить стальные канаты современными синтетическими, вес которых в разы меньше, а разрывные усилия сравнимы со стальными канатами, то величина полезного веса размещаемого на конструктивном элементе составит как минимум 1500 тонн. Этого хватит и для размещения солнечных панелей и хотя бы одного ветрогенератора Enercon E-126. Таким образом суммарная мощность генерируемая солнечными панелями и ветрогенератором Enercon E-126 составит $3,14 + 7,58 = 10,7\text{ Мвт}$. Пирамидальная конструкция,

изображённая на Рис. 2 имеет 30 -ть гелиевых оболочек. Отсюда суммарная мощность пирамидальной установки составит:
 $10,7 * 30 \approx 320 \text{ Мвт}$.

Предложенная конструкция высотой 4-е километра легко масштабируется до высоты, например, 8-мь километров. Для этого достаточно увеличить число слоёв аэростатов до 8-ми. В результате число единиц аэростатов увеличится с 30-ти до 204-х, в 6,8 раза. Соответственно увеличится и поверхность для размещения солнечных панелей и возрастёт их суммарная мощность. Съём ветровой мощности возрастёт ещё больше, так как с высотой до 10-и километров скорость ветра возрастает. (См. Рис.3). В этом случае речь идёт уже о гига ваттных мощностях.

Можно пойти и по другому конструктивному варианту. Увеличить расстояние между слоями аэростатов до 2-х километров и, например, вдвое увеличить размеры аэростатов. При этом, скажем для шаровой формы аэростата, увеличение радиуса вдвое приводит к увеличению поверхности вчетверо, а объёма в восемь раз. Соответственно росту объёма увеличивается грузоподъёмность аэростата и экономическая эффективность установки. К тому же рост веса самой конструкции резко отстаёт от роста подъёмной силы. Следовательно гелиевая оболочка диаметром в 400 м обеспечит мощность солнечных батарей в 12 Мвт, а мощность ветрогенерации до 60 Мвт. Суммарная мощность пирамидальной конструкции на Рис. 2 достигнет в этом варианте 2160 Мвт.

Для большей эффективности использования земной поверхности, увеличения эффективности использования потоков солнечной и ветровой энергии предлагается высотная конструкция в виде энергетической стены, изображённой на Рис. 5.

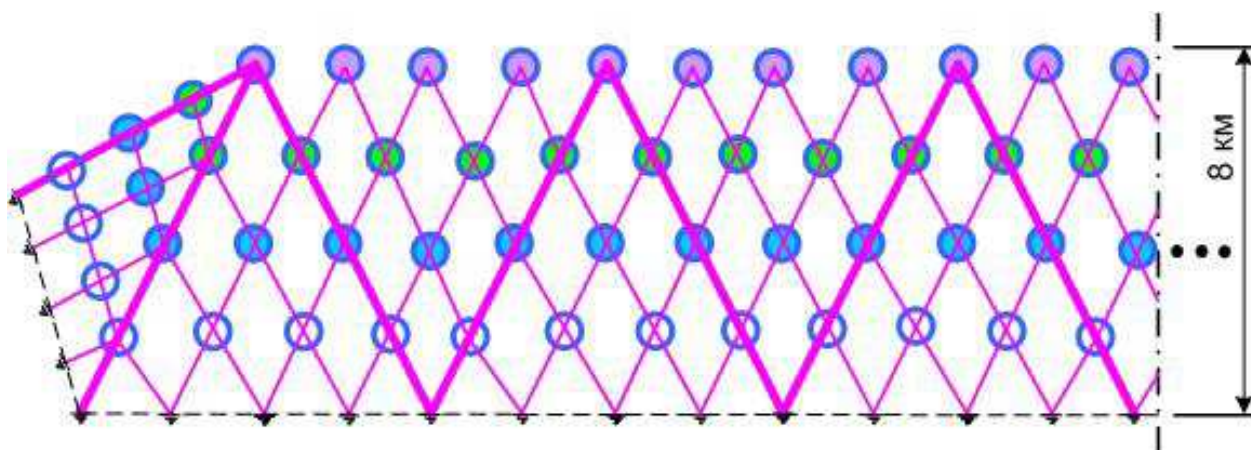


Рис. 5. Энергетическая стена.

Она получается последовательным размещением пирамид (обозначены жирными линиями) и заполнением пространства между пирамидами дополнительными гелиевыми оболочками. Длина таких конструкций может достигать десятков и сотен километров. Например, в прибрежной морской зоне (на мелководье) Нидерландов, для которых приведён график ветровых нагрузок с высотой, разместим энергетическую стену из 20-ти пирамид. Эта конструкция растянется на 184 километра и будет состоять из 790 гелиевых оболочек диаметром 400 метров. Учитывая, что одна гелиевая оболочка диаметром 400 метров обеспечивает генерацию минимум 72 Мвт электроэнергии, то энергетическая мощность такой стены составит примерно 56900 Мвт или 56,9 Гвт. Отметим, что суммарная установленная мощность электростанций Европейского союза составляет 962 Гвт. При этом возобновляемые источники дают 48,5% от общей мощности и производят 33,1% электроэнергии.

ПРОМЫШЛЕННАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.

Дополнительные условия промышленной безопасности для высотной зелёной энергетики связаны с работой на большой высоте и возможностью падения тяжёлых предметов на Землю. Кардинальным решением данной проблемы является использование безлюдных технологий как на

высоте так и при работе на Земле, например при проведении сельхоз работ. Современный уровень техники позволяет это сделать.

Экологическая безопасность имеет и плюсы и минусы. Плюсом является освобождение больших территорий от пром. использования, снижается вибрационное воздействие на фауну данной территории. Минусом станет видимо чрезмерное снижение мощности ветровых потоков, что может пагубно отразиться на климате. Здесь необходимо проявлять осторожность. Но такой факт. Если использовать только 5% ветровой энергии, то это ни как не скажется на глобальной розе ветров (Рис. 3 справа), а мощность потребления электро энергии на планете возрастёт в 6 -ть раз. И это только ветрогенерация. Возможности солнечной генерации ещё выше.

Кратко остановимся ещё на одной проблеме. Гелий очень текучий газ, что требует его периодического пополнения. Гелий газ дорогой и производится на специальных производствах. Хорошим заменителем гелию является водород, который можно производить в специальных реакторах на месте. Но это взрывоопасный газ и его использование запрещено. Однако сегодня В. Азатьяном, учеником знаменитого учёного химика Семёнова Н.Н., предложен способ ингибирования газообразного водорода [1], исключаяющий возгорание и взрыв водородо - воздушной смеси. Успешные экспериментальные работы в этом направлении практически завершены. Можно предложить и такой вариант конструкции малых шаров, которыми для надёжности заполняется гелиевая оболочка. Конструкция изображена на Рис. 4, справа. Малый шар диаметром, например, 30 метров имеет двойную оболочку. Двойная оболочка толщиной несколько сантиметров поделена на множество секций, заполненных азотом. Азотная оболочка защищает объём водорода от воспламенения. А дополнительное использование ингибиторов В. Азатьяна ещё больше повышает взрывобезопасность. К тому же мы говорим о безлюдных технологиях эксплуатации сооружения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Высотная зелёная энергетика на основе аэростатов с полиспадными привязными системами придаст новый импульс развитию экологически чистой возобновляемой энергетике, с которой связываются большие надежды на решение энергетических и экологических проблем современности. Всё необходимое оборудование и материалы для развития высотной зелёной энергетике в настоящее время производятся серийно.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Азатьян В.Г., Айвазян Р.Г., Калачев В.И., Мержанов А.Г. Способ предотвращения воспламенения и взрыва водородовоздушных смесей. Патент RU 2081892С1, МПК С09К 15/04, С10L3/00 приор.16.051994.
2. Косарев А.В., Косарев И.А. Патент RU №2214346 Привязной аэростат. Бюл. №29 от 20.10.2003.
3. Косарев А.В. Телекоммуникационный и туристический развлекательный комплекс на основе привязного аэростата. ВИДЕОСБОРНИК «5-Международная научно-практическая онлайн - конференция “Формирование комфортной среды Средиземноморья”». Нетанья, Израиль. 12 - 15 декабря 2021год. Режим доступа: Ю-Тубе: <https://youtu.be/5jTci5jnjLA>
4. Соколовский Ю. Высотная ветроэнергетика. Дата публикации 21. 03. 22 г.
Режим доступа: Ю-Тубе: <https://youtu.be/JLrbg5skbf8>

PS: Доклад на 6-й международной научно - практической конференции «Формирование комфортной среды Средиземноморья». Нетанья, Израиль, 12 - 16 декабря 2022г.