

УДК 621.311.24

## ПЕРСПЕКТИВНЫЙ КЛАСС ВЕТРОВЫХ И ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ РЕШЕТЧАТОГО КРЫЛА

А.И. Гиллер,  
В.П. Савостьянов

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР  
АВТОМАТИКИ И ПРИБОРОСТРОЕНИЯ ИМЕНИ  
АКАДЕМИКА Н.А. ПИЛЮГИНА

Показана перспектива создания нового класса ветровых и гидроэлектростанций, использующих преобразователь кинетической энергии потока в виде решетчатого крыла, совершающего плоско-параллельное возвратное-поступательное движение. Такие ветровые и гидроэлектростанции будут превосходить по основным показателям действующие аналоги вращательного типа в десятки раз.

**Ключевые слова:** ветроэлектростанция, решетчатое крыло, аэродинамическая сила, импеллер.

Мировые проблемы нехватки электроэнергии и генерации ее экологически опасными способами могут привести к неисчислимым бедам, если не найти новых экологически чистых способов генерации. Предложений в этой области множество, а подвижек не видно. На наш взгляд одна из серьезных причин – это опасение непредсказуемости последствий внедрения нетрадиционных источников электроэнергии. Для их психологического восприятия нужны десятилетия чужого опыта. А время не ждет. Необходимо близкое к традиционным, технически понятное, психологически легко воспринимаемое, но превосходящее их по своим показателям решение.

Основная тенденция в этом направлении – развитие ветроэнергетики. Однако практика показывает низкую эффективность традиционных ветромашин с вращающимися преобразователями кинетической энергии ветра в движение механизма. Порочен сам принцип вращающегося преобразователя. Требуется совершенно другое конструктивное решение.

Этому требованию отвечает концепция прямолинейного колебательного движения ветроэнергетического преобразователя. Реализована она может

## A PERSPECTIVE CLASS OF WIND ELECTROSTATIONS USING NEW CONCEPTION OF CASCADE OF THIN AIRFOIL THEREIN

A.I. GILLER, V.P. SAVOSTIANOV

A stream fluid electrostations using new conception of cascade of thin airfoil therein will be more efficient than propeller stream electrostations.

**KEYWORDS:** wind electrostation, aerodynamic force, thin airfoil therein, impeller.

быть одиночной пластиной с симметричным аэродинамическим профилем (аэродинамический «план») сечения или решеткой из таких пластин. Движение вызывается обтекающим воздушным потоком, происходит в направлении нормали к плоскости пластины и передается соединенному с решеткой электрогенератору (рис. 1). Такая решетка напоминает известное в аэродинамике «решетчатое крыло» и отличается от него прежде всего необходимостью симметричности сечения пластины, так как она должна быть одинаково эффективна при знакопеременном движении.

Решетчатое крыло в силу определенных обстоятельств пока не нашло практического применения в авиации, но применяется в ракетной технике, в космонавтике и судостроении. Здесь условия его работы совершенно отличны от возможных условий работы в качестве энергопреобразователя в ветроэлектростанции или гидроэлектростанции и по этой причине имеющийся опыт его применения лишь частично годится для использования в электроэнергетике.

Потенциальные преимущества, которые «решетка» может обеспечить в электроэнергетике, оправдывают необходимость объемных исследований. Преи-

мушеств много, главные среди них – это не менее, чем на порядок большая мощность при равных с вращающимся преобразователем габаритах и экологическая безвредность. Эти преимущества необходимо подтвердить в первую очередь.

Ввиду невозможности по финансовым причинам изготовить полноразмерный опытный образец, исследования проведены нами на малоразмерном действующем макете.

Результаты работы следующие:

- получено устойчивое возвратно-поступательное движение решетки в пределах конструктивных ограничений;
- подтверждена применимость формулы расчета аэродинамической силы на отдельном плане и точность совпадения расчетного значения с полученным экспериментально;
- подтверждена правильность выбора интервала между планами, при котором значение развиваемой решеткой аэродинамической силы есть сумма сил, развиваемых отдельными планами;
- подтверждена эффективность оригинального механизма изменения угла атаки планов;
- подтверждена в целом правильность конструкции макета и целесообразность ее трансформации в конструкцию полноразмерного опытного образца;
- подтверждена бесшумность работы преобразователя.

На основании полученных результатов вырисовывается следующая кинематическая схема ветроэлектростанции колебательного типа (ВЭСК) (рис. 2). Здесь: 1 – группа аэродинамических «планов», установленных со свободой поворота вокруг своих продольных осей в подвижной раме 2 (далее – «импеллер»). Импеллер опирается на корпус 3 через линейные кинематические пары, обеспечивающие ему возможность движения в плоскости корпуса. Планы 1 соединены между собой кинематической связью 4, которая обеспечивает их синхронные повороты на одинаковые углы относительно импеллера, подвешенного в резонансном подвесе 5 и механически соединенного с линейным электрогенератором 6. Корпус 3 установ-

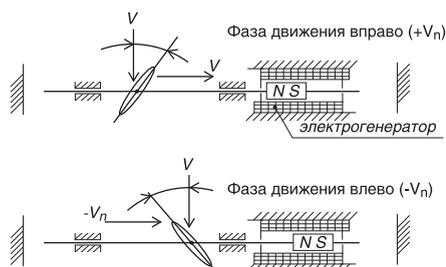


РИС. 1.

Линейные колебания аэродинамической пластины под действием потока V обтекающей среды

лен на мачте 7, изменение углов атаки планов контролируется механизмом 8. Амплитуда колебаний импеллера ограничивается демпферами-упорами 9. Разворот плоскости импеллера под ветер осуществляется приводом 10 по сигналам с датчика 11 направления ветра. Грозозащита осуществляется устройством 12.

Предварительная кинематика ВЭСК защищена патентом РФ [1].

Мощность, развиваемая импеллером при обдуве его планов ветровым потоком со скоростью  $V_p$  под оптимальным углом атаки, определяется формулой:

$$N = F_{II} V_p(t), \quad (1)$$

где:  $V_p$  – скорость линейного движения импеллера.

Подъемная сила  $F_{II}$  (рис. 1) при условии отсутствия взаимовлияния планов определяется из основного аэродинамического соотношения:

$$F_{II} = \frac{\rho S_1 C_y V_B^2}{2g} n, \quad (2)$$

где:  $\rho$  – удельный вес воздуха;  $S_1$  – обдуваемая площадь плана;  $C_y$  – безразмерный коэффициент аэродинамической силы;  $g$  – ускорение свободного падения;  $n$  – количество планов в импеллере.

Значение скорости  $V_p$  найдем из решения уравнения движения импеллера, содержащего  $n$  планов и находящегося под действием аэродинамической силы

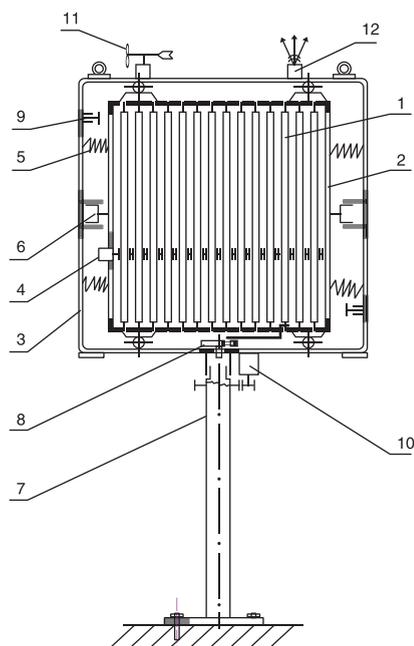


РИС. 2.

Схема ветроэлектростанции с линейным колебательным движением решетчатого крыла

$F_{II}$ , изменяющейся по закону:

$$F(t) = F_{II} \sin \omega t, \quad (3)$$

где:  $\omega$  – угловая частота изменения подъемной силы.

Уравнение движения импеллера имеет вид:

$$M d^2 x / dt^2 + K_D dx / dt + C_X = F(t), \quad (4)$$

где  $M$  – масса импеллера;  $K_D$  – коэффициент демпфирования;  $C$  – суммарная жесткость пружин подвеса;  $x$  – перемещение импеллера.

Это общее уравнение движения гармонического осциллятора под действием периодической силы.

Решение уравнения (4) относительно координаты  $X(t)$  для установившегося движения:

$$X(t) = \frac{F_n}{M[(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\omega/r)^2]^{1/2}} \cdot \sin(\omega t + \arctg \varphi), \quad (5)$$

где:  $\omega_0^2 = C/M$  – собственная частота колебаний импеллера;  $r = M/K_D$  – суммарная жесткость пружин

подвеса;  $\varphi = \omega/r(\omega^2 - \omega_0^2)$ .

Из выражения (5) находим скорость движения импеллера  $V_p$ :

$$V_p(t) = dx/dt = F_{II} \omega \cos(\omega t + \varphi) / M[(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\omega/r)^2]^{1/2} \quad (6)$$

Если режим колебаний близок к резонансу ( $\omega = \omega_0$ ), имеет место зависимость:

$$V_p(t) = \frac{F_{II}}{K_D} \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right). \quad (7)$$

Среднее за период колебаний значение развиваемой импеллером мощности:

$$N_c = \frac{F_{II} V_p}{2} = \frac{F_{II}^2}{2K_D} \cos(\omega t + \pi/2). \quad (8)$$

Заменяя в выражении (8)  $F_{II}$  на его выражение (2), получим при  $\omega t = -\pi/2$ :

$$N_c = (\rho^2 S_1^2 C_y^2 n^2 / 4g^2 K_D) V_B^4 \left[ \frac{\kappa_2 M}{c} \right] \quad (9)$$

или  $N'_c = 9.8 N_c$  [6м]

Для численной оценки возможной мощности такой ВЭС примем ее габариты: длина 3,5 м, высота 2,5 м, ширина 1 м. Такие габариты помимо других причин удобны для сравнительной оценки с действующи-

ми российскими ВЭС вращательного типа. В частности, ветроэлектростанция ВЭС-1 имеет диаметр ометаемой пропеллером поверхности 3,5 м.

В принятом габаритном пространстве могут быть размещены 14 аэродинамических планов высотой 2,3 м и шириной 0,4 м. Если  $C_y$  каждого плана равен 1, то при скорости ветра 8 м/с они в сумме развивают аэродинамическую силу 51 кг. Эта сила в установившемся режиме расходуется на преодоление скоростного сопротивления движения импеллера, которое определяется главным образом скоростным сопротивлением электрогенератора, характеризующим значение  $K_D$  в уравнениях движения рамы. Линейный электрогенератор не требует передаточных механизмов от импеллера к генератору. Недостаток такого решения состоит в отсутствии освоенных российской промышленностью линейных генераторов. Поэтому оценку возможной мощности ВЭСК придется провести в предположении идентичности основных характеристик гипотетического линейного генератора и реального генератора вращательного типа. Анализ показывает, что максимальная мощность достигается при использовании нескольких генераторов небольшой мощности, а не одного генератора с мощностью, близкой к сумме мощностей небольших генераторов. Примем вариант генераторов небольшой мощности, например российский генератор ВГ-1 (12) 450, имеющий номинальную мощность 1,2 кВт при числе оборотов 428 в мин., коэффициент скоростного сопротивления  $K = 0.06 \text{ кгМ} \cdot \text{с}$  и номинальный вращающий момент 2,5 кгМ [2]. Допустим, что гипотетический линейный генератор имеет такое же численное значение соответствующих параметров. В этом случае развиваемая импеллером сила 51 кг может обеспечить номинальную скорость движения статорам 20 линейных генераторов. Полагая в формуле (9)  $K_D = 20K$ ,  $C_y = 1$ ,  $S_1 = 0.92 \text{ м}^2$ , получим при  $V_B = 8 \text{ м/с}$ ,  $N'_c = 10,6 \text{ кВт}$ . Соответственно пиковая мощность составит 21 кВт. Для сравнения: мощность действующей ВЭС-1 составляет при скорости ветра 8 м/с 1 кВт.

Этот результат получен в предположении независимости аэродинамики каждого плана от остальных и при значении  $C_y = 1$ . Однако существенная особенность и преимущество решетчатого крыла состоит в том, что при определенном соотношении его параметров аэродинамическое качество резко возрастает, что ведет к такому же росту подъемной силы [3]. Так например, в экспериментах, проведенных в начале 50-х годов XX столетия в знаменитом КБ МИГ, было получено значение подъемной силы решетчатого крыла, равное подъемной силе крыла истребителя МИГ-15 при вдвое меньшей площади. Отсюда можно сделать вывод, что от энергопреобразователя, построенного по оптимальной схеме решетчатого крыла, можно ожидать значительно большего значения подъемной

силы, чем в выше приведенных расчетах. Но и это не предел, так как простая конструкция аэродинамических планов и плоско-параллельный режим их движения позволяет применить к ним известный в авиации [3] набор мер по повышению значения  $C_y$  до 1,5–2, что также приведет к повышению подъемной силы. В комплексе эти меры позволят увеличить подъемную силу не менее чем в 10 раз по сравнению с полученной в расчете, и, следовательно, иметь мощность на два порядка большую, чем мощность пропеллерной ВЭС.

Этот вывод базируется на достаточно прочной основе авиационного опыта. Но если набраться смелости и ступить на зыбкую почву открытий, то вырисовывается перспектива еще большего повышения мощности за счет использования пока почти неизвестного режима «нелинейных колебаний крыла» [4].

Естественно, рост электрической мощности, снимаемой с одной установки, приводит к такому же снижению стоимости 1 кВт × час вырабатываемой электроэнергии. Устраняется еще один недостаток ветроэнергетики – относительно высокая стоимость кВт × час.

Идеология колеблющегося решетчатого крыла в соответствующем прочностном и антикоррозионном исполнении вполне применима к созданию мини-гидроэлектростанций и, вероятно, не только к «мини», размещаемых непосредственно в водном потоке.

## ВЫВОДЫ

Применение концепции возвратно-поступательно-движущегося решетчатого крыла к созданию преобразователя кинетической энергии водных и воздушных потоков в энергию механического движения позволяет разработать новые классы ветровых и гидроэлектростанций, на порядки превосходящих по комплексу показателей ветровые и гидроэлектростанции с энергетическими преобразователями вращательного типа.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гиллер А.И., Лупичев Л.Н., Ряховских В.П., Савостьянов В.П. Преобразователь кинетической энергии потока сплошной среды в механическую энергию. Патент РФ № 2338923.
2. Оборудование возобновляемой и малой энергетики. Справочник-каталог под редакцией д.т.н. Безруких П.П. М., 2005.
3. Смирнов Г. Рожденные вихрем. М.: Изд-во «Знание», 1982.
4. Сорокодум Е.Д. Ветрогидрогенераторы с колеблющимся крылом // Тр. VI Международной научно-технической конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». Ч. 4. М.: ВНИЭСХ, 2008.

---

**Гиллер Александр Израилевич**,  
старший научный сотрудник ФГУП НППЦАП им. акад. Н.А. Пилюгина  
✉ e-mail: info@nrcap.ru

**Савостьянов Валерий Павлович**,  
к.т.н., с.н.с., ведущий научный сотрудник ФГУП НППЦАП им. акад. Н.А. Пилюгина

✉ 117342, г. Москва, ул. Введенского, д. 1,  
тел.: +7 (985) 298-45-80, e-mail: v1104060@mail.ru