

УДК: 533.6.076

### **Моделирование движения воздушного потока при обтекании ротора ветроэнергетической установки малой мощности**

С.В. Василевич<sup>1</sup>, М.М. Лузан<sup>1</sup>, Е.В. Шаршуков<sup>2</sup>,  
Е.С.Шмелев<sup>3</sup>, В.Л. Червинский<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Белорусская государственная академия авиации, Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

<sup>3</sup>Институт энергетики НАН Беларуси, Минск, Беларусь

<sup>4</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Использование ветроустановок для производства электроэнергии является наиболее эффективным способом утилизации энергии ветра.

В настоящее время применяются две основные конструкции ВЭУ: горизонтально-осевые и вертикально-осевые ветродвигатели. Оба типа ВЭУ имеют примерно равный КПД, однако наибольшее распространение получили ВЭУ первого типа. Мощность ВЭУ может быть от сотен ватт до нескольких мегаватт [1].

Для предварительного исследования свойств и моделирования поведения ветротурбин могут использоваться различные программные комплексы. Одним из них является конечно-элементный программный комплекс ANSYS CFX.

Объект моделирования представляет собой осевую ветроустановку с одним ветроколесом. Внешние аэродинамические обводы представлены 11 изогнутыми лопастями, расположенными на вертикальной оси ротора. Общий вид модельного образца ветроколеса представлен на рисунке 1, а.

Актуальность выбора в качестве объекта исследования модели ветроэнергетических установок малой мощности с вертикальной осью вращения определяется их перспективностью совершенствования в силу спроса на мировом рынке и достаточным для промышленной эксплуатации коэффициентом использования энергии ветра.

Геометрические параметры исследуемого ветроколеса: длина – 230 мм, диаметр – 250 мм, радиус закругления лопасти – 90 мм.

Задача решалась в стационарной постановке. Для решения поставленной задачи компьютерного моделирования численно интегрировались трёхмерные осреднённые по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса. Для замыкания уравнений движения была взята модель турбулентности SST

(Shear Stress Transport), в качестве рабочей среды использовался вязкий несжимаемый газ (воздух), плотность воздуха 1,25 кг/м<sup>3</sup>. Время расчёта режима обтекания ветроустановки (фиксированы скорость ветра и число оборотов вращения ветроколеса) составляет в среднем 4 часа.

На рисунке 1 приведена серия компьютерных визуализаций для ветроколеса, позволяющая выявить основные закономерности обтекания ветроустановки (скорость потока задавалась равной 11 м/с).

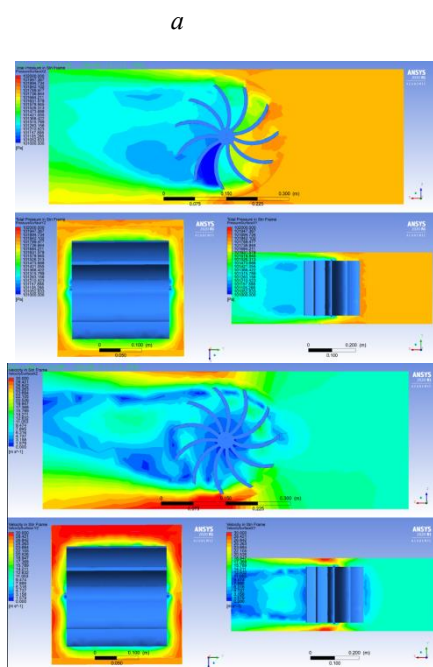


Рисунок 4 – Визуализация поля давлений *a* и поля скоростей *b* в плоскостях YZ (сверху), XZ (слева), XY (справа)

На рисунке 1, а из представленных визуализаций можно увидеть, что в пространстве за ветроколесом образуются области низкого давления. Также видно, что в пространстве между некоторыми лопастями наблюдаются области низкого давления.

Из рисунка 1, б можно сделать вывод, что в области за ветроколесом наблюдается пространство со скоростью большей, нежели скорость вокруг него. Это объясняется наличием турбулентных потоков в этой области.

Для проверки адекватности модели были проведены эксперименты на аэродинамической трубе (см. рисунок 2, б).

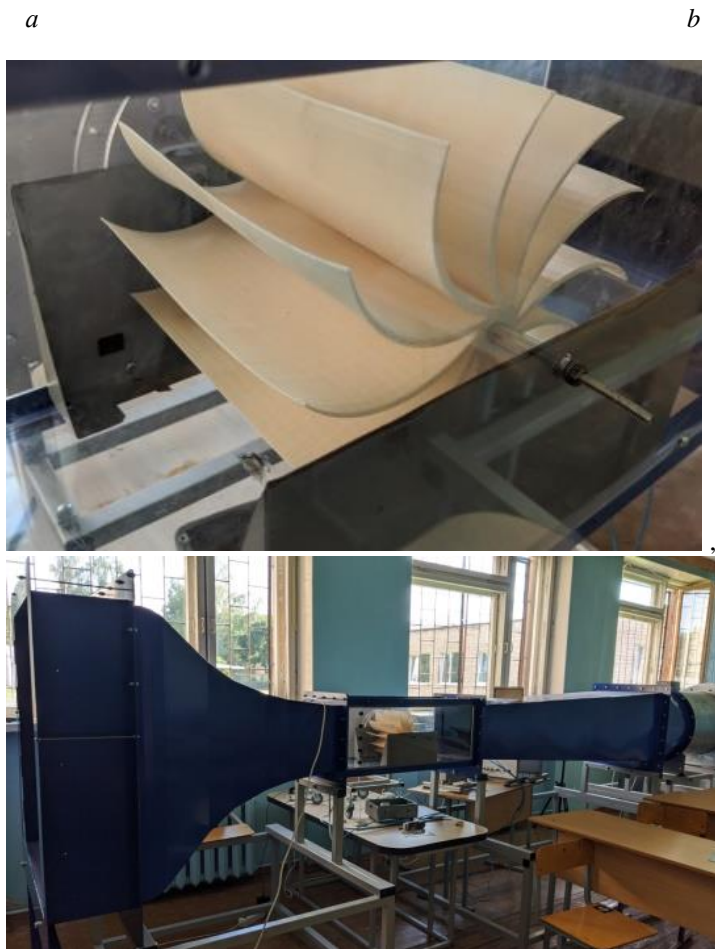


Рис. 2 – Общий вид модельного ветроколеса *a* и аэродинамической трубы *b*

В работе использовалась аэродинамическая труба открытого типа, оснащённая вентилятором типа АХС 560-6/26-2. Общий вид трубы представлен на рисунке 2, в.

В ходе экспериментов замерялись значения скоростей воздушного потока в тестовой секции. Замеры проводились в положениях трубки Пито, представленных на рисунке 3.

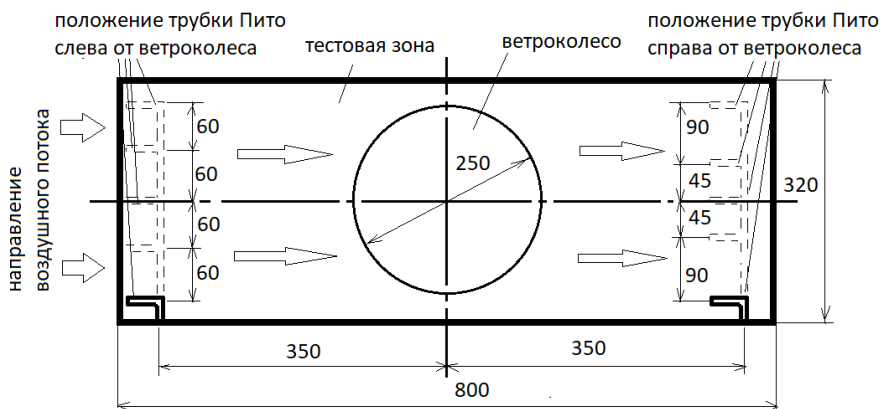


Рисунок 3 – Схема размещения трубки Пито в ходе эксперимента

Для измерения скорости потока воздуха трубка Пито располагалась в тестовой секции слева и справа от ветроколеса на расстоянии 35 см от оси вращения на различных высотах относительно горизонтальной оси симметрии колеса. Стрелками на схеме показано направление движения потока воздуха.

Были проведены сравнения экспериментальных данных с расчётными. На рисунках 4 и 5 представлены примеры графиков зависимости расчётных (линии) и экспериментальных (символы) значений скоростей потока воздуха от высоты относительно оси симметрии ветроколеса.

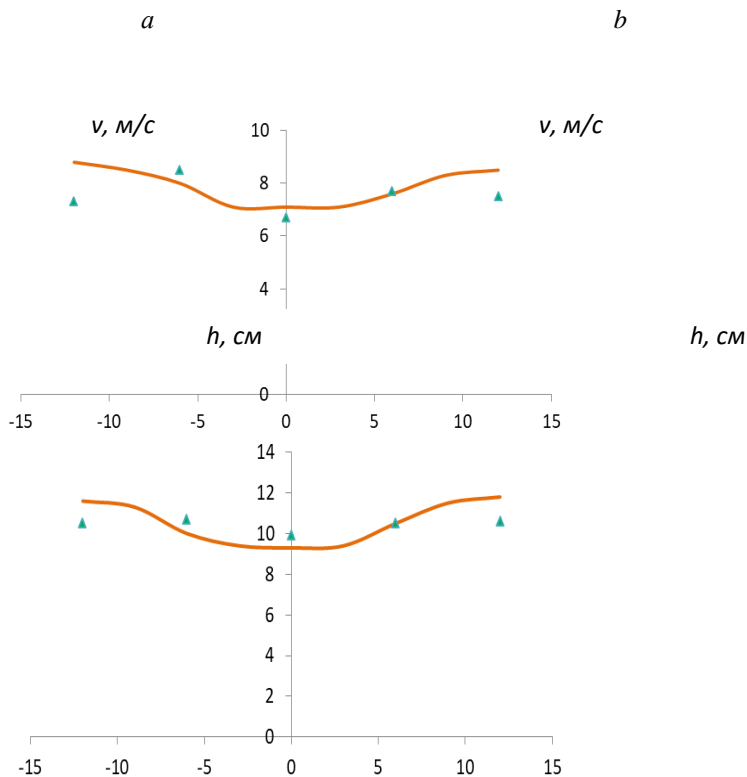


Рис. 4 – Примеры графиков зависимости расчётных (линии) и экспериментальных (символы) значений скоростей потока воздуха (слева от ветроколеса) от высоты относительно оси симметрии ветроколеса при средней скорости потока воздуха на входе 7 м/с (*a*) и 10 м/с (*b*)

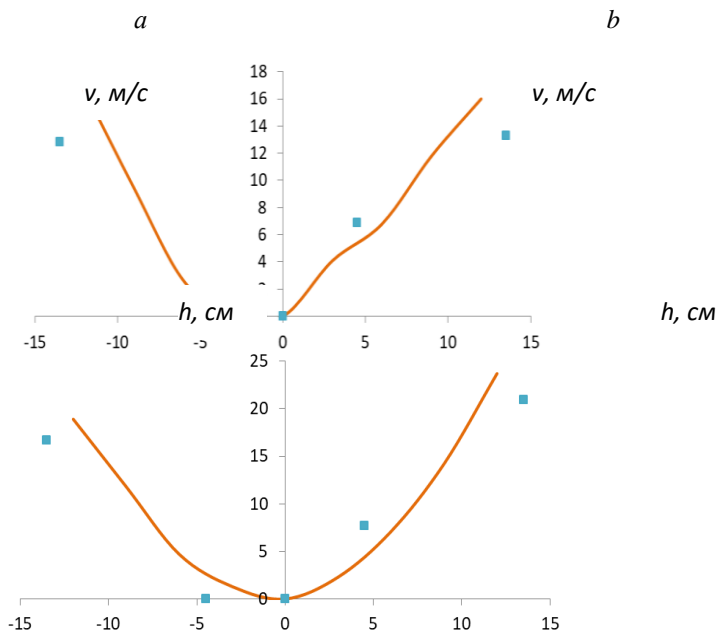


Рис. 5 – Примеры графиков зависимости расчётных (линии) и экспериментальных (символы) значений скоростей потока воздуха (справа от ветроколеса) от высоты относительно оси симметрии ветроколеса при средней скорости потока воздуха на входе 7 м/с (а) и 10 м/с (б)

Оценка полученных результатов показала, что средняя ошибка не превышает 5 %. Это позволяет утверждать, что выбранная модель достаточно хорошо описывает рассматриваемый авторами процесс.

Были проведены расчёты значений механической мощности и коэффициента использования энергии при различных скоростях воздушного потока. Было определено, что наблюдается максимум зависимостей мощности от скорости потока. Этот максимум соответствует скорости потока воздуха 9,9 м/с. При данной скорости мощность ветроколеса составила 3,067 Вт, а коэффициент использования энергии

потока ветра – 0,1005. Таким образом, оптимальная скорость работы ветроколеса рассмотренного типа составляет 9,9 м/с.

Следует отметить, что полученные значения не стоит сравнивать с реальными ВЭУ без использования коэффициентов масштабирования.

Используя полученные результаты моделирования, в дальнейшем планируется расширение возможных вариаций параметров ветрового потока, а также проведение эксперимента с реальной моделью ветроколеса и сравнительный анализ результатов, полученных при проведении моделирования и реального эксперимента.

### Литература

1. Михайленко, Е.Ю. Обзор существующих конструкций ветроэнергетических установок / Е.Ю. Михайленко // Праці ТДАТУ. – 2013. – Т. 2, № 13. – С. 188-193.

УДК 621.3

### **Особенности работы блокинг-генератора при совместной работе с ветрогенератором на постоянных магнитах**

Червинский В.Л.,<sup>1</sup> Доброго К.В.<sup>2</sup>, Чумаченко М.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>ВАК Республики Беларусь

<sup>3</sup>ОДО «ЭНЭКА», Минск

При использовании синхронных генераторов на постоянных магнитах на малых ветроэнергоустановках (ВЭУ) характерной их особенностью является то, что его напряжение растет прямо пропорционально росту оборотов ветроколеса. Для достижения напряжения более 12 В, необходимого для зарядки аккумулятора на 12 В, необходимы обороты ветроколеса при прямом приводе генератора более 120 об/мин. Это возможно при скоростях ветра более 5 м/с. А что делать, если скорость ветра мала и мене, чем 5 м/с? Выход может быть найден при использовании блокинг-генератора, т.е. устройства, которое импульсно заряжает аккумулятор при низких напряжениях ветрогенератора, получаемых при низких скоростях ветра [1]. Блокинг-генератор создает импульсы напряжения, частота и амплитуда которых изменяются в зависимости от входного напряжения.