

## **Моделирование течения в ВЭУ NREL с использованием пакета программ FlowVision**

### **Название проекта/исследования**

Моделирование течения в ветроэнергетической установке с применением пакета программ FlowVision в широком диапазоне скорости набегающего воздушного потока для анализа особенностей течения и сопоставления с экспериментальными данными NREL (NASA-Ames National Renewable Energy Laboratory).

### **Авторы, место работы, e-mail**

П.М. Бывальцев, [peter.byv@tesis.com.ru](mailto:peter.byv@tesis.com.ru)

К.В. Кузнецов, [kk@flowvision.ru](mailto:kk@flowvision.ru)

И.В. Москалев, [miv@flowvision.ru](mailto:miv@flowvision.ru)

В.И. Похилко, [vp@tesis.com.ru](mailto:vp@tesis.com.ru)

ООО «ТЕСИС»

Cloud Yu, [cloud@samwells.com](mailto:cloud@samwells.com)

Samwells Testing Inc.

### **Аннотация к описанию проекта**

Программный комплекс FlowVision (версий 3.08 и 3.09) был использован для расчета обтекания двухлопастного ротора ветроэнергетической установки малой мощности (~20 кВт), экспериментально исследованной в NREL. Были получены интегральные характеристики ротора и детальные поля параметров течения в диапазоне скорости набегающего потока, полностью отвечающем интервалу экспериментальных исследований (5 м/с - 25 м/с). Вращающий момент аэродинамических сил, действующих на ротор, был выбран в качестве параметра, по которому проводилось сравнение численных и экспериментальных данных.

### **Описание проекта/исследования**

Одним из экологически чистых видов энергии является энергия ветра. В этой связи ветровые энергетические установки (ВЭУ), преобразующие энергию ветра в электрическую энергию, находят все более и более широкое применение в различных регионах нашей планеты. Быстрое развитие возможностей вычислительной техники и численных методов последнего времени позволяют рассматривать средства трехмерного моделирования в качестве неотъемлемого инструмента для проектирования и анализа технических изделий. При проектировании ветровых энергетических установок пакеты программ аэродинамического моделирования используются активнейшим образом.

Безусловно, одним из строгих требований к таким программам является высокая точность моделирования. На рубеже веков в лаборатории Эймсовского центра НАСА (Ames, NASA) были проведены многопараметрические натурные испытания ветроэнергетической установки, имеющей десятиметровый диаметр ротора и производящей номинальную мощность около 20 кВт (рис. 1). Одной из целей испытаний являлось получение достоверных данных для верификации вычислительных программ. Результатом слепого тестирования, организованного NREL для различных программ в процессе проведения самого эксперимента, является вывод о невысокой точности подавляющего большинства принявших участие в тестировании программ.

В настоящей работе для аэродинамического расчета указанной выше ВЭУ используется многофункциональный программный комплекс FlowVision, разрабатываемый одноименным подразделением компании ТЕСИС.



Рис. 1 Общий вид ротора экспериментальной установки

Расчетная область рассматривалась в трех конфигурациях. Цилиндрическая область, показанная на рис.2, была использована для моделирования течений по программе FlowVision-3.08 с применением сеток большой размерности, несвойственной для ординарных расчетов (7-8 млн. ячеек и 24-25 млн. ячеек). Расчеты на упомянутых сетках в основном были нацелены на исследование поведения решения при измельчении сетки. Постановка задачи предполагает вращение всей вычислительной области синхронно вместе с ротором ВЭУ.

Область на рис.3 была использована лишь в одном расчете для подтверждения работоспособности технологии скользящих поверхностей, реализованной в выпускаемой версии FlowVision-3.09. В этой конфигурации вместе с ротором вращается специально выделенная цилиндрическая подобласть, а оставшаяся часть области остается неподвижной.

Еще одним нововведением программы версии 3.09 является возможность применения периодических граничных условий. Эта возможность позволяет рассмотреть лишь половину всей расчетной области (рис. 4), что вдвое сокращает временные затраты для решения задачи. Для области в такой конфигурации был подобран минимально возможный размер сетки, достаточный для получения решений, не уступающих по точности решениям, получаемым на сетках большей размерности. Оказалось, что размер такой сетки не превышает 1.5 млн. ячеек. Основная часть приведенных ниже рисунков соответствует расчетам на указанной сетке.

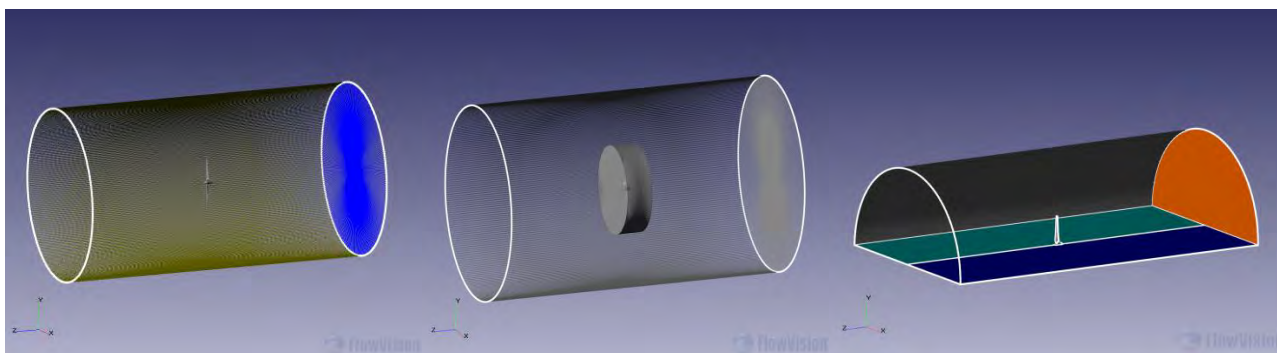


Рис.2

Рис.3

Рис.4

Рисунки 2 - 4. Расчетные области, использованные для численного моделирования

Экспериментальный диапазон скоростей набегающего потока включает 10 значений из интервала 5м/с – 25м/с. Моделирование течения в ветровой энергетической установке выполнялось в полном соответствии с экспериментом: количество и граничные условия расчетов совпадали с экспериментальными. Естественно, что проведение неоднократных серийных расчетов предполагает использование параллельных вычислений на мощных компьютерах. Подавляющее большинство расчетов на сетках большой размерности были проведены на суперкомпьютерном комплексе МГУ «Ломоносов». Применение для таких расчетов персональных компьютеров в настоящее время является невыполнимой задачей.

На рисунках 5-7 показаны фрагменты вычислительных сеток. Применяется измельчение ячеек вблизи поверхности ротора.

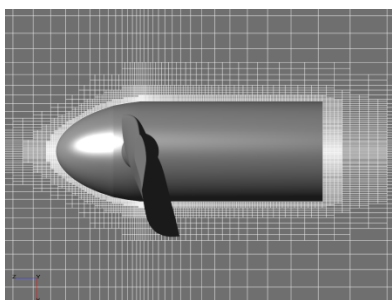


Рис. 5

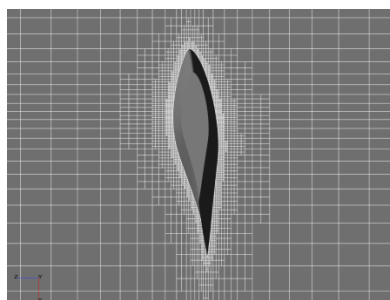


Рис. 6

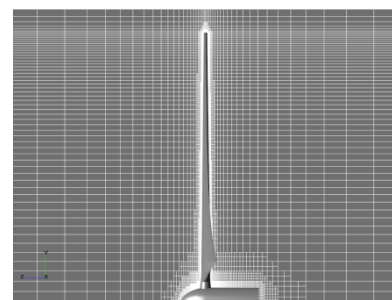


Рис. 7

Рисунки 5 – 7. Фрагменты вычислительных сеток

На рис.8 приведено распределение модуля абсолютной скорости на плоскости симметрии расчетной области. Видно влияние ротора на изменение параметров потока. Скорость набегающего потока для этого случая -  $V_{in}=13$  м/с.

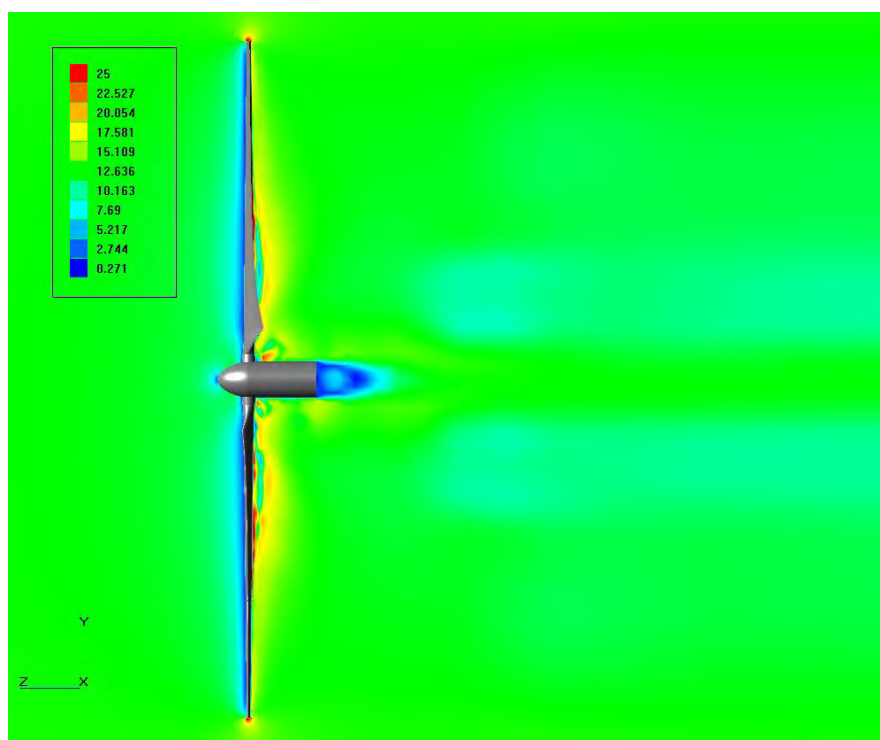


Рисунок 8. Распределение модуля абсолютной скорости ротора ВЭУ.  $V_{in}=13$  м/с.

Для этого же значения скорости на рис.9 показано поле векторов относительной скорости на плоскости, секущей лопасть ротора на относительной высоте, составляющей 63% высоты лопасти. Характерным для этого режима является формирование массивной отрывной зоны, ухудшающей характеристики установки.

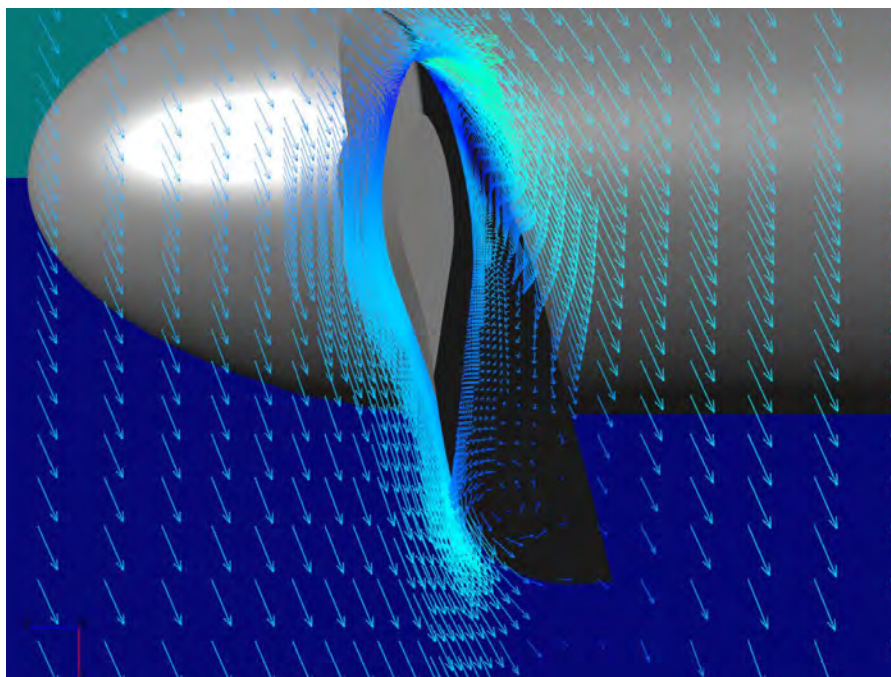


Рисунок 9. Векторное поле скоростей в плоскости сечения лопасти ВЭУ.  $V_{in}=13$  м/с.

Сравнение расчетных и экспериментальных данных приведено на рис. 10 – это то, ради чего, собственно говоря, и были выполнены расчеты. На данном рисунке показан график вращающего момента аэродинамических сил, действующих на ротор. Видно, что расчетная кривая отслеживает экспериментальную кривую.

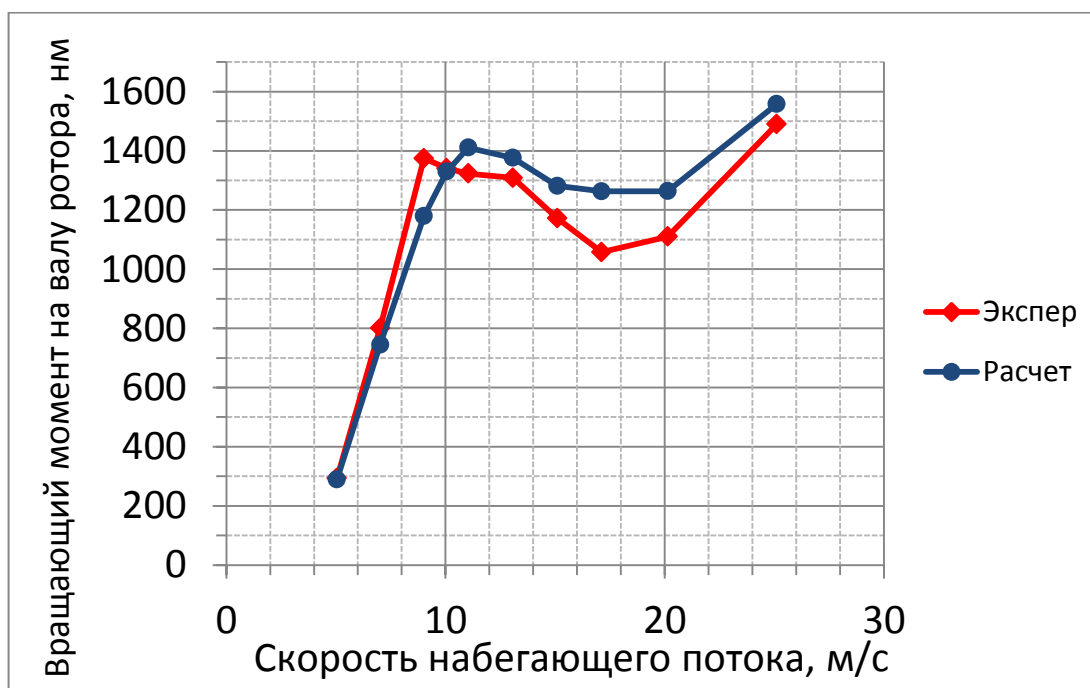


Рисунок 10. Сравнение расчетных и экспериментальных данных по вращающему моменту на валу ротора

Такое соответствие результатов дает основание полагать, что программный комплекс FlowVision является эффективным инструментом при проектировании ветровых энергетических установок, а по точности не уступает самым лучшим в этом отношении зарубежным программным комплексам.