

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕТРОТЕПЛОГЕНЕРАТОРА

Серов А.Ф., Назаров А.Д., Мамонов В.Н., Миськив Н.Б.

*Институт теплофизики им. С.С.Кутателадзе Сибирского отделения РАН
г. Новосибирск*

Аннотация

Рассматривается конструкция теплогенератора, предназначенного для эффективного преобразования кинетической энергии, получаемой от роторных турбин, расположенных в потоке воздуха или воды, в тепловую энергию [1]. Конструкция основного узла преобразователя энергии потока ветра в тепловую энергию основана на циркуляции вязкой рабочей жидкости в объеме цилиндрических кольцевых каналов, образованных вращающимися навстречу друг другу (оппозитно). Задачей исследования является повышение эффективности использования энергии ветра, за счет применения двух роторных ветродвигателей для привода особого оппозитного преобразователя кинематической энергии ветра в тепловую при низких скоростях ветра. Проведен анализ результатов теоретического и экспериментального исследования разработанной конструкции.

Введение

В настоящее время актуален вопрос получения тепловой энергии с помощью экологически чистых технологий из возобновляемых источников энергии [2, 3]. Наиболее эффективное соединение роторного двигателя и теплогенератора позволяет реализовать генератор тепловой энергии с высоким коэффициентом преобразования энергии потока воздуха в тепловую энергию. Высокий КПД достигается за счет того, что имеется возможность всю кинетической энергии воздушного потока от роторного двигателя преобразовать в тепло, накопить в тепловом аккумуляторе и применять для технологических или бытовых нужд. На (рис. 1) приведена схема макета ветротеплогенератора и на (рис. 2) его фотография в сборе на крыше здания во время проведения испытания в рабочем режиме. Роторные ветродвигатели различной конструкции в основе содержат установленные в опорах вертикальный вал, на концы которого закреплены обода, связанные между собой набором вертикальных лопастей специальной формы. Особенностью ветродвигателя с осью вращения ротора перпендикулярной направлению ветра является работа независимо от направления ветра.

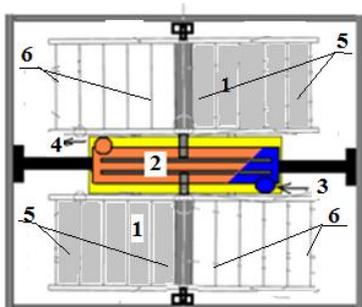


Рис. 1. Схема ветротеплогенератора.

1 – ротор вертикального ветродвигателя; 2 - модуль теплогенератора; 3, 4 – патрубок подачи теплоносителя и отбора; 5 – лопасти в рабочем положении; 6 – лопасти в положении «флюгера».

Созданный макет ветротеплогенератора состоит из двух рабочих колес 1, модуля теплогенератора 2, вертикальной оси, верхнего обода, нижнего обода, поворотных лопастей на валах, аккумулятора тепловой энергии, теплосчетчика. Поворотные лопа-

сти установлены на валах между верхним и нижним ободом. Ширина лопастей больше расстояния между осями валов, которые ограничивают поворот лопастей. Лопасти автоматически сориентированы при любом направлении ветра, рабочее колесо вращается в одном направлении.



Рис. 2. Ветрогенератор
1 – ротор вертикального ветродвигателя; 2 – модуль теплогенератора; 7 – аккумулятор; 8 – теплосчетчик.

На (рис. 3) приведено поле скоростей воздушного потока в объеме ротора. Устройство работает следующим образом. При воздействии воздушного потока на поворотные лопасти 1, рабочие колеса начинают вращаться вокруг вертикальных осей, которые соединены с ротором нагревателя. В одной половине рабочего колеса лопасти находятся в рабочем положении «паруса» и создают крутящий момент, во второй половине лопасти разворачиваются при воздействии воздушного потока в положение «флюгера» и движутся с минимальным сопротивлением. Тем самым создается разность давлений, и рабочее колесо вращается, крутящий момент передаётся ротору нагревателя. Цилиндры, вращающиеся во встречном направлении, нагревают жидкость и заставляют её двигаться через теплообменник, из которого тепло поступает к потребителю.

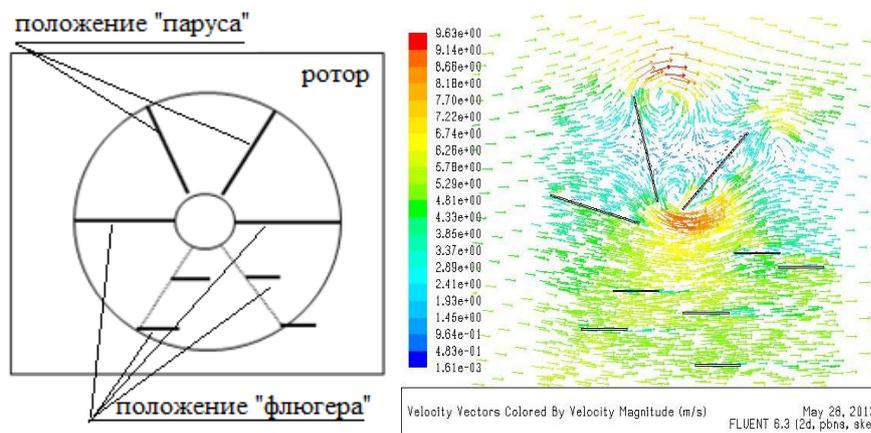


Рис. 3 Поле скоростей воздуха в объеме ротора.

Количество и площадь поверхности поворотных лопастей рассчитывается пропорционально мощности ветрогенератора. Выполненное моделирование позволило определить оптимальные соотношение диаметра и высоты воздушного ротора и количество лопастей.

Экспериментальное оборудование

Оппозитный теплогенератор состоит из двух многоцилиндровых роторов, вложенных соосно друг в друга, которые, вращаясь навстречу друг другу, образуют систему цилиндрических кольцевых каналов. На (рис. 4) приведена фотография одного из

роторов. Конструкция верхней и нижней системы цилиндров теплогенератора определяется следующими параметрами:

- количеством цилиндров (количество цилиндров определяет мощность ветрогенератора);
- отношением радиусов соседних цилиндров $\eta = a/b$, где a является внешним радиусом цилиндра (i) меньшего диаметра и b являются внутренним радиусом (o) цилиндра большего диаметра;
- характеристическим соотношением $\Gamma = L/(b-a)$, где L – высота столба жидкости в зазоре;
- числа Рейнольдса внутреннего $R_i = a(b-a)\Omega_i/\nu$ и внешнего цилиндра $R_o = b(b-a)\Omega_o/\nu$, где Ω_i – угловая скорость внутреннего, Ω_o – угловая скорость внешнего цилиндра, ν – кинематическая вязкость теплоносителя.

В сборе роторы образуют мультицилиндровую систему из 13 кольцевых цилиндрических каналов высотой 50 мм и диаметром от 195 до 315 мм. Над окнами в верхнем и нижнем дисках имеются лапасты нагнетающего и откачивающего насоса. Объем модуля теплогенератора заполняется вязкой жидкостью с заданными свойствами

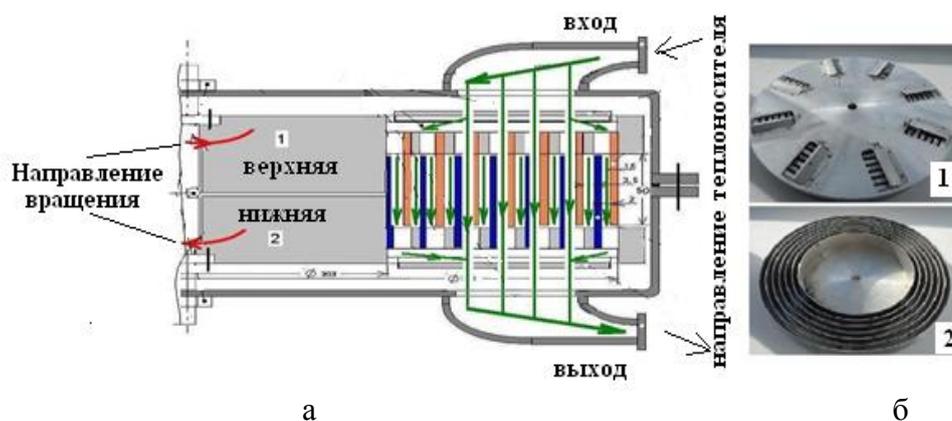


Рис. 4. Эскиз конструкции теплогенератора и коаксиальные цилиндры
а – модуль теплогенератора; б – многоцилиндровый ротор.

ми (тосол), которая при работе устройства, нагреваясь в кольцевых каналах за счет больших сдвиговых напряжений, циркулирует в контуре, содержащем теплообменник для передачи тепла в аккумулятор тепловой энергии. При этом кинетическая энергия полностью преобразуется в тепловую энергию. Количество выделенной тепловой энергии определяется частотой вращения, геометрией роторов, размерами площади оппозитных поверхностей роторов и свойствами рабочей жидкости (плотность, вязкость). Комбинация указанных параметров определяет структуру (режим) течения рабочей жидкости в кольцевых зазорах, что, в конечном счете, и определяет производительность теплогенератора.

На (рис. 5) приведена схема и фотография стенда для исследования эффективности теплогенератора при использовании различных рабочих жидкостей в разных режимах работы. Такие исследования дают возможность разработать методику расчета параметров конструкции и режимы работы устройства под требования низкооборотных роторов ветрогенератора. Стенд включает в себя теплоизолированный модуль теплогенератора, электропривод с тахометром, динамометрическую систему измерения момента сопротивления в зазорах роторов, платиновые термометры сопротивления для регистрации температуры в трех точках рабочего контура стенда, датчик оборотов ротора, микропроцессорный блок обработки данных, теплообменник с аккумулятором тепловой энергии, теплосчетчик для измерения количества тепловой энергии, передан-

ной от теплогенератора в тепловой аккумулятор, блоки управления оборотами электропривода, приводящего во вращение роторы. Теплопроизводительность регистрируется теплосчетчиком, который измеряет расход теплоносителя, температуру до и после теплогенератора.

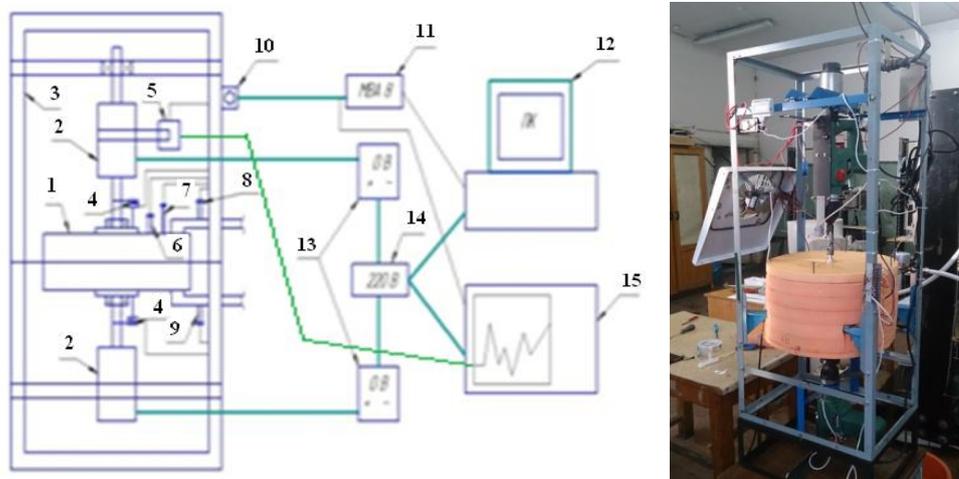


Рис. 5. Схема экспериментального стенда.

1 – модуль ТГ, 2 – электропривод, 3 – рама, 4 – датчик оборотов, 5 – динамометр, 6 – датчик температуры модуля, 7 – датчик температуры жидкости, 8 – датчик температуры входящей жидкости, 9 – датчик температуры выходящей жидкости, 10 – клемник, 11 – микропроцессорный преобразователь сигналов, 12 – персональный компьютер с программным обеспечением, 13 – регулятор напряжения, 14 – источник электропитания, 15 – осциллограф, анализатор спектра.

Были проведены два вида экспериментов:

- режим одного вращающегося ротора, второй ротор при этом был заторможен. На заторможенном роторе тормозящий момент измерялся цифровым динамометром. Одновременно с измерением момента определялась выделяемая за известный промежуток времени (10 минут) теплогенератором тепловая энергия. Количество тепловой энергии вычислялось по изменению температуры массы теплоизолированного модуля теплогенератора с рабочей жидкостью. Эксперименты были проведены в диапазоне изменения частоты вращения роторов от 0.35 Гц до 4.5 Гц;

- режим оппозитного вращения роторов с равными противоположно направленными угловыми скоростями. В этих экспериментах количество тепловой энергии, выделенной теплогенератором, определялось двумя методами: в режиме циркуляции рабочей жидкости через теплообменник, и в режиме без циркуляции рабочей жидкости (нагрев рабочей жидкости в объеме модуля теплогенератора). В режиме циркуляции рабочей жидкости количество тепловой энергии измерялось теплосчетчиком, а в режиме без циркуляции рабочей жидкости количество выделенной тепловой энергии определялось так же, как и в случае одного заторможенного ротора - по изменению температуры теплоизолированного теплогенератора, массе и теплоемкости рабочей жидкости.

На (рис. 6) полученные экспериментальные результаты по измерению момента сопротивления сравниваются с расчетным значением момента сопротивления, вычисленным для случая ламинарного режима течения воды (круговой поток Куэтта) для аналогичных условий вращения «роторов».

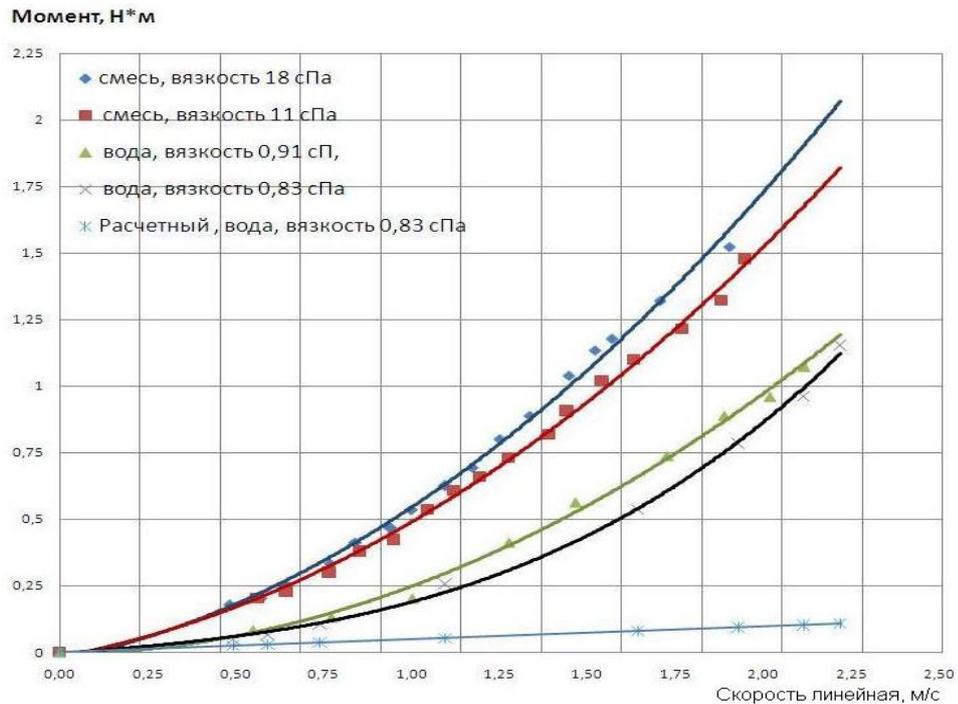


Рис. 6. Зависимость момента сопротивления от вязкости рабочей жидкости.

Была проведена оценка производительности тепловой энергии макетного образца теплогенератора при одиночном и оппозитном вращении роторов для различных значений вязкости жидкости (ν) от угловой скорости вращения цилиндров (рис. 7).

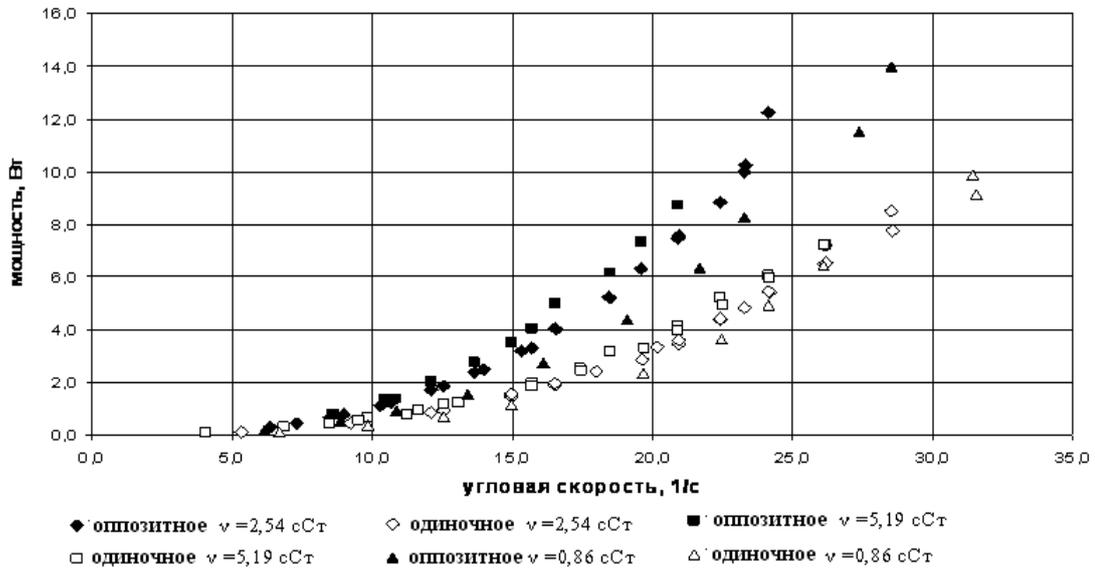


Рис. 7. Зависимость производительности тепловой энергии от угловой скорости.

Обращает на себя внимание тот факт, что при одинаковых угловых скоростях при оппозитном вращении выделяемая тепловая мощность значительно больше, чем сумма выделенных мощностей при раздельном вращении «роторов». Этот странный, на первый взгляд, факт может быть легко объяснен на основе тщательных экспериментальных исследований, представленных в работе [4].

Заключение

Выполненные исследования позволили определить конструкцию макетного образца и режимы работы устройства под требования низкооборотных «роторов» ветрогенератора. Представленное в настоящей работе экспериментальное оборудование и анализ результатов исследований позволили разработать конструкцию, на которую получен патент на изобретение. А также позволили продолжить исследования по оптимальному выбору конструкции и параметров теплогенератора с высоким коэффициентом преобразования энергии ветра в тепловую энергию.

Литература

1. Серов А.Ф. (RU), Мамонов В. Н. (RU), Терехов В. (RU), Назаров А. Д. (RU) Оппозитный ветротеплогенератор // Решение о выдаче патента на изобретение № 2015150585/6(077867) от 18.01.2017.
2. Безруких П.П. и др. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России/СПб., Наука, 2002, 314 с. Концепция использования ветровой энергии в России / под ред. П.П. Безруких. М.: Книга-Пента, 2005, 128 с.
3. C. David Andereck, S.S. Liu and Harry L. Swinney. Flow regimes in a circular Couette system with independently rotating cylinders // J. Fluid Mech. (1986), vol.164, pp. 155-183.