

УДК 620.9

**ВИХРЕВАЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА**

© 2013 В. В. Бирюк, А. С. Красноруцкий

Самарский государственный аэрокосмический университет  
имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)

Предложено использование вихревых ветроэнергетических установок для выработки электроэнергии на компрессорных станциях магистральных газопроводов. Спроектирована трёхмерная модель и выполнен численный расчёт статорной части ветроэнергетической установки на различных режимах работы. Получены распределения параметров потока в расчётной области. Выявлена зависимость величин параметров в области расчёта от скорости ветра вокруг установки.

*Ветроэнергетическая установка, компрессорная станция, математическое моделирование, поле параметров.*

Компрессорные станции (КС) магистральных газопроводов с газоперекачивающими агрегатами (ГПА) относятся к первой наиболее ответственной по надёжности электроснабжения категории потребителей. На электропривод вентиляторов газоохладителей, маслоохладителей и на другие собственные нужды КС в зависимости от числа и типов ГПА затрачивается несколько мегаватт электрической энергии. Анализ [1] показывает, что из всех видов отказов электроснабжения около 90% приходится на внешнее электроснабжение. Число аварий при электроснабжении через высоковольтные линии электропередачи (ЛЭП) значительно выше, чем на КС, имеющих электростанции собственных нужд. Потери электроэнергии при трансформации и транспорте по протяжённым ЛЭП достигают 15 %. Поэтому появилась необходимость перехода на автономное электроснабжение КС. В последние годы строительство и реконструкция электростанций собственных нужд осуществляется в ОАО «Газпром» по Программе внедрения и строительства электрических станций и энергоустановок. Предусмотрено оснащение газотурбинных КС высокоэкономичными газотурбинными или парогазовыми энергоустановками собственных нужд. При этом будет достигаться сокращение зависимо-

сти КС от поставок внешней дорогой электроэнергии, а также отказ от низкоэкономичных энергоустановок. Но этот путь требует больших капитальных затрат.

Так, например, на КС «Вуктыльская» для повышения надёжности её электроснабжения [2] применены три независимых источника электроэнергии – вновь построенная газотурбинная электростанция мощностью 12 МВт включает три ГТУ по 4 МВт с КПД 23,77 %, кроме того электроснабжение резервируется двумя высоковольтными ЛЭП и дизельной электростанцией аварийного электроснабжения. Выработка тепловой энергии для теплоснабжения потребителей производится утилизационными теплообменниками мощностью по 9,42 МВт. Число часов использования установленной мощности электростанции 8256 часов в год.

С учётом тенденции непрерывного повышения стоимости внешней электроэнергии и повышения себестоимости транспорта газа становится актуальной задача повышения надёжности и экономической эффективности электроснабжения собственных нужд КС.

Возможен иной путь – обеспечение собственных нужд на КС посредством выработки электроэнергии от вторичных энергетических ресурсов, а именно – вет-

ра. Ветрогенераторы с горизонтальной осью, установленные на башнях высотой 30-40 м, имеют при средней скорости ветра в 5-7 м/с мощность порядка 1000 кВт. Удельные капиталовложения в ветрогенераторные установки равны 40-50 тыс. рублей/кВт. Ограничения, накладываемые высокой стоимостью и возможностью их применения только в районах с высокой скоростью ветра, делают такие ветрогенераторные установки малоэффективными для обеспечения собственных нужд КС.

Известны тороидальные ветроэнергетические установки с вертикальной осью. В их гиперболическом корпусе (статоре) образуется закрученный воздушный поток с высокой кинетической энергией. В центральной области вихря давление понижено относительно атмосферного. Поэтому в восходящий смерчеобразный поток втягивается дополнительная масса воздушного потока тем большая, чем выше скорость ветра. В ветроколесе кинетическая энергия воздушного потока преобразуется в механическую работу, используемую для выработки электроэнергии. Тороидальные установки при меньшей скорости ветра могут развивать в несколько раз большую мощность, чем ветроэнергетические установки с горизонтальной осью вращения рабочих лопаток.

Из выхлопных устройств газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций в атмосферу выбрасываются огромные объемы отработавших газов. Однако кинетическая энергия уходящих газов сравнительно невелика и практически не позволяет использовать их энергетический потенциал для выработки электроэнергии. Также следует отметить, что при попытке увеличения скорости выхлопных газов в выхлопных устройствах ГПА повышается сопротивление выхлопного тракта, что приводит к снижению мощности ГПА.

В настоящее время перспективна разработка новых типов энергетических установок собственных нужд КС на базе газоветрогенераторов смерчевого типа, производящих выработку электроэнергии

с использованием энергетического потенциала потока высокотемпературных выхлопных газов газовых турбин ГПА и кинетической энергии ветра.

На рис.1 представлена схема движения в вихревой ветроэнергетической установке потоков атмосферного воздуха и отходящих газов ГПА.

Завихритель вызывает смерчевое вращение воздушного потока с увеличением его тангенциальной скорости, созданием разрежения в осевой части вихря. В осевую часть корпуса вводится высокотемпературный поток выхлопных газов ГПА. Он закручивается, смешивается с воздушным потоком и ускоряется вместе с ним.

Если на периферии гиперболического статора преобладает тангенциальная составляющая скорости закрученного потока, то в его центральной части происходит значительное увеличение осевой скорости газового потока.

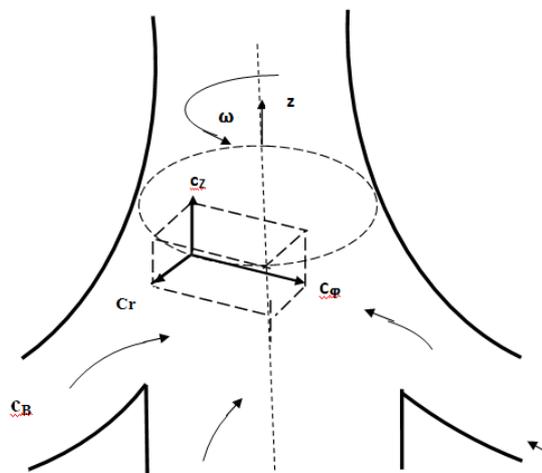


Рис. 1. Схема газозвудушных потоков в статоре установки:

$C_B, C_G$  - скорости воздушного и газового потоков на входе в газоветроустановку;

$C_z, C_r, C_\phi$  - проекции абсолютной скорости газозвудушного потока на оси координат;

$\omega$  и  $z$  - тангенциальная и осевая скорости газозвудушного потока

Конструктивная схема вихревой ветроэнергетической установки приведена на рис.2.

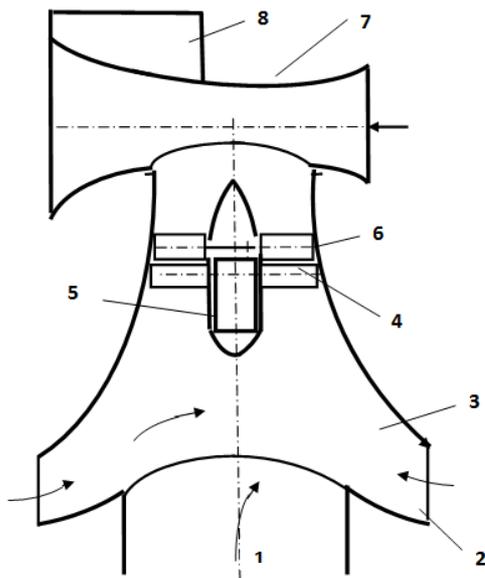


Рис.2 Принципиальная схема вихревой ветроэнергетической установки ГПА:

1 – выхлопная труба ГПА; 2 – криволинейные воздушные каналы; 3 – гиперболический статор; 4 – направляющий аппарат; 5 – электрогенератор; 6 – лопатки осевой турбины; 7 – труба Вентури; 8 – флюгер.

Корпус установки имеет гиперболическую форму с входным завихрителем воздушного потока и установлен над выхлопной трубой ГПА.

В его верхней части размещена одноступенчатая осевая турбина с генератором постоянного тока. Над корпусом размещается подвижная труба Вентури. Применение вихревой ветроэнергетической установки позволит решить проблему надёжного и экономичного электроснабжения КС с отказом или сокращением потребления электроэнергии из внешних электрических сетей, особенно для КС в северных районах страны, удалённых от электростанций на сотни километров.

Рассмотренный принцип и конструктивная схема вихревой ветроэнергетической установки позволяют эффективно использовать для выработки электроэнергии как энергию выхлопных газов ГПА, так и кинетическую энергию ветра. Эти установки позволяют обеспечить:

- повышение скорости, кинетической энергии и массового расхода газо-

воздушного потока, поступающего на осевую турбину;

- разбавление выхлопных газов воздушным потоком, что снизит концентрацию оксидов азота и углерода и уменьшит высоту выхлопных труб ГПА.

Для подтверждения основных положений описанного принципа был проведён численный компьютерный аэродинамический расчёт работы статорной части вихревой ветроэнергетической установки. Результаты компьютерного исследования модели статорной части без учёта влияния ветра в атмосфере (скорость ветра равна нулю) изложены в работе [5].

Дальнейшим направлением компьютерного исследования была корректировка модели статорной части установки в соответствии с планируемым проведением натурального экспериментального исследования в лаборатории лазерной диагностики структуры потока СГАУ на модели, изготовленной способом быстрого прототипирования. Следующим этапом было получение зависимостей параметров работы установки от скорости ветра вокруг установки.

На рис. 3 изображена модель статорной части установки, изготовленная способом быстрого прототипирования и закрепленная на аэродинамическом стенде для проведения эксперимента.



Рис. 3. Модель статорной части установки на аэродинамическом стенде

На рис. 4 изображена компьютерная сеточная модель статорной части установки.

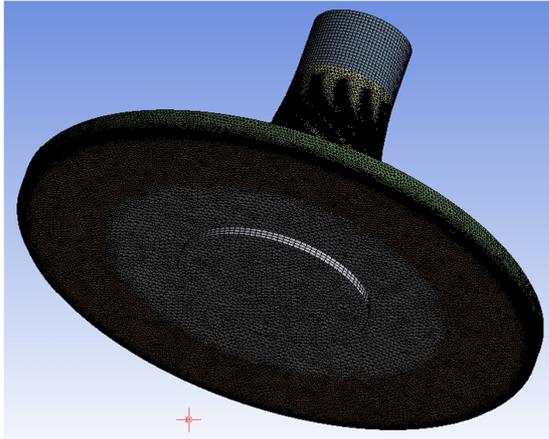


Рис. 4. Компьютерная сеточная модель статорной части установки

Данная компьютерная модель рассчитана в программном пакете Fluent. При создании компьютерной модели работы установки с учётом ветра были решены следующие задачи:

- создать геометрическую модель пространства вокруг модели завихрителя;
- создать сеточную модель;
- рассчитать движение воздуха, обтекающего модель совместно с движением воздуха и рабочего тела в установке.

На рис. 5 изображены линии тока рабочего тела в установке и воздуха в атмосфере, полученные в результате расчета движения воздуха, обтекающего модель совместно с движением воздуха и рабочего тела в установке.

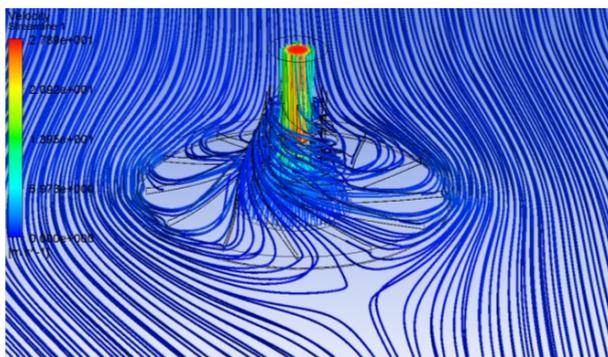


Рис. 5. Линии тока рабочего тела в установке и воздуха в атмосфере

На рис. 6 – 8 графически представлены результаты компьютерных расчетов аэродинамической структуры потоков рабочего тела исследуемой модели статор-

ной части вихревой ветроэнергетической установки на различных режимах работы и при различных значениях скорости ветра, набегающего на установку.

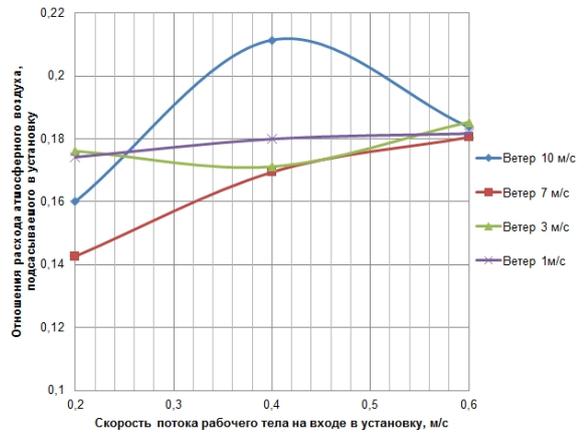


Рис. 6. Зависимости отношения расхода атмосферного воздуха, подсасываемого в установку, от скорости потока рабочего тела на входе в установку и скорости ветра в атмосфере

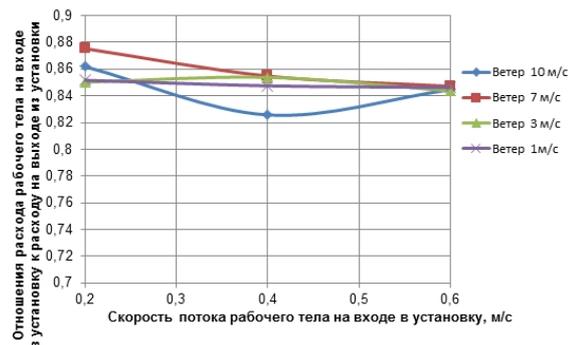


Рис. 7. Зависимости отношения расхода рабочего тела на входе в установку к расходу на выходе из установки от скорости потока рабочего тела на входе в установку и скорости ветра в атмосфере

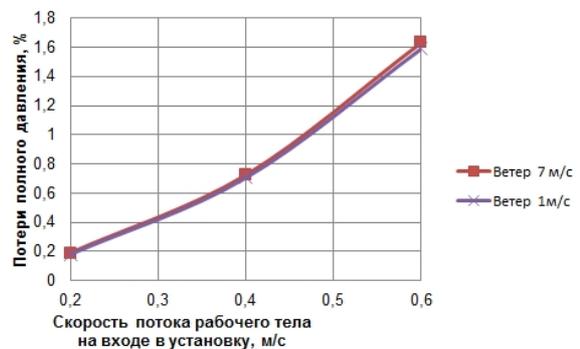


Рис. 8. Зависимости потери полного давления от скорости потока на входе в установку и скорости ветра в атмосфере

Полученные результаты моделирования позволяют судить о работе установки на различных режимах работы при различных величинах скорости ветра.

Несомненными преимуществами применения методов численного моделирования являются низкие стоимость и временные затраты, по сравнению с натурными экспериментами, полнота информации и возможность моделирования реальных условий работы изделия. Применение расчётных методов, в частности численного моделирования, в комплексе с натурным экспериментом позволит снизить сроки проектирования и доводки вихревой ветроэнергетической установки от концепции до опытного образца за счёт ускорения процесса получения информации о её рабочем процессе.

#### Библиографический список

1. Микаэлян, Э.А. Повышение качества, обеспечение надёжности и безопасности магистральных газонефтепроводов для совершенствования эксплуатационной пригодности. Серия: Устойчивая энергетика и общество [Текст] / Э.А. Микаэлян; под ред. проф. Г.Д. Маргулова. – М.: Топливо и энергетика, 2001. – 640 с.
2. Бушмелев, К.В. Электростанция собственных нужд КС «Вуктыльская» ОАО «Газпром» [Текст] / К.В. Бушмелев, Д.А. Деринский, И.В. Белоусенко [и др.] // Турбины и Дизели. – Рыбинск: ООО "Турбомашин", 2010. – № 5. - С. 20-25.
3. Бирюк, В.В. Методика расчёта вихревых установок [Текст] / В.В. Бирюк, Р.А. Серебряков, А.П. Толстоногов – Самара: НТО, СГАУ, 1992. – 96 с.
4. Серебряков, Р.А. Вихревая ветроэнергетика [Текст] / Р.А. Серебряков, В.В. Бирюк, А.П. Толстоногов [и др.] // РК техника: науч.-техн. сб.; сер. 12. – 1999. – С. 41-61.
5. Бирюк, В.В. Вихревая газетротроэнергетическая установка для электроснабжения компрессорных станций [Текст] / В.В. Бирюк, И.А. Зубрилин, А.С. Красноруцкий. // Вестн. Самар. гос. аэрокосм. ун-та. – 2011. – № 5(29). – С. 29-35.

### VORTEX WIND POWER PLANT

© 2013 V. V. Biryuk, A. S. Krasnorutskiy

Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov  
(National Research University)

Proposed to use the vortex wind power plants to generate electricity for compressor stations of gas pipelines. Designed a three-dimensional model and the numerical calculation of the stator wind-power plant at different operating conditions. The distributions of the flow in the computational domain. The dependence of the parameter values in the calculation of the wind speed around the unit.

*Wind power plant, compressor station, mathematical modeling, parameter field.*

#### Информация об авторах

**Бирюк Владимир Васильевич**, доктор технических наук, профессор кафедры теплотехники и тепловых двигателей, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: [Teplotex\\_ssau@bk.ru](mailto:Teplotex_ssau@bk.ru). Область научных интересов: термодинамика.

**Красноруцкий Алексей Сергеевич**, аспирант кафедры теплотехники и тепловых двигателей, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: [alex-energoaudit@mail.ru](mailto:alex-energoaudit@mail.ru). Область научных интересов: вихревой эффект и его применение в технике.

**Vladimir Vasilievich Biryuk**, the doctor of engineering science, professor of the Department of thermotechnics and heat engines, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolev (National Research University). E-mail: [Teplotex\\_ssau@bk.ru](mailto:Teplotex_ssau@bk.ru). Area of research: thermodynamics.

**Alexey Sergeevich Krasnorutskiy**, the postgraduate student of the Department of thermotechnics and heat engines, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolev (National Research University). E-mail: [alex-energoaudit@mail.ru](mailto:alex-energoaudit@mail.ru). Area of research: Vortical effect and its application in a technique.