

РАССМОТРЕНИЕ ПОЛНЫХ НАГРУЗОК НА ВЕТРЯНУЮ ТУРБОГЕНЕРАТОРНУЮ ЭНЕРГОУСТАНОВКУ, ВЫПОЛНЕННУЮ ПО ГОРИЗОНТАЛЬНО-ПРОПЕЛЛЕРНОЙ СХЕМЕ

В. О. Габринец¹, М. С. Голубенко¹, О. С. Белогуrow²

¹ Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара

² ТОВ «ЛКТБ «Конкорд»

РОЗГЛЯД ПОВНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ВІТРЯНУ ТУРБОГЕНЕРАТОРНУ
ЕНЕРГОУСТАНОВКУ, ВИКОНАНУ ЗА ГОРИЗОНТАЛЬНО-ПРОПЕЛЕРНОЮ СХЕМОЮ

Розглянуто різні методики розрахунку навантажень для вітряних електричних установок (ВЕУ), які виконані за класичною схемою. Проведено огляд повних навантажень на турбогенераторну енергоустановку. Визначено додаткові навантаження, що діють на ВЕУ, виконану за турбогенераторною схемою, які не враховує класична методика розрахунку.

Ключові слова: вітряна електрична установка, горизонтально-пропелерна схема, навантаження.

V. O. Gabrinetz¹, N. S. Golubenko¹, O. S. Bilogurov²

¹ O. Gonchar Dnipropetrovsk national university

² LLC design bureau «Konkord»

INVESTIGATION OF THE TOTAL LOAD OF A WIND TURBINE-GENERATOR SET ACCORDING
TO THE HORIZONTALLY PROPELLER SCHEME

Different classical methods of a total load estimation of the wind electrical set were considered. Examination of the total loads of turbine-generator set was realized. Additional loads that classical methods do not take into account were found and evaluated according to the turbine-generator scheme.

Keywords: wind turbine-generator set, horizontally propeller scheme, load.

В связи с резким сокращением энергетических ресурсов в мире и подорожанием энергоносителей большинство развитых стран мира пошли по пути использования возобновляемых источников энергии. Одним из них является использование энергии ветра.

Для районов с малыми скоростями ветров использование классических ветряных электрических установок (ВЭУ) является проблематичным. Поэтому необходима разработка новых схем и конструкций, позволяющих использовать ВЭУ в таких районах. Одним из решений в этой области может быть схема ВЭУ, выполненная по турбогенераторной горизонтально-пропеллерной схеме с передним по направлению ветра расположением ротора.

Отличительной особенностью турбогенераторной схемы ВЭУ является наличие на лопастях основного ротора дополнительных турбогенераторов малого размера, которые приводятся во вращение дополнительными лопастями, вращающимися за счет набегающего на эти лопасти потока воздуха. Кажущаяся скорость набегающего воздуха является результатом сложения действительной скорости ветра и окружной скорости лопастей основного ротора.

Установка такого типа ТГ-750М была создана в ПФГ «Конкорд». Ее схема приведена на рис. 1. Она выполнена по оригинальной турбогенераторной горизонтально-пропеллерной схеме с передним по направлению ветра расположением ротора.

На схему этой ветряной электрической установки (ВЭУ) выдан патент Украины № 76797, являющийся собственностью ПФГ «Конкорд». Основные характеристики ВЭУ приведены в табл. 1.

Турбогенераторная схема ВЭУ в сравнении с отечественными и зарубежными аналогами, выполненными по горизонтально-пропеллерной схеме, имеет следующие преимущества (Голубенко, 2003):

– для передачи крутящего момента на генераторы вместо механического мультипликатора принят аэродинамический на основе турбогенераторов, установленных в средней части лопастей основного ротора;

– благодаря аэродинамической мультипликации оборотов основного ротора последний вращается с переменной частотой оборотов и максимально возможным КПД во всем диапазоне рабочих скоростей ветра;

- для генерирования электроэнергии применены синхронные индукторные генераторы с пониженной частотой оборотов (375 об/мин);
- запуск, остановка и регулирование мощности ВЭУ в процессе генерирования электроэнергии обеспечиваются автономным поворотом каждой концевой части лопасти с помощью автономного электромеханического привода. Это повышает вероятность выполнения аварийной остановки ротора даже в случае отказа одного из приводов и повысит эксплуатационные качества;
- обеспечивает генерирование электроэнергии во всем рабочем диапазоне скоростей ветра от 3,5 до 25 м/с.

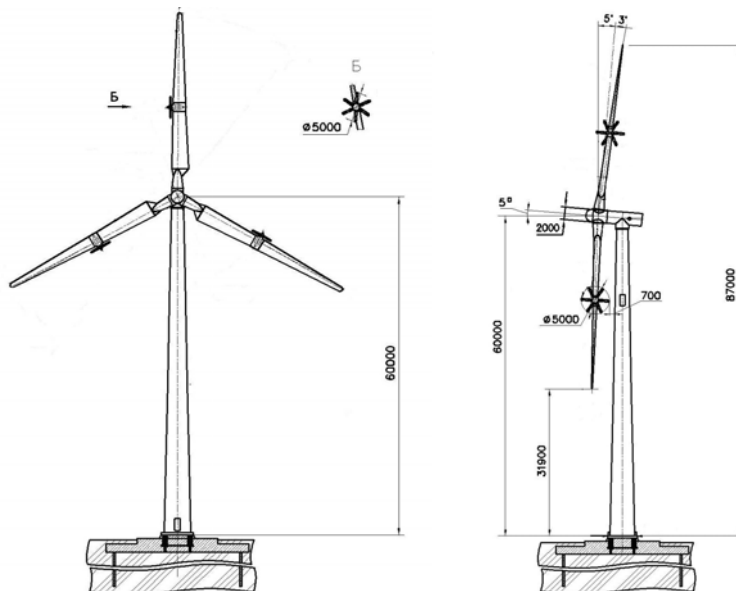


Рис. 1. ТГ-750М (вид спереди и вид сбоку)

Основные характеристики ВЭУ ТГ-750М

Наименование параметра (характеристики)	Значение
Тип	Горизонтально-осевая
Номинальная мощность, кВт:	750,0
Скорость ветра, м/с:	
- начальная (стартовая)	2,6
- номинальная	11
- перевод лопастей во флюгер	25,0
- предельная (буревая)	65,0
Ротор:	
- диаметр, м	56,0
- количество лопастей, шт.	3
- частота вращения, об/мин	7,5–27
- высота оси ротора, м	60,0
- материал лопастей ротора	Стеклопластик
Турбогенераторы:	
- количество, шт.	3
- номинальная частота вращения турбины, об/мин	375
- частота вращения турбины, об/мин	Переменная
- частота вращения турбины, об/мин	Переменная
- материал лопастей турбины	Стеклопластик
Генератор:	
- тип	Синхронный индукторный
- количество, шт.	3
- мощность, кВт	250
- напряжение, В	400
- номинальная частота тока, Гц	50
- номинальная частота вращения ротора, об/мин	375

При проектировании любой ВЭУ важнейшим этапом является определение нагрузок, действующих на элементы конструкции. На основе этих данных производится расчет прочности и долговечности конструкции.

Ввиду сложности конструкции необходимо знать величины напряжений, действующих в различных узлах.

Расчет нагрузок для ВЭУ, выполненных по классической схеме, проводится по методике, представленной в технических условиях на безопасность ветросиловых установок «Германишер Ллойд».

При расчете используются такие системы координат:

– лопастная система координат – начало системы координат лежит в общей точке комля всех лопастей ротора. Лопастная система координат вращается вместе с лопастью;

– система координат, у которой начало координат лежит в центре неподвижной втулки ротора. Эта система координат не вращается;

– система координат, у которой начало координат лежит в точке пересечения осей ротора и колоннообразной опоры. Эта система координат не вращается

Методика расчета учитывает следующие нагрузки:

– нормальные эксплуатационные нагрузки (аэродинамические нагрузки на ротор, аэродинамические нагрузки на лопасти ротора);

– эксплуатационные нагрузки с фактором порыва набегающего воздушного потока, при этом производится анализ ситуации, определяющейся различными сочетаниями эксплуатационных нагрузок с условиями или факторами порывов набегающего воздушного потока. Производится расчет величины аэродинамических нагрузок на ротор и величины аэродинамических нагрузок на одну лопасть. В данном случае эксцентриситетом приложения ветровых сил можно пренебречь;

– эксплуатационные нагрузки в условиях отклонения воздушного потока;

– нагрузки, возникающие от гироскопических сил (для эксплуатационного режима производства электроэнергии с рысканьем вместе с условиями самопроизвольного изменения направления распространения ветра), при этом рассматриваются два случая:

а) начало движения рысканья;

б) движение рысканья с постоянной угловой скоростью;

– нагрузки, возникающие от сил торможения;

– нагрузки, возникающие вследствие короткого замыкания в контуре генератора.

При рассмотрении различных случаев нагрузок, перечисленных выше, такие параметры, как величина градиента скорости набегающего воздушного потока, отклонение воздушного потока, подветренный эффект колоннообразной опоры и эффект турбулентности, а также значение скорости набегающего потока или ветра, отличающиеся от расчетной величины, не обязательно должны рассчитываться при анализе любого случая нагрузки, определяющегося сочетанием или комбинацией различных параметров с нормальными условиями окружающей среды.

При эксплуатации ВЭУ ТГ-750М на лопасти турбины и ротора ВЭУ воздействует комплекс нагрузок, обусловленных внешними факторами и функционированием узлов и агрегатов самой ВЭУ. Кроме вышеописанных нагрузок, на ВЭУ ТГ-750М дополнительно действуют нагрузки:

1. Гравитационные нагрузки (сила тяжести).

Дополнительные нагрузки на лопасти ротора и ступицу ВЭУ возникают от действия веса турбогенераторов, расположенных в центральной части каждой лопасти основного ротора.

Проектный вес турбины (1600 кг), генератора (3000 кг), устройства поворота концевой (поворотной) лопасти УПКЛ (1500 кг), поворотной лопасти (1000 кг). Суммарный вес G , расположенный в центральной части лопасти основного ротора, составляет 7 тонн. Такие значения веса не характерны для ВЭУ, выполненной по классической схеме.

Также в результате конструктивных особенностей ВЭУ угол между осью гондолы и горизонтом составляет 5° , а лопасти основного ротора отклонены на 3° от плоскости вращения (см. рис. 1), возникают дополнительные нагрузки от веса G в вертикальной плоскости (рис. 2).

2. Нагрузки от действия инерционных сил.

2.1. Центробежные силы при вращении турбогенератора (ТГ).

При вращении турбины, расположенной в центральной части основного ротора, возникают центробежные силы T_0 , действующие на лопасти турбогенератора.

2.2. Центробежные силы при вращении ротора ВЭУ.

При вращении основного ротора возникают центробежные силы, которые направлены от оси вращения ротора и действуют на лопасти ротора ВЭУ и лопасти турбины.

Расчет нагрузок на все элементы ВЭУ усложняется в результате конструктивных особенностей установки.

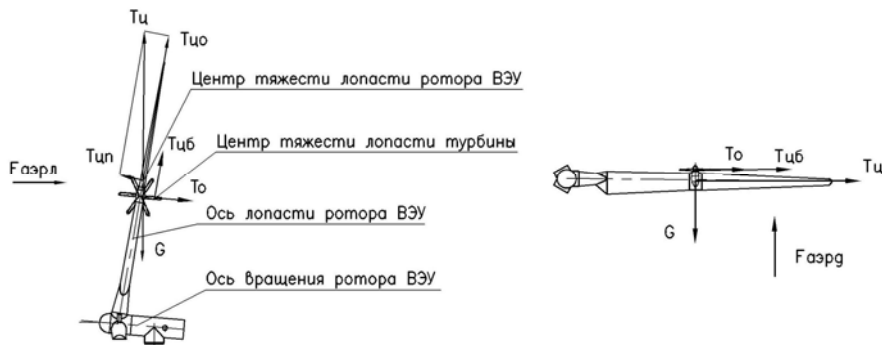


Рис. 2. Схема действия нагрузок на лопасть основного ротора ВЭУ и лопасть турбины

При наличии угла 3° между плоскостью вращения основного ротора центробежную силу $T_{ц}$ можно разложить на две составляющие. Первая – $T_{ц0}$ – направлена вдоль оси лопасти основного ротора (возникает осевая сила), вторая – $T_{цп}$ – направлена перпендикулярно плоскости вращения ротора (возникает изгибающий момент и перерезывающая сила) и частично компенсирует лобовую аэродинамическую силу $F_{азрл}$.

В результате отклонения оси турбогенератора на 15° от плоскости вращения основного ротора усложняется расчет расстояния от оси вращения основного ротора до центра тяжести лопасти турбины, к которому приложена центробежная сила $T_{цб}$, действующая при вращении основного ротора. При совместном вращении основного ротора и турбины расстояние от оси вращения ротора до центра тяжести лопасти турбины будет переменным. Влияние изменения этого значения на нагрузки, действующие на ВЭУ, будет рассматриваться в дальнейшем.

2.3. Силы инерции Кориолиса при вращении турбины и ротора ВЭУ.

При совместном вращении основного ротора и турбины возникают силы инерции Кориолиса. Значение сил инерции Кориолиса изменяются в зависимости от угла между осью лопасти основного ротора и осью турбины.

Силы инерции Кориолиса действуют перпендикулярно плоскости вращения основного ротора в результате отклонения оси турбогенератора на 15° от плоскости вращения основного ротора, силу инерции Кориолиса можно разложить на две составляющие. Первая направлена вдоль оси лопасти турбины (возникает осевая сила), вторая составляющая сил инерции Кориолиса направлена перпендикулярно плоскости вращения турбины (возникает изгибающий момент и перерезывающая сила).

3. Аэродинамические нагрузки.

$F_{азрл}$ – аэродинамическая лобовая сила, действующая вдоль оси вращения ротора.

$F_{азрд}$ – аэродинамическая движущая сила.

В результате конструктивных особенностей ВЭУ, кроме аэродинамических нагрузок, которые действуют на установку, выполненную по классической схеме, возникают дополнительные нагрузки, в том числе и косые обдувы.

Косой обдув возникает в результате несовпадения оси вращения турбины и суммарного набегающего воздушного потока. Так как центр вращения турбины расположен на расстоянии 1 м от оси лопасти ротора, то угол между набегающим потоком и осью турбины составляет $4,2^\circ$ (рис. 3).



Рис. 3. Схема косого обдува при угле между набегающим потоком и осью вращения турбины

Методика расчета нагрузок для ВЭУ, выполненных по классической схеме, не учитывает дополнительных нагрузок, возникающих на лопастях турбины и ротора вследствие вращения основного ротора и турбогенератора указанной ВЭУ.

ВЫВОДЫ

Нагрузки, действующие на элементы установки, выполненной по турбогенераторной схеме, не могут быть рассчитаны по методике для ВЭУ, выполненных по классической схеме. Для расчета дополнительных нагрузок, возникающих вследствие конструктивных особенностей вышеописанной ВЭУ, необходимо разработать методику расчета, отличную от классической. Полный расчет, учитывающий весь комплекс нагрузок, ВЭУ ТГ-750М будет проведен в последующих работах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Голубенко Н. С. Тенденции развития ветроэнергетики и безмультипликаторные турбогенераторные ветровые установки / Н. С. Голубенко, С. И. Довгалюк, А. М. Фельдман и др. // Нетрадиционная энергетика в XXI веке. – Крым, 2003. – С. 68-75.

Технические условия на безопасность ветросиловых установок «Германишер Ллойд».

Установка ветровая электрическая турбогенераторная ТГ-750М (серийный образец) ТГ-750М 011-07 ОТ технический облик.

Надійшла до редколегії 09.07.08