

**Н.С. Голубенко, В.Е. Олишевская,
С.Д. Курдюков, Г.С. Олишевский, С.С. Курдюков**

ПКТБ "Конкорд", Национальный горный университет, Днепропетровск

ВЕТРОВАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ТГ-750



Описана конструкция новой ветроэлектрической турбогенераторной установки ТГ-750, отличающаяся от традиционных трехлопастных машин, применяемых в мире. Новые технические решения позволили уменьшить массу установки по сравнению с западными агрегатами на 25 %, снизить ее стоимость на 20 %, получить стабильно высокие значения КПД основного ветроколеса от начала работы до номинальной скорости ветра.

Ключевые слова: ветровая электрическая турбогенераторная установка, безмультипликаторная схема, мощность турбины, многополюсный генератор, масса установки, ротор, ветроколесо.

Актуальная практически для всех стран мира энергетическая проблема особенно остро чувствуется в Украине. Имея такие энергоемкие отрасли промышленности, как химия, металлургия, машиностроение и металлообработка, Украина способна лишь на 40 % обеспечить свои потребности собственными топливно-энергетическими ресурсами. За последние десятилетия Украина сильно отстала от других стран в сфере разработки и внедрения современных технологий и нового оборудования. Подобное положение обусловлено тем, что по размерам инвестиций Украина занимает одно из последних мест в мире. Применение практически во всех отраслях промышленности устаревших энергозатратных технологий привело к тому, что затраты энергии в Украине на производство единицы продукции в черной металлургии выше по сравнению с Россией в 2,2 раза, с США — в 10,8 раз, с Японией — в 52 раза. Аналогичная картина наблюдается и в других отраслях отечественной промышленности [1, 2].

Одним из основных секторов производства любой страны является топливно-энергетический комплекс (ТЭК), который в значительной мере определяет эффективность общественного производства и уровень жизни людей. В технически развитых странах основным энергоносителем служит нефть, а в Украине основным видом топлива, используемым промышленностью, является природный газ. За счет собственной добычи Украина обеспечивает свои потребности в нефти на 10 %, в природном газе — на 20 %, а остальное приобретает по импорту. Доля энергоресурсов в импорте Украины составляет около 60 % [3]. Растущая разница между большим потреблением энергии и малыми возможностями привела к кризису в ТЭК, который к тому же усугубляется несовершенным законодательством, не стимулирующим инвесторов, малым капиталом украинских банков и отсутствием четкой программы вывода энергетики страны из кризиса.

Основные пути вывода энергетики Украины из кризиса следующие:

† внедрение энергосберегающих технологий, процессов и оборудования;

- ✦ внедрение нетрадиционных методов получения энергии;
- ✦ рациональное использование топлива и энергии;
- ✦ расширение объемов добычи нефти и газа на собственной территории, прежде всего на морском шельфе;
- ✦ внедрение технологий, обеспечивающих более полную переработку нефти;
- ✦ внедрение автономной энергетики взамен централизованной в виде теплофикацион-

Величины природного и технического потенциала энергии ветрового потока в условиях Украины

Регион, средняя годовая скорость ветра v_{cp} , м/с	H, м	Природный потенциал		Потенциал, который можно реализовать технически	
		E_p , кВт × час / (м ² × год)	v_p , м/с	E_t , кВт × час / (м ² × год)	v_t , м/с
Север v_{cp} , м/с < 4,25	10	944	8,5	174	8,5
	15	1 123	8,8	203	8,8
	30	1 512	9,9	279	9,9
	45	1 799	10,5	332	10,5
	60	2 036	11,0	375	11,0
	80	2 303	11,3	421	11,3
Центр $4,25 \leq v_{cp} \leq 4,75$	100	2 534	11,7	463	11,7
	10	1 690	10,0	330	10,0
	15	2 011	10,5	390	10,5
	30	2 708	11,5	518	11,5
	45	3 222	12,5	630	12,5
	60	3 645	12,8	702	12,8
Юг $4,75 \leq v_{cp} \leq 5,25$	80	4 124	13,3	786	13,3
	100	4 538	13,7	848	13,5
	10	2 365	11,2	439	11,2
	15	2 814	11,8	519	11,8
	30	3 788	13,0	689	13,0
	45	4 508	13,8	797	13,5
Крым, Карпаты $5,25 \leq v_{cp} \leq 5,75$	60	5 100	14,4	861	13,5
	80	5 768	15,0	925	13,5
	100	6 346	15,5	976	13,5
	10	2 694	11,3	525	11,3
	15	3 206	12,0	622	12,0
	30	4 316	13,3	832	13,3
	45	5 136	14,1	944	13,5
	60	5 811	14,7	1018	13,5
	80	6 574	15,3	1092	13,5
	100	7 234	15,7	1149	13,5

ных электростанций на предприятиях и индивидуальных котельных в жилых домах [4].

Сегодня основное количество энергии в Украине вырабатывается на атомных электростанциях (АЭС), тепловых электростанциях (ТЭС), гидроэлектростанциях (ГЭС). Несомненно, наиболее перспективным является развитие атомной энергетики, но в условиях недостаточного финансирования ТЭК более выгодными экономически становятся возобновляемые источники энергии: ветряные электростанции, использующие энергию ветра; гелиоэлектрические станции, использующие энергию солнца; геотермальные станции, работающие на тепловой энергии подземных источников. Достоинствами этих источников являются их возобновляемость, относительно невысокая стоимость проектов, экологическая чистота. К недостаткам этих видов энергии можно отнести их низкую концентрацию и нестабильность.

Одним из перспективных направлений получения энергии является разработка и внедрение ветряных электростанций. В развитых странах ветроэнергетика интенсивно развивается, и сегодня общая мощность установленных ветроэлектростанций достигла 60 млн. кВт.

Энергию ветра использовали с давних времен и в Украине. Например, в 1917 г. количество ветряков в Украине доходило до 20 000 [4]. Однако к 1955 году количество ветряков сократилось до 8 500, а в последние годы энергия ветра в Украине не использовалась вообще. Работы в области ветроэнергетики возобновились в Украине только в 90-е годы XX ст., когда в г. Днепропетровске сотрудниками ГКБ "Южное" был разработан первый в мире ветроагрегат с синхронным генератором АВЭ-250СМ, который может работать автономно или параллельно с дизель-генератором, а также с промышленной сетью без преобразователя частоты. В 2000-02 гг. было установлено 10 агрегатов АВЭ-250СМ, образовавших Анадырскую ВЭС (Россия) и к настоящему времени практически окупившихся.

С целью исследования перспективности территории Украины с точки зрения установки ВЭС был проведен анализ статистических данных по скорости ветра. Систематические измерения скорости ветра, проводимые в Украине на протяжении последних 40 лет, показали, что, несмотря на небольшую скорость ветра в большинстве районов Украины, страна имеет достаточно большой энергетический потенциал для успешного развития ветроэнергетической отрасли (табл.) [4]. По данным о скорости ветра территория Украины поделена на зоны — Север, Центр, Юг, Крым и Карпаты. Благоприятные регионы для промышленного производства электроэнергии характеризуются среднегодовой скоростью ветра 5 м/с и 5,5 м/с на высоте 10 м над поверхностью земли. По статистическим данным такая скорость ветра наблюдается в следующих регионах Украины: Азовско-Черноморское побережье, Одесская, Херсонская, Запорожская, Донецкая, Луганская, Николаевская области, АРК и район Карпат. Наибольшая скорость ветра наблюдается на открытых высокогорных станциях в Карпатах (Плай, Пожежевська) и в Крыму (Ай-Петри, Караби-Яйла), на мысах и косах Черного и Азовского морей. Общая площадь, на которой целесообразно получение электрической энергии от ветроустановок, составляет 20 % площади Украины [4]. Эти данные дают возможность сегодня признать целесообразность использования ветроустановок в Украине.

В ветроэнергетической установке (ВЭУ) традиционной конструкции кинетическая энергия ветра превращается в механическую энергию вращения ротора, а затем в электрическую на выходе генератора, расположенного в гондоле установки [5]. Согласование ветроколеса с электрической машиной осуществляется с помощью многоступенчатого мультипликатора и сложного механизма поддержания частоты вращения ротора при изменении скорости ветра. Такие системы характеризуются низкой надежностью и высокой стоимостью.



Рис. 1. Проектирование ветровой электрической установки

Кроме того, при разработке ВЭУ мегаваттного класса остро встает проблема увеличения размеров и массы мультипликаторов (редукторов) с ростом мощности ветротурбины. Поэтому сегодня в ветроэнергетических компаниях Германии (Vensys, Henesys), Франции (Jeumont Industrie) и Испании (Mtorres) наметилась явная тенденция создания безредукторных ВЭУ. Один из возможных путей — по безмультипликаторной схеме — может быть реализован с помощью многополюсного генератора. Но как показал опыт компании Enecon (Германия), которая в 2005 г. ввела в эксплуатацию 3 ВЭУ с единичной мощностью по 6 МВт каждая, из 500 т установки E-112 масса генератора составила 200 т, что соответствует 40 % массы агрегата.

Проведенный критический анализ разработок, выполненных отечественными и зарубежными учеными за последние 80 лет, позволил специалистам компании "Конкорд" разработать и запатентовать свою оригинальную схему ВЭУ (рис. 1, 2). В результате был создан уникальный ветроагрегат ТГ-750 мощностью 750 кВт, в котором использованы новая безмультипликаторная турбогенераторная схема преобразования энергии ветра, новые технологии и новые материалы (рис. 3).



Рис. 2. Производство элементов ВЭУ ТГ-750



Рис. 3. Ветровая электрическая установка ТГ-750

Главное отличие установки ТГ-750 от других агрегатов с безмультипликаторными схемами заключается в турбогенераторной схеме преобразования энергии ветра с синхронным генератором. При этом изменено не только количест-

во генераторов с 1-го до 3-х, но и его место расположения: из корпуса гондолы генераторы вынесены на лопасти основного ветроколеса.

Это техническое решение позволило на 25 % уменьшить массу установки и на 20 % снизить ее стоимость (по сравнению с западными аналогами), получить стабильно высокие значения КПД основного ветроколеса от начала работы до номинальной скорости ветра. Весь диапазон скоростей ветра разбит на отрезки: начальная скорость ветра равняется 3,5 м/с, номинальная — 11,4 м/с, а скорость выключения агрегата — 30 м/с. Скорость ветра 65 м/с является предельной или буревой.

Ветровая установка ТГ-750 состоит из следующих основных узлов (рис. 4): ротор с тремя основными лопастями; 3 турбогенератора, расположенные на лопастях; гондола; секционная опора конической формы; система генерирования электроэнергии; система автоматического управления; система безопасности; фундамент; вспомогательные системы.

Ротор содержит ступицу, обтекатель и три лопасти основного ветроколеса.

Ступица ротора выполнена цельносварной. В отличие от классических трехлопастных агрегатов, в которых ветроколесо удерживается мощным валом с двумя подшипниками, в ВЭУ ТГ-750 ротор установлен на подшипниковом узле диаметром 1,5 м.

Технические характеристики ротора:

Диаметр ротора	54 м
Высота оси ротора	50 м
Количество лопастей	3 шт.
Профиль лопасти	NACA
Частота вращения	16÷31,5 об./мин.
Регулирование мощности	поворот лопасти
Конусность	50
Наклон оси ротора	50
Масса	27 т.

Лопастей основного ветроколеса представляют собой механизм с генераторами и устройствами для поворота лопастей. Лопасти состоят из корневой и поворотной частей. Корневая часть лопасти выполнена из стального трубчатого лонжерона с профильной об-

шивкой из листового стеклопластика с симметричным профилем НАСА 040. Корневая часть лопасти стационарно закреплена на ступице, при этом затяжка крепежа выполняется изнутри ступицы. Между корневой и поворотной частями устанавливаются турбогенератор и узел поворота. Поворотная часть выполнена из стеклопластика с несимметричным профилем НАСА 63. Поворотные части лопасти приводятся во вращение электроприводами, что позволяет регулировать скорость вращения ротора. Устройство поворота лопастей изготовлено на заводе Днепрополимермаш.

Турбогенераторы включают в себя индукторный генератор, турбину и обтекатель. Технические характеристики примененных турбогенераторов:

Тип генераторов	индукторный синхронный
Номинальная мощность	250 кВт
Напряжение	400 В
Частота	50 Гц
Количество	3 шт.
Количество лопастей	4 шт.
Частота вращения	600 об./мин.
Диаметр турбогенераторов	4,4 м
Радиус расположения турбогенераторов	13,1 м

Стеклопластиковые элементы ротора — обтекатели ротора и турбогенераторов, лопасти поворотные и обшивка корневых лопастей, а также лопасти турбогенераторов — изготовлены на экспериментальном производстве ПФГ "Конкорд". Генераторы и шкафы управления изготовлены на НΠΑО "Электромаш" (г. Тирасполь), электроприводы устройства поворота лопастей — в Харьковском агрегатном конструкторском бюро. Корпус гондолы выполнен цельносварным (изготовлен на Новокраматорском машиностроительном заводе). Гондола является силовой конструкцией, удерживающей основное ветроколесо с генератором. В гондоле расположен токосъемник (изготовленный на Харьковском электромеханическом заводе). Диаметр гондолы составляет 2 м, а его длина вместе со ступицей — 8,6 м (рис. 3, 4). Масса гондолы с ротором составля-

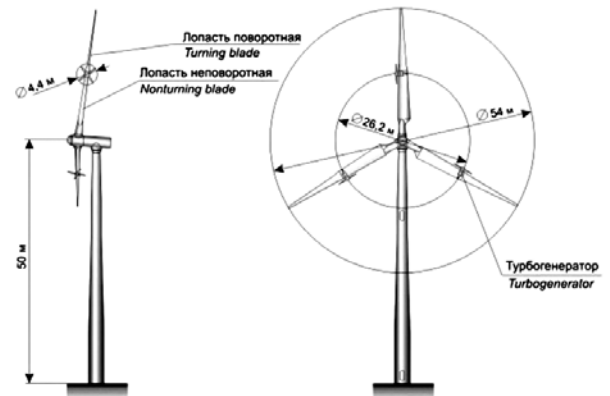


Рис. 4. Геометрические характеристики установки ТТ-750

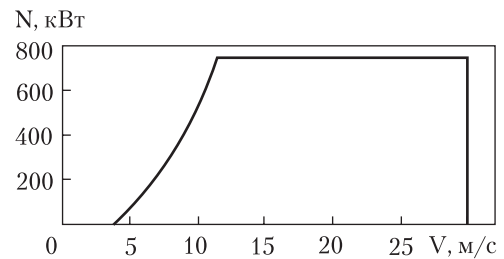


Рис. 5. Зависимость электрической мощности от скорости ветра на высоте ступицы: N — мощность генерируемого электрического тока, кВт; V — скорость ветра, м/с

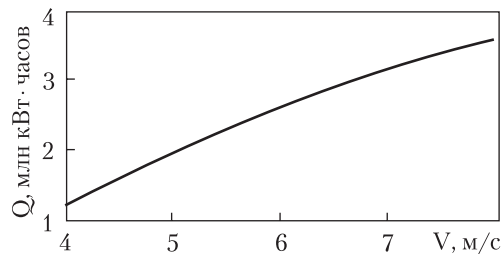


Рис. 6. Зависимость годовой производительности энергии от среднегодовой скорости ветра на высоте оси флюгера 10 м: Q — годовая производительность энергии, млн. кВт часов; V — среднегодовая скорость ветра, м/с

ет 35,5 т. Стальная коническая четырехсекционная опора установки изготовлена на Днепропетровском заводе металлоконструкций им. Бабушкина. Высота опоры — 48 м, диаметр нижней части — 3,7 м, диаметр верхней части — 1,7 м. Масса опоры — 52 т. На уровне турбогенераторов в опоре расположен люк с

выдвижной площадкой, используемой для технического обслуживания турбогенераторов. Система управления ВЭУ разработана и изготовлена в конструкторском бюро "Элемент", г. Одесса.

Система безопасности обеспечивает торможение ротора в случае возникновения следующих ситуаций: при превышении предельных значений частоты вращения ротора, генерируемой мощности, температуры генераторов и при неисправной системе управления.

В положении готовности к работе поворотные лопасти установлены под флюгерным углом атаки 90° к набегающему потоку. При скорости ветра более 3,5 м/с по команде системы управления поворотные лопасти переводятся в рабочее положение, начинается раскрутка ротора и турбин генераторов. После достижения генераторами частоты вращения 600 об/мин система управления подает команду на подключение генераторов к сети и начинается выработка электроэнергии. По мере нарастания скорости ветра растет мощность генерируемого электрического тока (рис. 5). В случае превышения номинальной скорости ветра (11,4 м/с) номинальная мощность поддерживается системой управления за счет изменения угла атаки поворотных лопастей. При скорости ветра более 30 м/с поворотные лопасти переводятся во флюгерное положение и ротор останавливается. Годовая производительность электрической энергии зависит от среднегодовой скорости ветра: в районах с большей среднегодовой скоростью ветра будет больше и годовая производительность энергии (рис. 6).

Летом 2006 г. ВЭУ ТГ-750 была установлена в г. Днепропетровске, а в ноябре 2006 г. был проведен первый пробный запуск установки на автономную нагрузку и получены первые киловатты электроэнергии. В настоящее время ведутся пусконаладочные работы и испытания систем ВЭУ.

ВЭУ ТГ-750 может работать с промышленной сетью и с дизель-генераторной электростанцией в широком диапазоне температур —

от $+50^\circ\text{C}$ до -50°C , а за счет большого момента инерции основного ротора порывы ветра в меньшей степени сказываются на колебаниях параметров вырабатываемой электроэнергии.

Ветровая электрическая установка ТГ-750, не имеющая аналогов в мире, имеет большие перспективы. Агрегат ТГ-750 уже сегодня позволяет получать экономически выгодную и экологически чистую электроэнергию. Кроме того, на базе установки ТГ-750 возможно создание ветроагрегатов с большей мощностью — до 15 МВт. Разработка ВЭУ ТГ-750 является существенным вкладом в создание отечественного конкурентоспособного рынка высоких технологий, что в перспективе поможет вывести страну из энергетического кризиса и выйти на международный рынок наукоемких высоких технологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волчок И.П., Беликов С.Б. Системы современных технологий. — Запорожье: Изд. ОАО "Мотор Сич", 2004. — 352 с.
2. Волчок И.П., Плескач В.М., Шестаков І.А. Сучасні виробничі технології у машинобудуванні та металургії. — Запоріжжя: Дике Поле, 2006. — 360 с.
3. *Энергетический менеджмент* / А.В. Праховник, А.И. Соловей, В.В. Прокопенко и др. Под общ. ред. А.В. Праховника. — К: ИЕЕ НТУУ КПИ, 2001. — 472 с.
4. Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. Энергобезреження в агропромисловому комплексі. — Тернопіль, 2001. — 976 с.
5. Твайделл У.А. Возобновляемые источники энергии. — М.: Энергоиздат, 1990. — 392 с.

М.С. Голубенко, В.Є. Олішевська,
С.Д. Курдюков, Г.С. Олішевський, С.С. Курдюков

ВІТРОВА ЕЛЕКТРИЧНА ТУРБОГЕНЕРАТОРНА УСТАНОВКА ТГ-750

Описана конструкція нової вітроелектричної турбогенераторної установки ТГ-750, яка відрізняється від традиційних світових зразків трилопатевої машини. Нові технічні рішення дали можливість зменшити масу установки порівняно з західними агрегатами на 25 %, знизити її вартість на 20 %, одержати стабільно високі значення ККД.

Ключові слова: вітрова електрична турбогенераторна установка, безмультіплікаторна схема, потужність турбіни, багатополосний генератор, маса установки, ротор, вітроколесо.

M.S. Golubenko, V.E. Olishevskaya,

S.D. Kurdyukov, G.S. Olishevsky, S.S. Kurdyukov

WIND ELECTRIC TURBO-GENERATOR TG-750

Construction of new wind electrical turbo-generator TG-750 is described. It differs from traditional three-

blade machines used in the world. Thanks to new design the plant's mass is 25 % less to compare with western plants, its cost is 20 % less, and efficiency of the key wind-wheel is constantly high from the start up to rated wind speed.

Key words: wind electric turbo-generator, circuit without step-up gear, power of turbine, multipole generator, plant's mass, rotor, wind-wheel.

Надійшла до редакції 24.12.07.

Виставка науково-технічних розробок, присвячена 90-річчю НАН України

25—27 листопада 2008 року у Національному комплексі "Експоцентр України" проводилась **Виставка науково-технічних розробок**, присвячена 90-річчю від часу заснування Національної академії наук України.

У виставці взяли участь **77** наукових установ НАН України з **10** областей України. Було представлено **688** наукових розробок (у тому числі книги) з наступних розділів:

МАТЕМАТИКА
ІНФОРМАТИКА
МЕХАНІКА
ФІЗИКА І АСТРОНОМІЯ
НАУКИ ПРО ЗЕМЛЮ
ФІЗИКО-ТЕХНІЧНІ ПРОБЛЕМИ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА
ФІЗИКО-ТЕХНІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГЕТИКИ
ЯДЕРНА ФІЗИКА ТА ЕНЕРГЕТИКА
ХІМІЯ
МОЛЕКУЛЯРНА БІОЛОГІЯ, БІОХІМІЯ, ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА
І КЛІНІЧНА ФІЗІОЛОГІЯ
ЗАГАЛЬНА БІОЛОГІЯ
ІСТОРІЯ, ФІЛОСОФІЯ ТА ПРАВО
ЛІТЕРАТУРА, МОВА ТА МИСТЕЦТВОЗНАВСТВО