

Опитно изследване на работни колела за вятърен двигател с цилиндрични лопатки

В. С. Обретенков

През последните години се наблюдава засилен интерес към вятърните генератори с малка мощност. Предвид характера на енергоносителя и възможностите на потребителите, важно изискване към тях се явява максималното опростяване на конструкцията с цел постигане на конкурентна цена. Статията представя резултати от опитни изследвания на моделна вятърна турбина с постоянна кривина на работните лопатки. За тази цел работното

колело на серийен ветрогенератор тип AEOLUS-300 с пространствени работни лопатки е заменено с няколко модификации на работното колело с различни по форма (меридианна проекция, радиус на кривината) цилиндрични работни лопатки.

Идеята за използване на цилиндрични лопатки е известна както от хидротурбостроенето, така и от опита в областта на ветроенергетиката. За целите на изследването бяха разработени няколко лопатъчни системи с работни лопатки с постоянна кривина и с различна форма



Фиг. 1. Вятърен двигател с работни лопатки тип WW.

на меридианната проекция:

- В - базова версия с меридианна проекция с променлива циркуляция

Интелстав

Комплексни и научно доказани решения в помощ на проекти за вятърна енергия.

- Оценка на потенциала на вятъра.
- Прогноза и оценка на произведената електроенергия.
- Оценка на ефективността. Загуби и несигурност. Оптимизация.
- Оценка на сегашна и бъдеща стойност на инвестицията.
- Възвръщаемост.

Въздействие върху околната среда. Визуална съвместимост. Сянка. Шум. Алтернативни становища. Експертни оценки.

Ние мислим за поколенията.



Оценка, измерване, планиране и реализация на ветроенергийни проекти

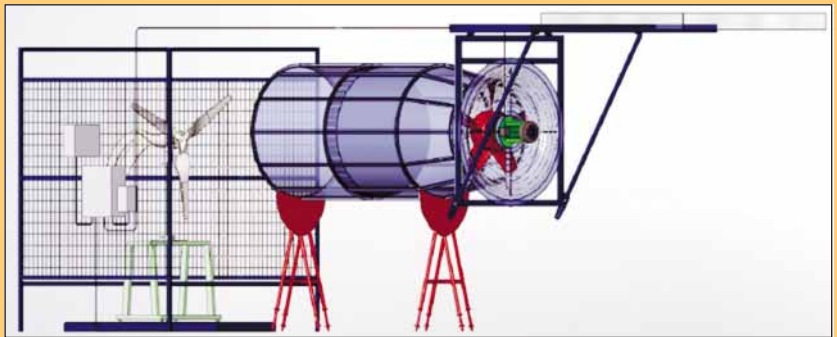
- Бъдещето е на страната на този, който знае как да превърне въздуха в чиста енергия. Кранът за газ може да бъде затворен, но никой не може да спре вятъра. Този факт ни дава сигурност и независимост. Вятърната енергия е енергията на бъдещето!

Главен офис Австрия:
Energiewerkstatt Consulting GmbH
Katztal 37 - A-5222 Munderfing -Austria
Tel: +437744 20141-0 Fax: +437744 20141-41
Email: office@energiewerkstatt.at

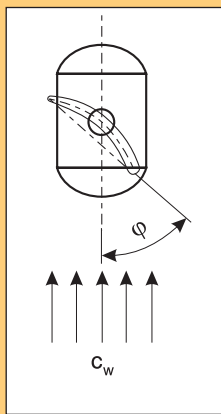
Офис България:
EWS Consulting EOOD
9000 Варна, ул. "Александър Дякович" 45, офис 2
Тел: +359 52 988140 Мобилен: +359 886020233
Email: v.rashev@ews-consulting.bg



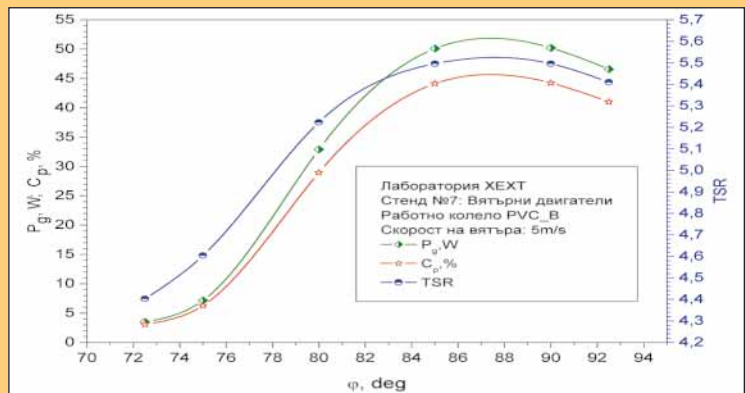
Фиг. 2. Работни лопатки тип WW1.



Фиг. 3. Стенд за изпитване на вятърни двигатели.



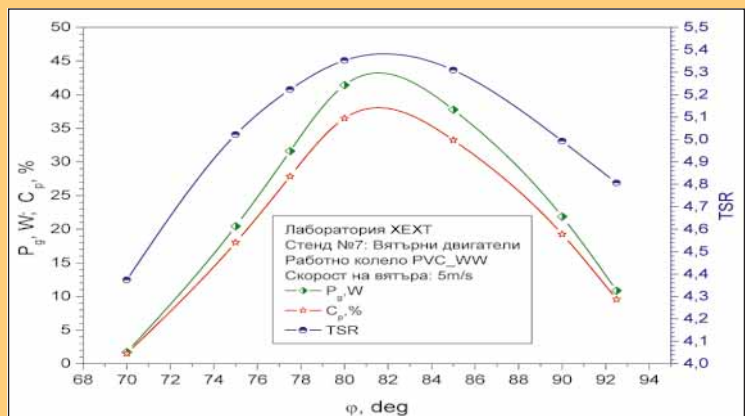
Фиг. 4. Ъгъл на поставяне



Фиг. 5. Работни характеристики с лопатки тип В.

- по радиуса (работно колело PVC-B);
- WW – с постоянна циркулация по радиуса (работно колело PVC-WW - фиг. 1);
- WW1 – коригирана меридианна проекция на лопатките WW в сеченията с малък радиус (работно колело PVC-WW1 - фиг. 2);
- WW2 – с меридианна проекция с променлива циркулация по радиуса (работно колело PVC-WW2).

Всички работни колела са с диаметър $D=1.38$ m, с 3 работни лопатки и са изпитани на стенд №7 в лабораторията по хидроенергетика и хидравлични турбомашини на ТУ – София (фиг. 3) Работното колело с лопатки тип WW2 е с радиус на кривина $R=250$ mm, а всички останали – с радиус $R=200$ mm. Въздушното течение на стенда се генерира от осов вентилатор с променлива честота на въртене, което дава възможност за постигане на желаната от изследователя стойност на скоростта от 2 до 10 m/s. Аеродинамичната тръба на стенда, снабдена с изправяща решетка, позволява постигане на хомогенно течение пред ветродвигателя.



Фиг. 6. Работни характеристики с лопатки тип WW.

Работните лопатки са с постоянна дебелина, като са профилирани само в зоната на входа и изхода. Използва се платформата на сериен ветродвигател тип AEOLUS-300, производство на Huarui Wind Energy (КНР), като е заменено само щатното работно колело. Конструкцията на новите работни колела позволява монтирането на лопатките към главината да става с променливи ъгли на поставяне (φ), подобно на Каплановите водни турбини. Определянето на ъгъла на поставя-

не φ е показано фиг. 4.

Мярка за ефективността на процеса на енергопреобразуване

В агрегата е т. нар. коефициент на мощност c_p (по същество к. п. г. на ветроагрегата), който представлява отношение на изходящата мощност на генератора P_g към мощността на въздушното течение P_w :

$$P_g = U \cdot I$$

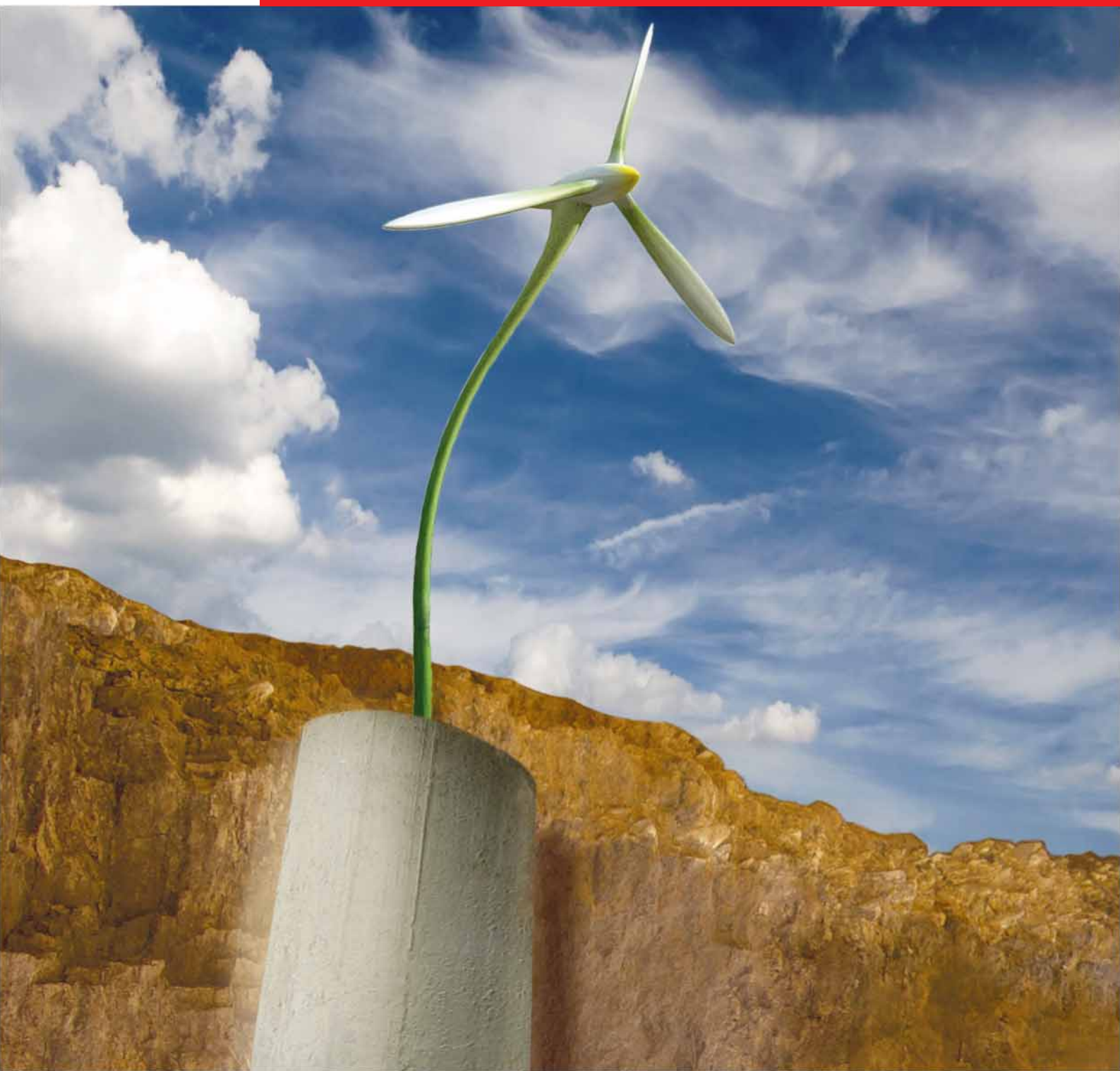
където $P_g = U \cdot I$; U , I – напрежение и сила на генераторния ток.

Euro Alliance Engineering — The foundation expert

Engineering, Design, CPM research, construction
Pile constructions, FRANKI® piles /NG/, Diaphragm walls, Sheet retaining walls
Soil nailing, Anchoring, Drainage, Excavation pits

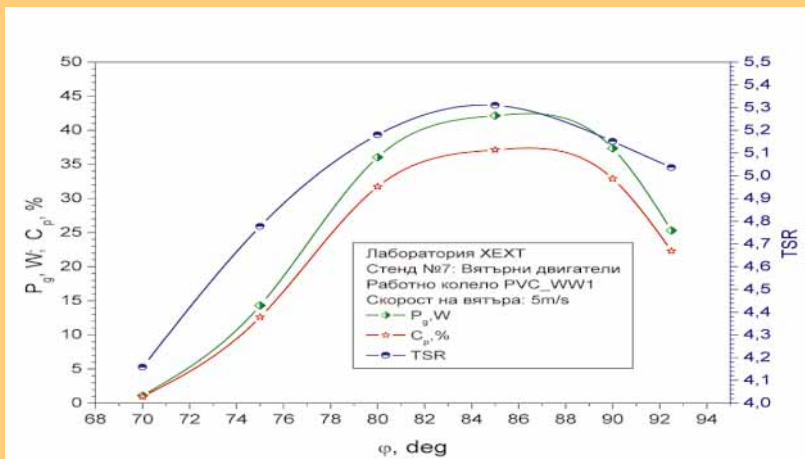
www.euroalliance.bg


Euro Alliance
ENGINEERING

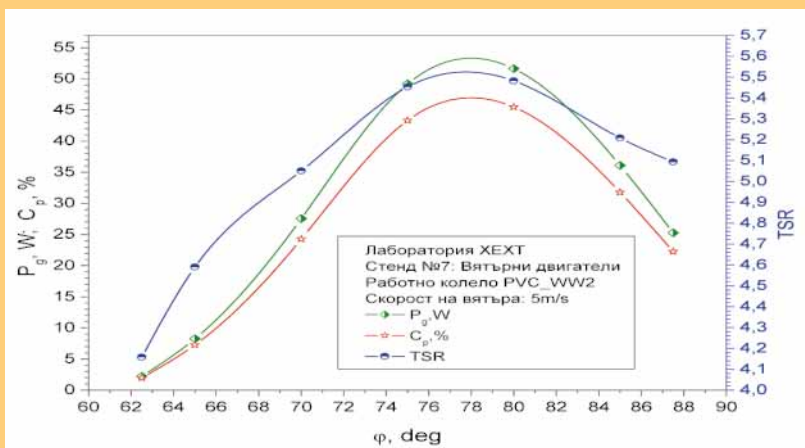


CONTACTS

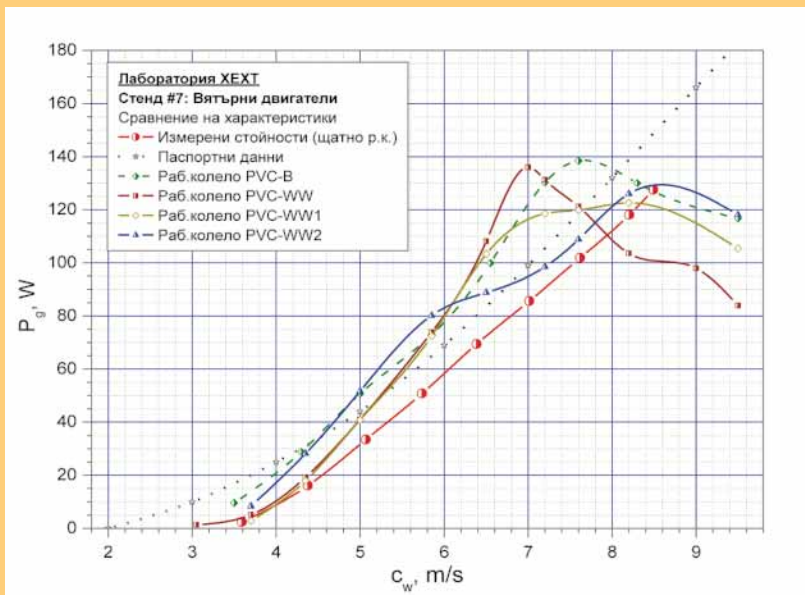
HEADQUARTER: 6 Alexander Zhendov Str., 1113 Sofia, Bulgaria, Phone: +359/2/807 31 10/11, Fax: +359/2/807 31 33 | e-mail: info@eae.bg
GERMANY: Hubenkamp 1, 29614 Soltau, Deutschland, Phone: +49/5191/60 60 280, Fax: +49/5191/60 60 284 | e-mail: office.ger@eae.bg
SPAIN: C/Sant Elies, 29 Block B, 5a, 08006, Barcelona, Espana, Phone: +34/626/507 723, Fax: +34/928/156 991 | e-mail: office.esp@eae.bg
ROMANIA: Bucharest, Sector 1, 9 Temisana Str., body "C", Parter, ap.1, Phone: +359/2/807 31 10 | e-mail: office.rom@eae.bg
GREECE: Domokos 35,010, Eleftheriu Venizelu Str., Greece, Phone: +30/6940/562 155 | e-mail: office.gre@eae.bg
MACEDONIA: 79/2-2 Jane Sandanski Blvd., 1000 Skopje, Macedonia, Phone: +359/885/941 712 | e-mail: office.mac@eae.bg



Фиг. 7. Работни характеристики с лопатки тип WW1



Фиг. 8. Работни характеристики с лопатки тип WW2.



Фиг. 9. Сравнение на характеристики.

$$P_w = \rho S \frac{c_w^3}{2}$$

където ρ - плътност на въздуха; S - напречна площ на работното колело; c_w - средна скорост на въздушното течение.

Важна характеристика на вятърните двигатели е т. нар. скоростно отношение TSR, което представлява отношение на преносната скорост и в периферното сечение на работното колело към средната скорост на вятъра (режимен параметър при активните водни турбини):

$$TSR = \frac{u}{c_w}$$

По своята същност скоростното отношение TSR представлява критерий за динамично подобие (число на Strouhal).

Резултати от изследванията

На фиг. 5 са показани работни характеристики на ветродвигателя с работни лопатки тип В. Тези характеристики представляват зависимости на генераторната мощност P_g , коефициента на мощност c_p и скоростното отношение TSR от ъгъла на поставяне на лопатките ϕ в лопатъчната решетка за скорост на вятъра $c_w = 5$ m/s. На фиг. 6, 7 и 8 са показани аналогични работни характеристики на вятърния двигател с три работни кола, чиито лопатки са от типа WW, WW1 и WW2. Освен за посочената стойност на скоростта на вятъра, измервания са направени и за скорости 7 m/s и 9 m/s.

На фиг. 9 е направено сравнение на зависимостите на генераторната мощност от скоростта на вятъра за изследваните работни кола. Показана е също паспортната характеристика на серийния ветродвигател AEOLUS-300, както и реалната характеристика, получена след изпитване на ветродвигателя с щатното работно колело, което е с диаметър $D = 1.5$ m.

Анализ на резултатите

Анализът на резултатите от направените изследвания показва следното:

- Всички нови работни колела показват по-висока ефективност на работния процес, в сравнение с фабричното (щатно) работно колело за скорости на вятъра до 8 m/s.
- Новите работни колела показват по-висока ефективност дори според данните от паспортната характеристика на ветродвигателя за скорости на вятъра над 5÷7,5 m/s.
- Най-добри характеристики в най-широк диапазон на изменение на скоростта на вятъра показва работното колело с лопатки тип В.
- Изследванията показват известна нестабилност на стойностите на мощността за честоти на въртене 415 ÷ 430 min⁻¹ (на тези стойности отговарят ъгли на поставяне в границите φ = 65° ÷ 85°). Може да се предполага, че това се дължи на особеностите на лопатъчните системи на работните колела или на недостатъци в работата на генератора.
- При работното колело PVC_WW2 оптималната зона на работа се измества към по-малките ъгли на атака, което е лесно обяснимо предвид по-големия радиус на кривина.
- За скорости на вятъра над 7÷8.5 m/s (според типа на работното колело) генераторната мощност при новите работни колела намалява, което може да се обясни с постоянната кривина на лопатките, респ. невъзможността за осигуряване на подходящи стойности на циркуляционната компонента C_u, особено в периферните сечения. Затова за тези скорости на вятъра следва да се синтезират нови лопатъчни системи.
- Максимални стойности на коефициента на мощност са измерени при работните колела PVC-WW2 (c_p=0.455) и PVC-B (c_p=0.442). Тези резултати могат да бъдат оценени като много добри.

Резултатите от опитните изследвания

направени с цел определяне енергийните характеристики на вятърен двигател с цилиндрични работни лопатки показват, че с най-висока ефективност са работните колела PVC-B и PVC-WW2. Максималната стойност на коефициента на мощност за работното колело PVC-WW2 е 45.5%, а за работното колело PVC-B - 44.2%. Може да се каже, че измерените стойности са в зоната на максимума за подобни ветроагрегати (не може да се направи оценка само на двигателя, тъй като не са известни характеристиките на генератора).

Работните колела с цилиндрични лопатки показват най-висока ефективност при скорости на вятъра 7÷8 m/s. Това означава, че те могат успешно да конкурират на пазара ветродвигатели с малка мощност (до 5kW) и с променлива кривина на лопатките. Основание за това дават високата ефективност на лопатъчните им системи и ниската себестойност на работните лопатки, обусловена от тяхната форма и технологията за изработването им.



ЕЛЕКТРОЕНЕРГОПРОЕКТ ООД обхваща с дейността си следните области:

- Планиране на енергийни системи, изследвания и проучвания, предвиждания и експертни оценки, проектиране и управление на електроенергийни обекти
- Проучване и проектиране на електропроводи, подстанции и градски мрежи
- Проучване и проектиране на ветроенергийни паркове и фотоволтаични централи
- Проектиране на системи за автоматичен контрол на електроенергийни обекти, SCADA
- Оптични връзки в енергетиката
- Консултантски и инженерингови услуги
- Инженерни и търговски дейности и маркетинг



ПОДСТАНЦИИ

- Проучвания и изследвания на цялостни подстанции и ел.уредби, вкл. ЗРУ, разширение и реконструкция
- Еднолинейни схеми
- Компановки на подстанции и ел. уредби до 400 kV
- Схеми за управление и блокировки
- Релейни защиты и автоматика
- Заземителни и мълниеводни инсталации
- Всички изчисления, необходими за изпълнение на проекта
- АС част, планировка, пътица, ВиК

ВЪЗБОВНЯЕМИ ЕНЕРГИЙНИ ИЗТОЧНИЦИ

- Изследвания за присъединяване към ЕЕС 110 ÷ 400 kV
- Присъединяване на централи, ветроенергийни паркове, фотоволтаични централи и консуматори на ел.енергия към ЕЕС
- Проучване и проектиране на ветроенергийни паркове
- Проучване и проектиране на фотоволтаични централи
- АС част, планировка, пътица, ВиК

ЕНЕРГИЙНИ И ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И ПРОУЧВАНИЯ

- Планиране на енергийни системи или обекти
- Енергийни проучвания и изследвания
- Перспективни проучвания
- Режимни изследвания
- Потокоразпределения и токове на късо съединение
- Експертни оценки

ЕЛЕКТРОПРОВОДИ

- Проучване и проектиране на ВЛ 110 ÷ 400 kV
- Проектиране на КЛ 110 ÷ 400 kV
- Геодезично заснемане на трасета
- Оразмеряване и конструиране на стълбове за ВЛ
- Профили и разпределение на стълбове по трасето на ВЛ

1303 София; ул. "Марко Балабанов" № 4А
тел./факс 02/952 14 46; тел. 02/952 61 82, 84; 0886 430 089
eep@electroenpro.com; www.electroenpro.com