

УДК 620.921 (261.24) (08)

## АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ВЕТРОУСТАНОВОК ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОПЫТА КОММЕРЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЕТРОПАРКОВ ЛАТВИИ

Докт. инж. наук, доц. РОЛИК Ю. А.<sup>1)</sup>,  
канд. техн. наук ГОРНОСТАЙ А. В.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Институт транспорта и связи (Латвия),

<sup>2)</sup>Белорусский национальный технический университет

E-mail: alekssvu@mail.ru

Рассмотрены основные аспекты коммерческой реализации ветроэнергетических проектов как прикладной части ветроэнергетики с целью оценки жизнеспособности и финансовой реализуемости указанных проектов. Представлены результаты опыта коммерческой эксплуатации за 10-летний период двух ветропарков, выполненных на базе трех ветроустановок (ВЭУ) типа NORDEX N54 мощностью 1,0 МВт каждая с высотой башни 60 м, расположенных в пунктах Ужава и Алсунга на побережье Балтийского моря Республики Латвия. Результаты получены путем сравнения ветровых условий мест расположения и основных экономических показателей работы ВЭУ рассматриваемых ветропарков. Сравнение производили по следующим оценочным показателям: годовая выработка электроэнергии, средние годовые доходы, полученные за рассматриваемый период, себестоимость электроэнергии. Ветровые условия мест расположения ВЭУ и удаление этих мест от береговой линии влияют на экономические показатели работы ВЭУ, которые дают цельное представление о жизнеспособности и финансовой реализуемости ветроэнергетических проектов.

На основе анализа полученных данных показано, что величина относительной произведенной электроэнергии понижается на 10 % с каждым километром удаления местоположения ветропарка от береговой линии Балтийского моря. Также отмечено, какое влияние оказывают ветровые условия окрестной местности и удаленность мест расположения ВЭУ от береговой линии на себестоимость электроэнергии, вырабатываемой ветропарками. Представленные результаты целесообразно в последующем использовать для оценки ветроэнергетического потенциала конкретного района и выбора места расположения ветропарка, а также при принятии конкретных управленческих решений в ходе реализации коммерческих ветроэнергетических проектов.

**Ключевые слова:** ветроустановка, ветровые условия, скорость ветра, годовая выработка электроэнергии, себестоимость 1 кВт·ч электрической энергии.

Ил. 4. Табл. 3. Библиогр.: 10 назв.

# ANALYSIS OF THE MAJOR ECONOMIC FACTORS OF THE WIND TURBINES PERFORMANCE BASED ON THE RESULTS OF COMMERCIAL SERVICE EXPERIENCE OF THE WIND-FARMS IN LATVIA

ROLIK Y. A.<sup>1)</sup>, GORNOSTAY A. V.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>*Transport and Communication Institute (Latvia),*

<sup>2)</sup>*Belarusian National Technical University*

The article examines the main aspects of commercial realization of wind-power projects as application part of wind-power industry with the view of evaluating viability and financial feasibility of the specified projects. The paper presents the results of 10 years' commercial service experience of two wind-farms accomplished on the basis of three wind turbines (WT) – NORDEX N54, 1.0 MW capacity each, 60 m tower height, located in settlements Uzava and Alsunga on the coast of the Baltic Sea in the Republic of Latvia. The results were obtained by the way of collation of the site-location wind conditions and the major economic factors of the WT operation in the considered wind farms. The collation included the following estimated figures: annual electricity production, average annual income received during the period under review, electricity prime cost. The WT-site location wind conditions and the site-distance from the coastal line have an effect on the WT-performance economic factors that provide an integral insight into the viability and financial feasibility of the wind energy projects.

Based on the analysis of the obtained data, the authors show that the relative produced energy value decreases 10 % with each kilometer wind-farm site distance from the coastal line of the Baltic Sea. They also indicate the effect the surrounding-area wind conditions and the TW-location site remoteness from the costal line have on the prime cost of the electricity generated by the wind farms. There is a good reason to utilize the presented results in the future for the wind-energy potential valuation of a particular region and a wind-farm location choice as well as for making particular managerial decisions in the way of realizing commercial wind-energy projects.

**Keywords:** wind turbine, wind conditions, wind speed, annual electricity production, 1 kW·h electricity prime cost.

Fig. 4. Tab. 3. Ref.: 10 titles.

**Введение.** Экономические показатели работы ветроустановок (ВЭУ) [1, 2] дают цельное представление о жизнеспособности и финансовой реализуемости ветроэнергетических проектов. Такие показатели рассчитываются по данным коммерческой эксплуатации ВЭУ [3, 4]. В статье представлено сравнение результатов работы двух ветропарков за 10-летний период коммерческой эксплуатации, реализованных на базе трех ВЭУ типа NORDEX N54 мощностью 1,0 МВт каждая с высотой башни 60 м [5] в пунктах Ужава (одна ВЭУ) и Алсунга (две ВЭУ), расположенных на побережье Балтийского моря республики Латвия. Положение (удаление от береговой линии Балтийского моря) мест расположения ВЭУ составляет: в ветропарке Ужава – 0,5 км, в ветропарке Алсунга – 13,5 км. Сравнение производили по следующим оценочным показателям [6, 7]:

- ветровые условия мест расположения;
- удаление мест расположения от береговой линии;
- годовая выработка электроэнергии;
- средние годовые доходы, полученные за рассматриваемый период;
- себестоимость электроэнергии.

Приведенные в статье результаты исследований представляют практический интерес и их можно объединить в две различные группы: характе-

ристики ветровых условий мест расположения ВЭУ и основные экономические показатели работы ВЭУ. Эти данные в последующем можно использовать для оценки ветроэнергетических ресурсов рассматриваемого района, а также при принятии конкретных управленческих решений в ходе коммерческой реализации ветроэнергетических проектов.

**Ветровые условия мест расположения.** Представленные характеристики ветровых условий были получены на основании стандартных метеорологических измерений, произведенных с помощью специальных метеорологических станций [5], расположенных в верхней части гондолы ВЭУ. Обработку данных, зафиксированных в системе метеорологических измерений, проводили по специальной методике [7]. Это позволило получить такие основные характеристики ветровых условий [1–3] мест расположения ВЭУ, как:

- процентное распределение скоростей ветра и безветрия по месяцам и за год по различным направлениям;
- повторяемость скоростей ветра по различным направлениям;
- среднегодовая скорость ветра.

Розы ветров [8] рассматриваемых пунктов наблюдения, составленные для высот осей роторов ВЭУ (60 м) [9], представлены на рис. 1, 2. Здесь радиальные линии указывают часть времени от всего года (в процентах), в течение которого ветер дует с данного направления. Анализ рис. 1, 2 показывает, что господствующим направлением ветра в пункте Ужава является юго-западное. При этом также хорошо видно, что повторяемость западного, южного и юго-восточного направлений ветра по своей частоте близка к главному направлению. Высокие процентные значения (3/4 от главного) этих направлений делают розу ветров данного пункта широко направленной. Преобладающее направление ветра в пункте Алсунга юго-восточное, оно имеет узконаправленную розу.

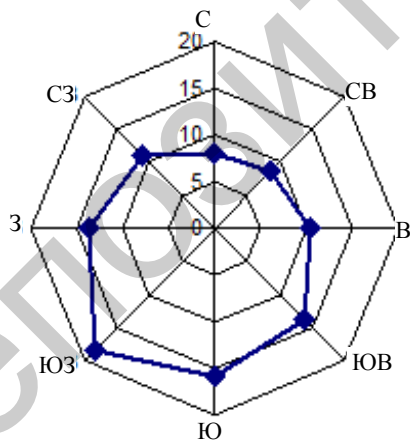


Рис. 1. Роза ветров пункта наблюдения Ужава

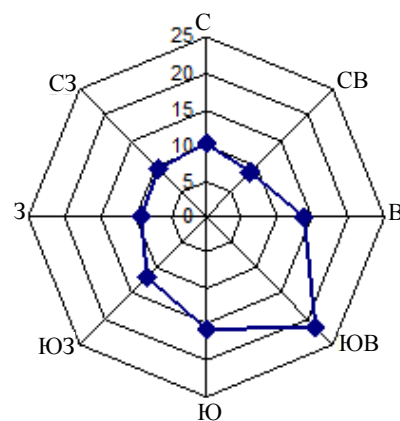


Рис. 2. Роза ветров пункта наблюдения Алсунга

Другой важнейшей характеристикой ветровых условий сравниваемых пунктов наблюдения является среднегодовая скорость ветра [8]. Данные по среднегодовой скорости ветра (по месяцам и за год) для высоты 60 м,

которые были получены в соответствии с методикой, описанной в [7], представлены в табл. 1. Сравнение ветровых данных показывает, что среднегодовая скорость ветра в пункте наблюдения Ужава на 25 % больше значения среднегодовой скорости ветра в Алсунге (7,0 и 5,6 м/с соответственно). Это обусловлено близостью расположения ветропарка Ужава к береговой линии моря.

Таблица 1

Среднегодовая скорость ветра в пунктах наблюдения

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год	Место
Скорость v, м/с	7,7	8,0	7,6	6,3	6,4	6,6	6,1	6,4	6,4	7,6	7,3	7,4	7,0	Ужава
	6,0	5,4	5,8	5,7	5,4	5,2	4,8	5,5	5,8	5,7	5,3	6,3	5,6	Алсунга

**Экономические показатели проектов.** В качестве основных экономических показателей, отражающих эффективность коммерческих ветроэнергетических проектов, были определены [3]:

- годовая выработка электроэнергии;
- средние годовые доходы, полученные за эксплуатационный период;
- себестоимость электрической энергии.

**Годовая выработка электроэнергии.** Данные по годовой выработке электроэнергии (по месяцам, за год и среднее значение) для проекта Ужава представлены в табл. 2, а суммарные данные по годовой выработке электроэнергии по тем же показателям для ветропарка Алсунга – в табл. 3.

Таблица 2

Годовая выработка электроэнергии ветропарка Ужава, МВт·ч

Месяц	Год										Среднее
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	
I	257	122	285	183	312	260	210	104	218	195	215
II	92	178	135	86	189	319	96	79	192	168	174
III	176	195	138	136	189	190	122	239	278	218	195
IV	153	99	145	143	192	103	95	126	95	181	127
V	105	137	93	161	109	92	149	117	174	139	127
VI	128	116	115	94	146	160	161	116	110	123	130
VII	69	129	103	77	195	102	135	76	50	156	112
VIII	156	117	158	90	154	219	150	141	154	135	140
IX	149	307	161	166	212	107	254	189	179	270	178
X	163	210	154	222	137	359	178	184	297	188	209
XI	107	217	171	223	185	254	213	178	210	196	194
XII	296	312	183	413	238	132	147	177	338	183	217
Год	1854	2142	1843	1995	2196	2297	1912	1726	2294	2152	2020

Сравнение данных по годовой выработке электроэнергии показывает, что оба ветропарка имеют почти одинаковую годовую производительность. Следовательно, по данному показателю эффективность ветропарка Ужава в два раза больше, чем ветропарка Алсунга.

Изменение годовой выработки электроэнергии лучше оценивать в относительных единицах, т. е. необходимо показать, каким образом происходит процентное уменьшение относительной производительности ветропарка с увеличением расстояния его местоположения от береговой линии.

Расчеты показывают [9, 10], что значение относительной произведенной электроэнергии понижается на 10 % с каждым километром удаления местоположения ветропарка от береговой линии. В проекте Алсунга оно составляет только 60 % от производительности проекта Ужава.

Таблица 3

Годовая выработка электроэнергии ветропарка Алсунга, МВт·ч

Месяц	Год										Среднее
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	
I	218	156	196	143	387	372	180	144	207	218	222
II	101	172	178	102	151	350	98	95	209	192	165
III	184	189	135	132	178	188	111	184	299	220	182
IV	209	108	136	139	231	114	120	99	158	202	152
V	91	169	106	179	100	100	164	120	163	129	132
VI	136	112	119	94	74	169	175	123	122	139	127
VII	81	119	85	72	158	92	120	80	87	138	102
VIII	180	112	121	112	120	165	130	101	123	81	124
IX	129	212	132	149	164	96	197	187	189	193	165
X	155	179	166	188	123	269	185	187	212	140	180
XI	105	156	195	180	175	252	216	173	208	182	175
XII	309	269	201	321	226	168	171	174	359	233	232
Год	1898	1945	1772	1810	2087	2335	1868	1667	2334	2068	1958

**Средние годовые доходы, полученные за эксплуатационный период.**

Доходность от работы ветропарков наиболее точно характеризуется денежными поступлениями от продажи электрической энергии в сеть. Средние значения выручки, в дол. США, по месяцам от реализации произведенной продукции для двух ветропарков показаны на диаграмме рис. 3.

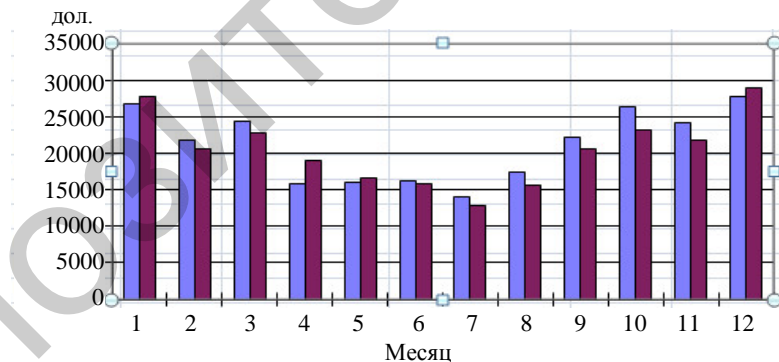


Рис. 3. Сравнение данных по доходности ветропарков:

■ – Ужава; ■ – Алсунга

Сравнение данных показывает, что доходы, получаемые от продажи электроэнергии ветропарка Ужава, приблизительно такие же, как от продажи электроэнергии ветропарка Алсунга. Это означает, что экономическая эффективность ветропарка Ужава в два раза больше, чем ветропарка Алсунга.

**Себестоимость электрической энергии.** Важнейшим показателем эффективности работы ветропарка является себестоимость 1 кВт·ч электро-

энергии, произведенной ВЭУ. Расчет себестоимости электроэнергии, выработанной ВЭУ, производили по методике, приведенной в [10]. При этом учитывали основные эксплуатационные расходы ВЭУ (зарплата обслуживающего персонала, отчисления на социальные нужды, страхование, техническое обслуживание и запасные части, административно-управленческие расходы, арендная плата), амортизационные отчисления и проценты по кредиту.

Результаты расчетов себестоимости электроэнергии рассматриваемых ветропарков по годам эксплуатации, в дол. США, представлены на диаграмме рис. 4. Анализ данных показывает, что себестоимость 1 кВт·ч электроэнергии ветропарка Ужава почти в два раза меньше, чем ветропарка Алсунга. Это полностью соотносится с данными по доходности двух проектов (рис. 3).

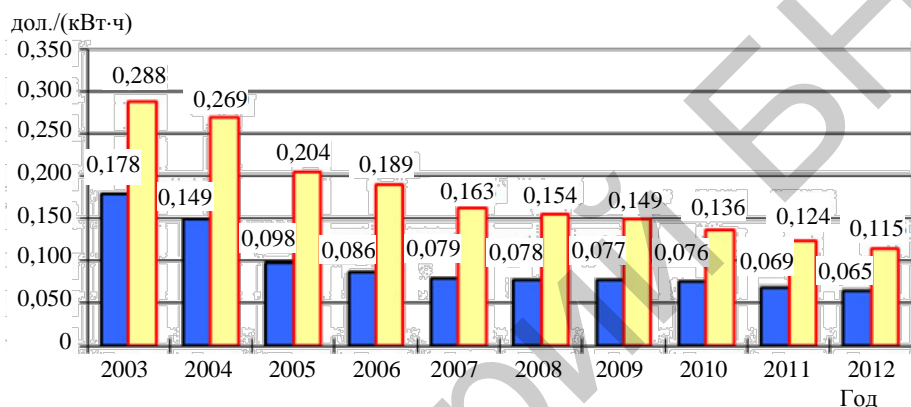


Рис. 4. Сравнение себестоимости 1 кВт·ч электроэнергии, произведенной ВЭУ:  
■ – Ужава; ■ – Алсунга

## ВЫВОДЫ

1. Преобладающим направлением ветра в пункте Ужава является юго-западное, а в Алсунге – юго-восточное. При этом среднегодовая скорость ветра в пункте Ужава на 25 % больше, чем в Алсунге.

2. Годовая выработка электроэнергии ветроэнергетического проекта Ужава в два раза больше, чем проекта Алсунга. При этом величина относительной произведенной электроэнергии понижается на 10 % с каждым километром удаления от береговой линии.

3. Доходность ветропарка Ужава в два раза больше, а себестоимость вырабатываемой электрической энергии в два раза меньше, чем ветропарка Алсунга. Это обусловлено удачным выбором места расположения ветропарка Ужава по ветровым условиям.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Twidell, John W. Renewable Energy Resources / W. John Twidell, D. Weir Anthony. – London: Taylor & Francis, 2006. – 601 p.
2. Удалов, С. Н. Возобновляемые источники энергии: учеб. пособие / С. Н. Удалов. – 3 изд., перераб. и доп. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014. – 459 с.
3. Шейфер, Я. И. Использование энергии ветра / Я. И. Шейфер. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 200 с.

4 O f t h e P r o m o t i o n o f t h e U s e o f E n e r g y f r o m R e n e w a b l e S o u r c e s : D i r e c t i v e 2009/28/EC of the European Parliament and the Council of 23 April 2009 // Official Journal of the European Union. – 2009. – No 5, 6. – P. 16–61.

5. Э н е р г е т и ч е с к о е о б о р у д о в а н и е д л я и с п о л ь з о в а н и я н е т р а д и ц и о н н ы х и в о з о б н о в л я е м ы х и с т о ч н и к о в э н е р г и и : с п р а в о ч н и к - к а т а л о г / В. И. Виссарионов [и др.]. – М.: АО «Новые и возобновляемые источники энергии», 2004. – 448 с.

6. R o l i k , Y u . S o m e R e s u l t o f O p e r a t i n g E x p e r i e n c e o f W i n d T u r b i n e s i n L a t v i a / Y u . R o l i k // “Wind Energy in the Baltic”, Proceeding of International Conference, 11 June 2004, Riga. – Riga: RMS Forum, 2004. – P. 91–100.

7. R o l i k s , J . P e r f o r m a n c e o f t h e S a r n ā t e W i n d T u r b i n e G e n e r a t o r / J . R o l i k s // Latvian Journal of Physics and Technical Sciences. – 2005. – No 3. – P. 29–37.

8. Л у к у т и н , Б. В. В о з о б н о в л я е м ы е и с т о ч н и к и э н е р г и и : у ч е б . п о с о б и е / Б. В. Лукутин. – Томск: Изд-во Томского политех. ун-та, 2008. – 187 с.

9. R o l i k s , J . E f f e c t o f W i n d C o n d i t i o n s o f S i t e L o c a t i o n s o f W i n d T u r b i n e G e n e r a t o r s C a u s e d o n P r o f i t a b i l i t y o f t h e C o m m e r c i a l W i n d E n e r g y P r o j e c t s / J . R o l i k s // Reliability and Statistics in Transportation and Communication (RelStat'08). Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Conference, Riga, 15–18 October 2008. – Riga: Transport and Telecommunication Institute, 2008. – P. 265–272.

10. Р о л и к , Ю. В е т р о в ы е у с л о в и я м е с т р а с п о л о ж е н и я и и х в л и я н и е н а с е б е с т о и м о с т ь э л е к т р о э н е р г и и в е т р о э н е р г е т и ч е с к и х п р о е к т о в / Ю. Ролик // Энергия ветра для устойчивого развития сообщества: материалы Междунар. конф., Калининград, 27–30 апреля 2009 г., РГУ имени И. Канта. – Калининград: РГУ, 2009. – С. 101–114.

#### REFERENCES

1. T w i d e l l , J o h n W . , & A n t h o n y , W e i r D . ( 2 0 0 6 ) *Renewable Energy Resources*. London: Taylor & Francis. 601 p.

2. U d a l o v , S . N . ( 2 0 1 4 ) *Renewable Energy Sources*. 3<sup>rd</sup> ed. Novosibirsk: Publishing House of Novosibirsk State Technical University. 459 p. (in Russian).

3. S h e f t e r , Y a . I . ( 1 9 8 3 ) *Utilization of Wind Energy*. 2<sup>nd</sup> ed. Moscow, Energoatomizdat. 200 p. (in Russian).

4. O f t h e P r o m o t i o n o f t h e U s e o f E n e r g y f r o m R e n e w a b l e S o u r c e s : D i r e c t i v e 2009/28/EC of the European Parliament and the Council of 23 April 2009. *Official Journal of the European Union*, 2009, 5–6, 16–61.

5. V i s s a r i o n o v , V . I . , B e l k i n a i u S . V . , D e r i u g i n a , G . V . , K u z n e t s o v a , V . A . , & M a l i n i n , N . K . ( 2 0 0 4 ) *Power Equipment for Nontraditional and Renewable Power Sources. Reference-book*. Moscow, “New and Renewable Power Sources”. 448 p. (in Russian).

6. R o l i k , Y u . ( 2 0 0 4 ) S o m e R e s u l t o f O p e r a t i n g E x p e r i e n c e o f W i n d T u r b i n e s i n L a t v i a . *Wind Energy in the Baltic. Proceeding of International Conference, 11 June 2004, Riga*. Riga: RMS Forum, 91–100.

7. R o l i k s , J . ( 2 0 0 5 ) P e r f o r m a n c e o f t h e S a r n ā t e W i n d T u r b i n e G e n e r a t o r . *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, 3, 29–37.

8. L u k u t i n , B . V . ( 2 0 0 8 ) *Renewable Power Sources*. Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnic University. 187 p. (in Russian).

9. R o l i k s , J . ( 2 0 0 8 ) E f f e c t o f W i n d C o n d i t i o n s o f S i t e L o c a t i o n s o f W i n d T u r b i n e G e n e r a t o r s C a u s e d o n P r o f i t a b i l i t y o f t h e C o m m e r c i a l W i n d E n e r g y P r o j e c t s . *Reliability and Statistics in Transportation and Communication (RelStat'08). Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Conference, Riga, 15–18 October 2008*. Riga: Transport and Telecommunication Institute, 265–272.

10. R o l i k , Y u . ( 2 0 0 9 ) . W i n d C o n d i t i o n s o f S i t e L o c a t i o n s a n d T h e i r I n f l u e n c e o n E n e r g y C o s t o f W i n d E n e r g y P r o j e c t s . *Wind Energy for Sustainable Development of Community: Materials of the International Conference*. Kaliningrad: Riga State University Named After I. Kant, 101–114.

Представлена кафедрой  
электрообеспечения БНТУ

Поступила 06.06.2014