Раздел 3. Инженерное обеспечение

УДК 621.311 DOI: 10.37279/2413-1873-2021-20-31-41

АНАЛИЗ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В КРЫМУ

Бекиров Э.А., Воскресенская С.Н., Потенко В.В.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И.Вернадского»
Физико-технический институт
Республика Крым, г.Симферополь, проспект Академика Вернадского, 4
Bekirov.e.a@cfuv.ru

Аннотация. В статье приведены данные по генерации и потреблению электроэнергии ветровой электростанции. Для поддержания работоспособности ветровой электростанции она подключена в общую сеть энергосистемы не только для выдачи генерируемой электроэнергии, но и для потребления необходимой электроэнергии для начала работы ветроустановок. Оценена выработка электроэнергии, окупаемость и чистая прибыль ветроэлектростанции из 12 ветроустановок.

Предмет исследования. Ветроэнергетические установки и их эффективность.

Материалы и методы. Теоретической и методологической основой являются труды отечественных и зарубежных ученых в области ветроэнергетики. В работе использовались аналитические методы исследований, включающие прогнозный расчет годовой энерговыработки ветроустановок.

Выводы. Нестабильность выработки электроэнергии с использованием энергоагрегатов возобновляемых источников энергии является серьезной проблемой, влияющей на себестоимость получаемой энергии. Согласно полученным расчетам через 14 лет при условии цены на электроэнергию равной 1,8 рублей электростанция окупит вложения и начнет приносить чистый доход.

Определен коэффициент корреляции, который составил 0,94.

Ключевые слова. Ветроэлектростанция, ветроустановка, энергоэффективность, генерация электроэнергии, выручка.

ВВЕДЕНИЕ

Использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) сдерживается недостатками, присущими каждому из них, а именно: нестабильностью ветра для ветроэнергетических установок (ВЭУ); наличием солнечной радиации для солнечных батарей (СБ) солнечных электростанций (СЭС) являющихся основными генерирующими станциями электроэнергии в настоящее время. Основной недостаток абсолютного большинства ВИЭ – это непостоянство и часто плохо прогнозируемый характер выдаваемой мощности, который преодолевается затратными мерами по аккумулярованию электроэнергии или резервированию энергетическими установками традиционной генерации. Для ВЭУ работа зависит от скорости ветра. Влияние нестабильности выработки снижается путем их подключения к разветвленным магистральным электрическим сетям.

Падение выработки из-за слабого ветра на ветроэлектростанциях (ВЭС), расположенных в одном районе, компенсируется выработкой электроэнергии на ВЭС в другом районе, где ослабление ветра не наблюдается. Однако, при этом требуется некоторое резервирование мощности энергоустановки, растут расходы на поддержание сетевой инфраструктуры и возникают неизбежные потери.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В перспективных планах развития электроэнергетики согласно «дорожной карте» Национальной технологической инициативы «Энерджинет» предусмотрен переход на интеллектуальные активно-адаптивные сети «SmartGrid», предполагающие увеличение масштабов использования ВИЭ и, в частности, ветро- и фотоэнергетики [1, 2]. До 2020 года включительно в России планируется ввод более пятидесяти СЭС, суммарной установленной мощностью 1520 МВт [3, 4] и 21 ВЭС, установленной мощностью 2261 МВт до 2022 года [4, 5]. По критериям экологической чистоты и экологической безопасности в возобновляемой энергетике лидерами являются ветровая и солнечная [6]. Причем разрабатываются и гибридные установки [7].

Ветроэнергетика является перспективной отраслью, имеющей свои особенности и характеристики для отдельных регионов и площадок [8-12].

Генерация электрической энергии в Крыму за 2019 год составила 99 017 849 кВтч, мощность крымских ВЭС составляет 89 МВт. Увеличения энергетического потенциала в Крыму можно добиться не только строительством и вводом новых ВЭС, но и модернизацией существующих. Например, установленная номинальная мощность Пресноводненской ВЭС составляет 7,39 МВт, при работающих там ветроустановках USW56-100, а

при замене их на более мощные 2 МВт ВЭУ установленная номинальная мощность возрастает до 25 МВт.

Перспективы развития ветроэнергетики на территории автономии обусловлены в первую очередь благоприятными географическими условиями, а именно:

- наличием стабильных ветрообразующих факторов;
- наличием территорий, малопригодных или непригодных для земледелия;
- наличием территорий вне природоохранных зон;
- рельефом местности, что позволяет осуществлять доставку на площадки строительства ВЭС крупногабаритные компоненты ВЭУ и размещать ВЭУ без потерь электроэнергии от затенения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Используются аналитические и расчетные методы для оценки энергоэффективности ветроэлектростанций в Крыму.

Практически вся территория Республики Крым характеризуется ветрами, достаточными для энергообеспечения потребителей средствами ветроэнергетики. При этом среднегодовая скорость ветра на большинстве территории составляет 5 м/с. Ветер характеризуется небольшой турбулентностью. Доминируют следующие направления: летом - бриз и юго-западные ветры, зимой - северо-восточные ветры.

Основная часть автономии имеет холмисто-равнинную территорию, исключение составляет южный берег, отсечённый Крымскими горами. За пределами этих гор рельеф Крымского полуострова является благоприятным для строительства ВЭС на базе ВЭУ любых габаритов. В горной местности в ряде мест имеется сеть дорог, обеспечивающая возможность транспортировки ВЭУ с относительно небольшими габаритными параметрами.

Ветровая картина на территории Республики Крым определяется следующими факторами:

- северо-восточными ветрами, образующимися в результате движения воздуха из зоны высокого и низкого давления над Черным морем; это холодные и сухие ветры, которые веют, как правило, зимой и весной;
- юго-западными ветрами, которые приходят из Средиземного моря и веют также преимущественно зимой и весной;
- западными ветрами, которые веют из Атлантического океана, главным образом летом;
- локальными ветрами – бризом, которые веют летом и осенью. Днем с моря на сушу веет морской бриз, а ночью с суши на море - береговой бриз. Скорость таких ветров может достигать 9 м/с и выше. Морской бриз распространяется в глубину полуострова на 20-30 км.

Данные долгосрочных метеорологических наблюдений подтверждают, что все перечисленные

ветрообразующие факторы являются стабильными, это является позитивным критерием для строительства ВЭС.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Регулирование ценовой политики.

Государственное регулирование цен (тарифов), надбавок осуществляется в порядке, установленном основами ценообразования в области регулируемых цен (тарифов) в электроэнергетике и правилами государственного регулирования (пересмотра, применения) цен (тарифов) в электроэнергетике, утвержденными Правительством Российской Федерации.

Государственному регулированию в электроэнергетике подлежат цены (тарифы) на электрическую энергию (мощность) и на услуги, оказываемые на оптовом и розничных рынках, в соответствии с настоящим Федеральным законом.

Правилами оптового рынка регулируются отношения, связанные с оборотом электрической энергии и мощности на оптовом рынке.

В состав субъектов оптового рынка входят участники обращения электрической энергии и (или) мощности - поставщики электрической энергии (генерирующие компании) и покупатели электрической энергии (энергосбытовые организации, крупные потребители электрической энергии, гарантирующие поставщики), получившие статус субъектов оптового рынка в порядке, установленном Федеральным законом.

На оптовом рынке действует организованная система договоров между субъектами оптового рынка, определяющая основные условия деятельности соответствующих субъектов на оптовом рынке, условия продажи электрической энергии и мощности, оказания услуг. Перечень, система и порядок заключения обязательных для участников оптового рынка договоров определяются правилами оптового рынка.

Цены покупки и продажи, стоимость электрической энергии и мощности формируются организациями коммерческой инфраструктуры оптового рынка исходя из данных, которыми они располагают на момент формирования таких цен (таблица 1).

На рисунке 1 приведен график изменения средневзвешенной нерегулируемой цены за период 2019-2020 гг.

На основе данного графика можно сделать вывод, что оптовый рынок имеет «плавающую» динамику. Для каждой генерирующей компании на исключительных договорных условиях рассчитывается тариф.

Анализ стоимости электроэнергии. Основным законом в электроэнергетике является Федеральный закон от 26.03.2003 N 35-ФЗ (ред. от 27.12.2019) "Об электроэнергетике". Согласно данному закону цены покупки и продажи, стоимость электрической энергии и мощности формируются организациями коммерческой

инфраструктуры оптового рынка исходя из данных, которыми они располагают на момент формирования таких цен.

Таблица 1. Цена электрической энергии за период 2019-2020 гг.

Table 1. Electricity price for the period 2019-2020

Период	Средневзвешенная нерегулируемая цена на электрическую энергию на оптовом рынке, определяемая по результатам конкурентного отбора ценовых заявок на сутки вперед и конкурентного отбора заявок для балансирования системы, руб/МВтч
апр.19	1465,28
май.19	1417,51
июн.19	1447,00
июл.19	1465,95
авг.19	1585,32
сен.19	1467,75
окт.19	1394,35
ноя.19	1419,34
дек.19	1599,52
январ.20	1575,18
февр.20	1594,94
мар.20	1454,89
апр.20	1312,62
май.20	1038,38
июн.20	1190,72

Рис. 1. Средневзвешенная нерегулируемая цена на электрическую энергию на оптовом рынке ГУП РК "Крымэнерго", руб/МВтч

Fig. 1. Weighted average unregulated price of electricity in the wholesale market of the State Unitary Enterprise of the Republic of Crimea "Crimeaenergo", RUB / MWh

Государственное регулирование цен (тарифов), надбавок осуществляется в порядке, установленном основами ценообразования в области регулируемых цен (тарифов) в электроэнергетике и правилами государственного регулирования (пересмотра, применения) цен (тарифов) в электроэнергетике,

утвержденными Правительством Российской Федерации.

Для поддержания работоспособности ветровой электростанции необходимо подключение в общую сеть энергетической системы не только для выдачи генерируемой электроэнергии, но и для

потребления необходимой электроэнергии для начала работы ветроустановок. Среднее потребление ветроустановки типа USW56-100 70 Вт, а для ветроустановок типа AN BONUS 300 Вт в режиме ожидания.

Вопрос цены потребления электроэнергии встает особо остро в период затишья ветров, что

ведет к увеличению потребления и тем самым к увеличению расходов на содержание электростанции [13].

В таблице 2 приведены данные по генерации и потреблению Пресноводненской ветровой электростанции.

Таблица 2. Генерация и потребление Пресноводненской ВЭС
Table 2. Generation and consumption of the Presnovodnenskaya wind farm

Период	Активная прием, энергия кВтч	Активная отдача, энергия кВтч
сен.2019	124257	3788
окт.2019	103064	5002
ноя.2019	136477	2246
дек.2019	145084	3026
янв.2020	136990	3589
фев.2020	155985	3927
мар.2020	157218	3004
апр.2020	154896	3604
май.2020	193518	3344
июн.2020	116571	6279
июл.2020	138167	6343
авг.2020	148878	4541
Итого	1711105	48693

На рисунках 2 и 3 приведены графики генерации электроэнергии в общую сеть и потребления электроэнергии из сети для работы ВЭУ в составе ВЭС.

Рис.2. Генерация электроэнергии Пресноводненской ВЭС в общую сеть энергосистемы в течение года
Fig. 2. Electricity generation by the Presnovodnenskaya WPP to the general grid of the power system during the year

Проанализировав графики, можно сделать выводы, что сезон ветров для данной ветровой электростанции с августа по апрель.

Рис.3. Потребление электроэнергии из сети на Пресноводненской ВЭС для работы ВЭУ в течение года
Fig. 3. Electricity consumption from the grid at the Presnovodnenskaya wind farm for the operation of wind turbines during the year

Таблица 3. Средневзвешенная цена на территории Республики Крым
Table 3. Weighted average price in the territory of the Republic of Crimea

Период	Средневзвешенная цена 1 кВт*ч, руб.
сен.19	3,07
окт.19	3,47
ноя.19	3,33
дек.19	3,39
январ.20	3,32
февр.20	3,52
мар.20	3,65
апр.20	3,29
май.20	3,48
июн.20	3,49
июл.20	3,92

Но так же стоит учитывать нестабильность ветров, а именно то, что привычный месяц считается устойчивым для генерации, а в другом периоде может стать «провальным» по генерации, что в свою очередь повлечет увеличение потребления.

Цена электроэнергии варьируется каждый месяц и складывается из многих составляющих таких как,

ценовая зона, уровень напряжения, пиковые и полупиковые часы и другие. В таблице 2 представлены цены для юридических лиц Республики Крым.

Согласно данным, приведенным в таблице 3, построен график средневзвешенной цены в течение года (рис.4).

Рис. 4. Средневзвешенная цена в течение года
Fig. 4. Weighted average price during the year

Так как, Пресноводненская ветровая электростанция входит в состав ГУП РК «Крымэнерго», то расходы относят к потерям.

Для стабильной работы, автономности от общей энергосистемы и выдачи генерируемой энергии в общую сеть возможно установить солнечные батареи для собственного потребления и выдачи в сеть электроэнергии в период затишья ветров.

В таблице 4 представлены данные по потреблению ветровой электростанцией в период с 8-00 до 17-00 ч, то есть в дневные пиковые часы для ветровой генерации.

Тем самым можно свести потери к нулю и получить генерацию электроэнергии, и поднять доходность электростанции, уменьшив простой оборудования.

Таблица 4. Генерация и потребление в период с 8-00 до 17-00
Table 4. Generation and consumption in the period from 8-00 to 17-00

Период	Активная прием, энергия кВт*ч	Активная отдача, энергия кВт*ч
сен.2019	42639	1273
окт.2019	36650	1673
ноя.2019	54414	1247
дек.2019	51260	1650
январ.2020	46655	1997
фев.2020	60059	2383
мар.2020	58476	1314
апр.2020	57758	1687
май.2020	77206	1284
июн.2020	47562	2602
июл.2020	70476	2224
авг.2020	62535	1300
Итого	665690	20634

Для видения реальной картины соотношения вырабатываемой электроэнергии и выручки, рассмотрим ветроустановку типа AN Bonus,

установленной мощностью 600 кВт, расположенную на участке Пресноводненская ВЭС (таблица 5).

Таблица 5. Выработка электроэнергии и выручка ВЭУ AN BONUS
Table 5. Electricity generation and revenue of wind turbines AN BONUS

Период	Выработка, кВтч	Средняя цена кВтч	Выручка без НДС, тыс.руб.
2015	254 467	3,48	885,55
2016	1 343 087	3,52	4727,67
2017	1 308 345	2,87	3754,95
2018	1 404 274	2,82	3960,05

При техническом переоснащении ВЭС предлагается заменить устаревшие ветротурбины типа USW56-100, установленной мощностью 107,5 кВт на ветроустановки номинальной мощностью 2 МВт. В таблице 6 представлены данные по мощности, а на рисунках 4 и 5 приведены кривые мощностей ВЭУ U88 и AN BONUS.

Проанализировав воздушные потоки, скорость и направление ветра на данной ветроэлектростанции можно сказать, что преобладает северо-восточное направление со средней скоростью ветра 6,7 м/с (таблица 7).

Рядом с Пресноводненской ВЭС расположен ветропарк «Керченский» в котором эксплуатируются ветротурбины номинальной мощностью 2,5 МВт. Данные за 2019 год представлены в таблице 8.

Преимущество расположения Пресноводненской ВЭС заключается в том, что электростанция стоит на возвышенности, ветротурбины располагаются одной грядой, что уменьшает вероятность затенения ветротурбин.

Рис. 4. Технические параметры и кривая мощности ВЭУ U88
Fig. 4. Technical parameters and power curve of wind turbine U88

Таблица 6. Технические параметры ВЭУ BONUS
Table 6. Technical parameters of wind turbines BONUS

Скорость ветра V_i , м/с	Выходная мощность P_i , кВт	Скорость ветра V_i , м/с	Выходная мощность P_i , кВт	Скорость ветра V_i , м/с	Выходная мощность P_i , кВт
3	0,00	11	433,70	19	571,30
4	13,50	12	498,60	20	545,50
5	40,50	13	548,10	21	524,70
6	74,30	14	577,30	22	509,90
7	130,70	15	596,00	23	500,60
8	202,00	16	609,90	24	478,60
9	280,80	17	606,80	25	457,70
10	361,60	18	593,30

Рис. 5. Кривая мощности BONUS-600kW (данные производителя)
Fig. 5. Power curve BONUS-600kW (manufacturer's data)

Таблица 7. Средняя скорость ветра по месяцам**Table 7.** Average wind speed by months

Месяц, 2019 г	Средняя скорость ветра, м/с
Январь	6,8
Февраль	7,3
Март	6,6
Апрель	7
Май	5,4
Июнь	6,7
Июль	4,9
Август	6,8
Сентябрь	7,4
Октябрь	5,5
Ноябрь	8,5
Декабрь	6,9

Взяв для расчета данные метеовышек за каждый час суток и подставив мощности ветротурбины номинальной мощностью 2 МВт получим потенциально возможную генерацию для данной ВЭС (таблица 8). Если проводить замену ветроустановок USW56-100 на QREON, то данные по генерации представлены в таблице 9.

Таблица 8. Генерация электроэнергии ветропарком «Керченский»**Table 8.** Electricity generation by the Kerchensky wind farm

Месяц, 2019 г	Генерация, кВтч	Тариф, руб.	Выручка, тыс. руб
Январь	7 892 738	1,8	14206,93
Февраль	7 386 841		13296,31
Март	7 924 147		14263,46
Апрель	5 769 599		10385,28
Май	3 342 510		6016,518
Июнь	5 407 412		9733,342
Июль	2 958 151		5324,672
Август	6 550 484		11790,87
Сентябрь	6 730 524		12114,94
Октябрь	3 828 653		6891,575
Ноябрь	7 290 888		13123,6
Декабрь	6 307 896		11354,21
Итого	71 389 843		128501,7

Таблица 9. Генерация электроэнергии Пресноводненской ВЭС после замены USW56-100 на QREON**Table 9.** Electricity generation at the Presnovodnenskaya WPP after replacing USW56-100 with QREON

Период	Генерация, кВт*ч
январь	6 034 620
февраль	5 701 680
март	68 420 160
апрель	5 276 520
май	5 580 000
июнь	5 760 000
июль	1 599 600
август	5 412 972
сентябрь	2 700 000
октябрь	5 165 592
ноябрь	6 642 000
декабрь	10 267 200
Итого, кВтч	128 560 344

В таблице 10 приведены данные расчетов с учетом наименьшей цены за кВтч, равной 1,8 руб, а в таблице 11 с учетом наименьшей цены за кВтч, равной 6,3 руб.

Таблица 10. Экономические расчеты с учетом минимальной цены 1,8 рублей
Table 10. Economic calculations taking into account the minimum price of 1.8 rubles

Параметр	Стоимость, тыс. руб.
Стоимость установки ветротурбин, 12 шт	2 340 000
Расходы на персонал, в год	8 835
Расходы на ГСМ, на ТО	1000
Выручка среднегодовая	231 408
Чистая прибыль	177 258
Срок окупаемости	14 лет

Таблица 11. Данные расчетов с учетом наименьшей цены за кВтч 6,3 рублей
Table 11. Calculation data taking into account the lowest price per kWh 6.3 rubles

Параметр	Стоимость, тыс. руб.
Стоимость установки ветротурбин, 12 шт	2 340 000
Расходы на персонал, в год	8 835
Расходы на ГСМ, на ТО	1000
Выручка среднегодовая	809 930
Чистая прибыль	800 095
Срок окупаемости	3 года

Одним из самых весомых факторов получения таких объемов выручки являются погодные факторы и цена договора на поставку электроэнергии. Цена электроэнергии определяется индивидуально с каждой электростанцией, а так как после техперевооружения станции общая номинальная мощность составит более 25 МВт, то стоимость 1 кВтч будет формироваться на оптовом рынке электроэнергии.

Сильное влияние на возможную генерацию вносят погодные условия, а именно направление ветра, скорость ветра и отсутствие грозного фронта. Это взаимосвязь отражает коэффициент корреляции. Для ветровой электростанции он равен 0,94, что доказывает, насколько сильна взаимосвязь силы ветра и выработки.

Из данных расчетов можно сделать вывод, что через 14 лет, при условии цены на электроэнергию равной 1,8 рубль, электростанция окупит вложения и начнет приносить чистый доход. Если, согласно средней цены для ветровых станций в 2020 году, стоимость 1 кВтч составляет 6,3 руб., то срок окупаемости будет 3 года.

ВЫВОДЫ

Проведен анализ нестабильности выработки ветроустановок. Показано, что использование ветровых энергетических установок является актуальным и эффективным способом генерирования электрической энергии. Рассмотрена возможность замены устаревших малоэффективных моделей ветротурбин при техническом перевооружении на ветроустановки номинальной мощностью 2-2,5 МВт. Проведенные расчеты

показали, что по данным кривой мощности ветротурбины номинальной мощностью 2 МВт, можно получить потенциально возможную генерацию для ветроэлектростанции за год 128,56 ГВтч.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дорофеев В.В., Макаров А.А. Активно-адаптивная сеть – новое качество ЕЭС России // Бесплатная электронная версия журнала «Энергоэксперт». №4. 2009. С. 28-34.
2. Харченко В.В. Микросеть на основе ВИЭ для энергоснабжения сельских территорий / В.В. Харченко, В.Б. Адоновичус, В.А. Гусаров, Д.С. Стребков // International conference “Energy of moldova – 2012”, Chisinau, Republic of Moldova, 2012, pp. 562-567.
3. Антипов В.Н., Грозов А.Д., Иванова А.В. Мировая ветроэнергетика мегаваттного диапазона мощностей // Инноватика и экспертиза. 2019. №2 (27). С. 94-105. DOI: 10.35264/1996-2274-2019-294-105.
4. Кунецов П.Н., Гусева Е.В., Борисов А.А. Современное состояние и направление развития фотоэлектрических энергоустановок // Энегетические установки и технологии. 2018. №3. С.51-57.
5. Шилкина С.В. Экономика развития электроэнергетики на возобновляемых источниках энергии России с учетом мировых тенденций // Вестник гражданских инженеров. 2018. №3 (68). С. 137-146. DOI: 10.23968/1999-5571-2018-15-3-134—146.

6. Шлыков С.В. Ветроэнергетика как перспективное направление современной энергетики // Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологии (ПЭЭЭ-2017). V Всероссийская научно-технологическая конференция (к 50 – летнему юбилею кафедры «Электроснабжение и электротехника» Института энергетики и электротехники). – Тольятти: Тольяттинский государственный университет. 2017. – С. 328-334.

7. Чебоксаров В.В. Кузнецов П.Н. Гибридные ветро-солнечные морские энергетические установки // Строительство и техногенная безопасность. №18(70). 2020. С. 67 – 81.

8. Лисицын А.Н., Задорожная Н.М. О перспективах ветроэнергетики в современном мире // Инновационные технологии в науке и образовании: сборник статей IV Международной научно-практической конференции. – Пенза: «Наука и Просвещение». 2017. С.36-42.

9. Есенов И.Х., Шогенов М.М. Ветроэнергетика в горных районах Рсо-Алания // Перспективы развития АПК в современных условиях: Материалы 7 –й Международной научно-практической конференции. – Владикавказ: Горский государственный аграрный университет. 2017. С. 304-310.

10. Захаренко С.О., Ткаченко Г.Н. Ветроэнергетика Тюменской области // Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов. Сборник трудов IX Международной научно-технической конференции. – Благовещенск: Амурский государственный университет, 2019. С. 333-338.

11. Гзэнгер Ш., Елистратов В.В., Денисов Р.С. Ветроэнергетика в России: перспективы, возможности и барьеры // Возобновляемая энергетика XXI век: Энергетическая и экономическая эффективность, 2016 Материалы Международного конгресса REENCON-XXI «Возобновляемая энергетика XXI век: Энергетическая и экономическая эффективность». Под ред. Д.О. Дуникова, О.С.Попеля. 2016. С. 216-220.

12. Схема и программа развития электроэнергетики Республики Крым 2019-2023 годы. – Москва: Научно-Технический центр единой энергетической системы, 2018. 210 с.

13. Технический отчет потребителя энергетических ресурсов: НП Экспертиза энергоэффективности, 2016. – 94 с.

REFERENCES

1. Dorofeev V.V., Makarov A.A. Active-adaptive network - a new quality of the UES of Russia // Besplatnaya elektronnyaya versiya zhurnala «Energoekspert». №4. 2009 . p. 28-34.

2. Kharchenko V.V. Microgrid based on RES for power supply of rural areas / V.V. Kharchenko, V.B. Adomavicius, V.A. Gusarov, D.S. Strebkov //

International conference “Energy of Moldova - 2012”, Chisinau, Republic of Moldova, 2012, pp. 562-567.

3. Antipov V.N., Grozov A.D., Ivanova A.V. World wind energy in the megawatt range of capacities // Innovatika i ekspertiza. 2019. No. 2 (27). P. 94-105. DOI: 10.35264 / 1996-2274-2019-294-105.

4. Kunetsov P.N., Guseva E.V., Borisov A.A. Current state and direction of development of photovoltaic power plants // Enegeticheskiye ustanovki i tekhnologii. 2018. No. 3.P.51-57.

5. Shilkina S.V. Economics of the development of the electric power industry on renewable energy sources in Russia taking into account world trends // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2018. No.3 (68). S. 137-146. DOI: 10.23968 / 1999-5571-2018-15-3-134-146.

6. Shlykov S.V. Wind power as a promising area of modern energy // Problems of electrical engineering, electric power and electrical technology (PEEE-2017). Problemy elektrotekhniki, elektroenergetiki i elektrotekhnologii (PEEE-2017). V Vserossiyskaya nauchno-tekhnologicheskaya konferentsiya (k 50 – letnemu yubileyu kafedry «Elektrosnabzheniye i elektrotehnika» Instituta energetiki i elektrotekhniki). – Tol'yatti: Tol'yattinskiy gosudarstvennyy universitet. 2017 .-- P. 328-334.

7. Cheboksarov V.V., Kuznetsov P.N. Hybrid wind-solar marine power plants // Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'. N. 18 (70). 2020.S. 67 - 81.

8. Lisitsyn A.N., Zadorozhnaya N.M. On the prospects of wind energy in the modern world // Innovatsionnyye tekhnologii v nauke i obrazovanii: sbornik statey IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. – Penza: «Nauka i Prosveshcheniye», 2017. P.36-42.

9. Esenov I.Kh., Shogenov M.M. Wind power in the mountainous areas of Rso-Alania // Perspektivy razvitiya APK v sovremennykh usloviyakh: Materialy 7 –y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. – Vladikavkaz: Gorskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. 2017 . p. 304-310.

10. Zakharenko S.O., Tkachenko G.N. Wind power engineering of the Tyumen region // Energetika: upravleniye, kachestvo i effektivnost' ispol'zovaniya energoresursov. Sbornik trudov IX Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. – Blagoveshchensk: Amurskiy gosudarstvennyy universitet, 2019 . P. 333-338.

11. Gzenger Sh., Elistratov VV, Denisov R.S. Wind energy in Russia: prospects, opportunities and barriers // Vozobnovlyayemaya energetika XXI vek: Energeticheskaya i ekonomicheskaya effektivnost', 2016 Materialy Mezhdunarodnogo kongressa REENCON-XXI «Vozobnovlyayemaya energetika XXI vek: Energeticheskaya i ekonomicheskaya effektivnost'». Pod red. D.O. Dunikova, O.S.Popelya. 2016 . p. 216-220.

12. Scheme and program for the development of the electric power industry of the Republic of Crimea for 2019-2023. - Moskva: Nauchno-Tekhnicheskiiy tsentr yedinoy energeticheskoy sistemy. 2018 . 210 p.

13. Technical report of the consumer of energy
resources: NP Energy Efficiency Expertise. 2016. 94 p.

ANALYSIS OF TECHNICAL AND ECONOMIC EFFICIENCY OF OPERATION OF THE WIND POWER PLANTS IN CRIMEA

Bekirov E.A., Voskresenskaya S.N., Potenko V.V.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Institute of Physics and Technology
Republic of Crimea, Simferopol, Academician Vernadsky Avenue, 4
Bekirov.e.a@cfuv.ru

Summary. The article provides data on the generation and consumption of electricity by a wind farm. To maintain the operability of the wind farm, it is connected to the general grid of the power system, not only for the output of generated electricity, but also for the consumption of the necessary electricity to start the operation of wind turbines. Electricity generation, payback and net profit of a wind power plant of 12 wind turbines were estimated.

Subject of research. Wind power plants and their efficiency.

Materials and methods. The theoretical and methodological basis is the works of domestic and foreign scientists in the field of wind energy. In the work, analytical research methods were used, including predictive calculation of the annual energy production of wind turbines.

Conclusions. The instability of electricity generation using renewable energy generating units is a serious problem that affects the cost of energy produced. According to the calculations, in 14 years, provided the electricity price is equal to 1.8 rubles, the power plant will recoup the investment and begin to generate net income. The correlation coefficient was determined, which was 0.94.

Key words. Wind power plant, wind turbine, energy efficiency, power generation, revenue.