

УДК 662.997:537.22

**РАСЧЕТ ВЫРАБОТКИ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ (ВЭА)
НЕБОЛЬШИХ МОЩНОСТЕЙ (1,5 ДО 4,0 КВТ), ИСПОЛЬЗУЕМЫХ
СОВМЕСТНО С СОЛНЕЧНЫМ ВОДОПОДОГРЕВАТЕЛЕМ (СВП) ДЛЯ
ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКОГО ДОМА**

РЗАЕВ П.Ф., САЛМАНОВА Ф.А., ЮСУПОВ И.М.

Институт Радиационных проблем НАНА

Вопросу рационального и экономного расходования природных ресурсов, охране окружающей среды, а также более широкому использованию местных энергетических ресурсов в Азербайджане уделяется большое внимание.

Одним из мощных и перспективных ресурсов является солнечная энергия, практически неисчерпаемая во времени и не загрязняющая окружающую среду.

В условиях Апшеронского полуострова и Прибрежной полосы Каспийского моря при среднегодовой скорости ветра $\sim 7,2$ м/сек для улучшения санитарно-гигиенических условий населения-горячего водоснабжения возможно совместное комбинированное использование энергии Солнца и ветра. Однако, применение энергии Солнца и ветра в отдельности осложняется тем, что их энергетические характеристики переменны во времени и не адекватны по потенциалу. Указанные обстоятельства приводят к увеличению капитальных и эксплуатационных затрат, снижают надежность и эффективность энерго- и теплоснабжения отдельных потребителей и ограничивают области применения возобновляемых источников энергии.

Эти недостатки успешно могут быть компенсированы путем комплексного совместного использования энергии Солнца и ветра для целей горячего водоснабжения сельских домов (дач, вилл).

Вопрос совместного использования энергии Солнца и ветра для энерго- и теплоснабжения отдельных автономных потребителей рассмотрен в работах, как зарубежных, так и отечественных специалистов [1-4].

Однако, комплексное использование энергии Солнца и ветра для целей горячего водоснабжения, обеспечивающих выравнивание графиков выработки и использования энергии, увеличения числа часов работы системы (СВП+ВЭА) не достаточно полно освещены в научно-технической литературе.

Нами разработана и создана гелиоветронагревательная установка (СВП+ВЭА), предназначенная для горячего водоснабжения жителей сельского дома. Система на случай отсутствия Солнца и ветра, заблокирована с электроснабжающей сетью ЦЭС (Рис.1, 2)

Согласно правил СНИП, а также в результате проведенных длительных экспериментальных исследований (СВП+ВЭА) в натуральных условиях, нами было принято, что семье, состоящей из 4-х человек (с водообеспечением объекта ~ 250 л/сут горячей воды с температурой $50-55^{\circ}\text{C}$), для удовлетворения санитарно-гигиенических и хозяйственных нужд жителей сельского дома вполне достаточны установки СВП с коллекторами в количестве 2 шт., площадью $4,0 \text{ м}^2$ и ВЭА мощностью $1,2-2,0$ кВт.

Функционирование системы рассчитано на ранне-весенний-летний и поздно-осенний периоды года (март-декабрь месяцы).



Рис.1 Общий вид экспериментальной установки (СВП+ВЭА), заблокированной с ЦЭС

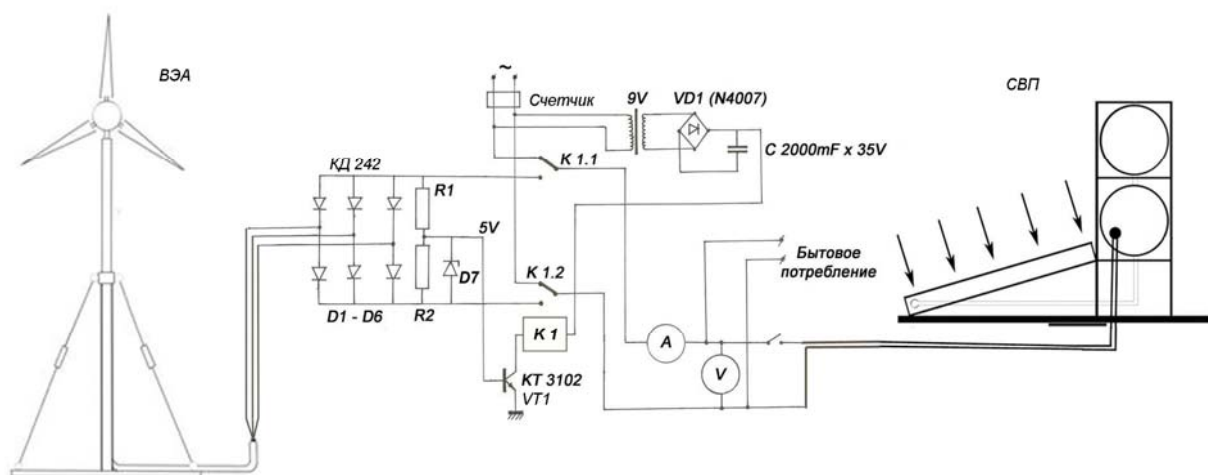


Рис.2 Электрическая схема систем (СВП+ВЭА+ЦЭС)

Ниже, с учетом данных, представленных на Рис.3, Таблица 1, приведен расчет среднесуточной и среднемесячной выработки ВЭА (различных мощностей 1,2-4,0 кВт), приемлемых для целей горячего водоснабжения, как с теплоэнергетических, так и экологических точек зрения. Как известно, наиболее ясное представление об общем уровне интенсивности ветра дает Изодинамическая карта республики.

Изодинамическая карта Апшеронского полуострова приведена на Рис.3.

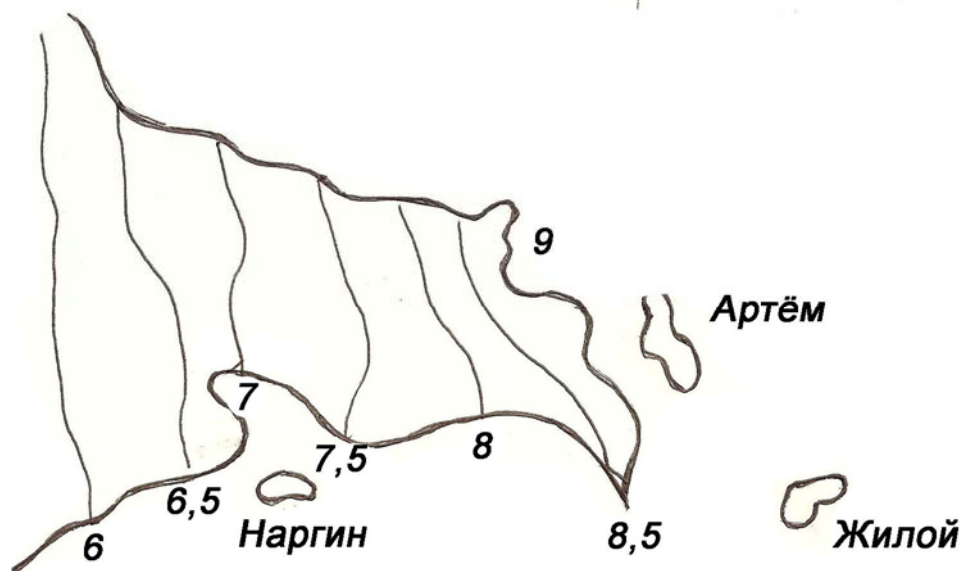


Рис.3 Изодинамическая карта Апшеронского полуострова

Как видно из Рис.3, средние значения ветра на Апшероне колеблются в интервале 6-9 м/сек. Эти значения взяты из расчетных данных 5 метеостанций Апшеронского полуострова.

В Таблице 1 приведены среднегодовые значения скорости ветра на Апшеронском полуострове.

Таблица 1

Метеостанции	Месяцы м/сек											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Апшерон маяк	8,2	8,9	9,4	8,0	8,2	8,4	8,6	8,2	8,3	8,2	8,2	8,4
о.Пираллахи	7,3	7,2	7,5	6,4	5,9	6,5	6,7	6,3	6,5	6,5	6,8	6,7
Баку	6,6	7,4	7,0	6,4	6,3	6,6	7,4	6,7	6,3	6,2	5,8	5,3
Забрат	7,2	7,5	8,0	7,2	6,7	7,3	7,3	6,5	6,4	6,2	6,1	6,3
Мардакяны	6,4	6,7	6,8	6,2	5,9	6,2	6,5	5,5	5,7	5,5	5,9	5,8
Маштаги	6,9	6,4	7,0	6,3	6,2	6,0	6,9	6,1	5,4	5,6	5,7	5,4
о.Сара	6,0	5,8	6,6	5,5	5,4	5,7	5,7	6,8	6,6	7,2	6,3	6,2

Основным критерием для оценки ветровых ресурсов является обеспеченность скорости ветра более 8 м/с. Анализ многолетних данных структуры ветра показывает, что ветры со скоростью 8 м/с и выше больше половины года (226 дней) дуют в районе Апшеронского полуострова и открытой части Каспийского моря.

Станция	V>8	>15	>20	>25	>30
Баку	225,6	38,3	14,1	0,1	0,06

Анализ полученных данных показывает, что на территории Апшеронского полуострова число дней со скоростью ветра свыше 8 м/сек и более, а также достаточное количество ясных дней (числа часов солнечного сияния свыше 2200 часов в год) и интенсивности суммарной солнечной радиации $Q_c = S_{\perp} + D \approx 2200$ кВт·ч/м²

год, обуславливает целесообразность совместного использования энергии Солнца и ветра для целей горячего водоснабжения, не вызывающую никаких сомнений [2].

Многолетний опыт исследований и эксплуатации различных ветроагрегатов, проведенных лабораторией «Общей энергетики» Энергетического института им. И.Г. Есьмана (Али-заде А.С., Сафаров К.Х., Есьман В.И.), показал, что в ветровых условиях Апшерона и Прибрежной полосы Каспийского моря с успехом могут быть использованы только быстроходные ветроагрегаты. Этому также способствует и ветровой режим, так как, согласно среднемесячным данным базисных метеостанций региона Министерства Экологии и Природных ресурсов Азербайджана, скорость ветра на территории полуострова достигает 7,0-7,2 м/сек.

Используя энергетические характеристики ветрового режима Апшерона, можно с достаточной степенью точности определить выработку ВЭА, размещаемого в любых ландшафтных условиях.

Первыми исходными данными для ветроэнергетического расчета ВЭА являются возможные суточные, месячные и годовые выработки того района, где предполагается сооружение ВЭА. При этом конечно должен быть известен график потребления энергии. Зная повторяемость каждой скорости ветра, можно определить фактическую выработку ВЭА за тот или иной промежуток времени по нижеследующей формуле [5]:

$$A_{\text{факт}} = C \sum_{V_{\min}}^{V_y} V^3 \tau + N_y \tau_{V > V_y} \quad (1)$$

где,

$$C = 0,000481 \cdot D^2 \cdot \xi \text{ кВт-ч}$$

D – диаметр колеса ветродвигателя, м;

V_{\min} - минимальная рабочая скорость ветра, при которой начинает работать данный ветродвигатель, м/сек;

V_y - расчетная скорость ветра, обычно принятая $V_y = 1,6 \bar{V}$, где \bar{V} - среднегодовая скорость ветра, м/сек;

N_y – установленная мощность ветродвигателя, которую он развивает при расчетной скорости ветра;

τ - число часов работы ветродвигателя при каждой скорости ветра от V_{\min} до V_y ;

$\tau_{V > V_y}$ - число часов работы ветродвигателя при скоростях выше V_y ;

ξ - коэффициент использования энергии ветра, обычно в расчетах $\xi = 0,25$;

T – период времени, за который вычисляется фактическая выработка ветродвигателя (сутки, месяц и т.д.)

В общем случае нужные для расчета параметры ВЭА следующие:

а) минимальная рабочая скорость ветра;

$$V_{\min} = 4,0 \text{ м/сек}$$

б) расчетная скорость ветра;

$$V_y = 10,0 \text{ м/сек}$$

в) коэффициент использования энергии ветра;

$$\xi = 0,25$$

Аналогичным способом были определены среднесуточные, среднемесячные и среднесезонные выработки ветроагрегатов ($D=12,18$ и 24 м), для каждой средней скорости ветра при его предполагаемой работе в различных зонах Апшерона (Северо-западной, Юго-западной, Южной, Северной, Центральной зон).

Расчеты получились достаточно громоздкими и весьма трудоемкими, (определение повторяемости рабочих скоростей ветра и далее перевода ‰-промилле в часы и т.д.) находили $A_{\text{факт}}$ –суточную, месячную или сезонную, затем составляли график выработки.

В связи с этим, с небольшой для практических расчетов погрешностью (10-20%), было предложено проводить определение выработки ветроагрегатов (различных диаметров ветроколес) при помощи коэффициента установленной мощности – К.

Величина этого коэффициента определяется отношением фактической выработки ветроагрегата, которую он мог бы дать, работая весь период времени Т, к установленной мощности, развиваемой им при расчетной скорости ветра, т.е

$$K = \frac{A_{\text{факт}}}{N_y T} \quad (2)$$

Пользуясь коэффициентом К, определенном для шести зон Апшерона (Таблица 2) и формулой (2), можно определить выработку любого ВЭА за любой промежуток времени Т.

$$A_{\text{факт}} = (KN_y T) \cdot \eta_m \cdot \eta_g \cdot \eta_{\text{эк}} \quad (3)$$

где:

$\eta_m; \eta_g; \eta_{\text{эк}}$ - коэффициенты, учитывающие потери механические, генератора и эксплуатации.

$$\eta_{\text{общ}} = \eta_n \cdot \eta_g \cdot \eta_{\text{эк}}, \text{ принимаем [5], } \eta_{\text{общ}} \approx 0,81$$

Таблица 2

Значение коэффициента использования установленной мощности ветродвигателя К по зонам Апшеронского полуострова

Наименование зон	К
Северо-западная (Сумгаит)	0,43
Юго-западная (Пула)	0,39
Южная зона (Баку)	0,44
Северная зона (Маштаги)	0,37
Центральная (Бина)	0,45
Восточная (Апшерон маяк)	0,53

Так как среднемесячные скорости ветра для ноября-февраля приведены к одной величине, то выработка ветроэлектрической установки в эти месяцы принимается одинаковой.

В Таблицах 3 и 4 приведены результаты проведенных расчетов.

Таблица 3

Среднесуточная выработка ветроэлектрических агрегатов различных мощностей, кВт

Наименование зон	Установленная мощность (кВт)					
	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
	Среднесуточная выработка (кВт·час)					
Северо-западная (Сумгаит)	12,54	16,72	20,89	25,07	29,25	33,57
Юго-западная (Пула)	11,37	15,16	18,95	22,74	26,53	30,72
Южная зона (Баку)	12,83	15,39	21,38	25,65	29,93	34,21
Северная зона (Маштаги)	10,78	14,38	17,98	21,52	25,17	28,73
Центральная (Бина)	13,12	15,74	21,87	26,04	30,61	34,99
Восточная (Апшерон маяк)	15,48	20,6	25,75	30,9	36,06	41,21

Таблица 4

Среднемесячная выработка ветроэлектрических агрегатов
различных мощностей, кВт

Наименование зон	Установленная мощность (кВт)					
	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
	Среднемесячная выработка (кВт·час)					
Северо-западная (Сумгаит)	376,164	501,555	626,44	752,328	877,716	1003,11
Юго-западная (Пути)	341,172	454,886	568,62	682,344	796,058	909,772
Южная зона (Баку)	384,912	513,216	641,52	769,724	898,128	1026,432
Северная зона (Маштаги)	323,671	431,568	539,46	647,351	755,244	862,136
Центральная (Бина)	393,66	524,88	651,1	787,22	918,54	1049,76
Восточная (Апшерон маяк)	464,644	618,192	772,74	927,28	1081,836	1236,384

В Таблице 5 приведены экспериментальные данные распределения температур горячей воды в баке-аккумуляторе СВП для декабря месяца 2008г. для следующих случаев:

- а) пасмурного состояния неба (среднее за 6 дней);
- б) полужасного состояния неба (среднее за 7 дней);
- с) ясного состояния неба (среднее за 9 дней);

В первой строчке Таблицы 5 приведены результаты непосредственных экспериментальных исследований функционирования системы (СВП+ВЭА+ЦЭС) Рис.1, в 3,4 и 5 строчках даны результаты расчета.

Как видно из Таблицы 5, при начальной температуре в 9.00 28⁰С в баке-аккумуляторе горячей воды в системе, средней интенсивности солнечной суммарной радиации $Q_{\text{сумм}} = S_{\perp} + D$, равной 720 Вт/м²день, и скорости ветра $V = 5,0 \div 5,4$ м/сек, для подогрева воды до требуемой температуры 42⁰С необходимо около 4-5 часов и т.д., для полужасного и ясного состояния неба 3,5 и 1 час, что вполне реально для декабря месяца.

Общий расход электроэнергии для зимнего периода (декабря месяца), питающей ТЭН, установленный в баке-аккумуляторе горячей воды системы (СВП+ВЭА+ЦЭС) для декабря месяца 2008г. (при отрицательной температуре окружающей среды – 2,0-3,0⁰С 30-31, 01 января 2009г.), составил около 30-35%.

Указанное обстоятельство и продолжительные экспериментальные исследования наглядно показали, что для поддержания благоприятного теплового режима в баке-аккумуляторе горячей воды системы (СВП+ВЭА+ЦЭС) необходим более мощный ВЭА (порядка 2,0-2,5кВт), который, на наш взгляд, достаточно просто обеспечит надежный тепловой режим подготовки горячей воды и эффективность всей системы в целом.

Преимуществом данной системы горячего водоснабжения сельской семьи является также отсутствие необходимости в приобретении дорогостоящего инвертора, цена которого достаточно высока и практически равна стоимости ВЭС в целом.

Таблица 5

Распределение температур горячей воды в баке-аккумуляторе при совместной работе системы (СВП+ВЭА+ЦЭС) для целей горячего водоснабжения: (х)- экспериментальные и (р)- расчетные данные для (пасмурной, полупасмурной и ясной погоды с ветром) декабря месяца 2008г.

Пасмурное состояние неба		Полуясное состояние неба	Ясная погода
t бак.акк.ср= 28°C $Q_{\text{ср}} \approx 720 \text{Вт/м}^2 \text{день}$ $V=5,0-5,5 \text{м/сек}$ Подогрев воды на 14°C		t бак.акк.ср= 32°C $Q_{\text{ср}} \approx 2520 \text{Вт/м}^2 \text{день}$ $V=6,5-7,0 \text{м/сек}$ Подогрев воды на 10°C	t бак.акк.ср= 39°C $Q=3300 \text{Вт/м}^2 \text{день}$ $V=5,2 \text{м/сек}$ Подогрев воды на 3°C
$N=1,0 \text{ кВт}^{\text{x}}$	4,9 час ^x	3,5 час ^x	1,05 час ^x
$N=2,0 \text{ кВт}^{\text{P}}$	2,4 час ^(P)	1,0 час ^(P)	0,50 час ^(P)
$N=3,0 \text{ кВт}^{\text{P}}$	1,6 час ^(P)	1,3 час ^(P)	0,30 час ^(P)
$N=4,0 \text{ кВт}^{\text{P}}$	1,2 час ^(P)	0,9 час ^(P)	0,26 час ^(P)

1. Ветроэнергетика / Под редакцией Д.Рензо. Перевод с английского Я.И. Шефтера / М, Энергоатомиздат., 1982, с.272.
2. Щеглов Ю.А., Борзунов Л.В. Использование ветроэлектростанций в качестве теплового резерва для гелиотеплиц и парников. Изд. Молдавского филиала АН СССР, «Штииница», Кш, 1960, с.69-79.
3. Денисенко Г.И. Возобновляемые источники энергии. К.Изд. «Вища школа», 1983, с.166.
4. Рзаев П.Ф., Ахундов Ф.М. и др. Исследование процессов аккумуляции при совместной работе гелиотеплицы с тепловым резервом на базе 3-х ветроэнергетических установок типа АВЭУ-6. СРИ АН Азерб.ССР. Б, 1986, с.32 (Рукопись депонирована в ВИНИТИ за №5126-Деп).
5. Ализаде А.С., Сафаров К.Х., Есьман В.И. Ветроэнергетические ресурсы Азербайджана – Б. Азербайджанское государственное издательство, 1966, 96 с.

KIÇIK GÜCƏ MALİK (1,5-4,0 kVt), GÜNƏŞ SU QIZDIRICISI İLƏ BİRLİKDƏ İSTİFADƏ EDİLƏN KƏND EVLƏRİNİN İSTİ SU TƏCHİZATINI TƏMİN EDƏN KÜLƏK ENERJETİK AQRİQATLARININ İSTEHSAL İMKANLARININ HESABLANMASI

RZAYEV P.F., SALMANOVA F.A., YUSUPOV İ.M

Məqalədə kənd evlərinin isti su ilə təchiz edilməsi məqsədi ilə Günəş və Külək enerjisindən birgə istifadə edilməsi məsələsinə baxılıb. Bu məqsədlə küləyin sürətinin Abşeron yarımadasında paylanmasını nəzərə almaq, GQS ilə birlikdə işləyən və bu regionda sanitariya gigiyena şəraitni yaxşılaşdırmağa xidmət edən kiçik gücə (1,5-4,0 kVt) malik külək aqreqlərinin istehsal imkanları hesablanmışdır

YIELD CALCULATION OF WIND-DRIVEN AGGREGATES OF LOW CAPACITIES (1.5-4.0kVt) USED TOGETHER WITH SOLAR WATER HEATER FOR SUPPLYING COUNTRY HOUSES BY HOT WATER

RZAYEV P.F., SALMANOVA F.A., YUSUPOV I.M.

The problems dealing with the joint use of solar and wind energy for supplying country houses by hot water are considered in the given work. Correspondingly, taking into consideration the data on the distribution of wind velocity in Absheron Peninsula yield calculation of the wind-driven aggregates of low capacities (1.5-4.0kVt) intended for the joint use with solar water heater (SWH) was carried out in order to improve the hygiene and sanitary conditions for the population living in this region