

УДК 621.3

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ

ХАММЕДОВ А.М.

ОАО Азербэнерго

Введение

Несмотря на то, что Азербайджан обладает существенными запасами ископаемых топлив, от этого проблема рационального использования энергоресурсов в нашей стране не теряет своего значения. Потенциальные запасы природного газа, нефти действительно велики, но прирост добычи в дальнейшем будет ограничен. Поэтому проблема снижения энергозатрат, утилизации всех видов вторичных энергоресурсов остается актуальной и в дальнейшем.

Одним из путей снижения затрат топлива является использование возобновляемых источников энергии, особенно нетрадиционного типа, которые ранее либо совсем не использовались, либо использовались в очень ограниченных масштабах.

Особенностью возобновляемых нетрадиционных источников энергии является их высокая экологичность. Кроме того, применение возобновляемых источников энергии является обоснованным для объектов, оторванных от ЛЭП. Выбор и исследование наиболее оптимальных схем энергоснабжения, систем энергообеспечения жилых и общественных зданий с привлечением возобновляемых и нетрадиционных источников энергии, а также разработка и исследование наиболее рациональных элементов таких схем является актуальной задачей.

Действительно, объемы возобновляемой энергии огромны, но их использование не всегда экономически выгодно и это является главной сдерживающей силой их широкого применения. Как известно, возобновляемые энергетические системы применяются в варианте с подключением к ЛЭП или в автономном режиме. Данные системы могут быть как однотипными, так и гибридными. Большинство расчетов по экономической целесообразности применения автономных альтернативных источников энергии проводилось из расчета работы одной автономной системы для одного энергопотребителя (жилое здание, частный дом и т.д.).

Предлагаемая работа позволяет оценить применение распределенных автономных энергосистем, т.е. распределение отдельных автономных систем среди нескольких энергопотребителей, с целью сравнения их с традиционными автономными системами, определения эффективности и экономической целесообразности их применения.

Распределенная автономная система

Распределенная автономная система (РАС) может состоять из индивидуальных подсистем, использующих энергию соответствующих источников. Рассмотрим работу РАС, состоящую из централизованной ветряной установки и фотоэлектрических подсистем с единым аккумулятором и контрольным устройством. Общая реальная производимая энергия данной системы должна быть не меньше общего энергоспроса. Однако, производимая энергия будет зависеть от времени суток. Местами для исследования могут быть выбраны любые регионы, в данном случае рассматривается Апшеронский полуостров¹.

¹ Данные по солнечному излучению на данных Комитета Геодезии и Картографии Азербайджанской Республики и НИИЭиП, данные по потенциалу ветра взяты из НИИЭиП.

В случае фотоэлектрического генератора производство электроэнергии зависит от времени суток (дневное или ночное время). Для ветровой же установки, производство электроэнергии имеет различное значение в течении суток, зависящей от величины скорости ветра.

На рисунке 1 представлена РАС с несколькими автономными фотоэлектрическими подсистемами (АПС) и централизованной ветровой установкой, распределенные среди нескольких потребителей, в данном случае с 5 подсистемами и 5 потребителями:

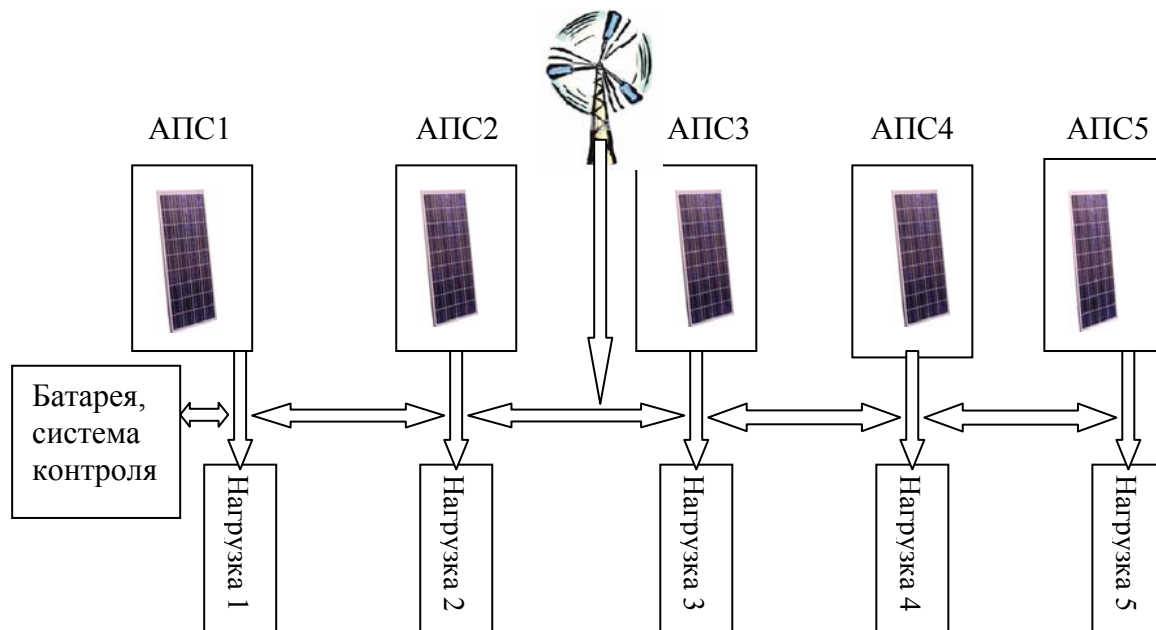


Рис.1.

Основные предположения по РАС основаны на особенностях каждой подсистемы. Одна из сложностей заключается в определении критических характеристик подсистемы, т.к. нет исчерпывающей информации об особенностях электрической нагрузки каждого потребителя. Более того, в течение суток каждый потребитель использует различные электроприборы, имеющие различные нагрузочные характеристики. Наблюдения показывают, что графики электрических нагрузок отдельных хозяйств отличаются по времени, поэтому дальнейшее предположение основывается на данном факте, при условии одинакового производства электроэнергии подсистемами в течении суток.

Отметим, что подсистемы могут основываться на любой возобновляемой энергии и т.к. в данном случае рассматривается фотоэлектрический и ветровая установка, то определяющим фактором на производство электроэнергии подсистемами является потенциал энергии солнца и ветра (В случае использования других альтернативных источников энергии ими могут быть геотермальные источники, биомасса и др.).

Для удовлетворения спроса энергии необходимо определить эффективность аккумуляторной батареи, месяцы наименьшего энергоресурса по солнечному излучению и потенциалу ветра. Требование к производству энергии энергосистемой можно определить по следующей формуле (1):

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_B + \mathcal{E}_{АПС1} + \mathcal{E}_{АПС2} + \mathcal{E}_{АПС3} + \mathcal{E}_{АПС4} + \mathcal{E}_{АПС5} \quad (1)$$

где, \mathcal{E}_B – энергия производимая ветровой установкой, $\mathcal{E}_{АПС1}$ – энергия производимая 1-ой подсистемой; $\mathcal{E}_{АПС2}$ – энергия производимая 2-ой подсистемой; $\mathcal{E}_{АПС3}$ – энергия

производимая 3-ей подсистемой; $\mathcal{E}_{АПС4}$ - энергия производимая 4-ой подсистемой; $\mathcal{E}_{АПС5}$ - энергия производимая 5-ой подсистемой.

Для удовлетворения потребности в энергии любого хозяйства, расчет мощности автономной системы должен учитывать время наименьшей производимой энергии в течение года. Анализ по определению количества энергии, полученной с 1 м^2 , в случае использования гибридного фотоэлектрического/ветряного генератора показал, что наименьшая производимая энергия гибридным генератором для Апшеронского полуострова приходится на июнь месяц [1], а в случае использования только фотоэлектрического генератора наименьшая энергия будет производиться в январе. Выбор емкости аккумуляторной батареи основывается на номинальной характеристике батареи и предполагаемой продолжительностью ее работы, в течении которого отсутствует какой либо источник энергии. Обычно емкость аккумуляторов берется из расчета энергообеспечения потребителей в течении определенного времени (2-дня) [2]. С целью защиты аккумуляторной батареи вводится понятие предела по зарядке и разрядке аккумуляторов. Емкость аккумуляторной батареи можно определить по следующему уравнению [3, 4]:

$$B = \frac{n_o \times H_{cp}}{ГР \eta_b \times \eta_n} \quad (2)$$

где n_o - число часов с нулевым потенциалом энергии, H_{cp} - усредненное значение нагрузки для всех подсистем в течении дня, $ГР$ - глубина разрядки аккумулятора, η_b - коэффициент разрядки батареи, η_n - КПД преобразователя.

Производимую энергию РАС можно описать как:

$$\mathcal{E}_{РАС}(t) = \mathcal{E}_B(t) + \sum_{i=1}^n \mathcal{E}_{ПСi}(t) \quad (3)$$

где $\mathcal{E}_B(t)$ - энергия производимая ветровой установкой, $\mathcal{E}_{ПСi}$ - энергия производимая i -ой системой, n - количество подсистем.

Представим возможные условия работы РАС с соответствующими производимыми энергиями в каждой подсистеме $\mathcal{E}_{ПС1}, \mathcal{E}_{ПС2}, \mathcal{E}_{ПС3}, \mathcal{E}_{ПС4}, \mathcal{E}_{ПС5}$ и нагрузками N_1, N_2, N_3, N_4, N_5 , аккумуляторной батареей и системой контроля.

- Критический случай, когда уровень нагрузки каждой подсистемы больше, чем энергия, выработанная каждой подсистемой. Данное положение может наступить при недостатке вырабатываемой энергии. В этом случае батарея будет разряжаться т.е. запасенная энергия в аккумуляторной батарее будет тратиться для восполнения требуемой энергии в нагрузке, что описывается выражением:

$$\mathcal{E}_{B(t)} = \mathcal{E}_{B(t-1)} - \frac{1}{\rho_{разр}} \sum (H_{cp.ПС(t)} - \mathcal{E}_{РАС(t)} - \mathcal{E}_{B(t)}) \quad (4)$$

где $\rho_{разр}$ - показатель разряда аккумуляторной батареи (%).

Для того, чтобы аккумуляторная батарея преждевременно не вышла из строя необходимо, чтобы она работала в условиях, не приводящих к ее разрушению, т.е. заряд батареи должен быть меньше определенного максимального и больше необходимого минимального значения энергии.

- Случай, когда уровень нагрузки одной взятой подсистемы больше производимой энергии той же подсистемы, однако производимая энергия целой РАС больше общего уровня нагрузки. В результате не происходит разрядка аккумулятора из-за преобладания уровня производимой энергии над расходом, где энергию аккумулятора в данном случае можно описать следующим образом:

$$\mathcal{E}_{B(t)} = \mathcal{E}_{B(t-1)} + \rho_{зар} \sum_{i=1}^n (H_{cp.ПС(t)} - \mathcal{E}_{РАС(t)} - \mathcal{E}_{B(t)}) \quad (5)$$

где $\rho_{зар}$ - показатель заряда аккумуляторной батареи (%).

- Благоприятный случай², когда производимая энергия каждой подсистемы больше уровня каждой нагрузки, при этом результирующую энергию, которая заряжает аккумулятор можно описать как:

$$\mathcal{E}_{B(t)} = \mathcal{E}_{B(t-1)} + \rho_{зар} \sum_{i=1}^n (H_{cp.ПС(t)}) \quad (6)$$

Для определения реальной возможности производимой энергии подсистемами необходимо определить значение производимой энергии-Э, нагрузок-Н и состояние заряда аккумуляторной батареи. Для этого представим график распределения нагрузки в течении суток и график производимой энергии. Необходимо отметить тот факт, что из-за отсутствия ежечасных данных по ветру, производимая энергия ветровым генератором в течении суток будет рассматриваться как усредненной (на каждые 6 часов). Данные основаны на статистическом распределении повторяемости изменения скоростей ветра на высоте 30 м. Для исключения энергодефицита расчеты по определению мощности генерирующих систем будут основаны на период с наименьшим энергопотенциалом. Этот период для Апшеронского полуострова был определен как июнь месяц. Тем не менее, для получения результатов, близких к реальным, расчеты сделаны и для одних суток по каждому месяцу, как показано в таблице 1.

Особенностью рассматриваемого региона является то, что в дневное время суток (с 09-00 до 18-00) наблюдается увеличение средних скоростей ветра. Некоторое снижение скорости ветра наблюдается в вечерние часы и к полуночи [5]. Все эти показатели характеризуют потенциал ветра в общих чертах, т.к. эти данные снимаются дискретно с интервалом в 6 часов (на некоторых ГМС и 8 часов). Поэтому часовое распределение производимой энергии автономной системой будет рассматриваться со стороны фотоэлектрического генератора, а распределение производимой энергии ветровой установкой носит усредненное значение.

Для того, чтобы определить эффективность РАС, ее нужно сравнить с традиционными индивидуальными системами (в данном случае 5 автономных систем), как показано на нижних рисунках 2а-2д:

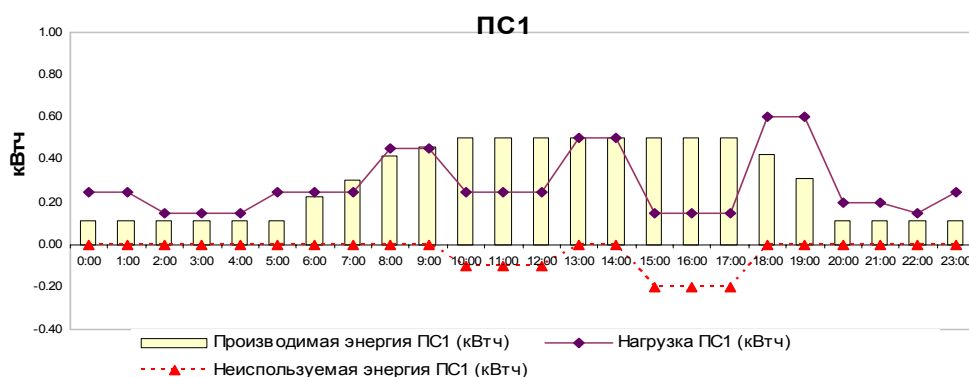


Рис. 2а

² В данном случае из-за переизбытка энергии, для повышения эффективности всей РАС необходимо найти применение избыточной энергии.

Средняя нагрузка системы АПС1 составляет **283 Вт**, неиспользованная энергия в течении суток – **0,91 кВтч**.

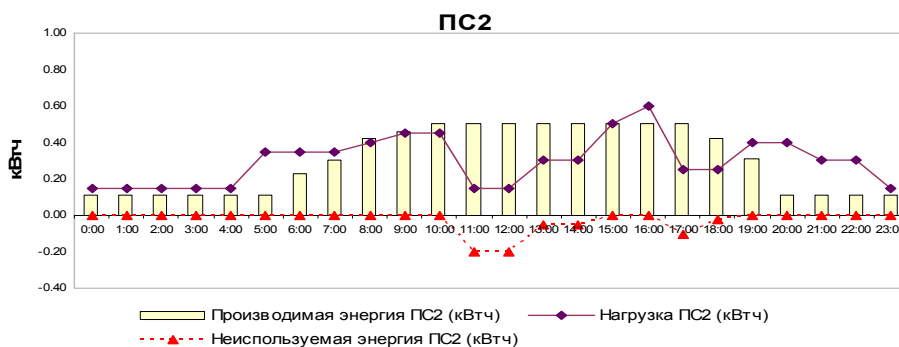


Рис. 2б

Средняя нагрузка системы АПС2 составляет **298 Вт**, неиспользованная энергия в течении суток – **0,63 кВтч**.

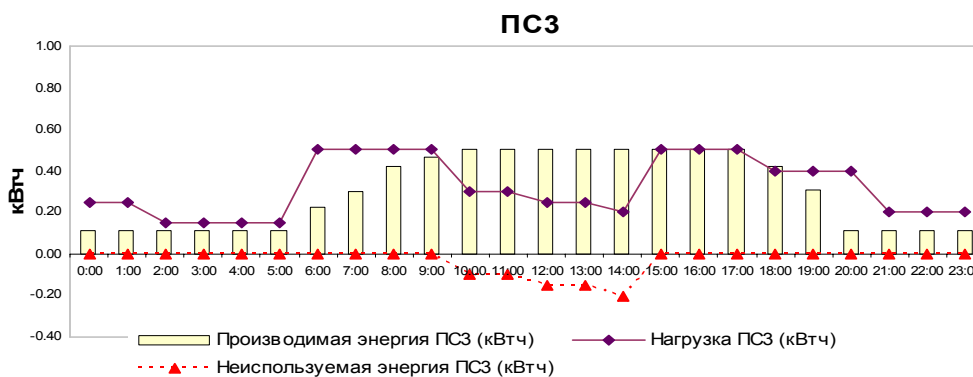


Рис. 2в

Средняя нагрузка системы АПС3 составляет **321 Вт**, значение неиспользованной энергии равно **0,71 кВтч**.

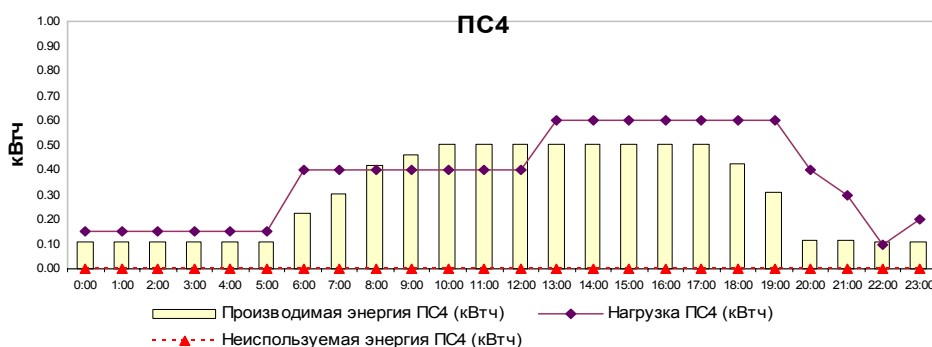


Рис. 2г

Средняя нагрузка системы АПС4 составляет **371 Вт**, значение неиспользованной энергии равно **0**.

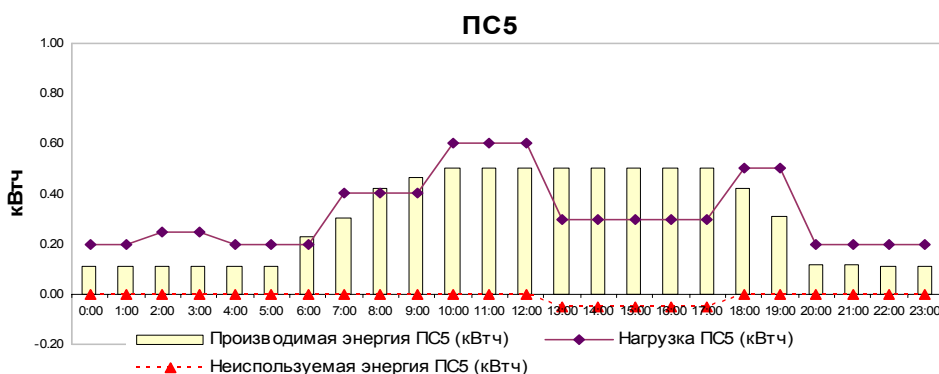


Рис. 2д

Средняя нагрузка системы АПС5 составляет **325 Вт**, неиспользованная энергия в течении суток – **0,26 кВтч**.

Как видно из этих рисунков, что часть производимой энергии подсистемами АПС1-АПС5, превышающей значение нагрузок каждой из АПС, преимущественно с 8-00 до 19-00, определяется как избыток энергии или (оценочная кривая ниже оси абсцисс) неиспользованная энергия. Суммарное значение избыточной энергии в течении одной сутки оценивается значением 2,50 кВтч.

Иную картину можно увидеть в случае объединения данных систем в единую систему, где избыток энергии одной системы распределяется среди пяти систем и в данном случае избыток энергии в течении суток значительно меньше, (см. рис.3):

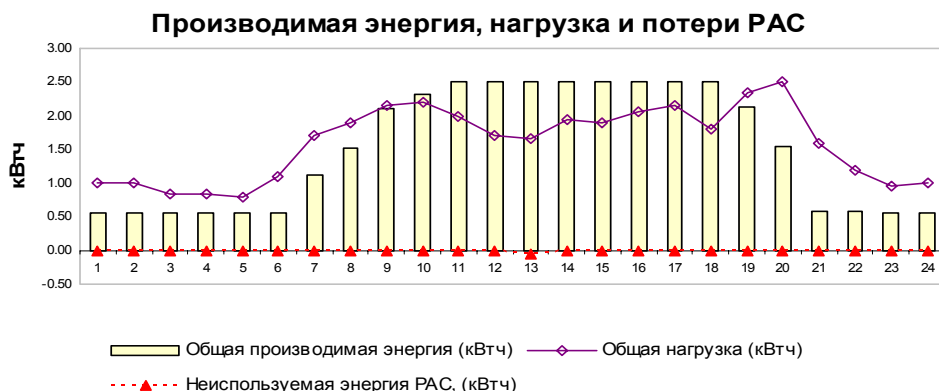


Рис. 3

Как видно из рисунка 3 при распределенной автономной системе суммарная нагрузка заполняет почти всю область генерации и значение суммарной неиспользуемой энергии в течении суток составляет всего 0,1 кВтч. Естественно, что значение неиспользуемой энергии РАС будут увеличиваться и оно будет сравнимо со значением суммарной неиспользуемой энергии АПС в случае совпадения графиков электрических нагрузок всех пяти АПС.

Прежде чем приступить к сравнению 5-ти отдельных автономных систем с РАС мы должны допустить тот факт, что состояние заряда батареи для каждой из систем будет лежать в пределах минимального и максимального значений (Глубина разряда батареи принимается 0,5). Поэтому, необходимо оценить суммарную энергию в отдельных АПС, превышающую максимально допустимое значение энергии с энергией, в случае с РАС. Сравнительный анализ неиспользуемой энергии в случае использования индивидуальных автономных систем и РАС для одной сутки в июне показан на рисунке 4.

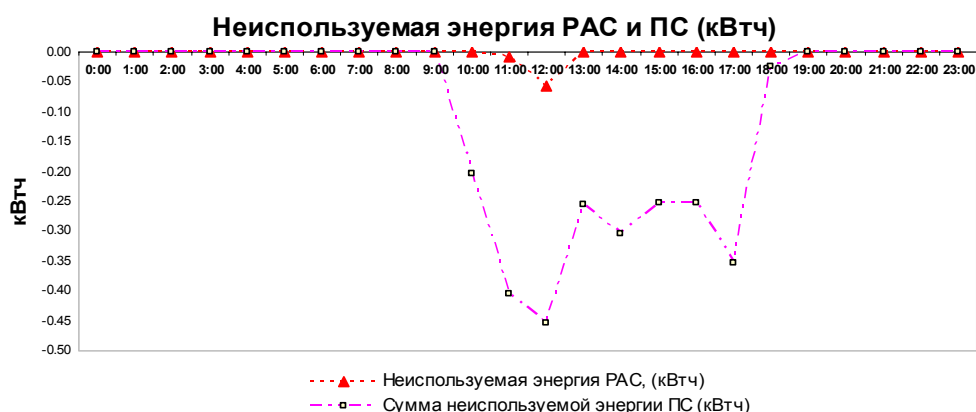


Рис. 4

Резервная система

Одной из основных характеристик системы является емкость аккумуляторной батареи (АБ) С (произведение тока разряда А на время разряда ч). Для отдельно взятых автономных систем, емкость АБ можно определить из формулы (2) и в нашем случае определится как: Для АПС1 – 67 А·ч, для АПС2 – 68 А·ч, для АПС3 – 80 А·ч, для АПС4 – 122 А·ч и для АПС5 – 76 А·ч. Суммарная емкость аккумулятора будет равна **413 А·ч**, в то время как в РАС с той же нагрузкой значение суммарной емкости определяется как **274 А·ч**. Выигрыш в использовании АБ определится разностью между суммарной емкостью АПС и емкостью аккумулятора для РАС **-139 А·ч**.

Таблица 1

Месяц	Суммарная генерация (кВтч)	Средняя нагрузка АПС (кВтч)	Суммарная неиспольз. энергия АПС (кВтч)	Суммарная неиспольз. энергия РАС (кВтч)	Суммарная емкость АБ АПС (А·ч)	Емкость АБ РАС (А·ч)
Январь	1301	238	23,35	22,5	0	0
Февраль	747	217	5,29	2,0	148	41
Март	1310	238	25,93	25,3	0	0
Апрель	1290	230	32,8	32,3	0	0
Май	1191	238	17,59	16,8	0	0
Июнь	253	230	2,5	0,1	412	274
Июль	645	238	8,9	6,8	38	1
Август	561	238	8,11	5,9	40	3
Сентябрь	431	230	4,88	2,0	81	27
Октябрь	427	238	2,25	0	247	91
Ноябрь	801	230	5,58	2,1	115	18
Декабрь	837	238	1,01	0	436	213

Емкость аккумулятора зависит от многих параметров, среди которых состояние заряда и температура окружающей среды играют определяющую роль. При эксплуатации аккумуляторов необходимо соблюдать требования, предъявляемые к их разряду, заряду и хранению. Как известно окружающая температура в Апшеронском полуострове в течение года не выходит за пределы рабочих температур современных аккумуляторных батареи, поэтому не будем останавливаться на определении зависимости разряда, заряда и хранения батарей от окружающей температуры. Отметим лишь, что не рекомендуется подвергать аккумулятор "глубокому" разряду, так как это может привести к его порче. Некоторые разработчики источников питания со встроенным

аккумулятором устанавливают напряжение отключения батареи при ее разряде предельно низким, пытаясь увеличить время работы в резерве. На самом деле увеличение продолжительности ее работы в этом случае незначительно.

Аккумуляторы, поставляемые фирмами-изготовителями в полностью заряженном состоянии, имеют достаточно малый ток саморазряда, однако при длительном хранении или использовании циклического режима заряда возможно уменьшение их емкости.

Как известно автономные системы имеют в своем составе зарядное устройство, правильный выбор которого продиктован угрозой быстрого выхода из строя элементов аккумулятора. Срок службы аккумулятора существенно зависит не только от температуры окружающей среды, как было упомянуто выше, но и от методов его заряда.

При буферном режиме заряда аккумулятор всегда подключен к источнику постоянного тока. В начале заряда источник работает как ограничитель тока, в конце (когда напряжение на батарее достигает необходимого значения) - начинает работать как ограничитель напряжения. С этого момента ток заряда начинает падать и достигает величины, компенсирующей саморазряд аккумулятора.

При циклическом же режиме заряда производится заряд аккумулятора, затем он отключается от зарядного устройства. Следующий цикл заряда осуществляется только после разряда аккумулятора или через определенное время для компенсации саморазряда. В нашем случае подходящим является второй метод заряда.

Результат анализа сравниваемых систем в течении года представлен в таблице 2:

Таблица 2

Суммарная генерация (кВтч)	Средняя нагрузка (кВтч)	Суммарная неиспольз. энергия АПС (кВтч)	Суммарная неиспольз. энергия РАС (кВтч)	Емкость АБ АПС (А·ч)	Емкость АБ РАС (А·ч)
9794	234	138	116	436	274

Экономическая оценка

Вышерассмотренный анализ был проведен для одной сутки, имеющей наименьший энергетический потенциал в течении года. И как было отмечено выше, подобный анализ сделан для одной сутки каждого месяца. Поэтому проведем сравнительную экономическую оценку для пяти изолированных автономных систем и для распределенной автономной системы в течение года. Для этого необходимо вынести основные блоки энергосистемы (табл.3), значительно влияющие на стоимость целой системы.

Для сравнения РАС и 5-ти АПС необходимо определить стоимость систем, учитывая ее срок службы. Для этого следует суммировать текущую стоимость всех компонентов системы, включающая стоимость: фотоэлектрических панелей, Ветрового генератора, АБ; Зарядного Устройства и Монтажных работ.

В течении срока службы всей энергосистемы ее отдельные элементы могут нуждаться в дополнительном обслуживании и замене их новыми. Это также вносит свой вклад в оценке стоимости систем. Таблица 3 представляет экономические характеристики сравниваемых систем в течении всего срока службы:

Таблица 3

Начальная стоимость, включительно:	РАС		АПС (5 систем)	
	Количество	Стоимость	Количество	Стоимость
а) Фотопанели (шт)	15	\$4875	15	\$4,875
б) Ветровой генератор Т550-4,5 (1шт) и ВВС XL1 (5шт)	1	\$7500	5	\$10750
в) Опора с аксессуарами	1	\$4820	5	\$7075
г) Зарядное устройство (шт)	1	\$807	5	\$3250
д) АБ (А·ч)	275	\$413	413	\$620
Монтажные работы		\$1138		\$1,938
Обслуживание		\$70		\$100
Стоимость за весь срок службы	20 лет	\$20301	20 лет	\$29600
Стоимость за год		\$1015		\$1480
Учетная ставка		15%		15%

Как видно из таблицы, стоимость распределенной системы заметно, т.е. на 32,5% ниже, стоимости индивидуальных автономных независимых систем.

Резюме:

1. На основе суточных данных по солнечному и ветровому потенциалу проведен анализ энергодбаланса пяти независимых энергопроизводителей и энергопотребителей в течении года.
2. Проведенный анализ показывает, что эффективность работы распределенной автономной энергосистемы (5 энергосистем) значительно выше индивидуальных автономных энергосистем.
3. Экономический анализ показывает, что при одних и тех же значениях электрических нагрузок энергопотребителей (в данном случае 5 энергопотребителей) применение распределенной автономной системы обходится на 32,5% дешевле применения индивидуальных автономных систем.

-
1. *Хаммедов А.М.* Применение гибридных солнечных-ветряных электрических генераторов на территории Азербайджанской Республики. Проблемы энергетики, № , 2004.
 2. *Dakkak M., Hirata A., Muhida D., Kawasaki Z.* Operation of residential centralized photovoltaic system in remote areas. Renewable Energy 28, 2003, 997-1012.
 3. *Wenham S.R., Green M.A.* Applied photovoltaic. Australia: Center for Photovoltaic Devices and Systems, 1994.
 4. *Soras C, Makios V.* A novel method for determining the optimum size of stand alone photovoltaic systems. Sol Cels 1988; 25: 127-42.
 5. *Мустафаев Р.И., Гусейн-заде Г.Ю., Мазанова В.Ю.* «Ветроэнергетические характеристики Апшеронского полуострова Азербайджанской ССР», Известия АН СССР, Энергетика и транспорт-1985г., №4.

FƏRDİ ENERJİ SİSTEMLƏRİNİN EFFEKTİVLİYİN ARTIRILMASI İSTİQAMƏTLƏRİ

XAMMƏDOV A.M.

1. Sütka ərzində günəş və külək potensialları barəsində əldə olunan məlumatlara görə beş müstəqil enerji istehsalçılar və istehlakçılar üçün illik enerji balansının analizi aparılmışdır.
2. Aparılmış analiz onu göstərir ki, Paylanmış Fərdi Enerji sistemləri (təqdim olunan variantda 5 enerjisistemləri) Müstəqil Fərdi sistemlərdən daha səmərəlidirlər.
3. İqtisadi analizə əsasən, enerji istehlakçılar tərəfindən eyni elektrik yükün olması şərtində, Paylanmış Fərdi Enerji sistemlərinin istifadəsi Müstəqil Fərdi sistemlərdən 32,5%-ə qədər ucuz başa gəlir.

ENHANCEMENT OF AUTONOMOUS POWER SYSTEMS EFFICIENCY

KHAMMEDOV A.M.

1. Analysis of annual electrical power balance of five autonomous power producers and five autonomous consumers is created based on daily solar and wind potentials.
2. As it is shown from result of research that the Distributed Autonomous Power Systems work more efficiently in comparison with Stand Alone Power Systems.
3. Economic analysis shows that application of Distributed Power Systems is cheaper than Stand Alone Systems at 32,5%, given the same power consumption by each subsystems.