

Анализ эффективности сетевых солнечных электростанций для энергосбережения в бюджетных учреждениях

Рецензия эксперта на статью получена
15.01.2020 [Expert review on the article
received on January 15, 2020].

Введение

Федеральный закон №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...» [1] обозначил основные направления движения страны по пути снижения энергоёмкости и повышения энергоэффективности. Согласно №261-ФЗ, все бюджетные и ряд других организаций должны были пройти обязательное энергетическое обследование. Основными целями энергетического обследования являются:

- получение объективных данных об объёме используемых энергетических ресурсов;
- определение показателей энергетической эффективности;
- определение потенциала энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
- разработка перечня типовых, общедоступных мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности и проведение их стоимостной оценки [1, ст.15].

За два года после принятия закона об энергосбережении в России было зарегистрировано более сотни саморегулируемых организаций, объединяющих около 5000 энергоаудиторских компаний [2]. Однако качество работы многих энергоаудиторских компаний тогда оставляло желать лучшего. В связи с выявившимися недостатками Минэнерго России издаёт приказ №400 [3], в котором ужесточаются требования к проведению энергетического обследования и его результатам и правилам направления копий энергетического паспорта, составленного по результатам обязательного энергетического обследования. Кроме того, Минэнерго

За два года после принятия закона об энергосбережении в России было зарегистрировано более сотни саморегулируемых организаций, объединяющих около 5000 энергоаудиторских компаний

России издаёт приказ №398 [4], в котором утверждаются требования к форме программ в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности организаций с участием государства и муниципальных образований, организаций, осуществляющих регулируемые виды деятельности, и отчётности о ходе их реализации. На основании новых требований качество энергетических обследований и программ энергосбережения должно было повыситься.

Почти одновременно было принято и Постановление Правительства РФ №818-ПП «Об установлении объёма энергетических ресурсов в стоимостном выражении для целей проведения обязательных энергетических обследований» [5], в котором было указано, что объём энергетических ресурсов в стоимостном выражении для определения совокупных затрат на потребление природного газа, мазута, тепловой энергии, угля, электрической энергии, за исключением моторного топлива, лицами, которые предусмотрены пп.1–4 и 6 ч.1 ст.16 Федерального закона №261-ФЗ «Об энергосбережении...» и в отношении которых распространяются требования ч.1.1 ст.16 данного закона, составляет 50 млн руб.

Поскольку бюджетные организации (школы, детские сады, больницы и т.п.),

УДК 620.9, 621.3. Научная специальность: 05.14.08.

Анализ эффективности применения сетевых солнечных электростанций для энергосбережения в бюджетных учреждениях

С. Н. Братышев, аспирант, ассистент; **Л. Х. Зайнутдинова**, к.т.н., д.п.н., профессор, заведующий кафедрой электротехники, электроники и автоматики, физико-технический факультет, Астраханский государственный университет (АГУ); **Р. А. Зайнутдинов**, к.т.н., руководитель Научно-образовательного центра «Альтернативная энергетика» АГУ (г. Астрахань)

Приведён анализ реализации требований Федерального закона об энергосбережении №261-ФЗ в части проведения обязательных энергетических обследований бюджетных учреждений. Новый этап энергетических обследований требует новых подходов и новых энергосберегающих мероприятий. Особую актуальность начинают приобретать технологии с использованием возобновляемых источников энергии. В настоящей работе предлагается применение сетевой солнечной электростанции в качестве энергосберегающего мероприятия для бюджетного учреждения. Приведена методика расчёта выработки солнечной электростанции с учётом координат местности при различных углах наклона модулей. Обоснован выбор солнечных модулей и сетевого инвертора. Проведён анализ экономической эффективности предложенного энергосберегающего мероприятия.

Ключевые слова: бюджетное учреждение, энергетическое обследование, энергосбережение, сетевая солнечная электростанция, солнечный модуль, сетевой инвертор, срок окупаемости.

UDC 620.9, 621.3. The number of scientific specialty: 05.14.08.

The analysis of efficiency of application of network solar power stations for energy saving in budgetary institutions

S.N. Bratyshev, postgraduate student, assistant; **L. Kh. Zaynutdinova**, PhD, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Head of the Department of Electrical Equipment, Electronics and Automatic Equipment, the Faculty of Physics and Technology, Astrakhan State University (ASU); **R. A. Zaynutdinov**, PhD, Head of "Alternative Power Engineering" Scientific and Education Center of ASU (Astrakhan city)

The analysis of implementation of requirements of the Federal law on energy saving of the Russian Federation of No. 261-FL regarding carrying out obligatory power inspections of budgetary institutions is provided. The new stage of power inspections demands new approaches and new energy saving actions. Technologies with use of renewable source begin to acquire special relevance. In the real work application of network solar power station as an energy saving action for budgetary institution is offered. The method of calculation of development of solar power station taking into account area coordinates at various tilt angles of modules is given. The choice of solar modules and the network inverter is reasonable. The analysis of cost efficiency of the offered energy saving action is carried out.

Key words: budgetary institution, power inspection, energy saving, network solar power station, solar module, network inverter, payback period.



как правило, затрачивают на оплату энергоресурсов менее 50 млн руб. в год, то количество обязательных энергетических обследований существенно сократилось. Вместо энергетических паспортов таким бюджетным организациям было предложено самостоятельно, то есть не прибегая к услугам энергоаудиторских компаний, заполнять энергодекларацию. По сути дела, в энергодекларации лишь фиксируются объёмы ежегодного потребления энергоресурсов каждым отдельным зданием. Аналитическая составляющая полностью отсутствует. И, самое главное, отсутствует обоснование эффективности новых энергосберегающих мероприятий.

Несмотря на возможность ограничиться энергодекларацией, некоторые бюджетные организации продолжают обращаться к энергоаудиторским компаниям с просьбой о проведении теперь уже добровольного энергообследования для получения профессионального квалифицированного анализа энергохозяйства и энергопотребления и обоснованной актуальной программы энергосбережения.

Первая волна (2010–2013 годы) энергетических обследований бюджетных учреждений выявила значительные потенциалы энергосбережения. Особенно большие резервы были вскрыты в сфере экономии тепловой энергии. Повсеместно были рекомендованы мероприятия по замене оконных рам или по их утеплению, по улучшению теплоизоляции зданий, по установке теплоотражающих экранов за приборами отопления.

Согласно требованиям №261-ФЗ, во всех бюджетных учреждениях должны устанавливаться приборы учёта всех видов потребляемых ресурсов. Установка теплосчётчиков позволила существенно сократить денежные затраты на оплату тепловой энергии. Ещё большая экономия была достигнута при установке индивидуальных тепловых пунктов, допу-



скающих погодную регулировку теплоснабжения и исключающих «перетопы». Так, например, согласно [6] выявленный потенциал сбережения тепловой энергии составил: для МБОУ «Красноярская СОШ №1» — 23 %, для МБОУ «Красноярская СОШ №2» — 21 %, для МБОУ «Забужанская СОШ» — 21 %.

Потенциал сбережения электроэнергии был также значителен. Согласно [6] порядка 37 % электроэнергии можно было сэкономить в МБОУ «Красноярская СОШ №1», 51 % — в МБОУ «Красноярская СОШ №1» и 63 % — в МБОУ «Забужанская СОШ». Основным потребителем электроэнергии в сельских школах Астраханской области в те годы была система освещения. Поэтому наиболее популярным энергосберегающим мероприятием была замена ламп накаливания на компактные энергосберегающие люминесцентные лампы. Предлагалась также замена люминесцентных светильников на ещё достаточно дорогие для того периода светодиодные. Замена традиционных электроплит на современные индукционные плиты также давала ощутимую экономию потребляемой электроэнергии.

Новая волна теперь уже добровольных (ранее обязательных) энергетических обследований, начавшаяся в 2017 году, показала, что рекомендованные в первых энергетических паспортах энергосберегающие мероприятия были в основном реализованы и принесли ощутимый экономический эффект. Возросла культура энергосбережения. Ведётся пропаганда энергосбережения, формируется сознательное отношение к проблемам энергосбережения у широких кругов населения.

Новая волна энергетических обследований требует новых подходов и новых энергосберегающих мероприятий. Технологии энергосбережения не стоят на месте.

Особую актуальность начинают приобретать технологии с использованием возобновляемых источников энергии [7]. Уже имеется опыт внедрения солнечно-ветровых автономных энергетических установок для электроснабжения фермерских хозяйств Астраханской области [8]. Известны особенности проектирования автономных фотоэлектрических систем [9]. Разработана трёхэтапная модель внедрения систем, использующих возобновляемые источники энергии, в муниципальных образованиях региона (на примере Астраханской области) [10]. Известны автономные системы энергосбережения с применением солнечных модулей, ветрогенераторов и солнечных коллекторов для фермерских хозяйств [11], солнечные автономные системы электроснабжения охотничьих и туристических баз [12].

Однако сетевые солнечные электростанции пока ещё не нашли применения в бюджетных учреждениях в нашей стране. В связи с вышеизложенным представляется актуальной задача оценки эффективности применения СЭС в качестве энергосберегающего мероприятия для бюджетного учреждения.

1. Обзор солнечных электростанций

В настоящее время установка солнечной электростанции (СЭС) в качестве автономного источника энергии — достойная замена дизельным и бензиновым генераторам, в первую очередь это касается стоимости обслуживания и срока службы оборудования. Если по каким-то причинам отсутствует возможность подключения к сети электроснабжения, солнечная электростанция может помочь полностью или в большей степени перенести данные неудобства. В общем виде устройство автономной солнечной электростанции имеет довольно простое исполнение: солнечные модули через контроллер подключаются к аккумуляторным блокам. Далее накопленная в АКБ электроэнергия расходуется потребителями.

Стоит отметить, что для обеспечения электроэнергией потребителей переменного напряжения требуется установка инвертора [13]. Основным минус автономной солнечной станции заключается в использовании аккумуляторных блоков. Зачастую аккумуляторы являются самой дорогой частью системы, и даже при должном обращении срок эксплуатации данных аккумуляторов меньше, чем у остального оборудования.

Помимо автономных солнечных электростанций также существуют сетевые солнечные электростанции. Основная задача такой системы заключается в экономии потребляемой электроэнергии из общей сети электроснабжения путём параллельной работы солнечных модулей и общей сети. Срок эксплуатации оборудования в данном случае значительно превосходит срок окупаемости, а первоначальные вложения не столь велики. Для обеспечения наибольшего эффекта необходимо соблюдать следующее правило: «выработка должна быть согласована с потреблением».

Недостатки сетевой системы:

1. Большинство соединённых с сетью фотоэлектрических систем требуют наличия напряжения в сети для своей работы. Сеть даёт опорное напряжение для сетевых инверторов, которые синхронизируются с ним и выдают напряжение, идентичное сетевому. Если такого сигнала нет, или он начинает сильно отличаться от нормального (по величине напряжения, частоте и т.п.), сетевой инвертор перестаёт работать.
2. При работе параллельно с сетью, в том случае, если выработка больше потребления, в сеть будут направляться излишки генерируемой солнечными батареями энергии. В России это не всегда допустимо, так как подавляющее большинство

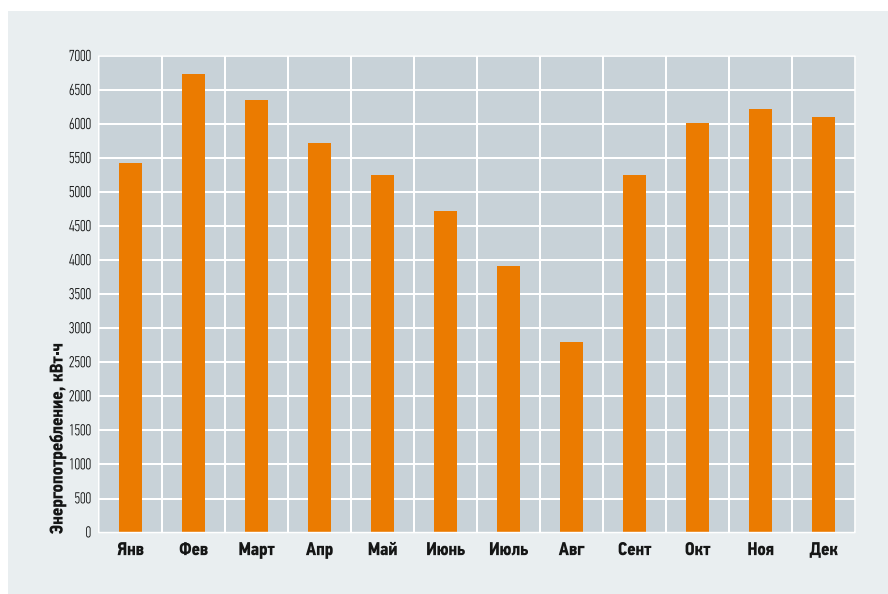


Рис. 1. Энергопотребление СОШ №2 города Нариманов за 2018 год

Энергопотребление СОШ №2 города Нариманов за 2018 год

табл. 1

Янв.	Фев.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сен.	Окт.	Ноя.	Дек.	Итого
5430	6730	6350	5730	5260	4730	3920	2800	5250	6010	6220	6110	64540

счётчиков электроэнергии, установленных в домах и квартирах, являются однонаправленными. Не все однонаправленные счётчики правильно реагируют на передачу электрической энергии от солнечных батарей обратно в сеть, в лучшем случае они просто не учитывают обратный ток, но большинство счётчиков прибавляет отданную в сеть электроэнергию к потреблённой [14]. Для того чтобы исключить передачу электроэнергии в сеть и не увеличивать показания счётчика отданной электроэнергией, нужно использовать специальные сетевые фотоэлектрические инверторы, снижающие свою мощность при появлении излишков электроэнергии, или установить специальный контроллер излишков энергии [15].

Основной минус автономной солнечной станции заключается в использовании аккумуляторных блоков. Зачастую аккумуляторы являются самой дорогостоящей частью системы

Также возможны гибридные СЭС, содержащие в себе функции сетевой и автономной систем. Схема гибридной СЭС отличается от схемы автономной станции лишь тем, что в ней фигурирует не обычный батарейный инвертор, а гибридный преобразователь, имеющий сетевой вход и способный «подмешивать» солнечную энергию к сетевой. С потребительской точки зрения это очень выгодно. Обеспечивается и резерв за счёт АКБ, и экономия за счёт выработки солнечных батарей.

На основании проведённого анализа в настоящей работе принято решение рекомендовать для внедрения в бюджетных учреждениях именно сетевые солнечные электростанции, поскольку они не имеют в своём составе дорогостоящих аккумуляторных батарей и требуют меньших затрат на монтаж и обслуживание.

2. Обзор объекта и анализ электропотребления

Оценка эффективности применения сетевой солнечной электростанции в качестве энергосберегающего мероприятия для бюджетного учреждения проведена на примере средней общеобразовательной школы №2 города Нариманов Астраханской области. Объёмы месячного потребления электроэнергии приведены в табл. 1 и отражены на рис. 1.

3. Подбор и размещение основного оборудования сетевой СЭС

Выбор солнечного модуля

При выборе солнечного модуля следует обратить внимание на следующие важные моменты:

1. При выборе солнечных модулей [16, 17] важно обращать внимание на **производителя оборудования**. Желательно, чтобы производитель был известен, имел хорошие отзывы со стороны потребителей и находился на рынке долгое время. Ещё лучше, если производитель модулей имеет полный цикл производства — от кремния до солнечных панелей.
2. **Параметры РТС или NOCT** [18] очень важны. Их предназначение — оценка влияния реальных условий работы на выработку модуля.



Параметр Nominal Operating Cell Temperature (NOCT) определяет номинальную рабочую температуру солнечного элемента при освещении солнечной панели солнечным светом интенсивностью 800 Вт/м^2 и температуре воздуха $+20^\circ\text{C}$. Электрическая цепь при этом разомкнута, угол наклона модуля 45° с ориентацией на юг. Чем ниже NOCT, тем лучше будет работать модуль в реальных условиях. Средняя NOCT составляет около $+48^\circ\text{C}$.

Более реалистичными являются условия Photovoltaics Test Conditions (PTC). Параметры испытаний PTC или Photovoltaics for Utility Systems Applications (PVUSA) Test Conditions показывают результаты тестов солнечных панелей в условиях, более приближенных к реальным. PTC подразумевают освещённость в 1000 Вт/м^2 , но температура нормируется относительно температуры окружающего воздуха, а не самого солнечного элемента. Панели должны находиться на высоте 10 м над

уровнем земли, температура воздуха должна быть 20°C , скорость ветра — 1 м/с .

Далеко не все производители указывают параметры своих продуктов по PTC. Обычно PTC указывается для модулей, произведённых для американского рынка. 3. Минимальный отрицательный «толеранс» — это отклонение реальной мощности солнечной панели от её номинального значения. Негативный «толеранс» не должен превышать 3 %.

4. Гарантии. В настоящее время максимальный гарантийный срок для солнечных модулей составляет 25 лет фабричной гарантии. Если солнечные модули приобретаются у небольших производителей, то имеется большая вероятность того, что через три-пять лет обеспечивать гарантию будет некому.

В соответствии с указанными критериями выбираем солнечный модуль марки Seraphim SRP-270-6PB, характеристики которого приведены в табл. 2.

Размещение солнечных модулей на крыше здания

Установку солнечных модулей следует производить на специальных конструкциях, способных обеспечить их оптимальную ориентацию на солнце и надёжное крепление к разным типам поверхностей: наземные фундаменты, крыши, а также вертикальные поверхности.

Для максимальной производительности энергии монтаж солнечных модулей должен быть выполнен таким образом, чтобы солнечные лучи падали на рабочую поверхность модуля под углом 90° . Для солнечных установок данное требование возможно выполнить путём использования специальных поворотных конструкций с двухосевой системой слежения за солнцем — трекерных систем.

Установку солнечных модулей следует производить на специальных конструкциях, способных обеспечить их оптимальную ориентацию на солнце

Применение трекерных систем, кроме явных преимуществ в максимальном использовании солнечной энергии, имеет свой недостаток. Они являются весьма дорогостоящими — в связи с тем, что основной системы являются специализированные устройства. К тому же устройства трекерных систем потребляют (незначительно, но постоянно) энергию, а сама система требует большую по площади территорию для установки по сравнению с фиксированными конструкциями. Поэтому обычно идут на компромисс в производительности системы и стоимости конструкции и в фотоэлектрических системах в основном используют стационарные конструкции. Такие конструкции ориентируют на юг с незначительными отклонениями по азимуту, а также устанавливают с фиксированным или изменяемым углом наклона.

Оптимальный угол наклона солнечных панелей зависит от широты местности, а также может быть изменён, в зависимости от того, какой оптимизации в производстве энергии необходимо добиться. Так, он может быть уменьшен от оптимального значения, если фотоэлектрическая система работает в летний период (летний оптимум), или увеличен, если система эксплуатируется в основном в осенне-зимний период, или принят средним по значению, если фотоэлектрическая система предназначена для круглогодичной эксплуатации [20].

■ Характеристики солнечного модуля Seraphim SRP-270-6PB 270 Вт [19]

табл. 2

Тип	Поликристалл
Номинальная мощность, Вт	270
Допустимое отклонение от номинальной мощности, %	± 3
Номинальное напряжение, В	24
Напряжение при максимальной мощности, В	31,3
Ток максимальной мощности, А	8,63
Напряжение холостого хода, В	38,5
Ток короткого замыкания, А	8,94
Температурный коэффициент напряжения, $\%/^\circ\text{C}$	$-0,32$
Количество ячеек	60
Количество диодов	—
КПД модуля, %	16,6
КПД ячейки, %	—
Длина кабеля, мм	900
Размер модуля (д × ш × в), мм	1640 × 992 × 35
Вес, кг	18,5
Гарантия, лет	10

Высота полуденного солнца в любой точке планеты определяется по формуле:

$$h = 90^\circ - \varphi + d, \quad (1)$$

где h — высота Солнца над горизонтом в полдень; φ — широта места наблюдения; d — солнечное склонение, астрономическая величина, измеряемая в градусах и равная той широте, где солнце находится в данный момент.

Для дней равноденствия — 21 марта и 23 сентября (солнце в зените на экваторе) будет иметь место:

$$h = 90^\circ - \varphi, \quad (2)$$

где 90° — угол падения солнечных лучей, то есть широта местности (северная или южная — определяется по тени, отбрасываемой объектами).

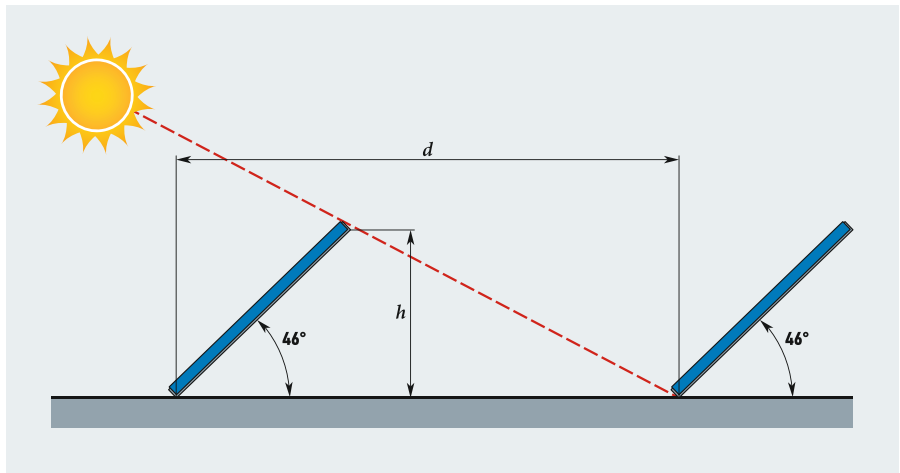


Рис. 2. Параметры для установки солнечных модулей (угол наклона модуля 46°)

Оптимальные углы наклона модулей для различных сезонов года

табл. 3

Время года	Угол падения солнечных лучей	Оптимальный угол наклона СМ
22 июня (летнее солнцестояние)	$90 - 46,41 + 23,5 \approx 67^\circ$	$\approx 23^\circ$
21 марта и 23 сентября (равноденствие)	$90 - 46,41 \approx 44^\circ$	$\approx 46^\circ$
22 декабря (зимнее солнцестояние)	$90 - 46,41 - 23,5 = 20^\circ$	$\approx 70^\circ$

Технические характеристики сетевого инвертора Sofar 17000TL

табл. 4

Вход постоянного тока		Выход переменного тока	
Максимальная мощность на входе, Вт	17 700	Номинальная мощность, ВА	17 000
Рабочее напряжение, В	350–850	Номинальное напряжение, В	230/380
Максимальный ток на входе, А	21	Частота, Гц	50/60

Для дней солнцестояния — 22 июня и 22 декабря — имеет место:

$$h = 90^\circ - \varphi \pm 23,5^\circ, \quad (3)$$

Необходимо учитывать, что лучи солнца падают отвесно (под углом 90° на тропик ($23,5^\circ$ с.ш. и $23,5^\circ$ ю.ш.)).

22 июня в Северном полушарии используется формула:

$$90^\circ - (\alpha - 23,5^\circ) = a. \quad (4)$$

22 декабря в Северном полушарии используется формула:

$$90^\circ - (\alpha + 23,5^\circ) = a. \quad (5)$$

Здесь α — угол падения солнечных лучей, a — широта местности.

Координаты города Нариманов: $46^\circ 41'$ северной широты и $47^\circ 51'$ восточной долготы. Согласно координатам определим угол падения солнечных лучей и оптимальный угол установки солнечных модулей в различное время года для данного города (табл. 3).

При расположении конструкций солнечных панелей в несколько рядов, кроме правильной ориентации и угла наклона, очень важным является правильно выбрать расстояние между рядами, чтобы не происходило взаимного затенения поверхности модулей (рис. 2).

Для средней полосы, при оптимальном фиксированном угле наклона, часто используется следующая формула:

$$d = 3h, \quad (6)$$

где d — расстояние между рядами, м; h — высота панели под оптимальным углом наклона, м.

Расчёт выработки СЭС при различных углах наклона модулей

Для расчёта выработки электроэнергии сетевой солнечной электростанцией воспользуемся онлайн-калькулятором [21], который предназначен для расчёта выработки в зависимости от места установки станции. Выработка электроэнергии СЭС с установленной мощностью 16,2 кВт при разных углах наклона модулей для города Нариманов представлена на рис. 3.

При сопоставлении графика выработки электроэнергии сетевой солнечной электростанции с графиком потребления электроэнергии и режимом работы организации можно сказать, что наибольшая

На данный момент на рынке продаётся много дешёвых сетевых фотоэлектрических инверторов с КПД, равным 85% и менее. При этом нужно учитывать, что большинство производителей предоставляет данные по КПД в точке, где он максимальный, и в среднем инвертор работает с КПД ещё ниже

эффективность ФЭС достигается при угле наклона солнечных модулей 46° .

Правильный выбор сетевого инвертора [22] также имеет большое значение.

Важно обращать внимание не только на единицы процентов КПД при выборе солнечных панелей, но и на КПД других элементов системы, особенно контроллеров и инверторов. На данный момент на рынке продаётся много дешёвых сетевых фотоэлектрических инверторов с КПД, равным 85% и менее. При этом нужно учитывать, что большинство производителей предоставляет данные по КПД в точке, где он максимальный, и в среднем инвертор работает с КПД ещё ниже. Это означает, что 15–20% от общей мощности модулей потребуется только для того, чтобы инвертор работал.

При выборе инвертора также важно учитывать, чтобы номинальная мощность сетевого инвертора была немного больше установленной мощности солнечных модулей:

$$P_{\text{инв}} > n P_{\text{мод}}, \quad (7)$$

где $P_{\text{инв}}$ — установленная мощность сетевого инвертора, кВт; n — количество солнечных модулей, шт.; $P_{\text{мод}}$ — установленная мощность солнечного модуля, кВт.

По приведённой формуле подберём соответствующее оборудование: при $n = 60$ и мощности модуля $P_{\text{мод}} = 0,27$ кВт мощность инверторного оборудования должна составлять не менее 16,2 кВт. В соответствии с изложенными рекомендациями выбираем сетевой инвертор марки Sofar 17000TL.

Технические характеристики сетевого инвертора Sofar 17000TL приведены в [22], табл. 4.

Сетевой инвертор марки Sofar 17000TL обладает способностью определять излишки вырабатываемой солнечными модулями электроэнергии и ограничивать подачу активной мощности в сеть.

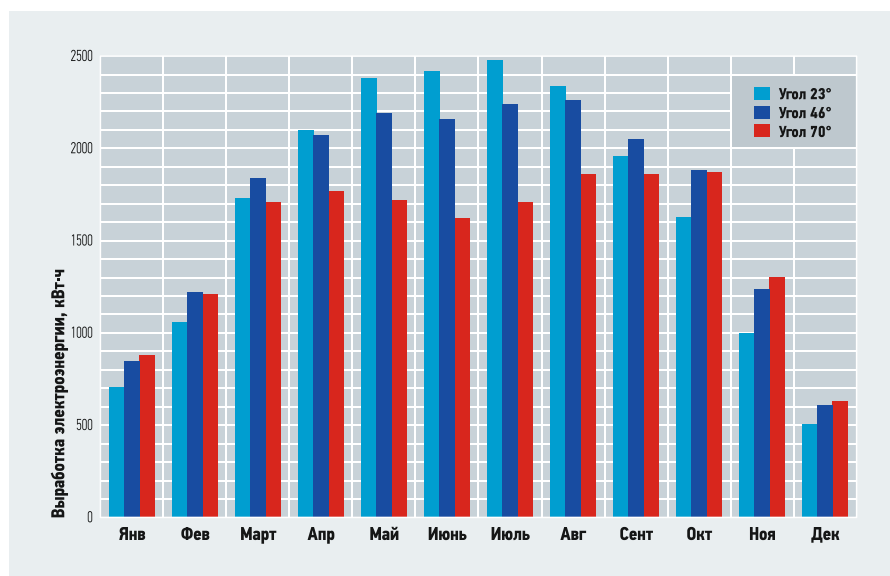


Рис. 3. Выработка сетевой СЭС 16,2 кВт при различных углах наклона солнечных модулей

4. Экономическая часть

В случае установки сетевой солнечной электростанции годовая экономия электроэнергии в натуральном выражении:

$$W = \sum (W_i) = W_{\text{январь}} + W_{\text{февраль}} + \dots, \quad (8)$$

где $W_{\text{январь}}, W_{\text{февраль}}, \dots$ — месячная выработка электроэнергии сетевой СЭС, кВт·ч. Итого $W = 20,61$ МВт·ч в год.

На рис. 4 приведено сравнение выработки сетевой СЭС и общего электропотребления объекта. В целом за год экономия электроэнергии за счёт внедрения СЭС составит порядка 32%.

Годовая экономия электроэнергии в денежном выражении составит:

$$\mathcal{E} = WT, \text{ руб.}, \quad (9)$$

где T — тариф на электроэнергию, руб./кВт·ч. Для организации тариф на электроэнергию составляет 6 руб. 25 коп. за 1 кВт·ч, отсюда:

$$\mathcal{E} = 20610 \times 6,25 = 128812,5 \text{ руб.}$$

Согласно технической документации, гарантийный срок оборудования составляет десять лет для солнечной панели

(Seraphim SRP-270-6PB) и пять лет для сетевого инвертора (Sofar 17000TL).

Примечание: средний срок службы оборудования составляет десять лет при условии, что инвертор по истечению гарантированного срока службы (пять лет) будет заменён на новый — $T_{\text{ж}} = 10$ лет.

Определим стоимость сетевой солнечной электростанции с учётом замены сетевого инвертора по истечению гарантийного срока.

Капиталовложения составят:

$$K = K_{\text{мод}} + 2K_{\text{инв}}, \text{ руб.}, \quad (10)$$

где $K_{\text{мод}}$ — стоимость солнечных модулей, руб. (стоимость одного солнечного модуля составляет 11 813 руб. [19]); $K_{\text{инв}}$ — стоимость инвертора, руб.

Стоимость инвертора составляет 189 907 руб. [22], отсюда:

$$K = K_{\text{мод}} + 2K_{\text{инв}} = 709860 + 2 \times 189907 = 1089674 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости составит:

$$T_{\text{ок}} = K/\mathcal{E}, \text{ год}, \quad (11)$$

$$T_{\text{ок}} = K/\mathcal{E} = 1089674/128812,5 = 8,45 \text{ год.}$$

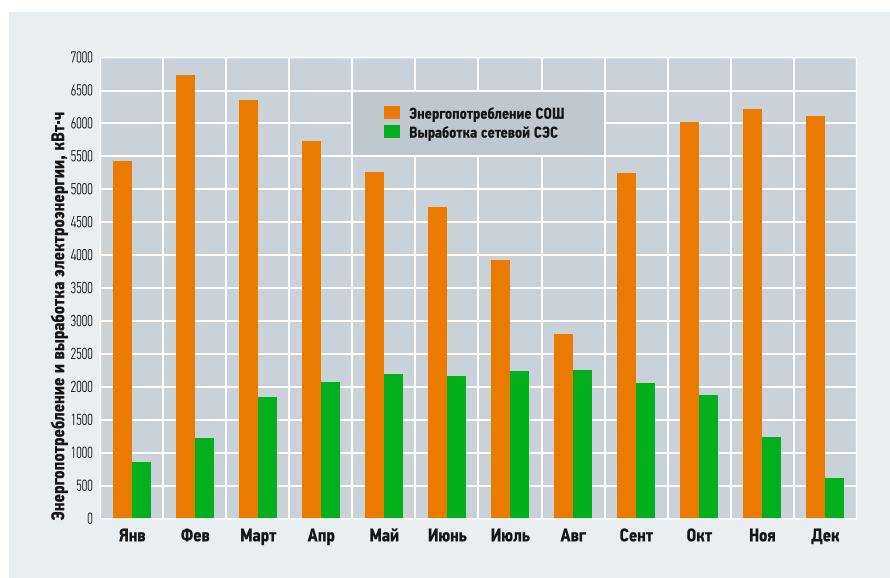


Рис. 4. Сравнение выработки сетевой СЭС и электропотребления объекта

Дисконтированный срок окупаемости капитальных вложений

Дисконтированный срок окупаемости капиталовложений рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{\text{д.ок}} = K/P_{\text{год}} = 1089674/212017,4 = 5,13 \text{ года},$$

где K — капиталовложения; $P_{\text{год}}$ — годовое поступление денежных средств от реализации энергосберегающего мероприятия, руб/год:

$$P_{\text{год}} = \mathcal{E}(1 - H) + A, \text{ руб/год}, \quad (12)$$

$P_{\text{год}} = \mathcal{E}(1 - H) + A = 128812,5 \times (1 - 0,2) + 108967,4 = 212017,4$ руб/год, где $\mathcal{E}$ — экономический эффект от мероприятия; H — ставка налога на прибыль, принимается равной 0,2 (20%); A — годовые амортизационные отчисления, связанные с реализацией энергосберегающего мероприятия, руб/год:

$$\text{Норма } A = 100\%/T_{\text{ж}} = 100\%/10 \text{ лет} = 10\%,$$

где $T_{\text{ж}}$ — срок службы энергосберегающего оборудования, лет:

$$\text{Годовая } A = K \text{ Норма } A / 100 = 1089674 \text{ руб.} \times 10\% / 100 = 108967,4 \text{ руб/год.}$$



Чистый дисконтированный доход

$$\text{ЧДД} = \frac{P_{\text{год}} [1 - (1 + R)^{-T_{\text{ж}}}]}{R} - K_{\text{эсо}}, \quad (13)$$

$$\text{ЧДД} = \frac{212017,4 \times [1 - (1 + 0,12)^{-10}]}{0,12} - 1089674 \approx 108300 \text{ руб.},$$

где $P_{\text{год}}$ — величина денежных поступлений (чистого дохода) за каждый год срока полезного использования энергосберегающего оборудования, руб/год; R — норма дисконта, в долях [23]; $K_{\text{эсо}}$ — капитальные вложения, руб.; $T_{\text{ж}}$ — срок службы энергосберегающего оборудования, лет. За период срока службы энергосберегающего оборудования (десять лет) данное мероприятие полностью окупит капиталовложения и принесёт доход более 108 300 руб.

Данное мероприятие — крупнозатратное. Необходимо отметить, что при росте тарифов на электрическую энергию (до 4,5 % ежегодно) срок окупаемости мероприятия снизится.

Индекс доходности

$$ИД = \frac{P_t}{K_{\text{эсо}} (1+R)^t}, \quad (14)$$

где $P_{\text{год}}$ — величина денежных поступлений (чистого дохода) за каждый год срока полезного использования энергосберегающего оборудования, руб/год; R — норма дисконта, в долях; $K_{\text{эсо}}$ — капиталовложения, руб.; $T_{\text{ж}}$ — срок службы энергосберегающего оборудования, лет. Отсюда:

$$ИД = \frac{108300}{1089674} = 0,032.$$

Сводная информация по данному энергосберегающему мероприятию приведена в табл. 5.

Сводная информация по энергосберегающему мероприятию

табл. 5

Наименования и стоимость (на период составления отчёта) средств для внедрения указанного мероприятия	Солнечный модуль Seraphim SRP-270-6PB стоимостью 11 831 руб. в количестве 60 шт. Сетевой солнечный инвертор Sofar 17000TL стоимостью 189 907 руб. в количестве 2 шт.
Объём финансирования рекомендуемого энергоресурсосберегающего мероприятия, в ценах на период отчёта	1 089 674 руб.
Годовая экономия используемых энергетических ресурсов в натуральном и (или) стоимостном выражении, на энергосбережение и повышение энергетической эффективности которых направлено предлагаемое энергоресурсосберегающее мероприятие	В натуральном выражении — 20 610 кВт·ч. В стоимостном выражении — 128 812,5 руб.
Срок окупаемости рекомендуемого энергоресурсосберегающего мероприятия	8,45 года
Динамические показатели оценки экономической эффективности рекомендуемого энергоресурсосберегающего мероприятия на весь период внедрения: дисконтированный срок окупаемости / чистая приведённая стоимость / внутренняя норма доходности / ставка дисконтирования / индекс рентабельности или доход на единицу затрат	5,13 года / 108 300 руб. / 0,032 / 12 % / 0,118

Заключение

Предложено применение сетевой солнечной электростанции в качестве энергосберегающего мероприятия для бюджетного учреждения (в данном случае общеобразовательного). Приведена методика расчё-

та выработки солнечной электростанции с учётом координат местности при различных углах наклона модулей.

Обоснован выбор солнечных модулей и сетевого инвертора. Проведён анализ экономической эффективности предложенного энергосберегающего мероприятия на примере общеобразовательного учреждения города Нариманов Астраханской области.

Предложена сетевая солнечная электростанция мощностью 16,2 кВт.

Оценка эффективности проведена путём сопоставления финансовых затрат на реализацию энергосберегающего мероприятия и последующей экономии ресурсов в денежном эквиваленте. Конкретизированы последовательность и условия применения показателей для оценки данного мероприятия. ●



- Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Фед. закон от 23.11.2009 №261-ФЗ.
- Серебряков Д.В. Энергоаудит: на пороге перемен // Энергосбережение, 2012. №1. С. 20–22.
- Об утверждении требований к проведению энергетического обследования и его результатам и правил направления копий энергетического паспорта, составленного по результатам обязательного энергетического обследования: Приказ Минэнерго России от 30.06.2014 №400.
- Об утверждении требований к форме программ в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности организаций с участием государства и муниципального образования, организаций, осуществляющих регулируемые виды деятельности, и отчётности о ходе их реализации: Приказ Минэнерго России от 30.06.2014 №398.
- Об установлении объёма энергетических ресурсов в стоимостном выражении для целей проведения обязательных энергетических обследований: Постановление Правительства РФ от 16.08.2014 №818-ПП.
- Зайнутдинов Л.Х. Управление энергосбережением бюджетных образовательных учреждений // Управление и высокие технологии, 2012. №1. С. 164–170.
- Альтернативная энергетика в регионах России: Мат. молод. науч. конф. «АЭР-2018». 5–7 декабря 2018 г. / Под ред. Л.Х. Зайнутдиновой и М.Г. Тягунова. — Астрахань, 2018. 304 с.
- Зайнутдинов Р.А. Опыт внедрения солнечно-ветровых автономных энергетических установок для электроснабжения фермерских хозяйств Астраханской области // Промышленная энергетика, 2013. №5. С. 50–54.
- Зайнутдинов Р.А. Особенности проектирования автономных фотоэлектрических систем // Электротехнические комплексы и системы: Межвуз. науч. сб. — Уфа: УГАТУ, 2014. С. 136–139.
- Зайнутдинов Р.А. Трёхэтапная модель внедрения систем с возобновляемыми источниками энергии в муниципальных образованиях региона (на примере Астраханской области) // Управление и высокие технологии, 2017. №4. С. 125–135.
- Бектемиров М.Н. Проектирование автономной системы энергосбережения с применением солнечных модулей, ветрогенератора и солнечного коллектора для фермерского хозяйства села Сары-Су Чеченской республики. Альтернативная энергетика в регионах России: Мат. молод. науч. конф. «АЭР-2018». 5–7 декабря 2018 г. / Под ред. Л.Х. Зайнутдиновой и М.Г. Тягунова. — Астрахань, 2018. С. 233–237.
- Братышев С.Н., Зайнутдинов Р.А. Солнечная автономная система электроснабжения охотничьей базы. Альтернативная энергетика в регионах России: Мат. молод. науч. конф. «АЭР-2018». 5–7 декабря 2018 г. / Под ред. Л.Х. Зайнутдиновой и М.Г. Тягунова. — Астрахань, 2018. С. 60–65.
- Сетевые солнечные электростанции [Электр. текст]. ООО «Гелиос Хаус». Режим доступа: helios-house.ru. Дата общ.: 02.04.2019.
- Модели счётчиков для солнечных батарей [Электр. текст]. WATTrouter. Режим доступа: wattrouter.ru. Дата общ.: 14.05.2019.
- Каргиев В.М. Соединённые с сетью системы [Электр. текст]. «Ваш солнечный дом». Режим доступа: solarhome.ru. Дата общ.: 07.04.2019.
- Восемь правил выбора ФЭМ [Электр. текст]. «Ваш солнечный дом». Режим доступа: solarhome.ru. Дата общ.: 18.04.2019.
- Семь основных ошибок покупателей солнечных батарей [Электр. текст]. «Ваш солнечный дом». Режим доступа: solarhome.ru. Дата общ.: 21.04.2019.
- Тестирование параметров солнечных батарей [Электр. текст]. «Ваш солнечный дом». Режим доступа: solarhome.ru. Дата общ.: 27.04.2019.
- Солнечный модуль Seraphim SRP-270-6PB [Электр. текст]. Портал «Со светом»; ООО «Энергетический центр». Режим доступа: sosvetom.ru. Дата общ.: 28.04.2019.
- Влияние широты местности на производительность фотоэлектрической установки [Электр. текст]. StudFiles. Режим доступа: studfile.net. Дата общ.: 16.05.2019.
- Photovoltaic Geographical Information System. European Commission. Web-source: re.jrc.ec.europa.eu. Access data: May 24, 2019.
- Сетевой солнечный инвертор Sofar 17000TL (2MPPT) [Электр. текст]. «Со светом»; ООО «Энергетический центр». Режим доступа: sosvetom.ru. Дата общ.: 11.05.2019.
- Узкоспециализированный материал для профессиональных инвесторов и слушателей курса «Секреты фундаментального анализа» [Электр. текст]. Fin-plan; ИП Кошин В.В. Режим доступа: fin-plan.org. Дата общ.: 02.06.2019.

References — see page 63.

The analysis of efficiency of application of network solar power stations for energy saving in budgetary institutions. Pp. 56–62.

Sergey N. Bratsyshev, postgraduate student, assistant; **Larisa Kh. Zaynutdinova**, PhD, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Head of the Department, the Department of Electrical Equipment, Electronics and Automatic Equipment, the Faculty of Physics and Technology, Astrakhan State University (ASU); **Rustem A. Zaynutdinov**, PhD, Head of "Alternative Power Engineering" Scientific and Education Center of ASU (Astrakhan city)

1. *Ob jenergosberezhenii i o povyshenii jenergeticheskoy jeffektivnosti i o vnesenii izmenenij v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii: Fed. zakon ot 23.11.2009 №261-FZ* [On energy conservation and on improving energy efficiency and on amendments to certain legislative acts of the Russian Federation. Federal Law No. 261-FL of November 23, 2009]. [In Russian]
2. D.V. Serebriakov. *Jenergoaudit: na poroge peremen* [Energy audit: on the verge of change]. *Jenergosberezhenie* ["Energy saving" Magazine]. 2012. No. 1. Pp. 20–22. [In Russian]
3. *Ob utverzhdenii trebovanij k provedeniju jenergeticheskogo obsledovaniya i ego rezul'tatam i pravil napravlenniya kopij jenergeticheskogo pasporta, sostavlennogo po rezul'tatam objazatel'nogo jenergeticheskogo obsledovaniya: Prikaz Minjenergo Rossii ot 30.06.2014 №400* [On approval of the requirements for conducting an energy audit and its results and the rules for sending copies of an energy passport compiled from the results of a mandatory energy audit. Order of the Ministry of Energy of Russia No. 400 of June 30, 2014]. [In Russian]
4. *Ob utverzhdenii trebovanij k forme programm v oblasti jenergosberezheniya i povyshenija jenergeticheskoy jeffektivnosti organizacij s uchastiem gosudarstva i municipal'nogo obrazovaniya, organizacij, osushchestvlyajushih reguliruemye vidy dejatel'nosti, i otchetnosti o hode ih realizacii: Prikaz Minjenergo Rossii ot 30.06.2014 №398* [On approval of the requirements for the form of programs in the field of energy conservation and energy efficiency of organizations with the participation of the state and the municipality, organizations engaged in regulated activities, and reporting on the progress of their implementation. Order of the Ministry of Energy of Russia No. 398 of June 30, 2014]. [In Russian]
5. *Ob ustanovlenii obshchego jenergeticheskikh resursov v stoimostnom vyrazhenii dlja celej provedeniya objazatel'nyh jenergeticheskikh obsledovanij: Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 16.08.2014 №818-PP* [On establishing the amount of energy resources in value terms for the purpose of conducting mandatory energy surveys. Decree of the Government of the Russian Federation No. 818-GD of August 16, 2014]. [In Russian]
6. L.H. Zaynutdinova. *Upravlenie jenergosberezheniem bjudzhetnyh obrazovatel'nyh uchrezhdenij* [Energy-saving management of budgetary educational institutions]. *Upravlenie i vysokie tehnologii* ["Management and High Technology" Magazine]. 2012. No. 1. Pp. 164–170. [In Russian]
7. *Alternativnaja jenergetika v regional'noj Rossii: Materialy molodezhnoj nauchnoj konferencii "AJeR-2018"* [Alternative energy in the regions of Russia. Proc. of the "AJeR-2018" Youth Scientific Conference]. December 5–7, 2018. Edited by L.Kh. Zaynutdinova and M.G. Tjagunov. Astrakhan. 2018. 304 p. [In Russian]
8. R.A. Zaynutdinov. *Opyt vnedreniya solnechno-vetrovykh avtonomnykh jenergeticheskikh ustanovok dlja jelektronsnabzheniya fermerskikh hozjajstv Astrahanskoy oblasti* [Experience in introducing solar-wind autonomous power plants for power supply to farms in the Astrakhan region]. *Promyshlennaja jenergetika* ["Industrial power" Magazine]. 2013. No. 5. Pp. 50–54.
9. R.A. Zaynutdinov. *Osobennosti proektirovaniya avtonomnykh fotoelektricheskikh sistem* [Design features of autonomous photovoltaic systems]. *Jeletrotehnicheskie komplekсы i sistemy: Mezhdunarodnyj nauchnyj sbornik* [Electrotechnical complexes and systems: Interuniversity scientific collection]. Ufa. UGATU [Ufa State Aviation Technical University]. 2014. Pp. 136–139. [In Russian]
10. R.A. Zaynutdinov. *Trehetapnaja model' vnedreniya sistem s vozobnovljajemyimi istochnikami jenergii v municipal'nyh obrazovaniyah regiona (na primere Astrahanskoy oblasti)* [Three-stage model for the introduction of systems with renewable energy sources in the municipalities of the region (on the example of the Astrakhan region)]. *Upravlenie i vysokie tehnologii* ["Management and High Technology" Magazine]. 2017. No. 4. Pp. 125–135. [In Russian]
11. M.N. Bektemirov. *Proektirovanie avtonomnoj sistemy jenergosberezheniya s primeneniem solnechnykh modulej, vetrogeneratora i solnechnogo kollektora dlja fermerskogo hozjajstva sela Sary-Su Chechenskoy respubliky* [Designing an autonomous energy saving system using solar modules, a wind generator and a solar collector for a farm in the Sary-Su settlement of the Chechen Republic]. *Alternativnaja jenergetika v regional'noj Rossii: Materialy molodezhnoj nauchnoj konferencii "AJeR-2018"* [Alternative energy in the regions of Russia: Proc. of the "AJeR-2018" Youth Scientific Conference]. December 5–7, 2018. Edited by L.Kh. Zaynutdinova and M.G. Tjagunov. Astrakhan. 2018. Pp. 233–237. [In Russian]
12. S.N. Bratsyshev, R.A. Zaynutdinov. *Solnechnaja avtonomnaja sistema jelektronsnabzheniya ohotnich'ej bazy* [Solar autonomous power supply system of the hunting base]. *Alternativnaja jenergetika v regional'noj Rossii: Materialy molodezhnoj nauchnoj konferencii "AJeR-2018"* [Alternative energy in the regions of Russia: Proc. of the "AJeR-2018" Youth Scientific Conference]. December 5–7, 2018. Edited by L.Kh. Zaynutdinova and M.G. Tjagunov. Astrakhan. 2018. Pp. 60–65. [In Russian]
13. *Setevye solnechnye jelektrostancii* [Networked solar power plants]. ООО "Helios Haus" / Helios House Co., Ltd. Web-source: helios-house.ru. Access data: 10.01.2020. [In Russian]
14. *Modeli schetchikov dlja solnechnykh batarej* [Models of meters for solar panels]. WATTrouter. Web-source: wattrouter.ru. Access data: 10.01.2020. [In Russian]
15. V.M. Kargiev. *Soedinenenye s set'ju sistemy* [Connected to a network system]. "Vash solnechnyj dom" [Your sunny home]. Web-source: solarhome.ru. Access data: 10.01.2020. [In Russian]
16. *Vosem' pravil vybora FJeM* [Eight rules for choosing photovoltaic modules]. "Vash solnechnyj dom" [Your sunny home]. Web-source: solarhome.ru. Access data: 11.01.2020. [In Russian]
17. *Sem' osnovnykh oshibok pokupatelej solnechnykh batarej* [Seven major mistakes buyers of solar panels]. "Vash solnechnyj dom" [Your sunny home]. Web-source: solarhome.ru. Access data: 11.01.2020. [In Russian]
18. *Testirovanie parametrov solnechnykh batarej* [Testing the parameters of solar panels]. "Vash solnechnyj dom" [Your sunny home]. Web-source: solarhome.ru. Access data: 12.01.2020. [In Russian]
19. *Solnechnyj modul' Seraphim SRP-270-6PB* [Solar module Seraphim SRP-270-6PB]. "So svetom"; ООО "Jenergeticheskij centr" ["With the light on"; "Energy Center", LLC]. Web-source: sosvetom.ru. Access data: 13.01.2020. [In Russian]
20. *Vlijanie shirotы mestnosti na proizvoditel'nost' fotoelektricheskoy ustanovki* [The effect of latitude on the performance of a photovoltaic installation]. StudFiles. Web-source: studfile.net. Access data: 13.01.2020. [In Russian]
21. Photovoltaic Geographical Information System. European Commission. Web-source: re.jrc.ec.europa.eu. Access data: 14.01.2020.
22. *Setevoy solnechnyj invertor Sofar 17000TL (2MPPT)* [Network solar inverter Sofar 17000TL (2MPPT)]. "So svetom"; ООО "Jenergeticheskij centr" ["With the light on"; "Energy Center", LLC]. Web-source: sosvetom.ru. Access data: 15.01.2020. [In Russian]
23. *Uzkspecializirovannyj material dlja professional'nyh investirov i slushatelej kursa Fin-plan "Sekrety fundamental'nogo analiza"* [Highly specialized material for professional investors and students of the "Secrets of Fundamental Analysis" class from the Fin-plan]. *Fin-plan; IP Koshin V.V.* [V.V. Koshin, the individual entrepreneur]. Web-source: fin-plan.org. Access data: 15.01.2020. [In Russian]