

**Оценка экономической эффективности возобновляемых источников энергии для информационно-вычислительных комплексов и управляющих систем**

**Т.С. Аббасова**, к.т.н., доцент,

**Н.В. Логачева**, к.т.н., доцент,

**Н.П. Сидорова**, к.т.н., доцент,

Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московской области

«Технологический университет», г. Королев, Московская область

*Проанализированы способы повышения экономической эффективности возобновляемых источников энергии; показано, что увеличить экономическую эффективность можно не только за счет новых разработок их конструкции, но и с помощью дополнительных организационно-технических мероприятий по снижению расходов в части их инвестиционной составляющей и энергосбережению.*

Экономические показатели, срок окупаемости, квоты за выбросы.

**Assess the cost effectiveness of renewable energy sources for the information and computer systems and control systems**

**T.S. Abbasov**, Ph.d., Associate Professor,

**N.V. Logacheva**, Ph.d., Associate Professor,

**N.P. Sidorova**, Ph.d., Associate Professor,

State Educational Institution of Higher Education

Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

*Analyzed ways to improve the cost-effectiveness of renewable energy sources; shows that the increased economic efficiency can not only due to the new developments of their design, but also with additional organizational and technical measures to reduce costs in terms of energy saving and investment component.*

Economic performance, the payback period, quotas for emissions.

По расчётам, сделанным в исследовании «Распределенная энергетика 2010-2015», за последние 10 лет цены на электроэнергию росли стабильно в диапазоне 12-27% в год, а стоимость газа для электростанций возросла почти в 4,5 раза. Создание ВИЭ требует существенно меньше затрат, чем 10-15 лет назад [1, 2].

В работах [3, 4] рассмотрена эффективность использования, основанная на повышении КПД солнечных возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и уменьшении их массогабаритных характеристик. В работах [5-9] рассмотрена эффективность использования солнечной энергии как альтернативы расходу ископаемых видов топлива. Улучшить экономическую эффективность можно не только за счет новых разработок конструкции фотоэлектрических преобразователей

(ФЭП) с более высоким КПД или концентратора со следящим электроприводом (СЭП), но и с помощью дополнительных организационно-технических мероприятий по снижению расходов в части их инвестиционной составляющей и энергосбережению.

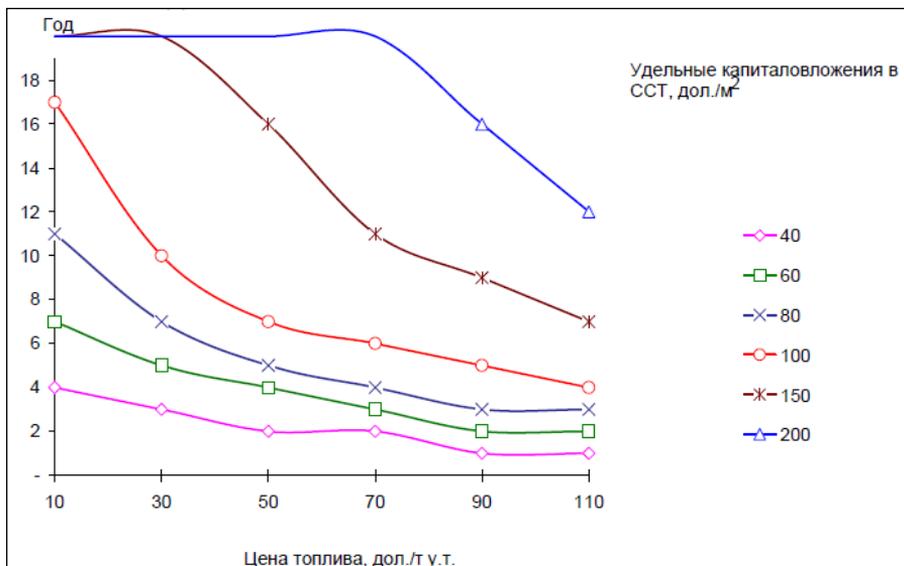
На *первом этапе* исследований по снижению расходов в части их инвестиционной составляющей на внедрение солнечных ВИЭ на основе анализа параметров плотности солнечного излучения оценивается возможность применения на данной территории ГУ, при необходимости применения на данной территории различных типов ВИЭ оцениваются параметры, характерные для других типов ВИЭ [3-5].

На *втором этапе* для определения условий целесообразности применения солнечных ВИЭ проводятся

многовариантные расчеты на имитационных моделях для нахождения граничных значений капиталовложений в ВИЭ при различных ценах традиционных энергоисточников.

На рис. 1 приведены результаты исследований по определению условий

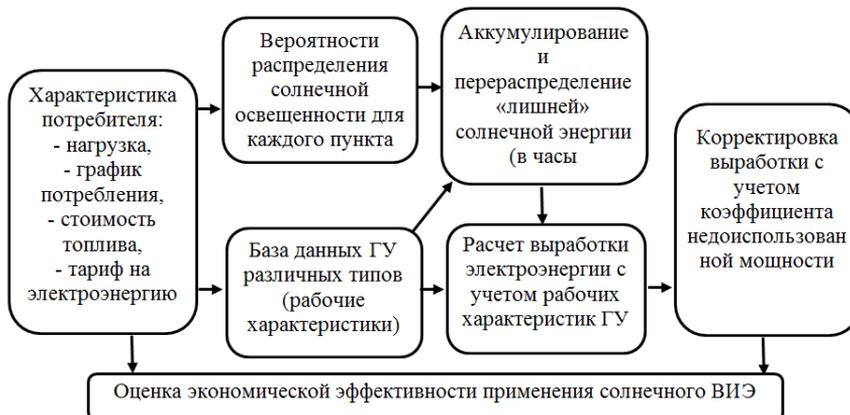
целесообразности применения солнечных ВИЭ на производственно-финансовой модели [6] для наилучших значений гелиопотенциала в азиатской части России.



**Рисунок 1 – Зависимость срока окупаемости солнечных энергоустановок от цены вытесняемого топлива**

Третий этап исследований включает в себя многофакторный анализ совокупности технико-экономических показателей систем электроснабжения, графиков производства и потребления солнечной энергии, выявление

потребителей солнечных ВИЭ, для которых экономически оправданно использование солнечной энергии [7-10]. Детальная схема проведения исследований на этом этапе для обоснования применения солнечных ВИЭ показана на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Схема проведения исследований по оценке экономической эффективности применения солнечных установок**

Коэффициент недоиспользованной мощности (рис. 2) должен оцениваться и корректироваться с учетом коэффициента использованной установленной мощности для преобразовательных, электротехнологических, передаточных, информационно-управляющих устройств ВИЭ и коэффициента использованной установленной мощности для питаемого электрооборудования, так как оптимизация состава, структуры и режимов работы питаемого электрооборудования позволяет снизить потребляемую им мощность на 30%.

Коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) равен отношению среднеарифметической мощности к установленной мощности электроустановки за определённый интервал времени. Его можно также выразить в долях используемой номинальной мощности.

Для конкретного объекта малой энергетики (например, центра обработки данных, ЦОД) по результатам статистических данных, собранных за год [2], построены характеристики энергетической эффективности при различных нагрузках вычислительного электрооборудования и различных долях номинальной мощности, которые приведены на рис. 3.

Графоаналитические зависимости на рисунке 3 свидетельствуют о том, что при консолидации вычислительной инфраструктуры КПД повышается до 60% при доле используемой на вычислительное оборудование мощности 10%; при доле используемой на вычислительное оборудование мощности 100% КПД повышается до 91%.

При оценке затрат на энергопотребление серверов необходимо

учесть, что переход на виртуальные технологии позволяет уменьшить не только расходы на электроэнергию, но и расходы на охлаждение оборудования. Виртуальная инфраструктура оценивается исходя из тарифов, которые могут быть рассчитаны для виртуальных элементов (например, делением полной стоимости владения на количество виртуальных элементов, с учетом калькуляции ТСО (от англ. total cost of ownership – совокупная стоимость владения)). Средняя загрузка работающих серверов – около 10...15%. Консолидация физических серверов с помощью виртуальных технологий позволяет перенести около 10-ти физических серверов в виртуальные машины, которые запускаются на одном физическом сервере и поднимают его загрузку до 50...60% [2]. Этот факт не означает снижение стоимости владения серверами в 10 раз. В реальных проектах часто одновременно происходит модернизация серверного парка с консолидацией, например, на «blades»-серверы («лезвия»). С одной стороны, стоимость новых «blades»-серверов увеличивается; с другой стороны, затраты при их эксплуатации уменьшаются, в первую очередь, затраты на электроэнергию. Общее количество необходимых для серверов сетевых портов и маршрутизаторов может быть прямо пропорционально уменьшено, и, соответственно, прямо пропорционально уменьшится эффективная плотность портов. В некоторых случаях для меньшего количества серверов могут понадобиться дополнительные порты, что определяется на стадии планирования и разработки архитектуры решения. Статистические исследования показали, что показатель ТСО для ИТ-инфраструктуры снижается на 60...80%

[2].

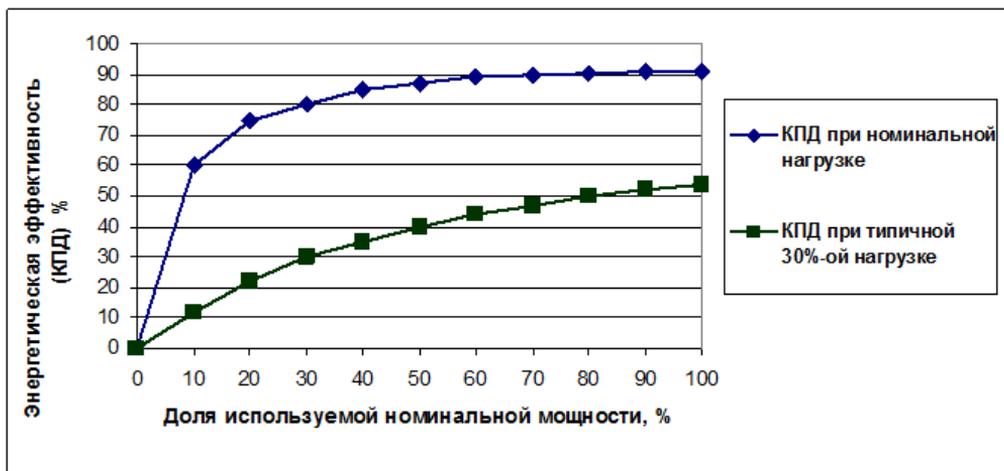


Рисунок 3 – Зависимость КПД вычислительного электрооборудования от нагрузки

Для центра сбора и обработки данных энергоучета электроподстанций и счетчиков, включающего четыре стойки мощностью 4,2 кВт, стоимость электроэнергии около 8000 рублей в месяц. Статистические исследования, результаты которых приведены на рисунках 4, 5, показали, что совокупная стоимость электроэнергии, потребляемая инженерным и вычислительным

оборудованием, снижается до 43% за счет уменьшения расходов на охлаждение и электропитание вычислительного оборудования, в котором используются виртуальные технологии, а также соответствующего уменьшения количества инженерного оборудования из-за уменьшения требуемой мощности для охлаждения вычислительного оборудования.

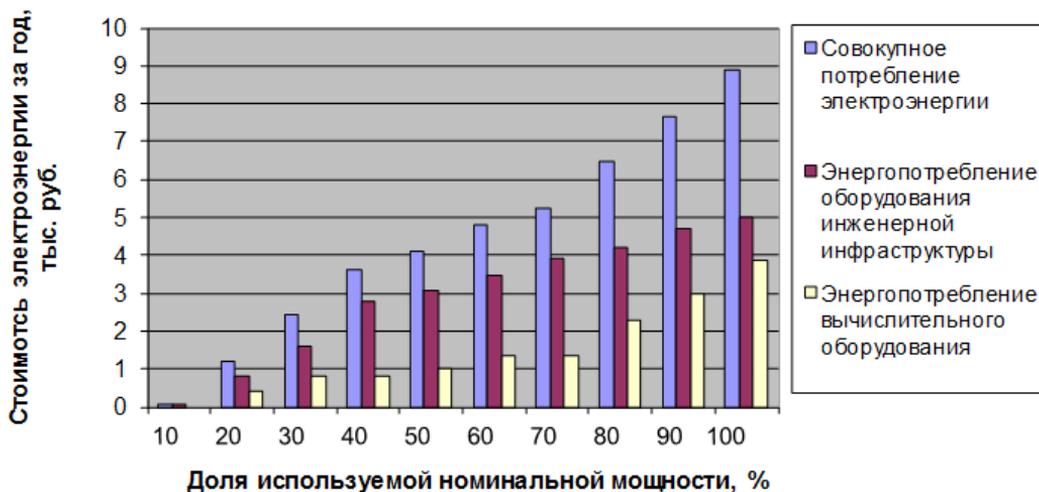


Рисунок 4 – Зависимость финансовых затрат на электроэнергию от типа используемого электрооборудования и доли используемой номинальной мощности для центра обработки данных без применения виртуальных технологий

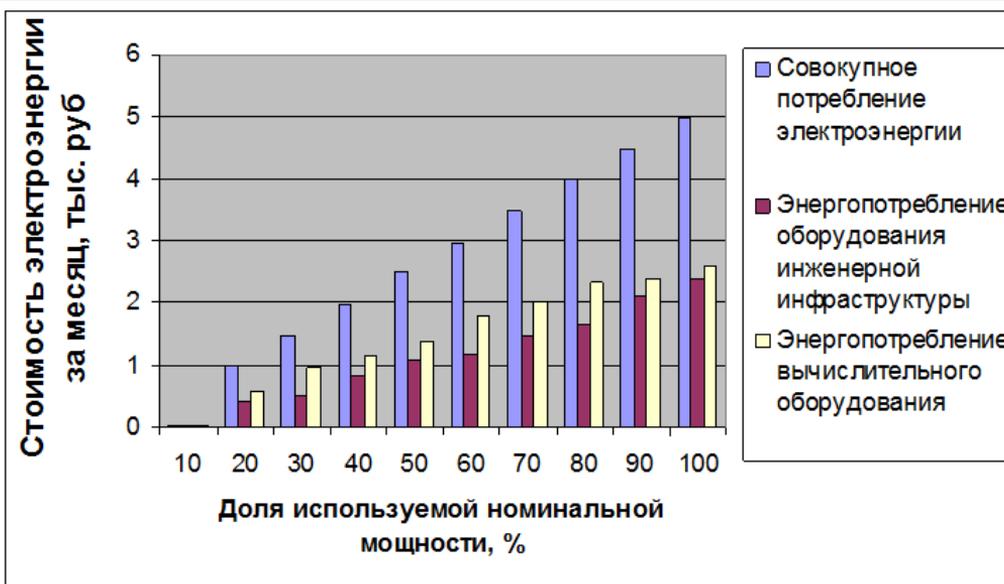


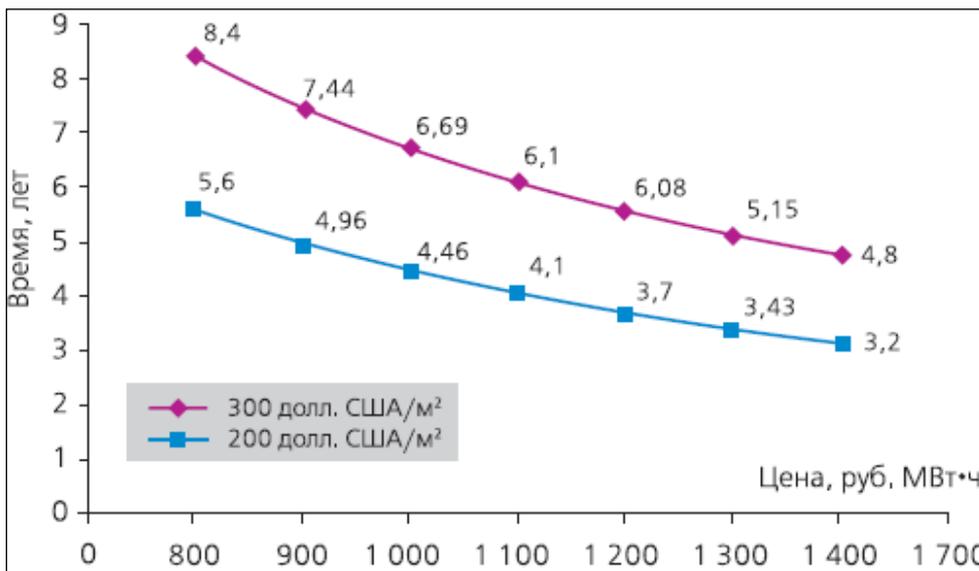
Рисунок 5 – Зависимость финансовых затрат на электроэнергию от типа используемого электрооборудования и доли используемой номинальной мощности для центра обработки данных с применением виртуальных технологий

На четвертом этапе оценивается финансово-экономическая эффективность альтернативных схем электроснабжения с применением солнечных ВИЭ, выбранных по результатам анализа предыдущего этапа, с учетом характеристик оборудования, для которого предоставляются услуги по электроснабжению. Рассчитываются сроки окупаемости конкретных проектов [10]. При предполагаемом использовании солнечного ВИЭ в качестве автономного источника строятся линии равноэкономичности двух альтернативных схем [2].

Данные рисунка 6 о сроках окупаемости при средних ценах на традиционные энергоносители (4,1 года для ГУ с удельной стоимостью 200 дол./м<sup>2</sup> и 6,1 года для ГУ с удельной стоимостью 300 дол./м<sup>2</sup>) свидетельствуют о том, что необходимы дополнительные экономические механизмы регулирования для сокращения сроков окупаемости. Таким образом, необходима государственная поддержка в виде субсидий производителям оборудования, либо существенное снижение удельных капиталовложений: до удельной

стоимости 100 дол./м<sup>2</sup> [2].

Для определения показателей экономической эффективности ЭКБЭ с ГУ использован метод многомерных векторов, в котором каждому фактору, влияющему на экономическую эффективность, присвоен набор показателей, располагающихся в многомерном пространстве: инвестирование, производство, распределение и оценка последствий. Исследована взаимосвязь между значениями переменных, характеризующих эффективность солнечной ВИЭ, для сокращения числа переменных и классификации переменных (определения структуры взаимосвязей между переменными). Например, выявлена взаимосвязь между КПД ГУ с концентратором и без концентратора и занимаемой ей площадью. Каждый фактор содержит информацию о нескольких переменных. Например, в один фактор объединяются переменные, которые можно связать корреляционной зависимостью. Выделение факторов проводилось в предположении о независимости факторов друг от друга.



**Рисунок 6 – Зависимости срока окупаемости ГУ от тарифов на электрическую энергию традиционных источников при различных удельных сметных стоимостях ГУ**

При введении фактора времени получается картина, отражающая прогноз развития на определенный период времени. В общем случае участники прогнозирования характеризуются некоторыми показателями, приведенными в таблице 1, отражающими в совокупности потребности общества и выгоды участников прогнозируемого процесса.

Показатели таблицы 1 располагаются в последовательности по мере их значимости для данного участника прогнозируемого процесса. Метод прогнозирования базируется на использовании показателей, выражающихся не в физических и технико-экономических единицах измерения или органолептических методах оценки, а на использовании факторного анализа и учитывает полученные результаты мониторинга и ниже описанные данные.

В Сибири имеется сырьевая база (месторождения кварцитов), производство технического и монокристаллического кремния. Высококачественные месторождения кварцевых песков есть в Иркутской, Томской, Кемеровской областях и Якутии. За 2005-2010 гг. в

Сибири достигнуто развитие новых технологий кремния солнечного качества: монокремния на горнохимическом комбинате и заводе цветных металлов г. Красноярск; мультикремния в Институте геохимии СО РАН, г. Иркутск; порошка кремния, получаемого фторидным методом ООО «ЗИ ПОЛИ», г. Томск и т.д.

Для проведения исследований по определению экономически обоснованных территориальных границ централизованного электроснабжения потребителей вокруг точек возможного подключения использована модель [8], в которой для автономного источника электроснабжения рассчитываются приведенные затраты на его сооружение (исходя из максимума нагрузки потребителя, удельных капиталовложений и районного коэффициента удорожания строительно-монтажных работ) и функционирование с учетом цены и объемов потребления дизельного топлива, необходимости обслуживания, проведения ремонтов и т.д.

Приведенные затраты на реализацию альтернативной схемы электроснабжения складываются из затрат на сооружение распределительной линии

## **МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ЭКОНОМИКИ**

электропередачи, трансформаторной подстанции у потребителя и эксплуатационных расходов, аналогично затратам на автономный источник электроснабжения.

При этом топливная составляющая затрат заменяется затратами на приобретение необходимого количества электроэнергии, вырабатываемой централизованно.

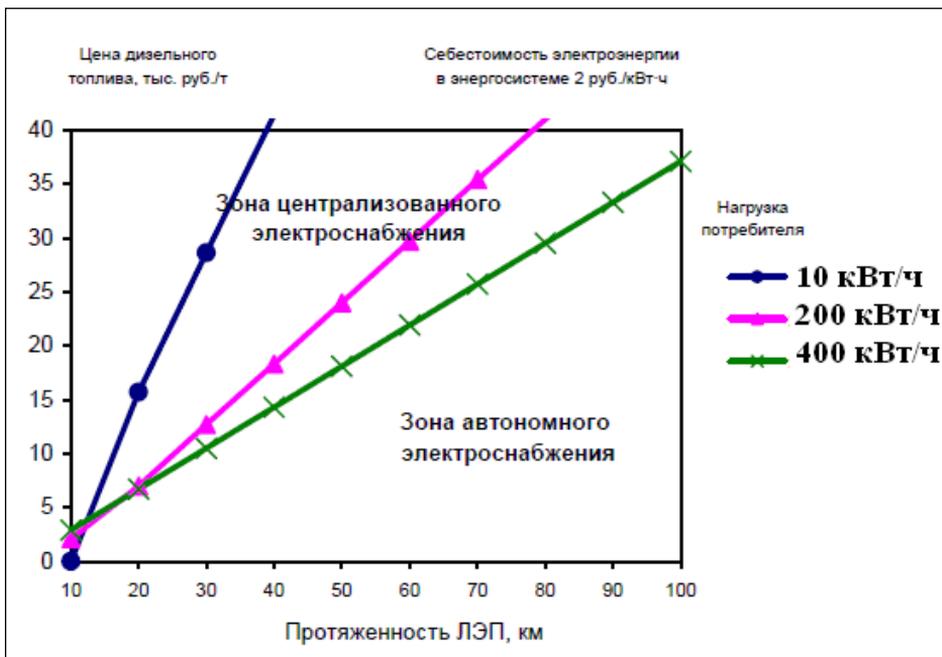
**Таблица 1 – Базисные значения показателей участников прогнозирования**

Факторы	Показатель	Значение показателя
Экономические	Источник качественного материала для ФЭП	0,290
	Квалифицированная рабочая сила	0,191
	Развитая транспортная система	0,124
	Дешевые энергоресурсы	0,091
	Дешевая рабочая сила	0,066
Производственные	Себестоимость технологического процесса	0,280
	Доступность сырьевых ресурсов	0,242
	Развитая сбытовая сеть	0,110
	Устойчивый спрос	0,105
	Доступность финансовых ресурсов	0,064
Маркетинговые	Номенклатура предлагаемых изделий солнечной энергетики	0,233
	Широкая рекламная кампания	0,220
	Доступная сеть доставки оборудования ГУ	0,119
	Развитая сеть обслуживания оборудования ГУ	0,087
	Надежность солнечных энергетических установок	0,057
Социальные	Повышение качества индекса жизни	0,387
	Снижение повседневных затрат труда	0,208
	Снижение повседневных затрат	0,184
	Качество солнечных энергетических установок и получаемой с их помощью энергии	0,068
Экологические	Площадь ЭКБЭ с ГУ	0,611
	Время эксплуатации ГУ до выработки положенного ресурса	0,202
	Срок утилизации оборудования ГУ	0,108

В ходе исследований определяются расчетные зоны экономической эффективности той или иной схемы электроснабжения, разделяемые линиями их равноэкономичности. Основной варьируемой переменной в расчетах принята удаленность потребителя от точки возможного подключения к магистральной ЛЭП, т.е. протяженность распределительной линии, конфигурация которой (класс напряжения и количество

цепей) определяется модельно в зависимости от нагрузки потребителя и пропускных способностей ЛЭП на рассматриваемых дальностях. Остальные показатели в расчетах либо фиксируются, либо задаются диапазоном [8].

На рисунке 7 представлены рассчитанные зоны целесообразности централизованного и автономного электроснабжения потребителей при фиксированном значении себестоимости электроэнергии в энергосистеме 2 р./кВт·ч.



**Рисунок 7 – Автономное (децентрализованное) и централизованное электроснабжение: зоны экономической целесообразности**

При цене солнечной энергии 6 руб./ кВт·ч экономически целесообразное расстояние от точек возможного подключения составляет для потребителей с нагрузкой 1 МВт – до 25 км, 2 МВт – до 50 км, 3 МВт – до 70 км.

В ряде стран применяются различные механизмы для стимулирования развития ВИЭ в рыночных условиях: налоги, субсидии, фиксированные тарифы, рынки «зеленых» сертификатов. Анализ достоинств и недостатков этих механизмов показывает, что мнения экспертов зачастую оказываются мало согласованными и достаточно определенных выводов о целесообразности выбора того или иного конкретного механизма еще пока не сделано. Известные теоретические модели [8] описывают лишь отдельные аспекты функционирования рыночных механизмов.

В качестве механизмов, переводящих «внешние эффекты» в экономические показатели участников рынка, рассмотрим налог на выбросы вредных веществ энергоисточниками на органическом топливе, субсидии ВИЭ и

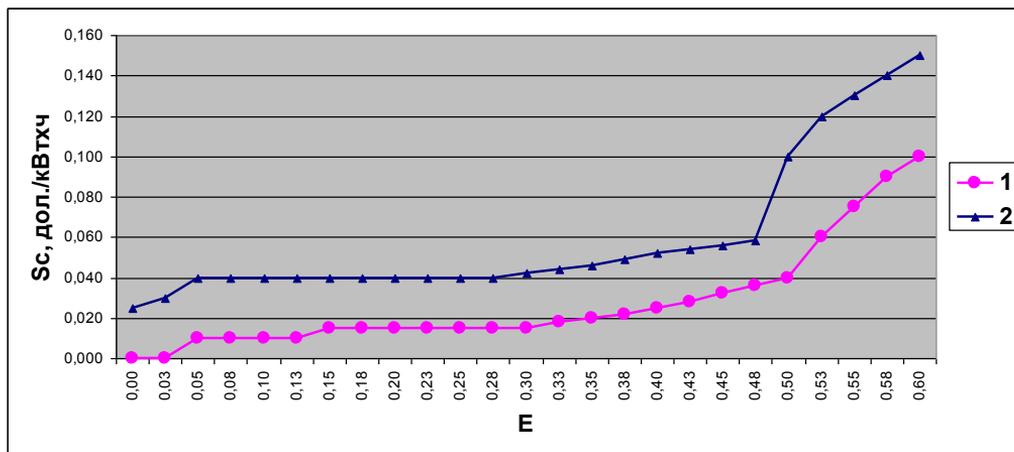
налог на потребителей электроэнергии. При установлении соответствующих величин этих налогов и субсидий у участников рынка появляются стимулы для ввода оптимального (с точки зрения общества) сочетания традиционных и возобновляемых источников энергии [11-14].

Наряду с прямым вмешательством государства в виде назначения налогов и субсидий, рассмотрим метод стимулирования развития ВИЭ, более совместимый с рыночной экономикой – рынок «зеленых» сертификатов. На этом рынке продавцами сертификатов являются владельцы ВИЭ, получающие сертификаты на каждую единицу произведенной электроэнергии, покупателями – потребители, законодательно обязанные приобрести определенную долю этой энергии.

В результате расчетов определяется цена сертификатов, цена электроэнергии, электропотребление, установленные мощности электростанций, недоотпуск электроэнергии потребителям (вследствие неэластичности

краткосрочного спроса) и экономические эффекты производителей и потребителей. На рисунке 8 по статистическим данным (анализировались капиталовложения в солнечный ВИЭ и цена «зеленого»

сертификата) построена зависимость цены сертификатов от доли ВИЭ  $\epsilon$  (в суммарной выработке электроэнергии), задаваемой регулирующим органом в качестве норматива.



**Рисунок 8 – Зависимость цены сертификатов от доли ВИЭ; варианты 1 и 2 соответствуют меньшим и большим капиталовложениям в ВИЭ**

Из зависимостей рисунка 8 можно сделать вывод, что в первом варианте (с меньшими капиталовложениями в ВИЭ) выработка с помощью ВИЭ около 3% электроэнергии оказывается экономически эффективной даже без дополнительной поддержки рынка «зеленых сертификатов». Поэтому при  $0 \leq \epsilon \leq 0,03$  цена сертификатов в этом варианте равна нулю. С увеличением доли  $\epsilon$  цена сертификатов в целом возрастает. Однако в обоих вариантах имеется интервал изменения  $\epsilon$ , в котором цена сертификатов остается приблизительно постоянной. Это объясняется тем, что в двухкомпонентной системе ВИЭ играют роль базисных источников электроэнергии, а электростанции на органическом топливе – пиковых. Как только ВИЭ получают поддержку в виде дохода от продажи «зеленых сертификатов», достаточную для их строительства, дальнейшее увеличение мощности в базисной части графика нагрузки не требует дополнительных экономических стимулов до тех пор, пока мощность не возрастет настолько, что часть вырабатываемой энергии в определенные моменты времени станет

избыточной. Возрастающие участки кривых соответствуют переходу ВИЭ в пиковую часть графика нагрузки.

Разрабатывается новая шкала штрафных санкций за низкие показатели качества электрической энергии (ПКЭ) (в сторону ужесточения требований к потребителям). Предварительная оценка ПКЭ позволяет определить размеры предполагаемых надбавок к тарифам на электроэнергию и правильно выбрать мероприятия и средства повышения ее качества.

Области и объем применения систем электроснабжения с солнечными ВИЭ значительно расширяются в связи с качественными изменениями технической базы (повышение КПД ФЭП, переход к тонкопленочным структурам). Они могут вырабатывать следующие мощности:

- 50 Вт...7 кВт для электроснабжения индивидуальных сельских и городских потребителей (для семьи из 4 человек, проживающей в отдельном доме, мощности 5...7 кВт хватает для снабжения электричеством всех бытовых приборов и для круглогодичного отопления дома);

- 5...10 кВт для дополнительного или автономного электроснабжения оборудования децентрализованных вычислительных структур;

- 10...20 кВт для небольших частных производств;

- 20...400 кВт для дополнительного электроснабжения в конечных точках сетей на юге Сибири и Дальнего Востока для устранения главного противоречия сетей: мощные потребители находятся на юге, а основные генерирующие мощности – на севере и за пределами края;

- для изолированных систем электроснабжения, в которых применяется дублирование ВИЭ (солнечные и ветровые энергоустановки), с учетом мощных ветропарков – до 50 000 МВт, или 23% энергетики России.

Высокая заводская готовность солнечных энергоустановок характеризуется тем, что если площадка для монтажа ГУ подготовлена, то бригада из 2 – 3 человек может ее смонтировать за 6...8 ч. Работающие солнечные энергоустановки могут дополняться новыми устройствами для повышения мощности от 20 Вт до 20 кВт. Энергоустановки могут быть изготовлены, как на основе солнечных батарей, так и в гибридном исполнении (солнечная энергоустановка + ветряная энергоустановка), (солнечная энергоустановка + микроГЭС), (солнечная энергоустановка + ветряная энергоустановка + дизель-генераторная установка).

Рынок солнечной энергетики стал одним из самых успешно развивающихся в мире, и экономические трудности очень мало отразились на его росте в связи с тем, что солнечные энергоустановки способны автономно функционировать, а стоимость солнечной энергии не зависит от цен на нефть и газ.

### **Выводы**

Определены графоаналитические зависимости для расчета срока окупаемости ГУ. Дополнительная экономическая эффективность может быть

получена путем использования «квот за выбросы» или «сертификатов». Продавцами квот и сертификатов являются владельцы ВИЭ, получающие сертификаты на каждую единицу произведенной электроэнергии, покупателями – потребители, законодательно обязанные приобрести определенную долю этой энергии.

Определены зависимости цены сертификатов от доли солнечных ВИЭ. Выработка с помощью ВИЭ около 3 % электроэнергии оказывается экономически эффективной даже без дополнительной поддержки рынка «зеленых сертификатов». Поэтому при доле ВИЭ в суммарной выработке электроэнергии  $0 \leq \varepsilon \leq 0,03$  цена сертификатов в этом варианте равна нулю. С увеличением доли  $\varepsilon$  цена сертификатов в целом возрастает. Однако в обоих вариантах имеется интервал изменения  $\varepsilon$ , в котором цена сертификатов остается приблизительно постоянной.

*Литература*

1. Аббасова, Т. С. Энергосберегающие технологии в сложных технических системах: монография / Т. С. Аббасова, В. М. Артюшенко // под науч. ред. док. технич. наук, проф. В. М. Артюшенко. – ФГБОУ ВПО ФТА. – М. – 2012.
2. Baseline Surface Radiation Network (BSRN) Operations Manual (Version 1.0 – Reprinted, December 2000). – World Climate Research Programme // Ed. by L. J. V. McArthur, WMO/TD – №879, February 1998.
3. Иванова, И. Ю. Сооружение энергоисточников на ВПЭР для изолированных потребителей / И. Ю. Иванова, С. П. Попов, Т. Ф. Тугузова // Методы и модели разработки региональных энергетических программ / ред. Б. Г. Санеев – Новосибирск: Наука. – 2003. – с. 131–135.
4. Пармон, В. Н. Малая энергетика и нетрадиционные виды и источники энергии: их роль и место в энергетике Сибири в ближайшие годы и на перспективу / В. Н. Пармон и др. // Российский химический журнал. – 1994. – т. 38. – № 3. – с. 34–55.
5. Кошелев, А. А. Оценка перспектив использования возобновляемых природных энергоресурсов / А. А. Кошелев, О. В. Марченко, Н. А. Халгаева, А. В. Цемахович // Системные исследования проблем энергетики / ред. Н. И. Воропай – Новосибирск: Наука. – 2000. – с. 475–481.
6. Иванова, И. Ю. Сооружение энергоисточников на ВПЭР для изолированных потребителей / И. Ю. Иванова, С. П. Попов, Т. Ф. Тугузова // Методы и модели разработки региональных энергетических программ / ред. Б. Г. Санеев – Новосибирск: Наука. – 2003. – с. 131–135.
7. Иванова, И. Ю. Эффективность и масштабы использования возобновляемых источников энергии для изолированных потребителей / И. Ю. Иванова, С. П. Попов, Т. Ф. Тугузова // Изв. РАН. Энергетика. – 2006. – № 3. – с. 110–114.
8. Санеев, Б. Г. Нетрадиционная энергетика в энергоснабжении изолированных потребителей районов Севера / Б. Г. Санеев, И. Ю. Иванова, Т. Ф. Тугузова, Н. А. Петров // Проблемы нетрадиционной энергетики: материалы науч. сессии Президиума Сиб. Отд. РАН – Новосибирск: Изд-во СО РАН. – 2006. – с. 55–70.
9. Иванова, И. Ю. Энергоснабжение изолированных потребителей северных и труднодоступных районов Иркутской области / И. Ю. Иванова, Т. Ф. Тугузова, С. П. Попов, Н. А. Петров // Малая энергетика Севера: проблемы и пути развития – Новосибирск: Наука. – 2002. – с. 111–150.
10. Артюшенко, В. М. Методика расчета показателей качества электроэнергии в режиме реального времени / В. М. Артюшенко, Т. С. Аббасова // Мир транспорта, 2013. – № 1 (39).
11. Аббасова, Т. С. Разработка системы автоматического наведения концентратора гелиоустановки на солнце / Т. С. Аббасова // Мир транспорта. – 2012. – № 2.
12. Артюшенко, В. М. Системный анализ в области управления и обработки информации: монография / В. М. Артюшенко, Т. С. Аббасова, Ю. В. Стрэналюк, Н. А. Васильев, И. М. Белоченко, К. Л. Самаров, В. Н. Зиновьев, С. П. Посеренин, Г. Г. Вокин, А. П. Мороз, В. С. Шайдуров, С. С. Шаврин / под науч. ред. док. техн. наук, проф. В. М. Артюшенко // Королев МО: МГОТУ. – 2015.
13. Артюшенко, В. М. Информационные технологии и управляющие системы: монография / В. М. Артюшенко, Т. С. Аббасова, Ю. В. Стрэналюк, В. И. Привалов, В. И. Воловач, Е. П. Шевченко, В. М. Зимин, Е. С. Харламова, А. Э. Аббасов, Б. А. Кучеров / под науч. ред. док. техн. наук, проф. В. М. Артюшенко // М.: Издательство «Научный консультант». – 2015.