

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Географический факультет
Кафедра рационального природопользования

Оценка эффективности использования солнечной микрогенерации для электро- и теплоснабжения в регионах РФ

Скафарик Адам Иванович

Научный руководитель:

Киселева Софья Валентиновна

Актуальность и цель исследования



Станция солнечной микрогенерации (ССМ) – 15 кВт.

Базовое электропотребление – 5.5 МВтч в год.

2 типа графика нагрузки потребителей электроэнергии: ДОМ и ОФИС.

В 2019 году был принят **Федеральный закон N 471-ФЗ** «О внесении изменений в Федеральный закон «Об электроэнергетике» в части развития микрогенерации», определяющий правила и меры поддержки производства энергии от ВИЭ на установках малой мощности частными собственниками. Согласно закону потребители (просьюмеры), установившие у себя объект микрогенерации (например, батарею солнечных модулей) мощностью менее 15 кВт, и имеющие связь с централизованной электросетью, смогут поставлять излишки электроэнергии (ЭЭ) гарантирующим поставщикам, а те должны приобрести неизрасходованную электроэнергию по ценам, контролируемым оптовым рынком.

В марте 2021 года вышло **Постановление Правительства РФ №299**, которое определяет особенности правового регулирования отношений по функционированию объектов микрогенерации, в том числе разъясняет порядок технологического присоединения к сетям, оформление договоров купли-продажи и расчета цены на излишки электроэнергии.

Ранее мы с коллегами провели **оценки экономической эффективности использования станций солнечной микрогенерации в разных регионах России** с учетом возможности продажи излишков электроэнергии в сеть. Для Европейской части России полученные оценки сроков окупаемости ССМ варьируют от 7 для южных до 11 лет для северных регионов (Скафарик и др., 2025).

Другая возможность использования излишков ЭЭ – на иные нужды, например, горячее водоснабжение, отопление или кондиционирование.

- снижение расходов на источники тепловой энергии;
- автономность зданий от централизованных источников;
- снижение выбросов загрязняющих веществ при сжигании ископаемого топлива.

Цель работы – **оценка доли возможного замещения тепловой энергии**, потребляемой на нужды систем горячего водоснабжения (ГВС) и отопления в помещениях, с **использованием электроэнергии, вырабатываемой станциями солнечной микрогенерации (ССМ)**. А также исследование зависимости от физико-географических параметров (географического положения (широта, долгота), климатических условий (температура, инсоляция)) **для различных регионов России**.

Объекты и методы исследования



Объект:

2-этажный дом с площадью поверхности 440 м².

Станция солнечной микрогенерации (ССМ) – 15 кВт.

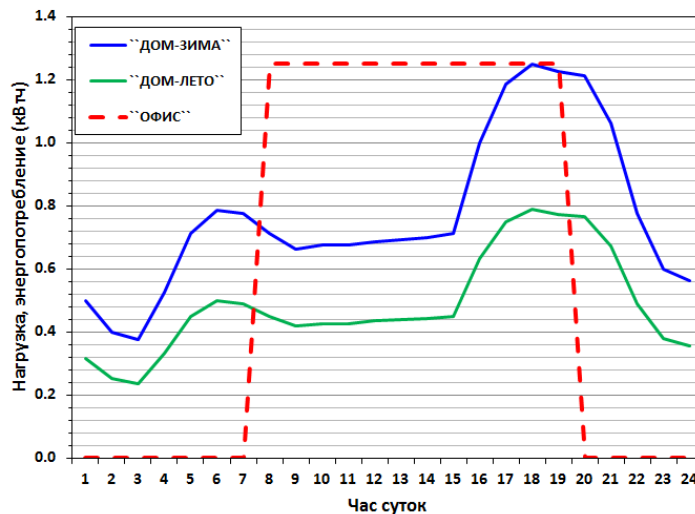
Базовое электропотребление – 5.5 МВтч в год.

2 типа графика базовой нагрузки потребителей электроэнергии: «ДОМ» и «ОФИС».

Алгоритм расчета:

1. Почасовые данные по инсоляции и температуре для каждого региона, средние за 2001 - 2022 гг. (NASA CERES).
2. Расчет выработки ЭЭ с помощью ССМ.
3. Расчет базового потребления ЭЭ: для всех регионов суммарно 5.5 МВтч в год, два типа графика базовой нагрузки потребителей электроэнергии: «ДОМ» и «ОФИС».
4. Расчет потребления энергии на ГВС и отопление: для каждого региона учет температурных данных.
5. Расчет баланса между выработкой и потреблением ЭЭ для каждого часа суток.
6. Расчет доли замещения ЭП (α , %) с помощью ССМ: для базового электропотребления, ГВС, отопления, а также общего потребления.

Расчеты проводились для каждого часа суток. Далее данные суммировалось по месяцам и за год.



расчет баланса между выработкой и потреблением

$$\Delta = P - C$$

для каждого часа суток в течение года (8760 часов)

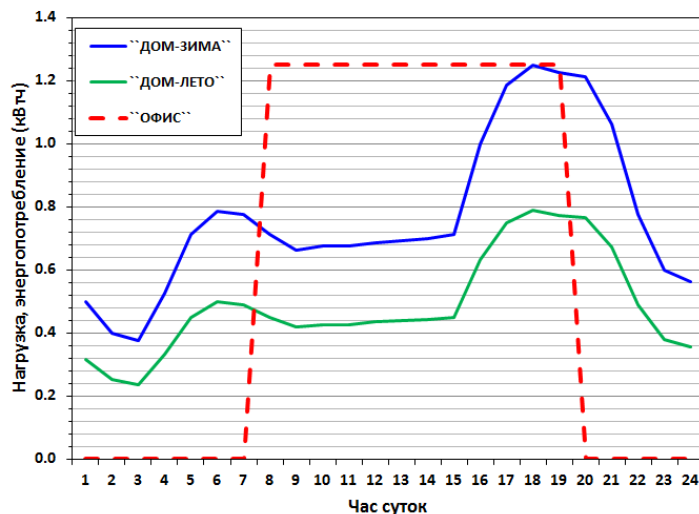
Объекты и методы исследования



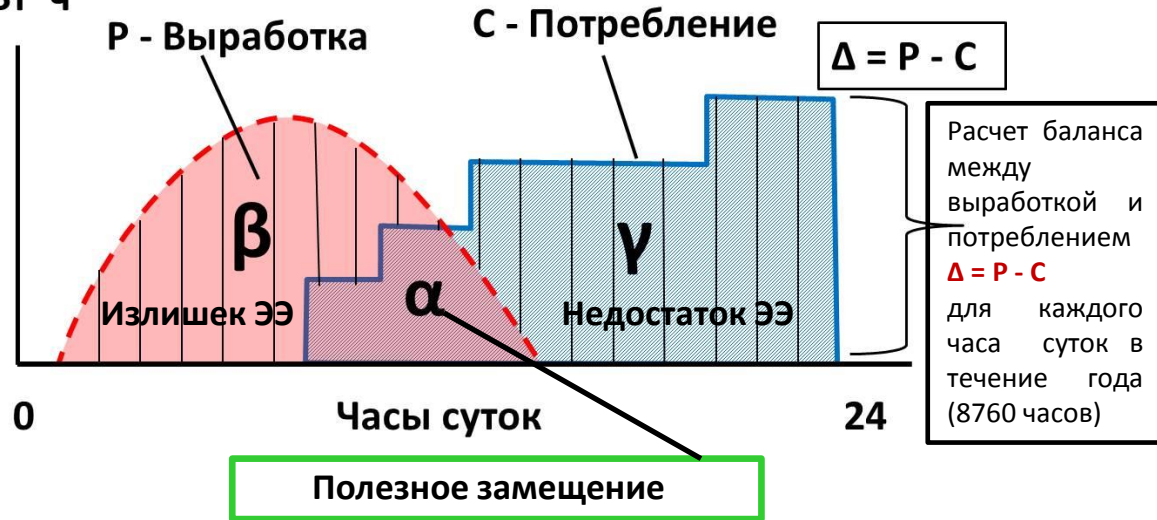
Станция солнечной микрогенерации (ССМ) – 15 кВт.

Базовое электропотребление – 5.5 МВтч в год.

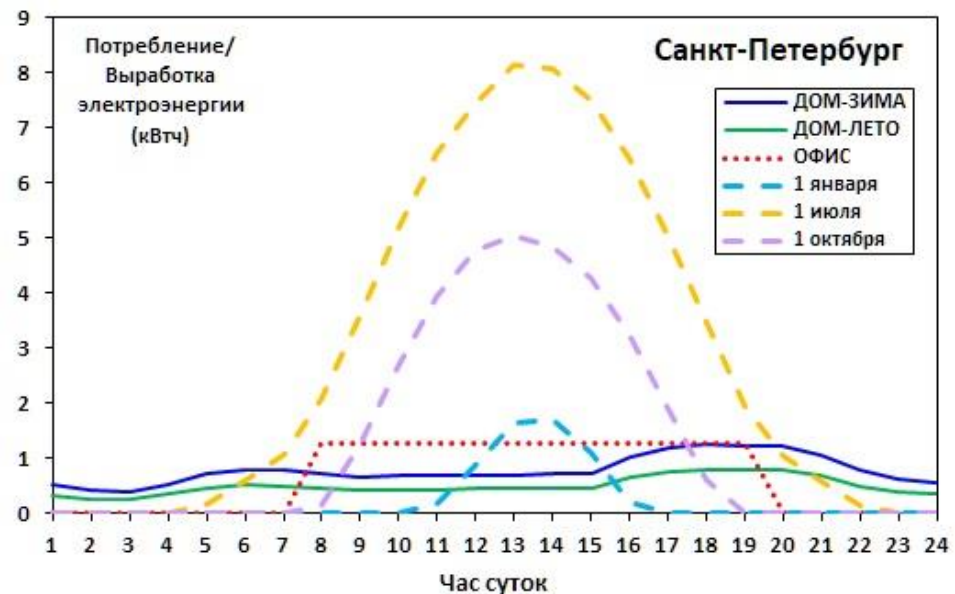
2 типа графика нагрузки потребителей электроэнергии: ДОМ и ОФИС.



кВт*ч

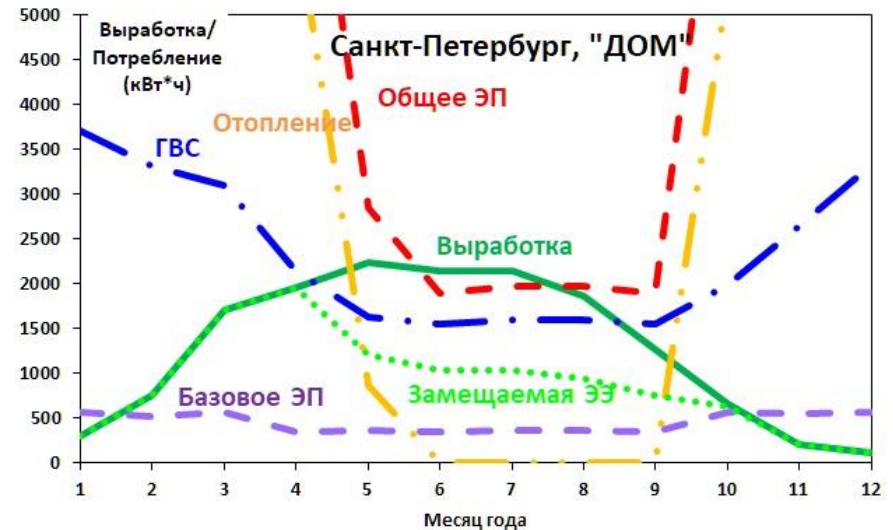
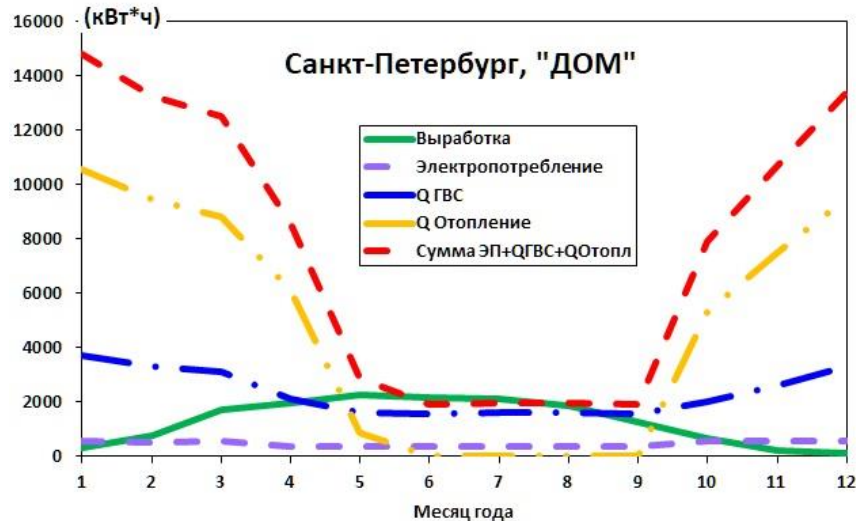
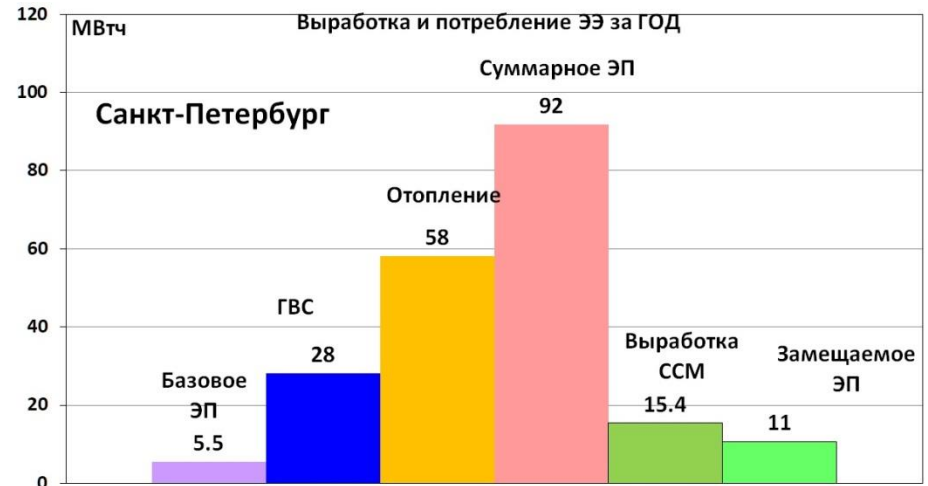
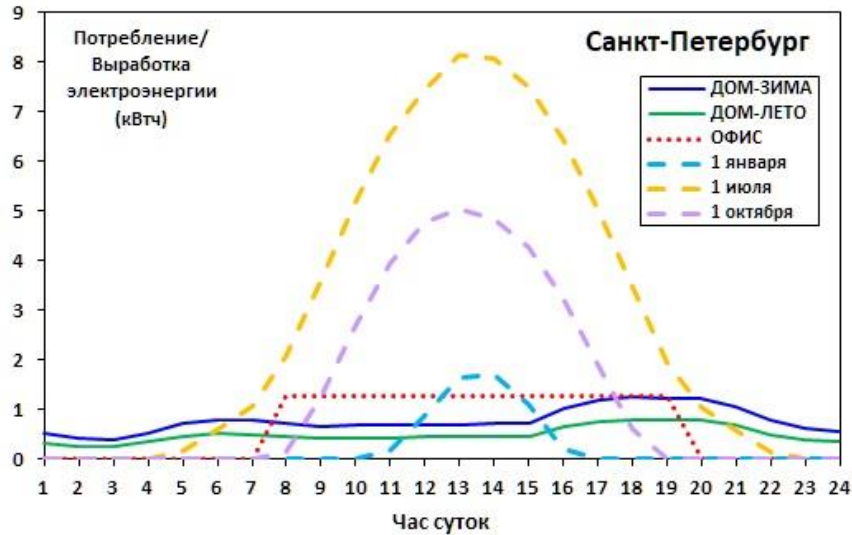


Важно: баланс выработки и потребления для каждого **часа**!



Объекты и методы исследования

Важно: рассчитать баланс выработки и потребления для каждого часа!
Далее почасовые значения суммируются для суток, месяца, года



Регионы исследования

30 регионов

27 регионов

субширотного простираения

Широта: от 48 до 57 °с.ш.

Долгота: от 20.6° до 158.7°в.д.

(Калининград – П.Камчатский)

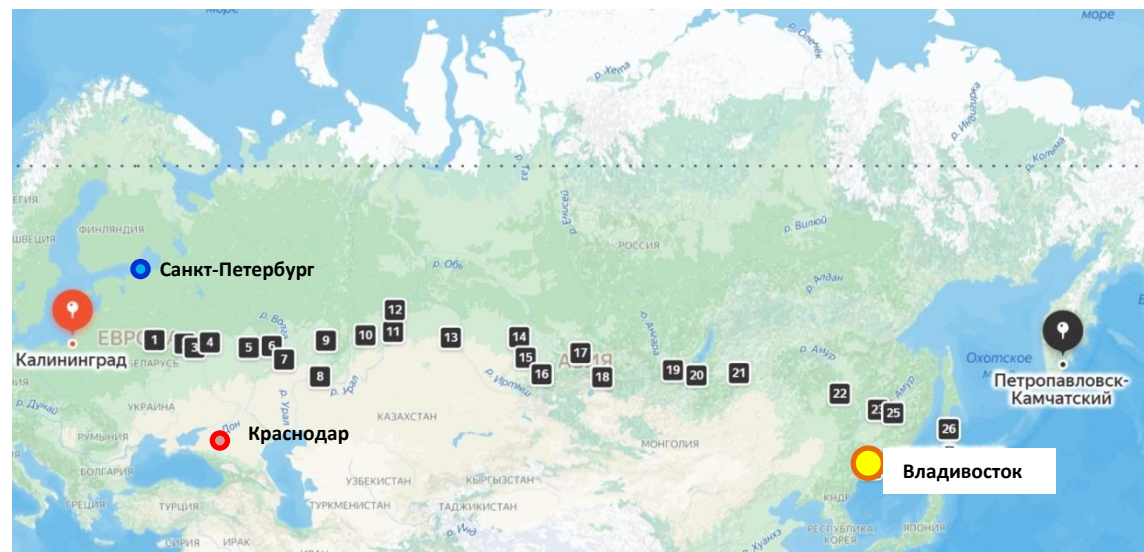
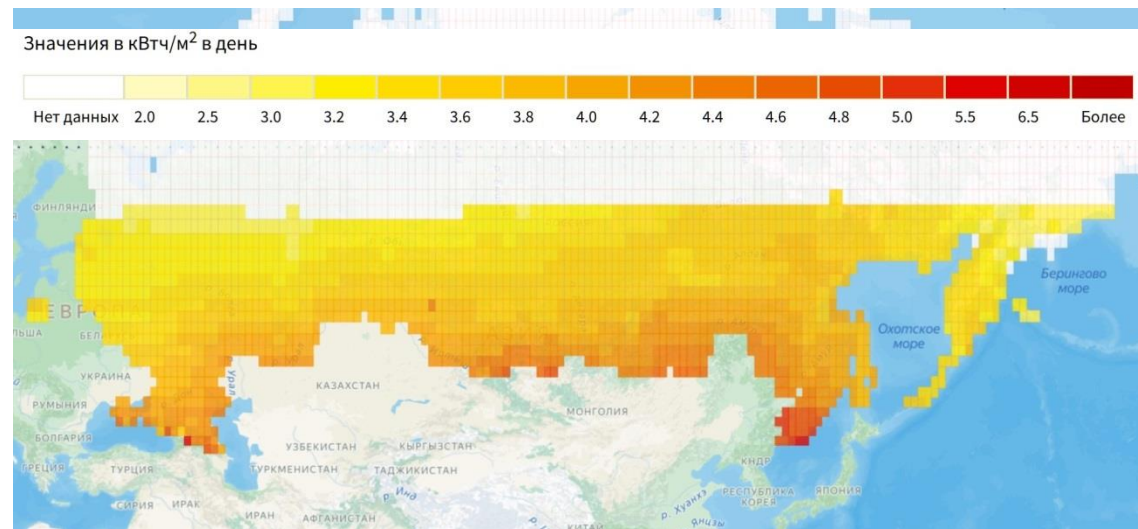
+ 3 региона

на отличающейся широте:

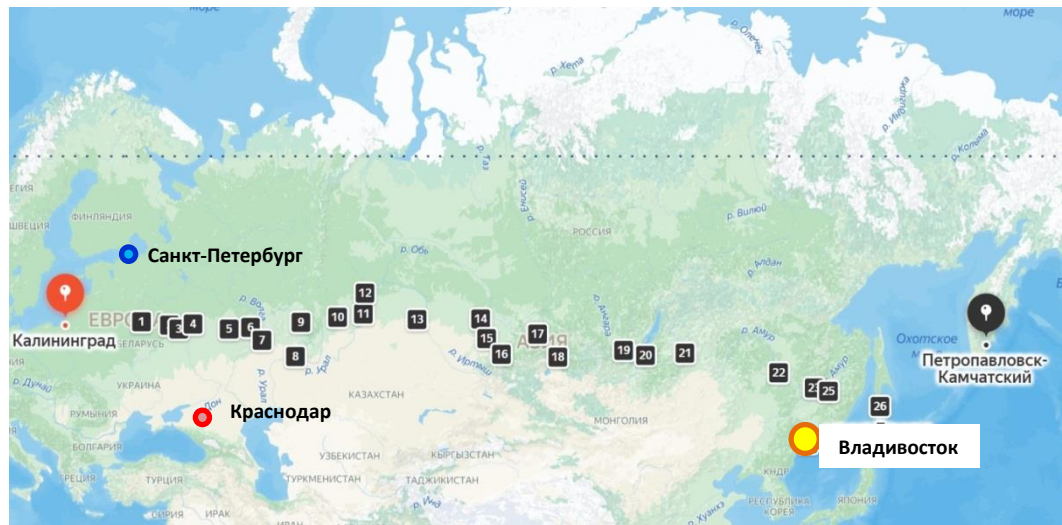
Санкт-Петербург (59.9 °с.ш.)

Краснодар (45.0 °с.ш.)

Владивосток (43.1 °с.ш.)



Регионы исследования



30 регионов

27 регионов

субширотного простираения

Широта: от 48 до 57 °с.ш.

Долгота: от 20.6° до 158.7°в.д.

(Калининград – П.Камчатский)

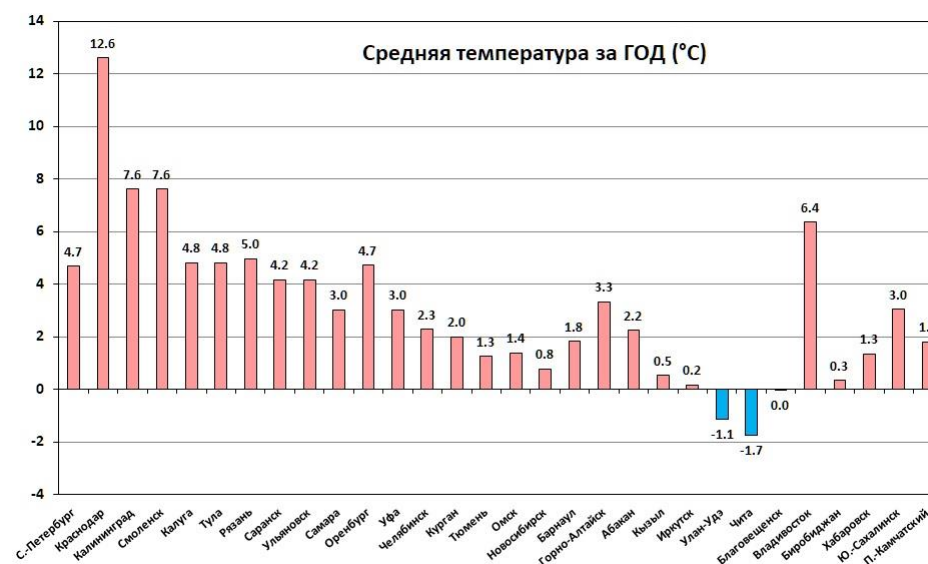
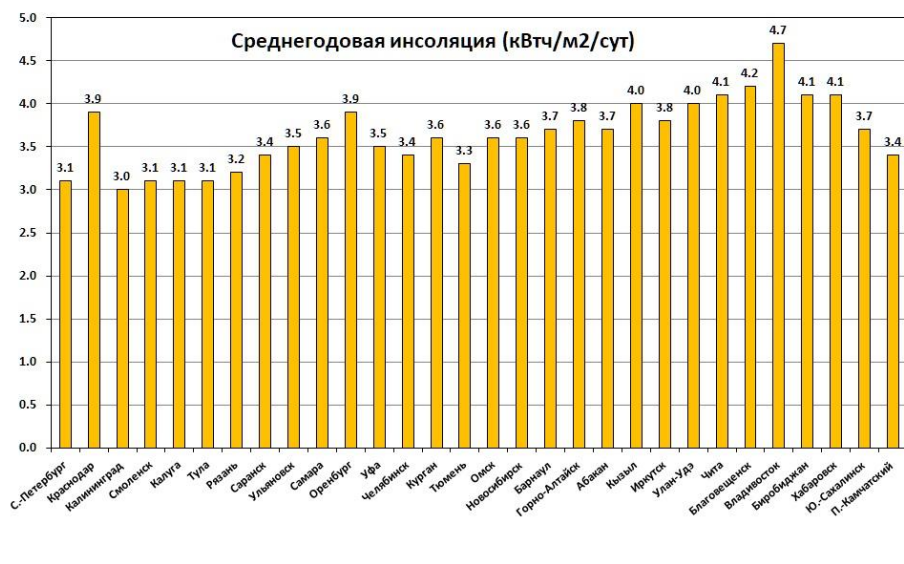
+ 3 региона

на отличающейся широте:

Санкт-Петербург (59.9 °с.ш.)

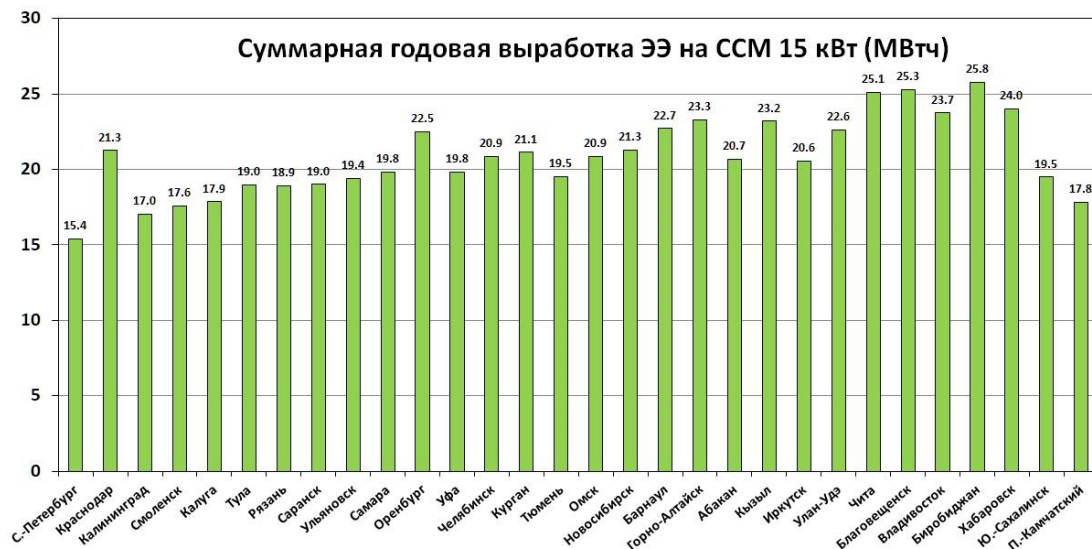
Краснодар (45.0 °с.ш.)

Владивосток (43.1 °с.ш.)



Потенциал использования ССМ для замещения электропотребления (ЭП) в регионах РФ

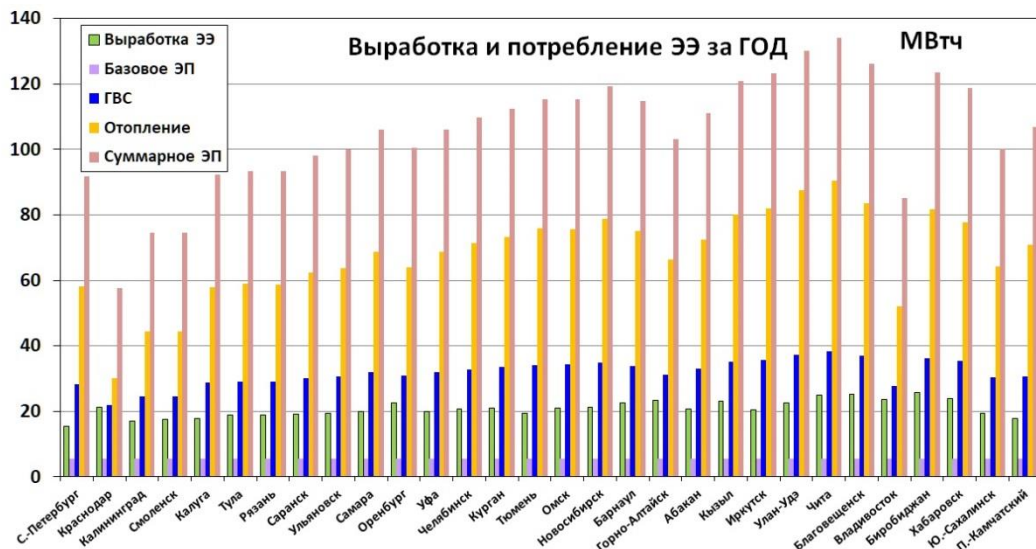
Суммарная годовая выработка ЭЭ на ССМ 15 кВт (МВтч)



Суммарные годовые значения

**Выработка ЭЭ на ССМ:
15 – 26 МВт*ч в год**

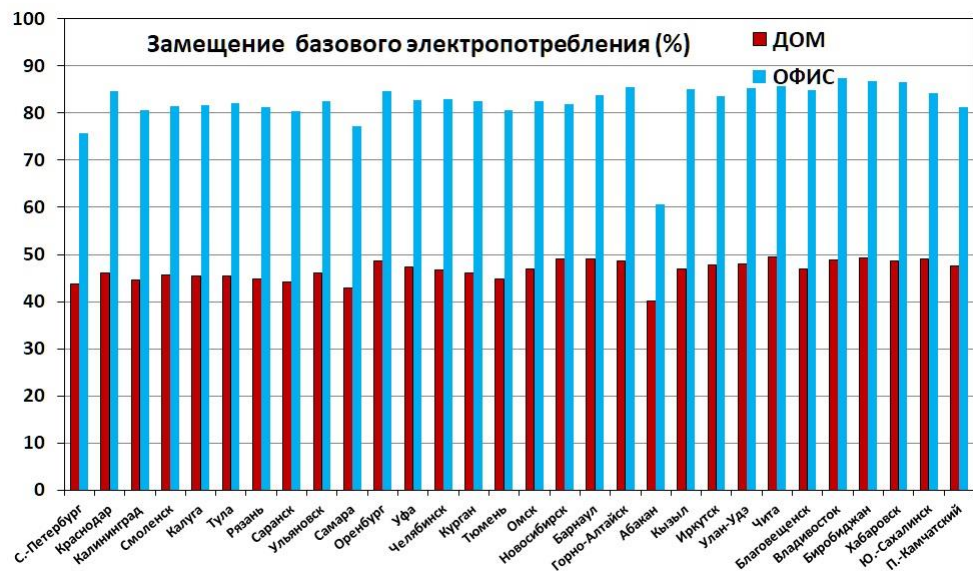
Выработка и потребление ЭЭ за ГОД



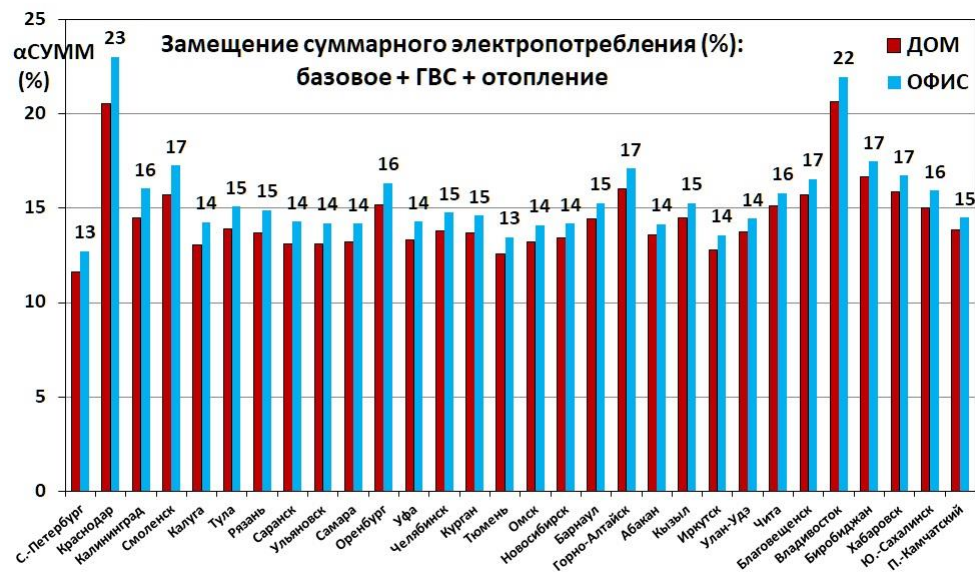
Электропотребление в ГОД:

**Базовое ЭП – 5.5 МВтч,
ГВС – 25-38 МВтч,
Отопление - 44-90 МВтч,
Суммарное ЭП - 58-134 МВтч.**

Потенциал использования ССМ для замещения электропотребления (ЭП) в регионах РФ

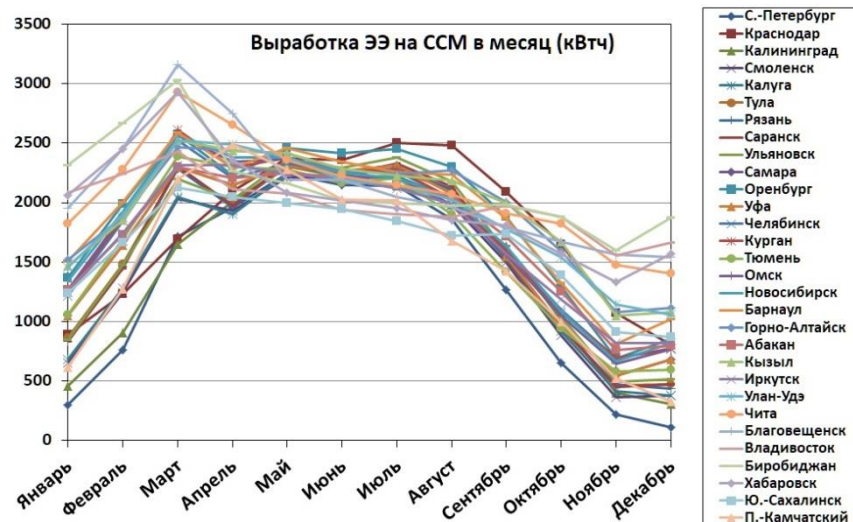
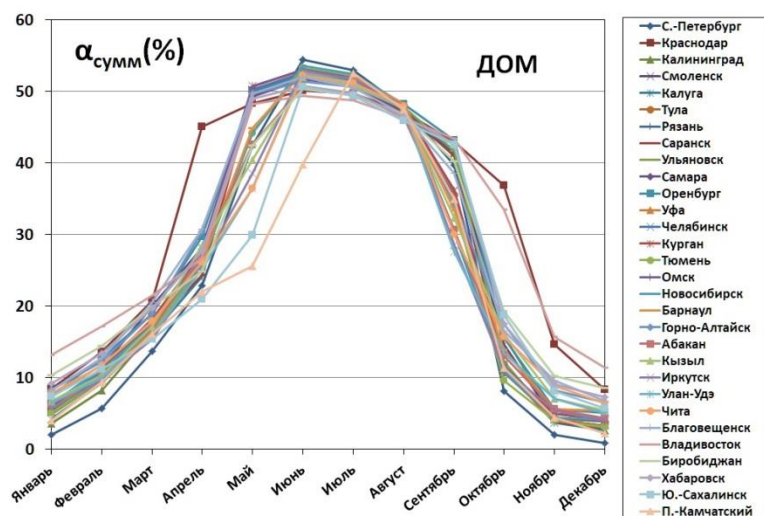


Замещение базового электропотребления:
ДОМ: 43 – 50%
ОФИС: 76 - 87%



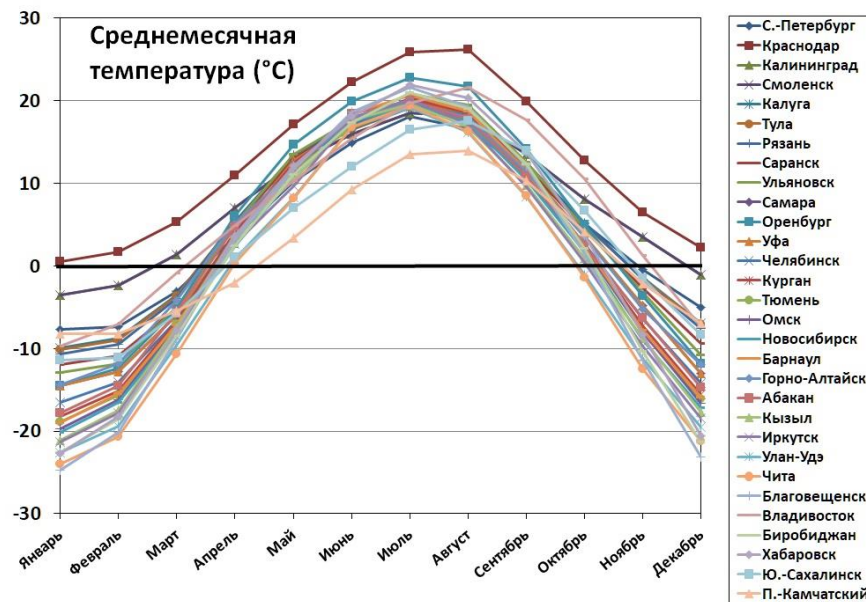
**Замещение суммарного электропотребления
 (базовое + ГВС + отопление):**
ДОМ: 12 – 21%
ОФИС: 13 - 23%

Потенциал использования ССМ для замещения электропотребления (ЭП) в регионах РФ



В течение года доля замещения суммарных потребностей за счет электроэнергии от ССМ может достигать **около 55 %** в летние месяцы и снижаться до практически нулевых значений в зимнее время.

Подобные вариации логично объясняются ростом обеспеченности солнечными ресурсами при сниженной потребности в электроэнергии на ГВС и отопление в летний период, при противоположной динамике в зимнее время.



Выводы

- 1) На основании актинометрических и температурных данных рассчитаны значения энергозатрат на нужды базового электропотребления, горячего водоснабжения и отопления для 30 регионов России, а также возможности их замещения с помощью электроэнергии, вырабатываемой станциями солнечной микрогенерации (ССМ, 15 кВт).
- 2) Показано что для базового электропотребления (5.5 МВтч в год) доля замещения составляет 43–50% для потребителя типа «ДОМ» и 76–87% для типа «ОФИС».
- 3) Для ГВС и отопления эти параметры варьируют соответственно в пределах 24–36% и 3–9% для типа «ДОМ» и 22–32% и 2–8% для типа «ОФИС».
- 4) Для обоих типов потребителя («ДОМ» - «ОФИС») замещение суммарных потребностей (базовое электропотребление +ГВС +отопление) в электроэнергии в большинстве случаев составляет 12–17 %, а в городах южных регионов РФ достигает 21–23% в год.
- 5) Возможности замещения потребностей в электроэнергии определяются соотношением таких физико-климатических параметров как уровень инсоляции и температура. В относительно холодных регионах, но при этом обладающих достаточными солнечными ресурсами, возможно достижение высокой доли замещения энергозатрат, в том числе на ГВС и отопление, с помощью электроэнергии, выработанной на ССМ.

Благодарю за внимание!



Методика расчета потребностей в ГВС и отоплении и доли замещения

Объект:

2-этажный дом с площадью поверхности 440 м².

Станция солнечной микрогенерации (ССМ) – 15 кВт.

Базовое электропотребление – 5.5 МВтч в год.

**2 типа графика базовой нагрузки потребителей электроэнергии:
«ДОМ» и «ОФИС».**

Для расчетов тепловой энергии, необходимой для обеспечения нужд ГВС и отопления применялись подходы, принятые в специальной литературе и нормативных актах [например, 9, 10, 11, 12, 13].

В данной работе расчет потребления тепловой энергии на нужды ГВС и отопления проводился для двухэтажного частного дома с площадью этажа 10 * 10м и высотой стен каждого этажа 3 м. При заданных параметрах суммарная площадь ограничивающих поверхностей, через которую происходят теплопотери ($So_{гр}$) составляет 440 м² (сумма площадей стен, пола и потолка/крыши).

Для заданной точки региона (административный центр) для каждых суток года брались данные по средней суточной температуре из базы NASA POWER [7]. Было принято, что в течение суток температура не меняется и равна средней суточной температуре ($T_{сут}$, °C). На основании этого были сформированы последовательности почасовых значений температуры за год. Для каждой пятидневки года из данных NASA POWER ($T_{5сут}$, °C) была рассчитана средняя температура наружного воздуха и определялись даты начала и окончания отопительного периода, исходя из того, что среднесуточная температура за 5 суток не должна превышать 8°C [11, 12].

Далее для каждого часа рассчитывалась разность внешней и внутренней температуры для определения суммарных теплопотерь здания (трансмиссионные, потери на вентиляцию и ГВС) за каждый час. Приведенный коэффициент теплопередачи принимался постоянным для всех локаций и равным 0,55 кВтч/(м² °C), внутренняя температура помещения 20 °C.

В данном случае проводились расчеты часовых теплопотерь, поскольку выработка электроэнергии станцией микрогенерации рассчитывалась также с часовой детализацией по времени. В каждом часе отопительного периода определялся баланс между выработанной ССМ энергией и ее потреблением. Принималось, что в первую очередь выработанная электроэнергия идет на нужды базового электропотребления (C , кВтч). Далее, при наличии излишков, электроэнергия расходуется на нагрев воды для нужд ГВС. Оставшиеся излишки электроэнергии используются на нужды отопления.

Из полученных почасовых балансов определялась доля (%) замещения расходов электроэнергии на базовое электропотребление ($\alpha_{ЭЭ}$), ГВС ($\alpha_{ГВС}$) и отопление ($\alpha_{ОТ}$) как отдельно, так и для суммарного энергопотребления ($\alpha_{общ}$) электроэнергии и тепловой энергии. Расчеты проводились для каждого часа года, а далее почасовые значения суммировались для выбранных периодов времени (месяц, год).

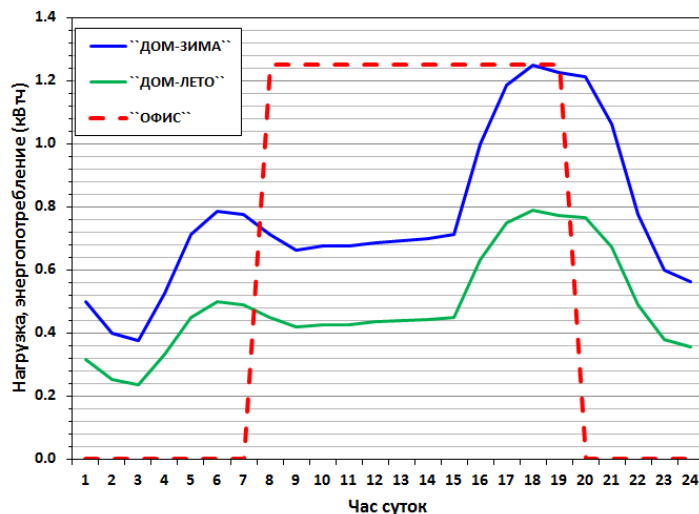
Объекты и методы исследования



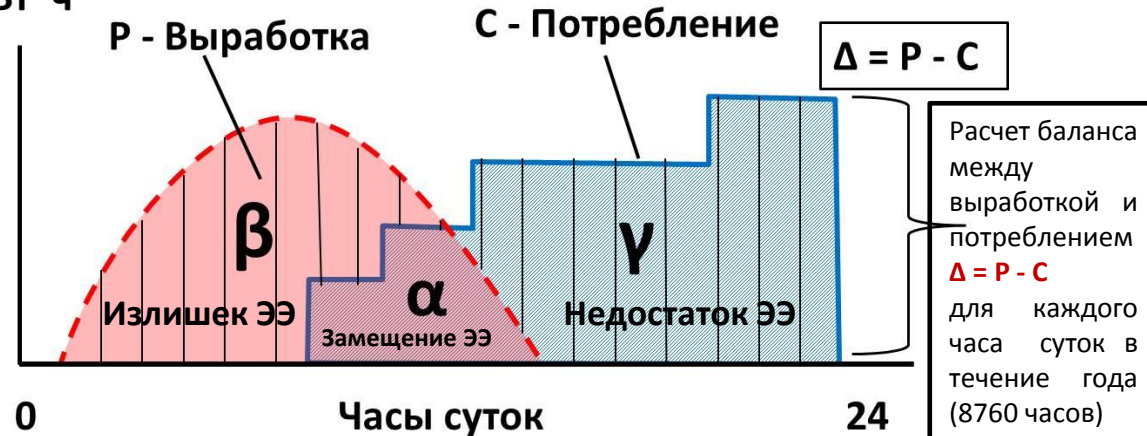
Станция солнечной микрогенерации (ССМ) – 15 кВт.

Базовое электропотребление – 5.5 МВтч в год.

2 типа графика нагрузки потребителей электроэнергии: ДОМ и ОФИС.



кВт*ч



α – замещение электропотребления (ЭП) с помощью ССМ:

- экономия на покупке ЭЭ из сети,
- ресурсосбережение (снижение использования других видов топлива),
- сокращение выбросов.

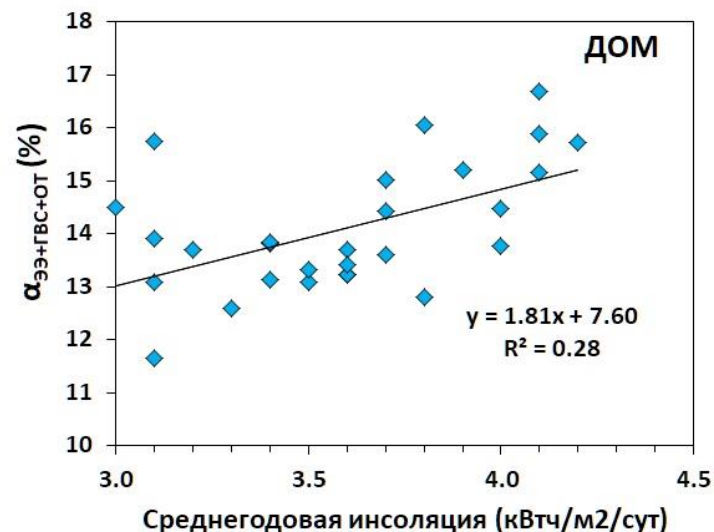
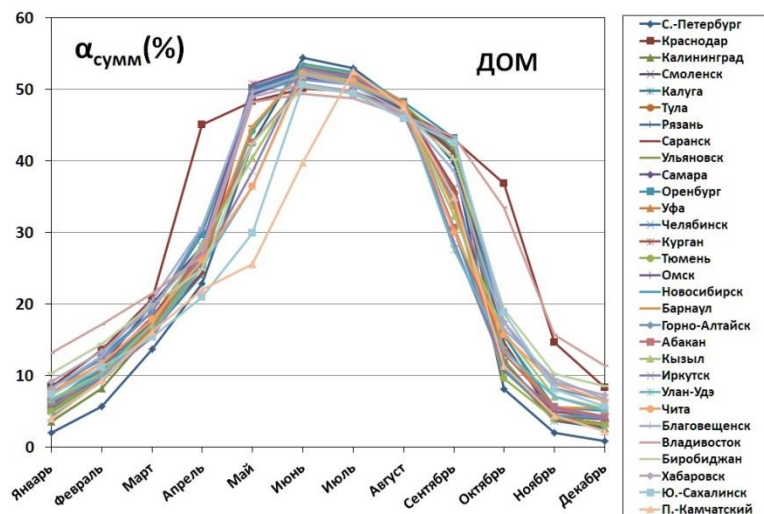
β – избыточная выработка ЭЭ на ССМ:

- продать сетевой компании по специальному тарифу,
- использовать на другие нужды (ГВС, отопление, кондиционирование).

γ - недостаток ЭЭ для покрытия потребления:

- необходимо докупить из сети или использовать другие источники ЭЭ.

Потенциал использования ССМ для замещения электропотребления (ЭП) в регионах РФ



Степень замещения суммарного электропотребления слабо коррелирует с уровнем инсоляции региона, в то время как наблюдается отсутствие значимой корреляции с температурой, по крайней мере для выбранных регионов.

