



Анализ метео- условий города Владивостока для оптимизации работы солнечного коллектора

Использование солнечной энергии, как альтернативного источника тепла и электричества, активно развивается в регионах с высоким уровнем инсоляции. Солнечные коллекторы (СК) эффективно преобразуют солнечную радиацию в тепловую энергию, но их работа сильно зависит от климатических условий, таких как количество солнечных дней, облачность и температура воздуха.

Для регионов с выраженными сезонными колебаниями погоды, таких как Приморский край и город Владивосток, вопросы оптимизации работы СК остаются недостаточно изученными. Цель данной работы — анализ метеоусловий во Владивостоке за 2022 год и влияние их на работу солнечных коллекторов. В задачи исследования входит:

1. Анализ количества солнечных дней, облачности и температуры воздуха.
2. Определение оптимального угла наклона СК в зависимости от времени года.
3. Оценка влияния климатических факторов на эффективность СК.

Результаты исследования помогут оптимизировать солнечные энергетические системы в регионе, снизив зависимость от традиционных источников энергии.

Использование солнечной инсоляции имеет несколько преимуществ перед невозобновляемыми видами топлива, поскольку она является бесплатным, неисчерпаемым и экологически безопасным источником энергии и будет доступна ещё

сотни миллионов лет, что значительно снижает негативное воздействие на окружающую среду и способствует декарбонизации атмосферы. Кроме того, солнечные коллекторы могут обеспечить энергией автономные системы жизнеобеспечения объектов в удалённых местах, где нет доступа к тепловым и электрическим сетям.

Для регионов с выраженными сезонными колебаниями погоды, таких как Приморский край и город Владивосток, вопросы оптимизации работы СК остаются недостаточно изученными

Приморский край и город Владивосток располагают достаточным потенциалом солнечной энергии, однако, как и во многих других регионах России, здесь присутствуют значительные колебания количества солнечного света в зависимости от времени года, но в сумме число солнечных часов здесь не меньше, чем во многих европейских городах (от 2300 до 2400 часов в год). Дождливые и пасмурные дни бывают преимущественно в начале летнего сезона и осенью. Тропические циклоны могут вызывать длительные периоды дождей и несколько снизить количество солнечных дней, но это не должно существенно влиять на потенциал использования солнечной энергии.

Рецензия эксперта на статью получена 19.02.2025 [The expert review of the article was received on February 19, 2025]

УДК: 620.92. Номер научной специальности: 2.1.3.

Анализ метеоусловий города Владивостока для оптимизации работы солнечного коллектора

Д. Ю. Щемелёв, аспирант; А. С. Штым, к.т.н., профессор, Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ, г. Владивосток)

В статье рассмотрены особенности работы солнечных коллекторов (СК) в условиях города Владивостока. Проведён анализ метеорологических данных за 2022 год, определены оптимальные углы установки СК и их эффективность в разные сезоны года. Показано, что использование СК в регионе является перспективным направлением для получения тепловой энергии для горячего водоснабжения и теплоснабжения.

Ключевые слова: солнечная радиация, Владивосток, солнечные коллекторы, эффективность, метеоусловия, оптимизация.

UDC: 620.92. Scientific specialty number: 2.1.3.

Analysis of weather conditions in Vladivostok to optimize the operation of the solar collector

D.Yu. Shchemelev, postgraduate student; A.S. Shtym, PhD, Professor, Far Eastern Federal University (FEFU, Vladivostok)

The article discusses the features of the operation of solar collectors in the conditions of the city of Vladivostok. The analysis of meteorological data for 2022 was carried out, the optimal angles of solar collector installations and their effectiveness in different seasons of the year were determined. It is shown that the use of solar collectors in the region is a promising direction for obtaining thermal energy for hot water supply and heat supply.

Key words: solar radiation, Vladivostok, solar collectors, efficiency, weather conditions, optimization.

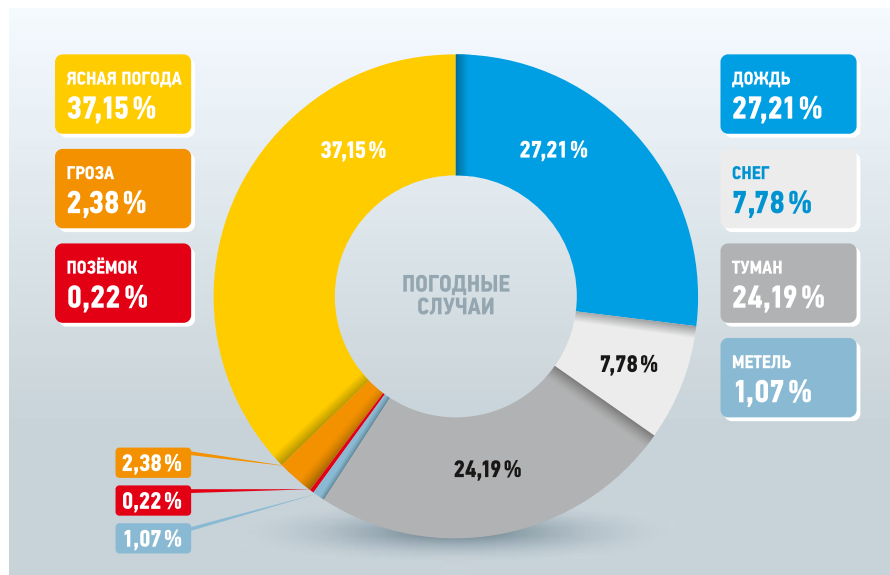


Рис. 1. График погодных случаев во Владивостоке за 2022 год

Исходя из анализа данных погодных случаев за 2022 год, полученных из [1], составлена диаграмма (рис. 1), которая показывает, что количество ясных дней во Владивостоке значительно больше дождливых, туманных или снежных по отдельности. Стоит учитывать, что при составлении диаграммы не учитывались ясные часы, наступавшие после прекращения тумана, дождя или снега, из чего можно предположить, что реальный процент количества ясных часов немного больше и составляет более 40 %.

Облачность во Владивостоке сравнительно высокая на протяжении всего года (40–80 %), что тоже снижает эффективность СК, но при правильном проектировании может быть обеспечена эффективная работоспособность гелиосистемы в любых погодных условиях. На графике облачности во Владивостоке за 2022 год (рис. 2) видно, что средняя облачность (более 70 %) приходится на период с первого мая до первого августа. В течение года минимальная облачность наблюдается с 19 октября по 10 ноября и с 30 ноября по 11 марта. Стоит отметить, что эти наиболее благоприятные дни приходятся на зимнее время, когда тепловая энергия действительно необходима.

Однако в зимнее время года солнечные коллекторы работают хуже по следующим причинам:

1. Короткие дни и низкая высота солнцестояния — зимой солнце находится ниже над линией горизонта, поскольку в этот период северное полушарие Земли наклонено в сторону от нашей звезды. Это означает, что солнечные лучи падают на земную поверхность под меньшими углами и проходят через более густой слой атмосферы, что уменьшает количество энергии, попадающей на СК. Короткие дни зимой уменьшают «окно времени»,

в течение которого СК могут принимать солнечную энергию.

2. Погодные условия — в зимнее время года погода может быть снежной или дождливой. Слой снега на поверхности солнечной панели снижает эффективность поглощения и преобразования солнечной энергии.

3. Температура — низкие температуры наружного воздуха способствуют образованию инея на покрытии СК, что также влияет на эффективность их работы.

4. В зимний период больше теплотери СК в окружающую среду.

В целом солнечные коллекторы достаточно универсальны и могут работать круглый год, но в зимнее время года вышеуказанные факторы снижают эффективность их работы.

Корректный угол установки СК очень важен для максимальной эффективности использования солнечной энергии. Угол установки СК зависит от географического места и времени года. Для расчёта угла установки солнечных панелей важно знать географическую широту места их установки.

Географическая широта может быть определена с помощью GPS или других открытых источников. Для расчёта угла наклона СК относительно горизонтальной поверхности используется формула:

$$\alpha = \varphi - \delta,$$

где α — угол наклона; δ — склонение (угол между плоскостью экватора и плоскостью земного меридиана, на котором находится Солнце в данный момент); φ — географическая широта места установки солнечного коллектора.

Таким образом, наиболее оптимальный угол установки СК для места с географической широтой 43° и работающей в ясную весенне-осеннюю погоду будет равен приблизительно 45°.

Ниже приведена табл. 1, показывающая оптимальный угол установки СК относительно горизонтальной поверхности для 43,1° с.ш. в течение года по месяцам.

Эти значения солнечной радиации рассчитаны на основе данных о средней солнечной радиации на горизонтальную и вертикальную поверхности, полученных из базы данных NASA [2]. Стоит учитывать, что эти значения могут изменяться в зависимости от погодных условий и других факторов, таких как время года, суток, облачность, туман и т.д.

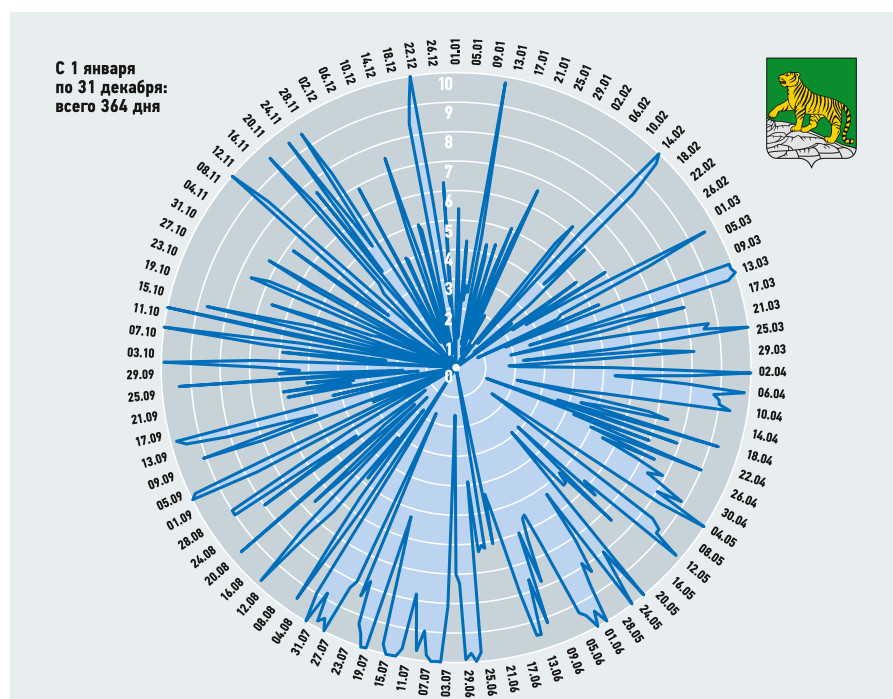


Рис. 2. График облачности во Владивостоке за 2022 год

Оптимальный угол установки СК относительно горизонтальной поверхности*

табл. 1

Месяц	Оптимальный угол наклона	Кол-во солнечной радиации, падающей на горизонтальную поверхность, кВт·ч/м ² в день	Кол-во солнечной радиации, падающей на вертикальную поверхность, кВт·ч/м ² в день
Январь	64	2,25	5,85
Февраль	56,4	3,41	6,79
Март	45,6	4,45	6,58
Апрель	33,6	5,01	5,48
Май	24,3	5,31	4,86
Июнь	20	5,36	4,52
Июль	22	4,55	3,42
Август	29,8	4,30	3,71
Сентябрь	41,1	4,10	4,79
Октябрь	53	3,27	5,22
Ноябрь	62,2	2,33	4,94
Декабрь	66,2	1,98	5,14

* Для местности, располагающейся на 43,1° с.ш., в течение года по месяцам.

Согласно табл. 1, средний оптимальный угол наклона СК составляет 43°. Расположение СК относительно горизонтальной поверхности должно соответствовать широте местности расположения оборудования, и для условий города Владивостока это значение составляет 43°. Однако при выборе угла установки солнечной панели следует учитывать геометрическое расположение зданий и других объектов в округе. Поэтому, чтобы достичь оптимальной эффективности использования солнечной энергии, нужно провести точное расчётное исследование установки СК, основываясь на специфических условиях места его установки.

Наиболее оптимальной ориентацией для расположения СК считают юг, однако, если рассматривать не только количество солнечной радиации, но и степень прогрева воздуха и окружающих поверхностей, то предпочтительно установить с разворотом на 7–10° на юго-запад, что уменьшит теплопотери СК и повысит его эффективность.

Существуют устройства слежения и регулирования угла наклона СК относительно положения солнца. Наибольшее распространение в солнечных трекерных системах получили электроприводы, в которых в качестве исполнительных устройств применяются электрические машины различного типа: линейные, шаговые, серводвигатели и др. На практике применяются два основных алгоритма слежения за положением Солнца — астрономический и по датчикам света [3].

Способ непрерывного слежения за положением Солнца применяется редко, большее распространение получили дискретные методы регулирования, в которых приёмная площадка солнечного трекера перемещается на заданный угол через определённый интервал времени



(time interval). Численные значения данного параметра составляют от единиц до нескольких десятков минут, во многих моделях трекеров имеется возможность его непосредственного задания [4].

Для нахождения минимально допустимых скоростей перемещения приёмной площадки солнечным трекером нужно построить графики изменения углов высоты h и азимута Az Солнца по времени для дня летнего солнцестояния.

На рис. 3 представлен график изменения углов высоты и азимута Солнца в день летнего солнцестояния для Владивостока (43°04' с.ш., 131°32' в.д.). Необходимая скорость перемещения приёмной площадки солнечным трекером определяется крутизной зависимостей углов от времени, и из рис. 3 видно, что для высоких широт большую скорость перемещения должен обеспечивать привод азимутальной оси. Графический способ определения этой скорости для Владивостока также показан на рис. 3. Таким образом, расчётная скорость перемещения азимутального привода составила $\omega_{пр} = 0,54$ град/мин.

Одним из важнейших факторов, влияющих на эффективность СК, является температура воздуха. Чтобы оценить наиболее благоприятное время использования и получения тепловой энергии, был составлен график (рис. 4), который позволяет оценить изменения максимальных и минимальных температур в течение года.

Для Владивостока свойственны достаточно высокие температуры не только в летнее время, но и в остальные сезоны. При обработке данных была построена зависимость температур наружного воздуха в течение 2022 года, а также построена линия средних температур (зелёная линия). График, представленный на рис. 4, имеет «пикообразный» вид, который, в свою очередь, показывает, что чем больше пик (неважно в сторону увеличения или уменьшения температуры), тем больше разница между температурами максимума и минимума, и наоборот — чем ближе температура находится к своей полиномиальной линии тренда (ПЛТ), тем эта разница меньше.

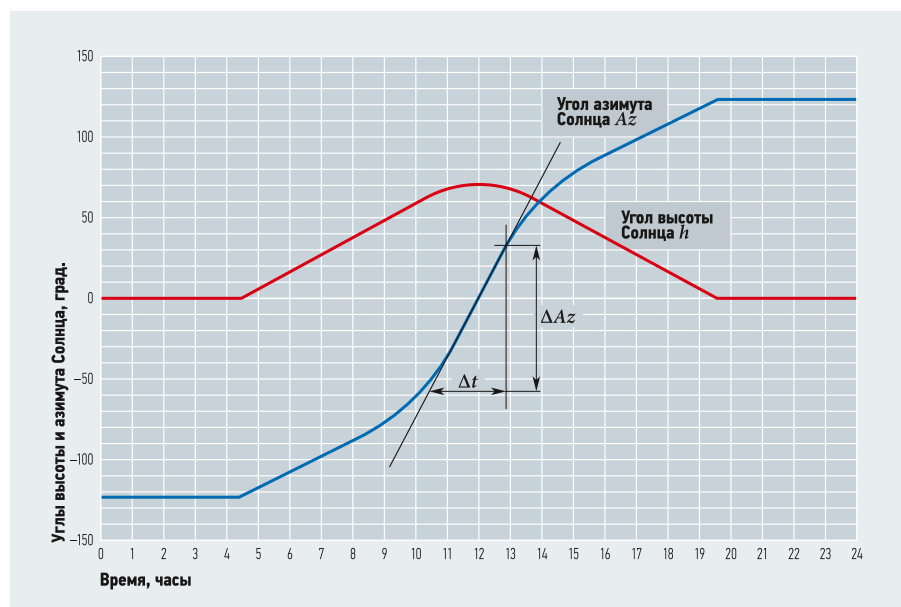
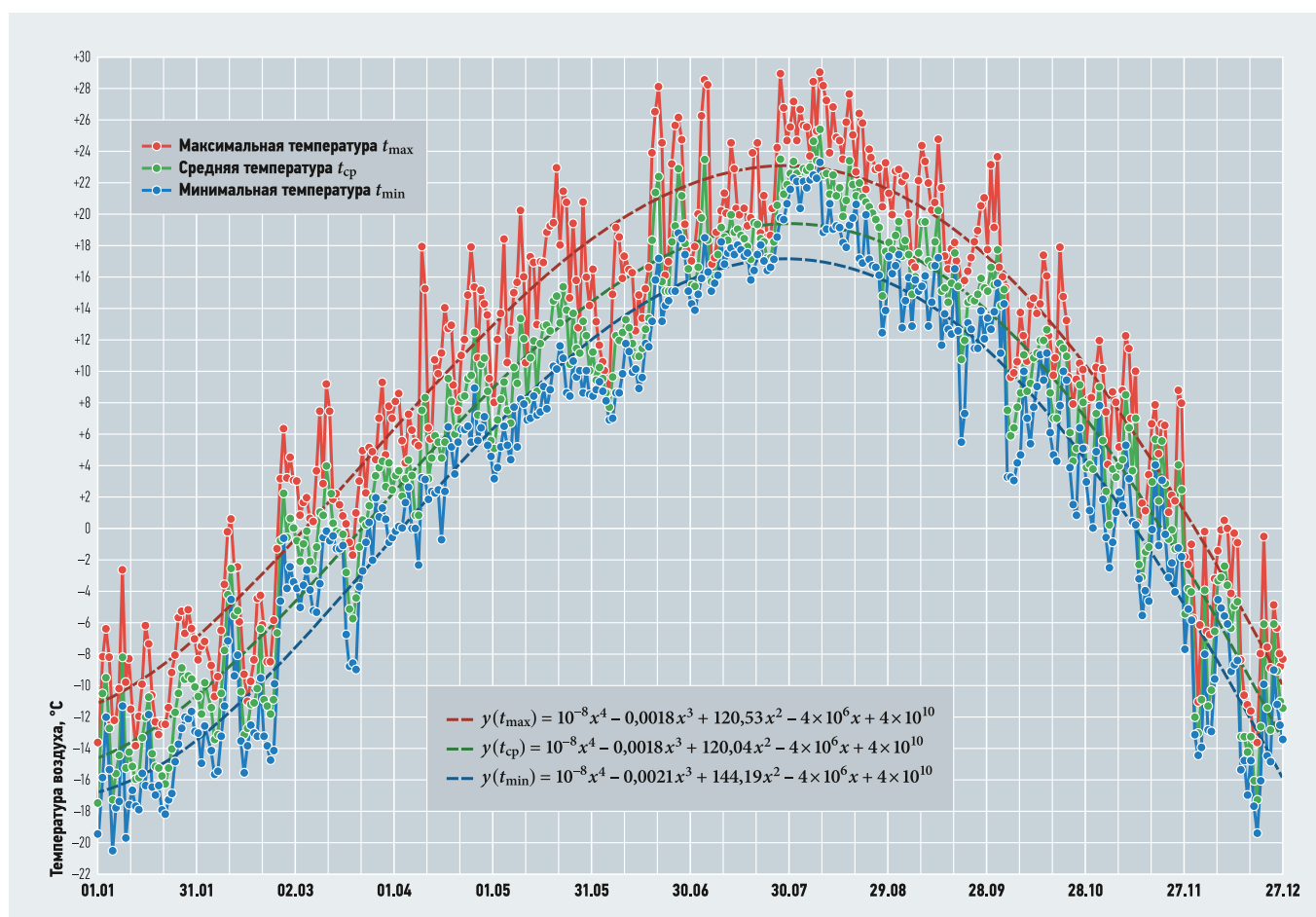


Рис. 3. Изменения углов высоты и азимута Солнца в день летнего солнцестояния



■ Рис. 4. График температуры воздуха в городе Владивостоке за 2022 год

На рис. 4 показаны 31 пик максимальных температур и 25 — минимальных, что показывает преобладание более высоких температур над более низкими в течении года. ПЛТ средних температур наружного воздуха ближе к минимальной полиномиальной линии тренда, однако это наблюдается не весь период года. Так, в промежуток с 1 октября по 20 декабря разница средних температур минимальная, а отдалённость пиков этих температур стремится к своим ПЛТ. Наибольшее отдаление наблюдается в промежуток с 1 июня по 1 сентября, на этом отрезке наблюдаются наибольшие температуры в течении года, а также максимальное удаление средней температуры от максимальных значений. 55 дней в году имели максимальную температуру воздуха ниже, чем ПЛТ средних температур, а 72 дня имели минимальную температуру воздуха выше, чем ПЛТ средних температур за год. Данная информация показывает, что хотя ПЛТ средних температур ближе к минимальным температурам в течении года, количество максимумов, стремящихся к более высоким температурам, всё-таки больше.

Количество солнечной радиации значительно зависит от времени суток и времени года, широты местности, увеличе-

ния облачности, антропогенных и природных явлений, а также от непосредственного места расположения СК.

Из анализа погодных случаев следует, что реальное количество солнечных дней составляет более 40%. А если учитывать, что дожди не всегда бывают продолжительными, а утренний туман может рассеяться, и в итоге день будет солнечным, то этот показатель может быть ещё выше.

Обильная облачность в городе Владивостоке на протяжении всего 2022 года снизила эффективность СК, однако периоды наименьшей облачности, выпадавшие на холодные периоды года, позволили получить значительное количество энергии в это время.

По результатам проведённого исследования можно сделать вывод, что использование солнечных коллекторов во Владивостоке в качестве одного из основных источников получения горячей воды для нужд теплоснабжения или системы ГВС является целесообразным и наиболее перспективным, как для одного из самых солнечных регионов России

По температурным данным (рис. 4) можно сделать вывод, что относительно высокие температуры значительно преобладают над холодными на протяжении всего года, при этом ПЛТ средних температур стремится к минимальным значениям температур.

Отсюда можно сделать вывод, что использование СК во Владивостоке в качестве одного из основных источников получения горячей воды для нужд теплоснабжения или ГВС является целесообразным и наиболее перспективным, как для одного из самых солнечных регионов Российской Федерации. ●

1. Текущая погода в Владивостоке [Электр. текст]. «Погода и климат». Режим доступа: pogodaiklimat.ru. Дата обращ.: 05.05.2025.
 2. The POWER Project [Проект POWER: данные NASA по метеорологии и солнечной инсоляции] [Электр. текст]. NASA Prediction of Worldwide Energy Resources [Прогноз NASA по мировым энергетическим ресурсам]. Режим доступа: power.larc.nasa.gov. Дата обращ.: 10.04.2025.
 3. Quesada G., Guillon L., Rouse D.R., Mehrdash M., Dutil Yv., Paradis P.-L. Tracking strategy for photovoltaic solar systems in high latitudes [Стратегия слежения за Солнцем для фотоэлектрических систем в высоких широтах]. Energy Conversion and Management. 2015. Vol. 103. Pp. 147–156.
 4. Обухов С.Г., Плотников И.А. Выбор параметров и анализ эффективности применения систем слежения за Солнцем // Известия ТПУ: Инжиниринг гео-ресурсов, 2018. Т. 329. №10. С. 95–106.
- References — see page 80.

[Analysis of weather conditions in Vladivostok to optimize the operation of the solar collector. Pp. 56–59.](#)

Dmitry Y. Shchemelev, postgraduate student; **Alla S. Shtym**, PhD, Professor, Far Eastern Federal University (FEFU, Vladivostok)

1. *Tekushchaja pogoda v Vladivostoke* [Current weather in Vladivostok]. “*Pogoda i klimat*” [Weather and climate]. Web-source: pogodaiklimat.ru. Access date: May 5, 2025. [In Russian]
2. The POWER Project. NASA Prediction of Worldwide Energy Resources. Web-source: power.larc.nasa.gov. Access date: April 10, 2025.
3. G. Quesada, L. Guillon, D.R. Rousse, M. Mehrtash, Yv. Dutil, P.-L. Paradis. Tracking strategy for photovoltaic solar systems in high latitudes. *Energy Conversion and Management*. 2015. Vol. 103. Pp. 147–156.
4. S.G. Obukhov, I.A. Plotnikov. *Vybor parametrov i analiz jeffektivnosti primeneniya sistem slezheniya za Solntsem* [Selection of parameters and analysis of the efficiency of using solar tracking systems]. *Izvestiya TPU: Inzhiniring georesursov* [Bulletin of Tomsk Polytechnic University. Series: Engineering of georesources]. 2018. Vol. 329. No. 10. Pp. 95–106. [In Russian]