

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЛАЧНОСТИ НА ИНСОЛЯЦИЮ ФОТОБАТАРЕЙ

Разия Махмудовна Кубова, канд. физ.-мат. наук, доц.

E-mail: rkubova@miiv.ru

Московский университет им. С.Ю. Витте

<http://www.miiv.ru>

Кира Владимировна Кубова

E-mail: kirilla02@gmail.com

Алена Андреевна Павленко, магистрантка

E-mail: pavlenkoalen@yandex.ua

Черноморский государственный университет им. П. Могилы (г. Николаев)

<http://www.chdu.edu.ua>

Приводятся результаты сравнительного исследования балла облачности по метеорологическим данным и ослабления инсоляции по данным экспериментальных измерений фототока солнечных фотоэлектрических батарей. Даются рекомендации по построению аналитической зависимости функции ослабления от балла облачности, с учетом статистических характеристик облачности.

Ключевые слова: облачность, инсоляция, фотоэлектрические батареи, эмпирическая модель.

Введение

Актуальность освоения экологически чистых возобновляемых источников энергии (ВИЭ) приобретает все более важное значение в условиях антропогенного загрязнения окружающей среды и истощения дешевых запасов ископаемого органического топлива. Технологии эксплуатации ВИЭ совершенствуются и уже сегодня достигли уровня конкурентоспособности, уверенно выходя на рынок. Одной из самых пер-



Р.М. Кубова



К.В. Кубова

спективных отраслей возобновляемой энергетики является солнечная энергия как неисчерпаемый, возобновляемый и экологически чистый источник энергии. Энергетические характеристики солнечной фотоэлектрической батареи определяются двумя основными составляющими: технологическими параметрами самой батареи и составляющих ее фотоэлементов и величиной потока солнечного излучения в данном географическом положении и в конкретных условиях. В настоящей работе рассматривается составляющая, определяемая гелиогеофизическими условиями. В основу работы положены данные из-

мерений тока солнечной фото-батареи и пересчета его к батарее с требуемыми параметрами по коэффициенту преобразования энергии, площади и ориентации на базе экспериментального комплекса, установленного в г. Николаеве на юге Украины. Описание комплекса приведено в работах [1, 2].

Постановка задачи

В работе [1] описан экспериментальный стенд на базе небольшой солнечной батареи размером 2×4 см и автономного микроконтроллерного регистратора с записью результатов во Flash-память [3, с. 45–51]. Впоследствии был создан комплекс из двух батарей P02512 из поликристаллического кремния размерами 64×33 см [2,



А.А. Павленко

4]. Обе батареи размещены на поворотной оси в так называемой полярной монтажке (ось

направлена параллельно оси вращения земли – 47° от горизонта), и направленных одна на Юг (стандартная ориентация), другая на Запад. Моделирование сложных систем допускает применение различных подходов. Использование принципов [5, 6] позволяет проследить логические связи составляющих системы. Для практического использования удобно применять феноменологический метод. По результатам экспериментальных данных по измерению тока солнечных батарей в непрерывном режиме на интервале исследований сентябрь 2012 – апрель 2014 г. разработана модель сезонно-суточных вариаций тока фотоэлектрических батарей [1, 2, 4].

Результаты проведенных исследований указывают, что значительное влияние на энергетическую эффективность солнечных батарей оказывает реальная облачность. В соответствии с этим для оценки эффективности применения солнечной энергетики в конкретном регионе большую роль играют непосредственные характеристики облачности этого региона. В настоящей работе приведены результаты оценки облачности региона расположения экспериментального комплекса. С целью изучения перспектив размещения солнечных установок проведен статистический анализ распределения облачности в других регионах Украины и Европейской части России.

Оценка ослабления солнечного потока облачностью

Для анализа использовались общедоступные архивы метеорологических данных [7]. В ежедневных сводках этого ресурса указывается общий балл облачности без указания как взаимного расположения облаков, так и направления на солнце. Таким образом, неясно, экранирует облачность солнечное излучение, или нет. Следовательно, для каждого конкретного времени влияние облачности носит вероятностный характер. Баллы облачности измеряются по шкале, которая соответствует относительной площади поверхности небесной полусферы, затененной облаками, согласно которой 0 баллов соответствует ясному небу, 10 баллов – сплошной облачности. Для количественного описания ослабления инсоляции и фототока батарей в работах [1, 2] подобрана аналитическая зависимость для коэффициента ослабления облачностью:

$$K_{Cld} = 1 - (1 - K_{min}) \cdot \frac{B}{B_{max}} \cdot \left[\left(\frac{B}{B_{max}} \right)^{P_{Cld}-1} + A_L \right] \cdot \frac{1}{1 + A_L},$$

где B-балл облачности;

$B_{max} = 10$ – максимальный балл облачности;

P_{Cld} – показатель степени;

A_L – линейный коэффициент;

K_{min} – минимальное значение коэффициента ослабления.

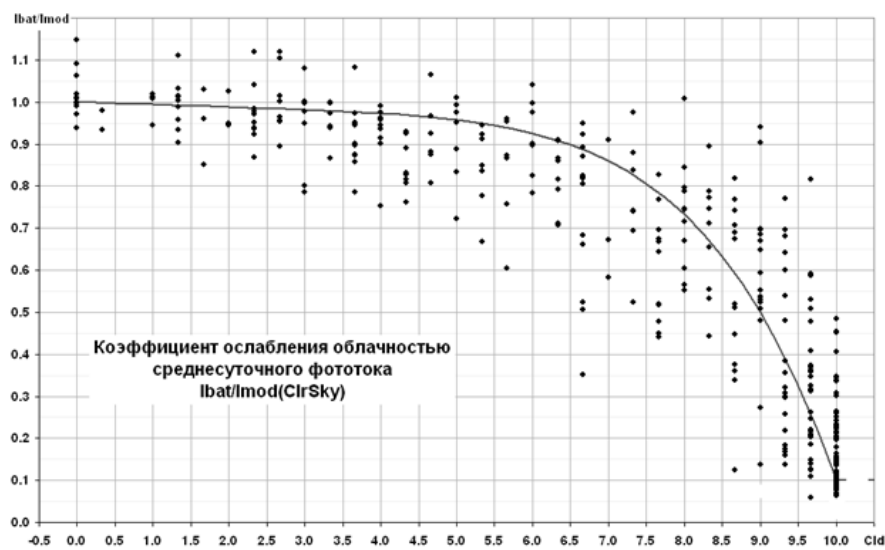


Рисунок 1 – Эмпирическая зависимость коэффициента ослабления облачностью для ежедневных значений

На рисунке 1 приведен пример ослабления инсоляции облачностью в зависимости от среднего дневного балла облачности на интервале сентябрь 2012–август 2014 г. Ослабление считалось как отношение реального среднесуточного тока солнечных фотоэлектрических батарей к модельным значениям для безоблачных условий.

График приведенной эмпирической зависимости явно показывает значительный разброс значений ослабления при увеличении облачности более 5 баллов. Казалось бы, при таком значительном разбросе трудно ожидать приемлемых результатов. Тем не менее, при рассмотрении усредненных данных облачности и фототока по нескольким дням, обнаружилось, что распределение облачности для разных интервалов усреднения значительно отличается от распределения ежедневных значений. При этом разброс экспериментальных данных относительно рассчитанных по модели с учетом облачности, заметно сужается. Между расчетом по модели и данными при усреднении по 7-ми дням наблюдается значимая регрессионная связь с коэффициентом детерминации $R^2=0,95$. Зависимость между модельными и экспериментальными значениями при усреднении на недельном интервале приведена на рисунке 2.

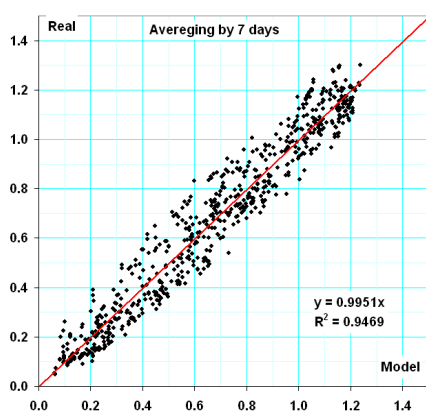


Рисунок 2 – Регрессионная связь модельных и экспериментальных значений при усреднении на недельном интервале

Почему же наряду с низкой достоверностью воспроизведения ежедневных данных, получается вполне приемлемый результат для усредненных данных? Для ответа на эти вопросы была сформулирована следующая гипотеза. На ослабление облачностью при усреднении на многодневных интервалах мало влияет конкретный вид зависимости ослабления от балла облачности, а влияет количество дней с высокой облачностью на интервале усреднения. В этом случае средний балл облачности характеризует частоту появления сильной, сплошной облачности.

Статистические характеристики распределения облачности

Проведен анализ статистических характеристик облачности на различных интервалах усреднения для трех характерных сезонных условий: летний, переходной (весна, осень), зимний и в целом за год. Результаты для ежедневных данных и периодов усреднения 3 дня, 7 дней и 31 день представлены на рисунке 3.

В верхнем ряду приведены гистограммы относительной вероятности (в %) для ежедневных значений облачности. В следующих рядах – для облачности, усредненной за 3, 7 и 31 день. В ежедневных значениях выделяются две составляющие – одна ближе к равномерному распределению от 0 до 10 баллов, и другая – с максимумом в окрестности высоких значений облачности – 10 баллов. При переходе от лета к зиме амплитуда 10-балльной составляющей облачности существенно возрастает. В частности, очень сильная облачность наблюдается более чем в 50% случаев. При увеличении интервала усреднения гистограммы существенно изменяются. Обе составляющие постепенно сближаются, и остается одна мода с единственным максимумом, положение которого смещается от 5 баллов летом до 10 баллов зимой.

Можно предположить, что соответствующие изменения обусловлены тем, что случаи сильной облачности, как правило, идут сплошными сериями, т.е. длятся несколько дней подряд. Поэтому эффект влияния сильной облачности усиливается. В таком случае модель ослабления можно существенно упростить, представив ее в виде ступенчатой функции с параметром фиксированной облачности, в наиболее простом случае оставить только два параметра: граничное значение существенной облачности (ориентировочно 9) и соответствующее значение коэффициента ослабления для этой облачности (ориентировочно 0,1).

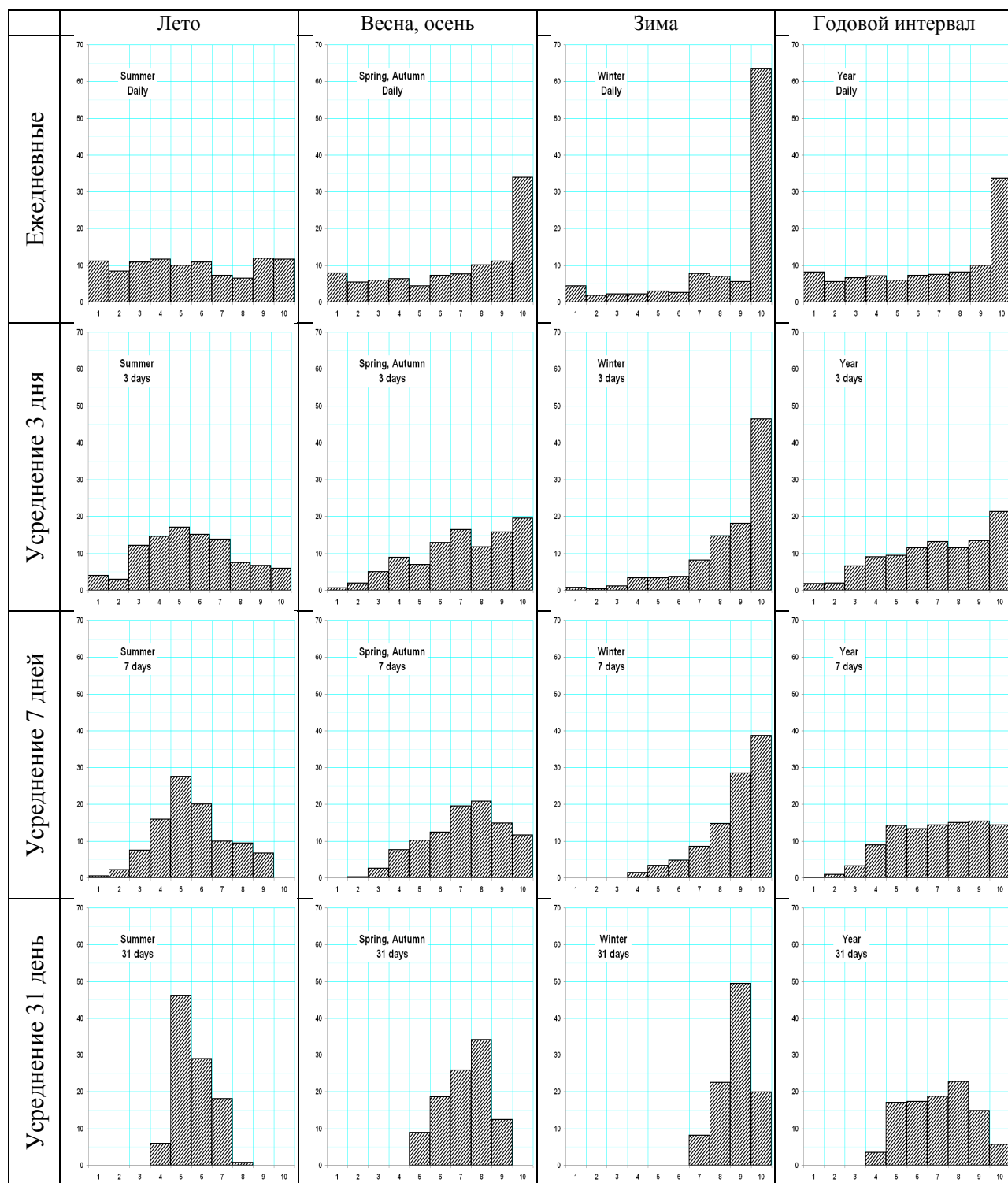


Рисунок 3 – Распределение статистики (%) бала дневной облачности по сезонам в зависимости от интервала усреднения

Особенности регионального распределения облачности

Для внесения возможных поправок при расчетах эффективности использования фотоустановок в других географических условиях проведен анализ распределения потока солнечной энергии и облачности по европейской части России и Украины. С этой целью рассмотрены годовые изменения облачности в широтном диапазоне от 44 до 60° северной широты по городам, находящимся в разных условиях континентальности и климата за период 2012–2013 гг. Для анализа выбраны значения облачности, взятые из доступного ис-

точника [7] по следующим городам: Сочи, Ялта, Николаев, Одесса, Волгоград, Киев, Оренбург, Воронеж, Москва, Казань, Санкт-Петербург.

Для оценки потенциальных возможностей приходящего потока солнечной радиации для выбранных городов проведены расчеты теоретических значений освещенности территорий по формулам, учитывающим географическое положение, сезон, время суток, ослабление в атмосфере и оптимальный угол наклона поверхности солнечной батареи. Полученные результаты представлены в виде графика зависимости теоретических значений светового потока, приходящего в местный полдень, на годовом периоде (рисунок 4).

По оси X расположены дни года в виде дат, по оси Y – световой поток для коэффициента прозрачности атмосферы 0,8 при вертикальном падении ($AM = 1$). Система обозначения линий графиков для разных городов приведена в поле рисунка.

Расположение графиков освещенности для разных городов демонстрирует явную широтную зависимость. После перехода через осеннее равноденствие к зимнему сезону прослеживается уменьшение освещенности с увеличением широты к северу. Эта тенденция продолжается до весеннего равноденствия. После перехода через весеннее равноденствие ситуация меняется, и количество светового потока для городов высоких широт увеличивается по сравнению с низкоширотными городами.

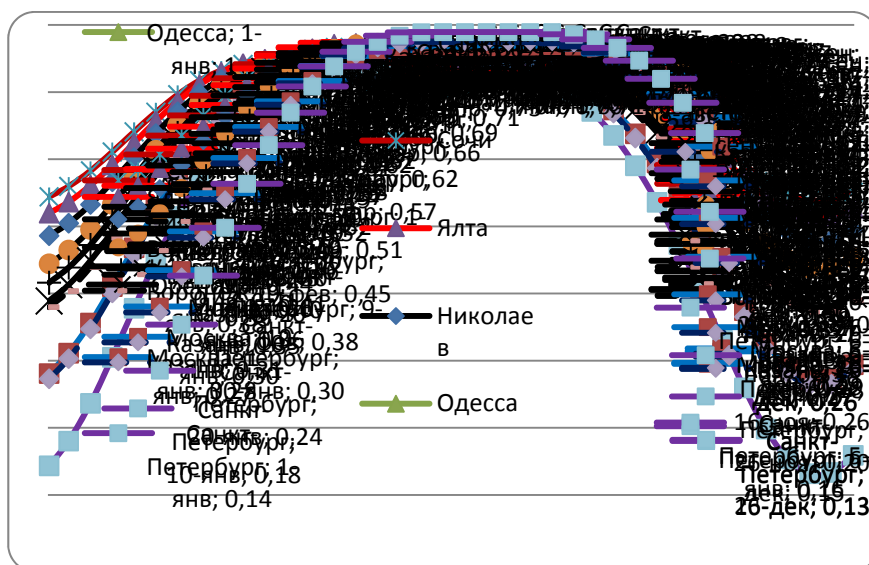


Рисунок 4 – Графики освещенности на разных широтах в течение года

Прослеживается следующая особенность: в летний сезон значения приходящего солнечного потока близки для всех рассмотренных городов. Более того, не наблюдается падение освещенности с увеличением широты. Например, в Сочи в период с середины мая по середину августа наблюдается уменьшение солнечного потока по сравнению с Санкт-Петербургом до 5%.

В зимний сезон изменения солнечного потока имеют закономерное распределение с ослаблением потока при увеличении широты. Например, в Сочи в течение декабря значение солнечного потока примерно в 4 раза выше, чем в Санкт-Петербурге.

Полученные значения рассчитаны на конкретный час (полдень), поэтому следует учесть разную продолжительность светового дня для разных широт. В этом контексте высокие значения освещенности в совокупности с большей продолжительностью светового дня в летний период могут частично компенсировать недостаток энергии в остальные сезоны высоких широт.

В соответствии с архивными данными сайта «Погода в мире» [8], рассматривалось распределение облачности в следующей градации: количество ясных дней, малооблачных дней, количество облачных дней, количество пасмурных дней, которым присвоены соот-

ветствующие значения балла облачности от 0 до 3. Балл облачности, соответствующий оценке 0, означает ясно, 1 – малооблачно, 2 – облачно, 3 – пасмурно.

По этой шкале рассчитаны среднемесячные полуденные значения степени облачности для каждого из выбранных городов. Для выбранного периода ход степени облачности в течение года имеет сложный характер. Однако имеются общие для большинства городов тенденции, такие как повышение облачности к осени и ее снижение после середины весны. Расположенные у берега моря Ялта и Сочи имеют некоторые схожие закономерности хода облачности в течение года: с апреля по май облачность повышается, тогда, как у других городов в основном понижается. Далее к июлю степень облачности большинства городов стремится к одним из самых низких в году, а в августе снова возрастает. В сентябре у многих низкоширотных городов, таких как Николаев, Воронеж и Волгоград, наблюдается скорее малооблачный характер, а для Сочи и Ялты это – наиболее ясный месяц в году. В октябре–ноябре заметен рост облачности повсеместно, причем в наименьшей степени в Сочи. На фоне довольно облачных условий в декабре заметно выделяются Казань и Оренбург с наиболее низкими значениями облачности, что, возможно, объясняется их значительно большей континентальностью по сравнению с остальными городами. В течение остальной части зимы во всех городах наблюдаются близкие друг к другу и максимальные значения облачности. Наибольшие амплитуды смены облачности в течение года имеют южные и прибрежные города: Сочи, Ялта, Одесса, Воронеж, а также Казань с наиболее континентальными условиями.

Для большего удобства анализа все города поделены на три группы по возрастанию их широт и сходству условий (рисунки 5–7).

Прибрежные южные города – Одесса, Николаев, Ялта и Сочи – имеют определенные сходства в закономерностях распределения степени облачности в течение года (рисунок 5). Весной среднемесячная степень облачности колеблется от 2 до 2,45 баллов, в течение лета в среднем от 1 до 2 баллов с минимумом в июле и максимумом в августе, затем в сентябре наблюдается второй минимум облачности в году со значениями 0,93–1,57. С октября по февраль среднемесячная степень облачности достигает максимума и колеблется между 2 и 3 баллами. Такое распределение объясняется схожими климатическими условиями территорий, находящихся под влиянием Черного моря.

В свою очередь, города Волгоград, Киев и Воронеж, которые находятся в средних широтах и удалены от прибрежной зоны, выделены в отдельную группу. Распределение степени среднемесячной облачности в этой группе имеет более равномерный, сглаженный ход в течение года, что проиллюстрировано на рисунке 6. В Волгограде и Киеве амплитуда колебаний облачности в течение года незначительна, усредненная степень облачности колеблется в пределах от 1,6 до 2,7 баллов с минимумом в июле для обоих городов, и максимумами в течение осени-зимы. Для Воронежа амплитуда колебаний среднемесячной облачности в течение года имеет более выраженный характер со значениями средней облачности от минимальных 1,16 баллов в июле и максимальными 2,8 баллов в ноябре и январе.

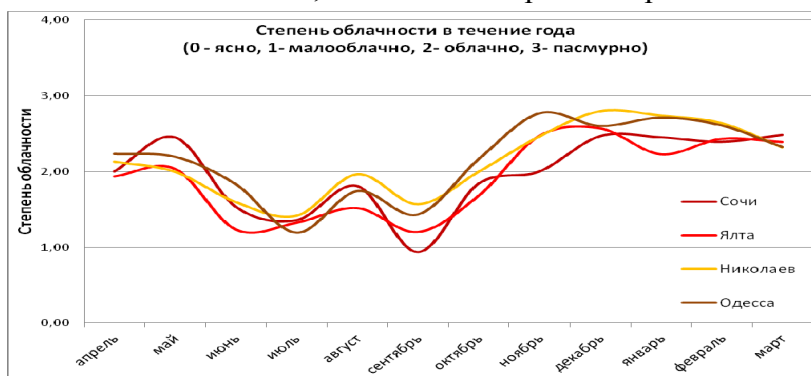


Рисунок 5 – Изменения среднемесячной степени облачности в течение года для городов: Сочи, Ялта, Николаев и Одесса

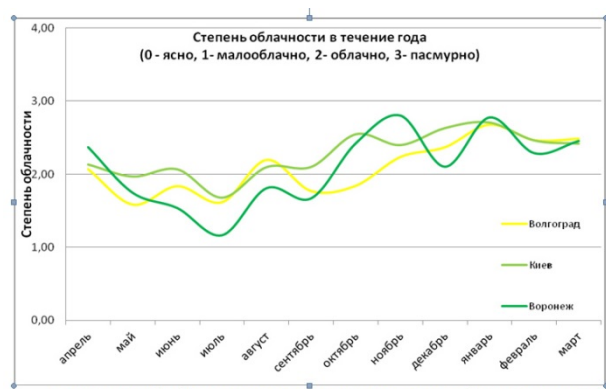


Рисунок 6 – Изменения среднесуточной степени облачности в течение года для городов: Волгоград, Киев, Воронеж

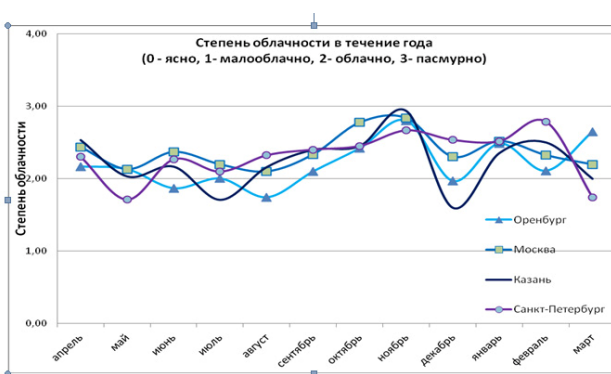


Рисунок 7 – Изменения среднесуточной степени облачности в течение года для городов: Оренбург, Москва, Казань, Санкт-Петербург

Города Москва, Казань, Оренбург и Санкт-Петербург находятся в более высоких широтах и в разных условиях континентальности, что отражается на амплитуде колебаний среднесуточной облачности в течение данного периода. Сезонное изменение облачности показано на рисунке 7. Для наиболее континентальных городов Оренбурга и Казани характерны более выраженные амплитуды среднесуточной степени облачности по сезонам, тогда как облачность в Москве и Санкт-Петербурге распределяется более равномерно и сглажено. В целом эти города характеризуются повышенной степенью облачности, колеблющейся практически от 2 до 3 баллов в течение рассматриваемого периода.

Чтобы оценить интегральный вклад облачности, способствующий ослаблению потока солнечной энергии, для каждого из выбранных городов подсчитано общее количество дней с разной степенью облачности: для ясных и малооблачных дней, облачных и пасмурных дней.

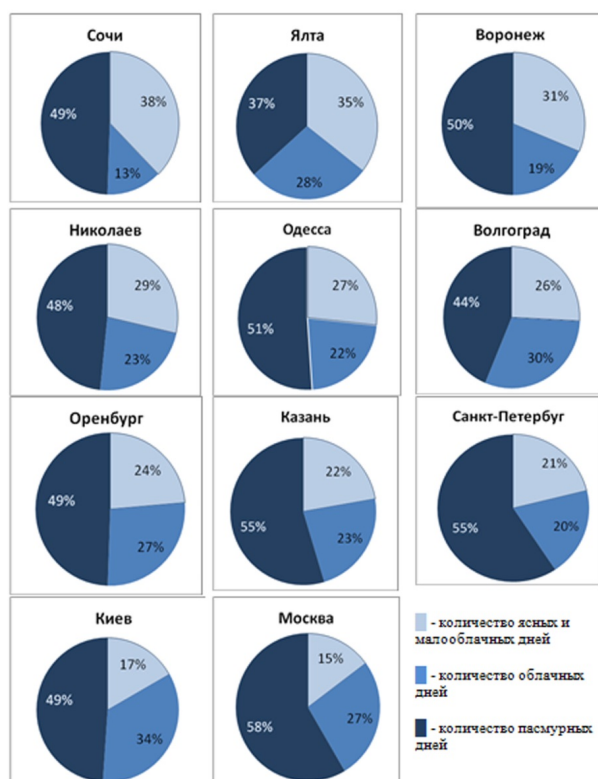


Рисунок 8 – Соотношение количества дней в году по характеру облачности

Заключение

Авторы считают, что в данной работе новыми являются следующие положения и результаты:

1. Проведена оценка ослабления инсоляции поверхности солнечных батарей для разных интервалов усреднения. Получено, что с ростом облачности до значений, соответствующих 5 баллам по 10-балльной шкале, разброс значений невелик, а инсоляция уменьшается достаточно медленно. При дальнейшем увеличении облачности, как разброс значений, так и ослабление усиливается.

2. Анализ экспериментальных значений среднесуточного фототока и статистического распределения облачности на разных интервалах усреднения позволяет предположить, что случаи сильной облачности, как правило, идут сплошными сериями, длятся несколько дней подряд. В этом случае, с учетом статистических характеристик реальной облачности, функциональную зависимость ослабления инсоляции облачностью можно значительно упростить, оставив только два параметра: граничное значение существенной облачности и соответствующее ослабление для этой облачности.

функциональную зависимость ослабления инсоляции облачностью можно значительно упростить, оставив только два параметра: граничное значение существенной облачности и соответствующее ослабление для этой облачности.

3. Для оценки возможности экстраполяции полученных результатов на другие регионы проведен анализ статистических характеристик распределения облачности по территории Украины и Европейской части России в широтном интервале от 44 до 60° северной широты по городам, находящимся в разных условиях континентальности и климата. Для оценки проходящего потока солнечной энергии проведены теоретические расчеты распределения потока солнечной энергии с учетом географического положения, сезона, время суток, ослабления в атмосфере и оптимального угла наклона поверхности солнечной батареи.

4. Авторы считают, что проведенное исследование позволит повысить точность оценки эффективности использования солнечной энергетики.

Литература:

1. Кубов В.И., Кубова Р.М. Моделирование тока солнечных фото-батарей с учетом вариаций освещенности и облачности // Математика, информатика, естествознание в экономике и обществе (МИЕСЭКО-2014). Труды Всероссийской научной конференции / отв. ред. А.Ю. Байков. М.: МФЮА, 2014. С. 137–143. URL: http://conf.mfua.ru/documents/2014_sbornik.pdf
2. Кубов В.И., Кубова Р.М., Павленко А.А. Эмпирическая модель фотоэлектрических батарей с учетом облачности // Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів. Кременчук: КДУ, 2013. С. 155–157.
3. Кубов В.И. Оценка возможности построения автономного регистратора на базе AVR Butterfly для целей мониторинга // Наукові праці. т.49, вип.36. Техногенна безпека. – Миколаїв: МДГУ ім. П. Могили, 2006. С. 45–51.
4. Андреева Н.Ю., Кубов В.И., Кубова Р.М., Павленко А.А. Исследование вариаций солнечной радиации для оценки энергетической эффективности солнечных фотоэлектрических батарей // Наукові праці. Т. 233. Вип. 221. Техногенна безпека. Миколаїв: ЧДУ ім. П. Могили. 2014. С. 126–133.
5. Афанасьев Ю.И. Теория взаимодействия. Анализ в условиях синхронизации процесса // Вестник Московского университета им. С.Ю. Витте. Сер. 3: Образовательные ресурсы и технологии. 2014'3(6). С. 47–52. URL: <http://www.muiiv.ru/vestnik/pp/chitateliam/podshivka-nomerov/28980/>
6. Парфенова М.Я. Методологические аспекты интегративного подхода к управлению на основе конвергенции механизмов классических подходов // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. 2013. № 4. С. 325–328.
7. Погода на Украине и в мире. Прогноз погоды от Meteoproг.UA. URL: <http://www.meteoproг.ua/ru/climate/Mikolaiv/>
8. Погода в мире <http://rp5.ru>

Assessment of the statistical characteristics of cloudiness at insolation of solar batteries

Raziya Makhmudovna Kubova, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Moscow Vite University

Kira Vladimirovna Kubova

Alyona Andreyevna Pavlenko, Black Sea State University after P. Mogila (Nikolaev).

The article describes some results of comparative studying of cloudiness-index relative to insolation of solar PV-batteries. Some recommendations for cloudiness absorption analytical model are proposed. Those recommendations take into consideration the statistical nature of cloudiness.

Key words: cloudiness, insolation, PV-battery, empirical model.