

УДК 621.548
ББК З 25

Олег Иванович Вийтович
старший преподаватель,
Забайкальский государственный университет
(Чита, Россия,) e-mail: Vijtjvich-O@mail.ru
Виктор Гаврилович Телешов
кандидат технических наук, доцент,
Забайкальский государственный университет
(Чита, Россия), e-mail: Vijtjvich-O@mail.ru

Анализ солнечной энергии, поступающей на поверхность Земли с применением статистических данных природно-климатических условий по Забайкальскому краю

Проанализированы факторы, характеризующие природно-климатические условия Забайкалья, выявлены зависимости основных доминирующих климатических, экологических, экономических и технологических факторов, определяющих эффективность при проектировании нетрадиционных ветроустановок, в различных климатических условиях, которые имеют математическую сущность. По результатам проведенных статистических данных УГМС по Забайкальскому краю, климатических, экологических, технологических, и экономических факторов выявлены прямые связи их параметров, на основе которых разработано уравнение множественной регрессии, способствующие определению скорости ветрового потока, солнечной радиации и температуры воздуха в заданный период времени. Одной из задач при проектировании ветроустановок является определение количества солнечной радиации поступающей на горизонтальную поверхность Земли, что позволяет спрогнозировать значения одной переменной, на основе значений двух или нескольких независимых переменных.

Ключевые слова: скорость ветрового потока, ветроустановка, электромагнитная волна, множественная регрессия, энергетическая освещенность, лучистый поток энергии, солнечная энергия.

Oleg Ivanovich Vijtovich
Assistant Professor,
Trans-Baikal State University
(Chita, Russia), e-mail: Vijtjvich-O@mail.ru
Victor Gavrilovich Teleshov,
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor, Trans-Baikal State University
(Chita, Russia), e-mail: Vijtjvich-O@mail.ru

Analysis of Solar Energy Reaching the Earth's Surface with the Use of Statistical Data of the Trans-Baikal Climatic Conditions

The article analyzes the factors that characterize the Trans-Baikal climatic conditions, identifies the dependencies of the main dominant climatic, environmental, economic, and technological factors that determine the effectiveness of designing non-traditional wind turbines in various climatic conditions, which are of a mathematical character. The analysis of the results of the Trans-Baikal statistical data, its climatic, ecological, technological and economic factors identified a direct link of their parameters on the basis of which the multiple regression equation was developed to define the wind flow speed, solar radiation and air temperature at a given time period. One of the objectives in the design of wind turbines is to determine the amount of solar radiation received on the horizontal surface of the Earth that allows predicting the values of one variable, on the basis of the values of two or more independent variables.

Keywords: wind flow speed, wind turbine, electromagnetic wave, multiple regression, irradiance, radiant flux of energy, solar energy.

За последние десятилетия мировая промышленность увеличила воздействие на окружающую среду. Возросли потребности в энергоресурсах, увеличилась численность населения. Происходит нерациональное использование энергоресурсов и использование природных ископаемых. Для стабильной работы промышленных предприятий народного хозяйства необходимы энергоресурсы, так называемые альтернативные источники электрической энергии. В этом направлении необходимо выделить взаимовлияющие факторы, которые включают климатические, технологические, экологические, технические и экономические связи, обуславливающие нормальное функционирование нетрадиционных ветроустановок на всех этапах эксплуатационного цикла с позиции надёжности [1; 6; 7].

Солнечная радиация, поступающая на земную поверхность, является одним из основных климатических факторов. В свою очередь, она в значительной степени зависит от циркуляции атмосферы и особенностей подстилающей поверхности.

Возникновение максимальных, положительных температур непосредственно связано с уровнем солнечной радиации. Исследования показывают, что температура 40° наблюдается от тропических до умеренных широт. Распределение высоких температур на континентах хорошо согласуется с распределением солнечной радиации.

Воздействие солнечной радиации на технические изделия определяется диапазоном электромагнитных волн, достигающих их поверхности [1; 2; 5; 8].

Солнечная радиация представляет собой электромагнитную радиацию, распространяющуюся в виде электромагнитных волн. До земной поверхности она доходит в виде прямой и рассеянной радиации, а их совокупность называется суммарной радиацией. Прямая радиация – это радиация, которая достигла горизонтальной поверхности Земли. Проходя через атмосферу, солнечная радиация частично рассеивается воздухом и аэрозолями, а также облаками, называется рассеянной радиацией. Забайкальский край отличается большим количеством солнечных дней.

Режим солнечной радиации характеризуется распределением радиационного баланса, учитывающего приход – расход энергии солнечной радиации. Атмосфера, окружающая Землю, поглощает около 19 % солнечной энергии (водяным паром, озоном, углекислым газом, пылью и другими составляющими атмосферы). Около 35 % солнечной энергии поглощается в космическом пространстве. Спектр излучаемой Солнцем энергии состоит из следующих составляющих: ультрафиолетовая часть – длина волны менее 3900×10^{-10} м, видимая часть спектра – длина волны $3900 \times 10^{-10} - 7600 \times 10^{-10}$ м, инфракрасная часть спектра – длина волны $7600 \times 10^{-10} - 1000000 \times 10^{-10}$ м. На волны ультрафиолетовой части спектра приходится около 9 % энергии солнечного излучения, на волны видимой части спектра – около 41 % и на инфракрасные волны – около 50 %.

Основным источником энергии всех происходящих процессов на Земле является солнечная энергия. Источником солнечной энергии являются ядерные превращения водорода в гелий в центральной части Солнца, температура которой составляет около 15 млн К [3, 4].

Физико-географические условия Забайкалья накладывают свой отпечаток как в распределении числа случаев сильного ветра, так и в частоте их возникновения в каждом отдельном пункте. Наибольшая повторяемость сильных ветров приходится на юго-восточные (степные) районы Забайкальского края и долины в южной части Бурятии.

На основании данных метеостанций Забайкальского края сформирована таблица солнечной радиации за 1999–2008 гг. (табл. 1) [4; 5; 6].

Подставив эти значения, получим мощность, излучаемую Солнцем на горизонтальную поверхность Земли. Солнечная энергия влияет на систему движений атмосферного воздуха в масштабе всей Земли. Шарообразная форма Земли обуславливает неравномерность поступления тепла от Солнца к полюсам и в тропическую зону. Вследствие этого возникает разница в температуре между тропическими, полярными и умеренными широтами. Неравномерность нагревания атмосферы Земли является основным источником энергии для движения воздушных масс и развития циркуляции в мировом воздушном океане [3; 4].

На мощность лучистого потока энергии Солнца на поверхность земли оказывают существенное влияние следующие факторы: циркуляция воздушных масс, загрязнённость воздуха, облачность, температура воздуха.

Таблица 1

**Статистические данные УГМС солнечной радиации за период с 1999–2008 гг.,
г. Чита ($\text{МДж}/\text{м}^2$) $\times 100$ [3; 4]**

Месяц	Год									
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
январь	139	279	206	96	294	264	213	207	228	266
апрель	302	253	318	289	332	376	335	296	262	307
июль	338	436	402	375	294	423	335	369	302	396
октябрь	427	378	371	378	408	372	354	303	366	361

Поток энергии P , излучаемой Солнцем, равен произведению энергетической светимости Солнца на площадь S его поверхности:

$$P = 4\pi r^2 R_s, \quad (1)$$

где r – радиус Солнца; R_s – энергетическая светимость.

Определяем энергетическую освещённость E_s поверхности Земли (табл. 2), если разделим поток энергии P , излучаемой Солнцем, на площадь S поверхности сферы, радиус которой равен среднему расстоянию от Земли до Солнца по формуле:

$$E_s = P/4\pi R^2; \quad (2)$$

где R – среднее расстояние от Земли до Солнца (км);

P – поток энергии, ($\text{МДж}/\text{м}^2$) $\times 100$.

Для экологического оздоровления воздушного бассейна необходимо внедрять альтернативные источники электрической энергии на основе использования ветрового потока.

Скорость ветрового потока имеет прямую зависимость с солнечной радиацией.

Таблица 2

Расчётные данные энергетической освещённости за период с 1999–2008 гг., г. Чита ($\text{kВт}/\text{м}^2$)

Месяц	Год									
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
01	0,94	0,98	0,92	0,34	1,04	0,93	0,75	0,73	0,81	0,94
04	1,28	1,34	1,13	1,02	1,17	1,33	1,2	1,05	0,93	1,28
07	1,45	1,8	1,42	1,33	1,04	1,5	1,2	1,3	1,06	1,45
10	1,4	1,25	1,31	1,34	1,44	1,32	1,25	1,07	1,3	1,4

На основе расчётных данных (табл. 2) строим сводный график среднемесячной энергетической освещённости за 10 лет с 1999–2008 гг., г. Чита. (январь, апрель, июль, октябрь).

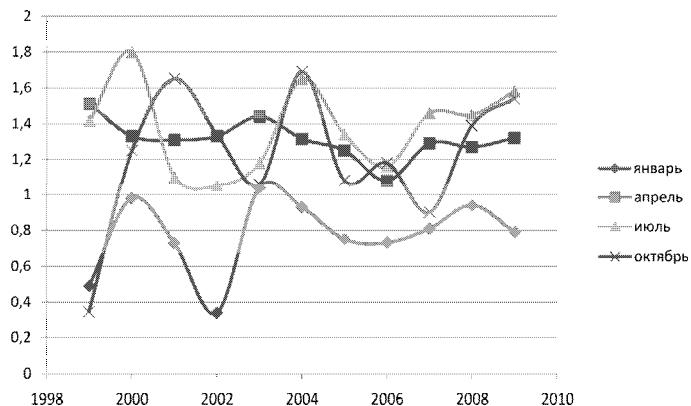
Её количество зависит от природно-климатических условий, определяемыми параметрами, приведёнными на (рис. 1). Обработка данных может быть выполнена с использованием множественной регрессии по определению скорости ветрового потока. Статистические характеристики климатических параметров имеют более компактную форму сбора данных и поэтому дают экономию расчетного времени.

При динамическом моделировании климатических условий используются прямые связи почасовые значения метеорологических факторов – солнечная радиация, температура воздуха, скорость ветрового потока.

Количество почасовых исходных данных настолько велико (за 10 лет для 5 станций составляет более 400 тыс. наблюдений), что стоимость обработки данных становится чрезмерно высокой. Для уменьшения стоимости расчётов при динамическом моделировании следует идти по пути выбора стандартного (базисного) расчётного года.

Климатические параметры – солнечная радиация, температура воздуха, скорость ветрового потока, все эти величины изменяются во времени. Годовой ход средней скорости ветра относится к климатическим характеристикам и зависит от географического положения пункта.

График энергетической освещённости с 1999–2008 гг., г. Чита



В умеренных и полярных широтах на западных окраинах материков северного полушария наибольшая скорость ветра наблюдается зимой, когда разность температур между этими широтами наиболее велика и, соответственно, велика разность давления. К лету, с уменьшением контраста температур и, следовательно, градиентов давления, ветер ослабевает. Однако в центре крупного Евро-Азиатского материка, в Сибири, зимой в области мощного антициклона отмечаются наименьшие скорости ветра и даже штили, а летом скорости ветра наибольшие.

По статистическим данным метеостанций, на основании которых построены графики средней скорости ветрового потока (за основу взят г. Чита) [3; 4] сформирована (табл. 3) средней скорости ветра в городе Чита, Борзя, Мангут за 10 лет.

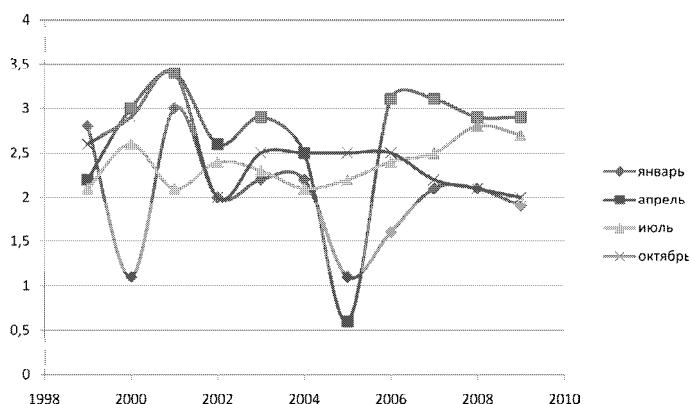
Таблица 3

Данные УГМС средней скорости ветра г. Чита с 1999–2008 гг. [3,4]

Месяцы	Год									
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
01	2,8	1,1	3	2	2,2	2,2	1,1	1,6	2,1	2,1
04	2,2	3,0	3,4	2,6	2,9	2,5	0,6	3,1	3,1	2,9
07	2,1	2,6	2,1	2,4	2,3	2,1	2,2	2,4	2,5	2,8
10	2,6	2,9	3,4	2,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,2	2,1

На основании данных УГМС (табл. 3) строим график среднегодовой скорости ветрового потока за 10 лет с 1999–2008 гг. по г. Чита (январь, апрель, июль, октябрь).

График среднегодовой скорости ветрового потока с 1999–2008 гг., г. Чита



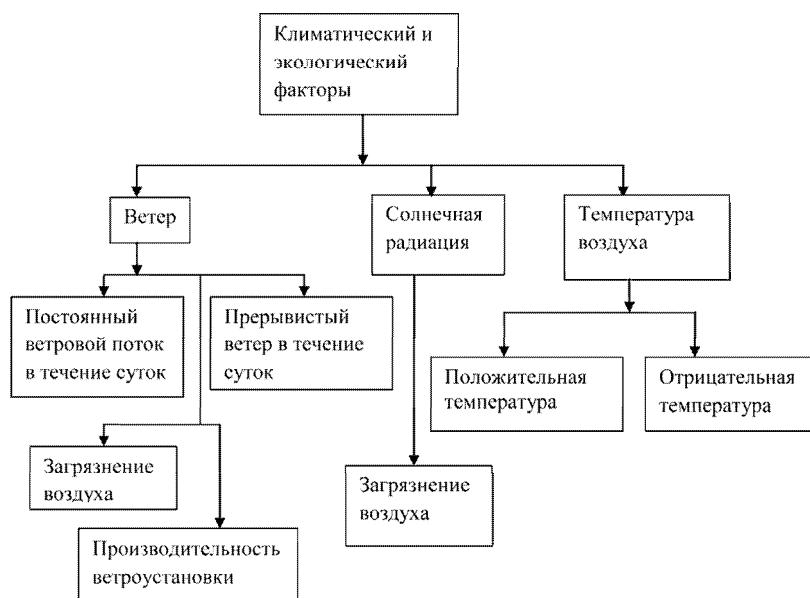
При анализе климатической обстановки в конкретных районах эксплуатации важное значение имеют сведения о предельных значениях климатических факторов.

Для решения большого числа прикладных задач, связанных с проектированием, необходимо знание продолжительности действия как высоких, так и низких температур воздуха. Учёт экспериментальных температур и их продолжительности даёт возможность правильного выбора времени, режима хранения и эксплуатации техники, проведения испытаний и других видов работ.

При разработке требований к техническим устройствам и при проектировании ветроустановки возникает необходимость в определении продолжительности пребывания создаваемой данной установки в условиях с различной температурой окружающей среды и статистических характеристик распределения температуры воздуха за год.

При анализе состояния оборудования учитывается число дней с высокой температурой в течение месяца и в сумме за год. Число дней с Т-40 с рассчитывают по методике, предполагающей нормальное распределение максимальных температур. При нормальном распределении для расчёта применены два параметра: среднее значение температур и коэффициент варьирования [1; 2; 3].

В качестве коэффициента варьирования используется разность между абсолютным и средним максимумом. Схема прямых и косвенных связей климатического и экологического фактора приведена на (рис. 1).



Rис. 1. Схема прямых и косвенных связей

Указанная разность Т в большей части Забайкальского края колеблется около плюс 8 % С в среднем за месяцы, когда наблюдается такая высокая температура.

При оценке показателей надёжности оборудования приведены данные об изменениях температуры окружающего воздуха во времени.

Характер изменения температуры во времени описывается случайным процессом :

$$T(t) = T(t) + Y(t) \quad [1; 2; 3]. \quad (3)$$

Прогноз температуры воздуха у поверхности земли по графикам суточного хода

В Забайкальском УГМС построены эмпирические графики суточного хода температуры воздуха у поверхности земли в зависимости от синоптической обстановки, для однородной воздушной массы для каждого месяца отдельно. В результате анализа установлено, что для теплого полугодия суточный ход температуры воздуха можно рассматривать отдельно для двух типов синоптического положения:

I тип, в который входят следующие процессы: передняя часть циклона, теплый сектор циклона, периферия антициклона, антициклон, размытое барическое образование;

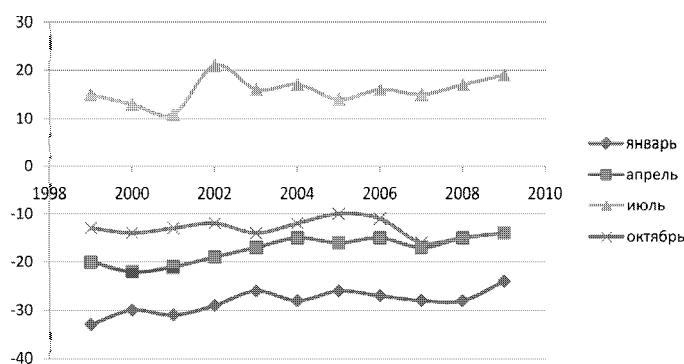
II тип – тыловая часть циклона [3].

Таблица 4

**Данные УГМС температуры наружного воздуха с 1999–2008 гг. Чита
(январь, апрель, июль, октябрь) [3; 4]**

Месяцы	Год										
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
январь	-33	-30	-31	-29	-26	-28	-26	-27	-28	-28	-24
апрель	-20	-22	-21	-19	-17	-15	-16	-15	-17	-15	-14
июль	15	13	11	21	16	17	14	16	15	17	19
октябрь	-13	-14	-13	-12	-14	-12	-10	-11	-16	-15	-14

На основе таблицы (табл. 4) УГМС по Забайкальскому краю данных температуры наружного воздуха построим график за 10 лет с 1999–2008 гг., (г. Чита).



Полученные результаты можно использовать в практической работе для прогноза температуры на любой час суток, а также минимальной и максимальной температуры при различном состоянии неба (рис. 2).

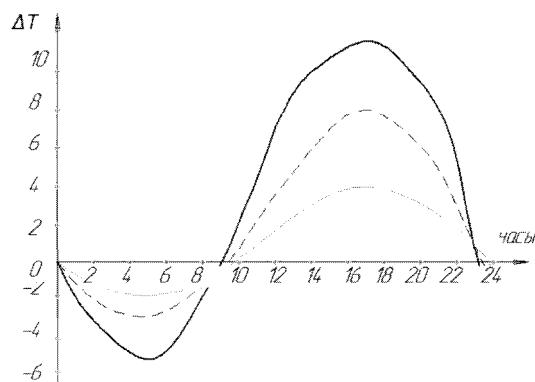


Рис. 2. Суточный ход температуры воздуха в г. Чите

В июне ясно (суммарная облачность 0–5 баллов); полуясно (суммарная облачность 6–7 баллов); пасмурно (суммарная облачность 8–10 баллов).

Учёт экспериментальных данных и их продолжительности даёт возможность правильного выбора времени, режима хранения и эксплуатации техники, проведения испытаний и других видов работ. При разработке требований технических условий дают возможность разработать модель линейной множественной регрессии для определения скорости ветрового потока.

Множественная регрессия даёт возможность прогнозировать значения одной переменной Y на основе значений двух или нескольких независимых переменных X_1, X_2, \dots, X_m

Уравнение линейной множественной регрессии имеет вид:

$$Y_{ij} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_m x_m, \quad (4)$$

где: Y_{ij} – теоретические значения результативного значения, полученные путём постановки соответствующих значений факторных признаков; $b_0, b_1, b_2, \dots, b_m$ – параметры уравнения (коэффициент регрессии).

При определении параметров модели методом наименьших квадратов минимизируется сумма квадратов остатков.

$$Q_{\text{ост}} = \sum_{i=1}^n (y_i - Y_{ij})^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - b_0 - b_1 x_1 - b_2 x_2 - \dots - b_m x_m)^2 \rightarrow \min. \quad (4)$$

Рассматривая $Q_{\text{ост}}$ в качестве функции параметров b_1 и выполняя математическое преобразование (дифференцирование), получаем систему уравнений с m неизвестными (числу параметров b_i)

$$\begin{cases} nb_0 + b_1 \sum x_1 + b_2 \sum x_2 + b_m \sum x_m = \sum y \\ b_0 \sum x_1 + b_1 \sum x_1^2 + b_2 \sum x_2 x_1 + \dots + b_m \sum x_m x_1 = \sum y x_1, \\ \dots \\ b_0 \sum x_m + b_1 \sum x_m x_1 + b_2 \sum x_m x_2 + \dots + \sum x_m^2 = \sum y x_m \end{cases} \quad (5)$$

где: n – число наблюдений, а m – число факторов в уравнении регрессии. Решением системы уравнений (5) находятся значения параметров b_1 – коэффициентов искомого теоретического уравнения регрессии.

Цель исследования – построить линейную зависимость изменения скорости ветрового потока от трёх факторных признаков – температуры воздуха, солнечной радиации, коэффициента ветрового потока и производительности оборудования.

Результативный признак – относительное изменение скорости ветрового потока. Уравнение регрессии будем вычислять по формуле:

$$Y_{ij} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_m x_m. \quad (6)$$

Тогда показатель коэффициентов уравнения регрессии рассчитывается по формуле:

$$\beta = (x^T x)^{-1} (x^T y). \quad (7)$$

Проведённый анализ позволяет применения энергосберегающего технологического оборудования, в частности, ветроустановок, что влечёт за собой решение данной проблемы по загрязнению окружающей среды и воздушного бассейна.

Статья носит аналитический характер и основана на статистических данных УГМС по Забайкальскому краю и теоретических расчётах авторов.

Выводы: дана оценка прямой, рассеянной и суммарной солнечной радиации в Забайкалье, в зависимости от скорости ветрового потока и температуры наружного воздуха. В определенный период времени (январь, апрель, июль, октябрь) скорость ветрового потока максимальна и особенно проявляется в условиях горно-котловинного рельефа.

Определены параметры, характеризующие природно-климатические условия Забайкалья, на основе которых разработана модель множественной регрессии, позволяющая рассчитать количество солнечной энергии, поступающей на горизонтальную поверхность Земли, температуру воздуха, и скорость ветрового потока в данный период времени.

Список литературы

1. Агапов В. А., Карасева А. А. Ветродвигатели // Нефть. Газпромышенность. М., 2003. 320 с.
2. Литвиненко А. М. Пособие по изготовлению ветрогенераторов // Энергия. М., 1996. 120 с.
3. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Вып. 23. Бурятская АССР, Читинская область. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1989.

4. Смирнова Н. С., Солдатова Г. А. Климат Читы. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1982. 246 с.
5. Экологическая гидрология: учебник / Белоусова А. П. М.: Академкнига, 2007. 397 с.
6. Экология и экономика природопользования: учебник / под ред. Э. В. Гикусова; 3-е изд., перераб. и доп. М.: Юнити-Дана, 2007. 591 с.
7. Экология и безопасность жизнедеятельности: учеб. пособие для вузов / под ред. Л. А. Муравьёв. М.: Юнити-Дана, 2000. 448 с.
8. Экономика машиностроительного производства: учеб. пособие / под ред. О. Н. Герасимовой. М.: МГИУ, 2007. 128 с.
9. Энергетика и охрана окружающей среды / под ред. Н. Г. Залогина [и др.]. М.: Энергия, 1986. 352 с.

Статья поступила в редакцию 01.03.2012 г.