

УДК 551.58(98):65.018

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ КЛИМАТИЧЕСКИЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТ НА ОТКРЫТОМ ВОЗДУХЕ В ЖЁСТКИХ ХОЛОДНЫХ УСЛОВИЯХ

Ю.В. Шипко, Е.В. Шувакин

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж

Представлена модель климатического индекса как обобщенного биоклиматического показателя для жестких погодных условий с использованием функции желательности Харрингтона. Приводится методика его расчета по ряду частных индексов холодового стресса. Проведено районирование Арктической зоны Российской Федерации по специализированному показателю безопасности работ на открытом воздухе – числа дней в месяце с условия жесткости погоды не ниже удовлетворительных

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ОБОБЩЕННЫЙ БИОКЛИМАТИЧЕСКИЙ ПОКАЗАТЕЛЬ, ФУНКЦИЯ ЖЕЛАТЕЛЬНОСТИ

В настоящее время Арктическая зона Российской Федерации (АЗРФ) выделена в приоритетный объект государственной политики, что обусловлено высокой концентрацией в этом макрорегионе геополитических, оборонных, экономических, экологических, научных интересов страны. Но следует учитывать важную особенность АЗРФ, выделяющую ее среди других регионов России и определяющую условия социально-экономического развития, – экстремальные для постоянного проживания человека и организации хозяйственной деятельности природные условия. Поэтому актуальность гидрометеорологического обеспечения потребителей в АЗРФ не вызывает сомнений.

В силу необходимости выполнения оперативных задач и технологических процессов в АЗРФ персонал предприятий (дорожники, связисты, энергетики, нефтяники, геологи, строители и др.) осуществляет свою деятельность на открытом воздухе. При этом существует потенциальный риск получения травм от холода: переохлаждение всего организма (гипотермия), обморожение отдельных частей тела (конечностей, участков лица, органов дыхания). Руководителями (органами управления) должны учитываться определенные требования [1] при проведении работ на открытом воздухе в условиях низких температур.

Для планирования мероприятий в зимних условиях используются климатические показатели жесткости погоды – биоклиматические индексы. В их многочисленном ряду выделяют так называемые индексы «холодового стресса» – показатели суровости погоды как факторы, ограничивающие пребывание человека на открытом воздухе и обуславливающие потребность в соответствующей одежде. Среди них имеют приложения индексы: Бодмана, Сайпла-Пассела, Хилла, Адаменко, Арнольди, Белкина, Осокина, Хайруллина и др. [2–4].

Цель данной работы – разработка оптимального варианта биоклиматического показателя, позволяющего оценить на некотором уровне безопасность работы персонала на открытом воздухе без обморожений.

Поставленная цель достигается построением обобщенного климатического показателя возможности безопасной работы в жестких холодных условиях с использованием обобщенной функции желательности Харрингтона [5].

В качестве исходной информации использовались данные реанализа NCEP/DOE AMIP-II [6, 7]: значения температуры воздуха и составляющих скорости ветра (меридианальной, зональной) в узлах регулярной сетки разрешением 2,5° на уровне 1000 гПа в срок 12 час (Всемирного скоординированного времени) за период 1997–2012 гг.

Итак, рассматривается ряд ветро-холодовых индексов (с обозначениями: T – температура воздуха, °С; V – скорость ветра, м/с).

Согласно действующим в РФ Методическим рекомендациям [1] введен интегральный показатель условий охлаждения (обморожения) – *ИПУОО*, определяемый согласно зависимости (в баллах):

$$ИПУОО = 34,654 - 0,4664T + 0,6337V \quad (1)$$

Когда имеется риск переохлаждения и обморожения открытых участков кожи, показательным является ветро-холодовой индекс Сайпла-Пассела WCI (wind chill index) [8], который выражается в шкале величины теплотерь (ккал $\text{ч}^{-1}\text{м}^{-2}$):

$$WCI = (10,45 + 10 V^{0,5} - V)(33 - T) \quad (2)$$

Индекс (2) можно представить и в виде ветро-холодового эквивалента температуры ($^{\circ}\text{C}$) WCT_{SP} (wind chill equivalent temperature) [9]:

$$WCT_{SP} = 33 + (T - 33)(0,474 + 0,454V^{0,5} - 0,0454V) \quad (3)$$

Известен ветро-холодовой индекс Стедмана [10], разработанный в виде регрессионной модели эквивалентной температуры, $^{\circ}\text{C}$:

$$WCT_S = 1,41 - 1,162V + 0,98T + 0,0124V^2 + 0,0185TV. \quad (4)$$

Национальной службой погоды США (National Weather Service, NWS) и Метеорологической службой Канады используется индекс приведенной температуры [11], $^{\circ}\text{C}$:

$$WCT_{NWS} = 13,12 + 0,6215 T - 11,37 (3,6V)^{0,16} + 0,3965 T (3,6V)^{0,16}. \quad (5)$$

На рисунке 1 представлены, для примера, результаты расчета по индексу Сайпла-Пассела (2): распределение числа дней в январе с условиями погоды $WCI \geq 1000$ ккал $\text{ч}^{-1}\text{м}^{-2}$ (значение $WCI=1000$ ккал $\text{ч}^{-1}\text{м}^{-2}$ интерпретируется как «очень холодно» [3]).

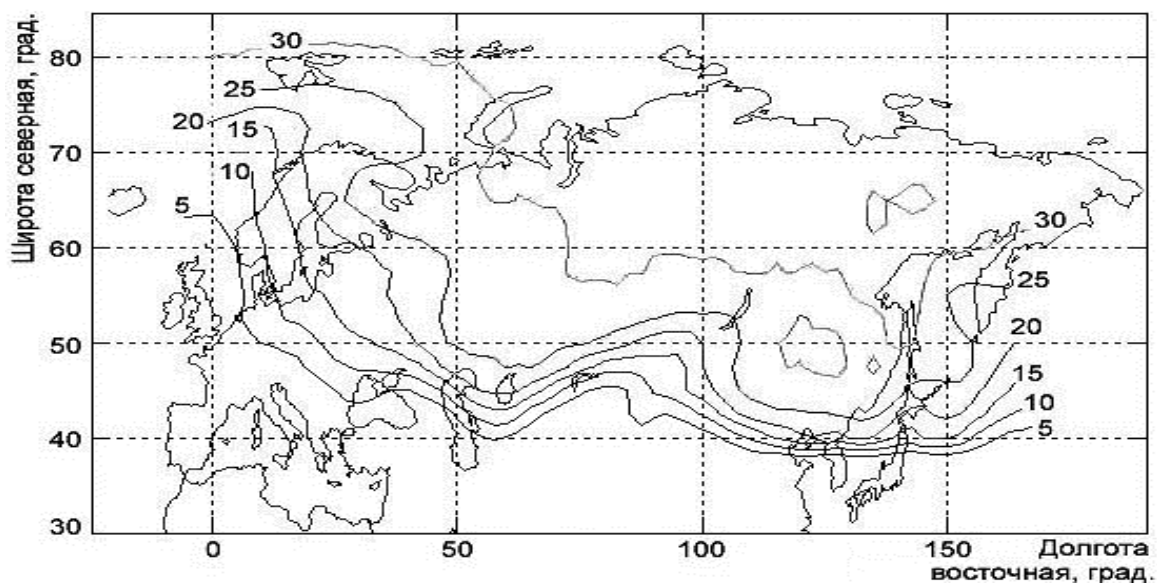


Рис. 1. Распределение числа дней в январе с условиями суровее, чем «очень холодно» ($WCI \geq 1000$ ккал $\text{ч}^{-1}\text{м}^{-2}$) на карте Российской Федерации.

Как следует из рис. 1, почти вся территория России (кроме европейской части) имеет больше 25 дней в январе с условиями $WCI \geq 1000$. Поэтому данная величина не показательна для рассматриваемой территории АЗРФ. Кроме того, картина распределения отдельного ветро-холодового индекса, например, (1)–(5), не информативна для лица, принимающего решение (руководителя), которому для планирования работ в суровых погодных условиях нужны сведения о риске обморожения персонала.

Сравнение зависимостей (3)–(5) температурного эквивалента холода подходов Сайпла-Пассела, Стедмана и NWS от скорости ветра при фиксированном значении температуры наружного воздуха, например, $T = -15$ $^{\circ}\text{C}$, отображено на рис. 2.

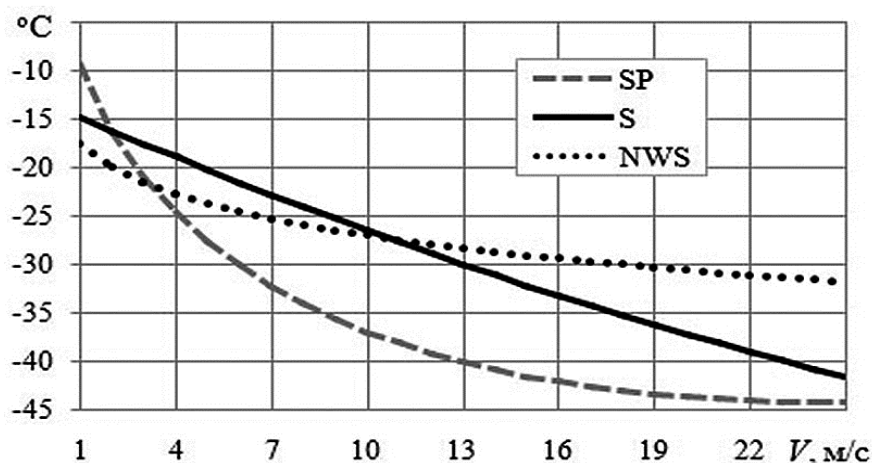


Рис. 2. Сравнение зависимостей температурного эквивалента от скорости ветра (при постоянной температуре воздуха $T = -15^{\circ}\text{C}$) подходов Сайпла-Пассела (SP), Седмана (S) и NWS.

Из рисунка 2 видно, что расчетные значения условного ветро-холодового эквивалента температуры Сайпла-Пассела, Седмана и NWS различаются. При этом индекс WCT_{SP} показывает значительное снижение эквивалента при скоростях ветра 10–15 м/с по сравнению с WCT_S и WCT_{NWS} ; при сильном ветре ($V > 20$ м/с) показатели WCT_{SP} и WCT_S занижают величину температурного эквивалента по сравнению с индексом NWS.

Таким образом, индексы холодового стресса, например, представленные (1)–(5), используемые в мировой практике метеорологического обеспечения потребителей в жестких погодных условиях, при одних и тех же предикторах (T , V) по-разному, в различной мере, дают оценку риска охлаждения или обморожения.

Предлагается построение обобщенного показателя жесткости климата путем преобразования натуральных значений частных показателей в безразмерную шкалу, относящуюся к психофизическим (вербально-числовым) шкалам, в частности, шкалу желательности Харрингтона [5].

Пусть имеется ряд p частных биоклиматических показателей $y^{(j)}$, $j = 1, 2, \dots, p$, характеризующих свойства жесткости погоды. Введем обозначения:

- $y^{(1)}$ – показатель ИИУОО (1), баллы;
- $y^{(2)}$ – индекс Сайпла-Пассела (2), $\text{ккал ч}^{-1}\text{м}^{-2}$;
- $y^{(3)}$ – индекс Седмана (4), $^{\circ}\text{C}$;
- $y^{(4)}$ – индекс NWS (5), $^{\circ}\text{C}$.

Каждый показатель имеет свой физический смысл и свою размерность. Чтобы объединять или сравнивать различные параметры, необходимо, во-первых, ввести для каждого некоторую безразмерную шкалу. Во-вторых, установить однотипную шкалу, чтобы параметры были сравнимы. Далее определяется правило комбинирования частных параметров в обобщенный показатель.

Функция Харрингтона (с интервалом изменений $[0; 1]$) имеет базовые точки (0,2; 0,37; 0,63; 0,8), что позволяет задавать границы градаций желательности строгим образом. Это даёт возможность не только оценить абсолютные величины показателей, но и выявить, насколько они близки к области ухудшения, руководствуясь интервальными диапазонами с соответствующими термами: $[0; 0,20]$ – «очень плохо»; $[0,20; 0,37]$ – «плохо»; $[0,37; 0,63]$ – «удовлетворительно»; $[0,63; 0,80]$ – «хорошо»; $[0,80; 1,0]$ – «очень хорошо» [5].

Для показателей жесткости погоды существуют односторонние ограничения в виде $y^{(j)} \geq y^{(j)}_{\min}$, т.е. чем выше значение j -го показателя, тем слабее (менее опасна) жесткость погоды. В этом случае для перевода в шкалу желательности применяется экспоненциальная зависимость [5]:

$$d(y^{(j)}) = \exp(-\exp(-y^{(j)})), \quad (6)$$

где $d(y^{(j)})$ – частная функция желательности; $y^{(j)}$ – кодированное значение признака $y^{(j)}$ (представленное в условном масштабе).

При ограничении $y^{(j)} \leq y^{(j)}_{\max}$, используется «зеркальная» функция Харрингтона

$$d(y^{(j)}) = \exp(-\exp(y^{(j)})). \quad (7)$$

Кодирование признака $y^{(j)}$ производится по линейной зависимости:

$$y^{(j)} = b_0 + b_1 y^{(j)}, \tag{8}$$

где коэффициенты b_0 и b_1 определяются заданием для двух значений параметров $y^{(j)}$ соответствующих значений $d(y^{(j)})$ в интервале $0,2 < d < 0,8$.

В таблице представлены рассчитанные значения частных показателей жесткости погоды и оценки коэффициентов b_0 и b_1 для их кодирования с учетом экспертных оценок параметров в шкале желательности Харрингтона.

Параметры	ШПЧОО		WCI		WCT _S		WCT _{NWS}	
	$y_i^{(j)}$	34	47	1000	1400	-9	-35	-9
d_i	0,8	0,2	0,8	0,37	0,8	0,2	0,8	0,2
b_0	6,6674		5,2500		2,1838		2,4358	
b_1	0,1520		0,0037		0,0760		0,1040	

Имея несколько критериев жесткости погоды, преобразованных в шкалу желательности (значения $d(y^{(j)})$ для j -го параметра), предлагается использовать обобщенный показатель D жесткости метеорологических условий как среднюю геометрическую:

$$D = \sqrt[p]{\prod_{j=1}^p d_j}. \tag{9}$$

Методика расчета оптимального обобщенного показателя жесткости климата за конкретный месяц следующая.

Рассматривается определенный географический пункт (или узел регулярной сетки). Формируется архивная выборка для конкретного месяца (за ряд лет) суточных значений предикторов: температуры воздуха и скорости ветра. Для каждого комплекса (T_i, V_i) , $i = 1, \dots, n$ (n – объем выборки) рассчитываются значения используемых индексов жесткости погоды $y^{(j)}$ и определяются соответствующие частные функции желательности $d(y^{(j)})$; по формуле (9) рассчитывается значение обобщенного показателя D_i .

В зависимости от важности выполняемой задачи руководителем работ назначается критериальное условие для значений функции желательности, например, $D_i \geq 0,37$ – условия жесткости погоды не хуже удовлетворительных (согласно терму «удовлетворительные и лучше»). Выполняется процедура отбора из архивной выборки значений D_i , которые удовлетворяют выбранному условию, по результатам которой определяется число дней в месяце с данными условиями жесткости погоды.

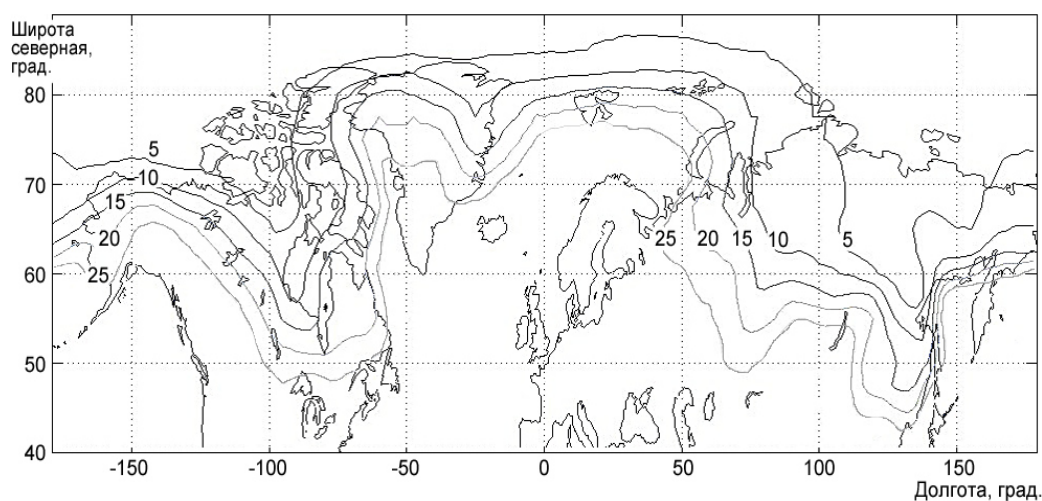


Рис. 3. Распределение числа дней в декабре с условиями жесткости погоды «удовлетворительные и лучше».

Например, на рисунке 3 представлено проведенное районирование территории северного полушария по специализированному климатическому показателю D для декабря; показано распределение числа дней в месяце с условиями жесткости погоды не хуже удовлетворительных (т.е. соответствующими безопасной работе персонала на открытом воздухе без обморожений незащищенных участков тела).

Представленная модель и методика расчета специализированного климатического показателя, а также полученная на их основе графическая информация районирования территории по жесткости метеорологических условий, могут способствовать эффективному планированию работ в АЗРФ.

SPECIALIZED CLIMATIC INDEX FOR ESTIMATION OF SAFETY OF WORKS OUTSIDE IN EXTREMELY COLD WEATHER CONDITIONS

Y.V. Shipko, E.V. Shuvakin

The model of specialized climatic index as the overall bioclimatic parameter for extremely cold weather conditions with the use of Harrington desirability function is presented. The procedure of index calculation with use of some private indices of cold stress is given. Based on the specialized index, the Arctic area of Russian Federation is categorized to levels of the presence of days in month with extreme cold not below than satisfactory.

KEYWORDS: THE OVERALL BIOCLIMATIC INDEX, DESIRABILITY FUNCTION.

ЛИТЕРАТУРА

1. МР 2.2.7.2129-06. Методические рекомендации. Физиология труда и эргономика: Режимы труда и отдыха работающих в холодное время на открытой территории или в неотапливаемых помещениях. Введены в действ. 01. 11.2006. 12 с.
2. Климат и здоровье человека: Труды Международного симпозиума ВМО/ВОЗ/ ЮНЕП. Т.1. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 304 с.
3. Руководство по специализированному климатологическому обслуживанию экономики/ Под ред. Н.В. Кобышевой. СПб.: ГГО. 2008. 334 с.
4. Хайруллин К.Ш., Карпенко В.Н. Биоклиматические ресурсы России// Энциклопедия климатических ресурсов Российской Федерации. СПб.: Гидрометеиздат, 2005. С. 25–46.
5. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 280 с.
6. Kanamitsu M. et al. NCEP/DOE AMIP-II Reanalysis (R-2)// Bull. American Meteor. Soc., 2002. V. 83. P.1631–1643.
7. NCEP/DOE AMIP-II Reanalysis [Электронный ресурс]. URL: http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep_reanalysis2.html (дата обращения: 24.09.2013).
8. Siple P.A., Passel C.F. Measurements of dry atmospheric cooling in sub-freezing temperatures// Proc. Amer. Philos. Soc., 1945. V. 89. P. 177–199.
9. Groen G. Wind chill equivalent temperature (WCET). Climatology and scenarios for Schiphol Airport. KNMI, 2009 [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://www.knmi.nl/samenw/kbs/doc/WCET-Schiphol.pdf> (дата обращения: 10.12.2013).
10. Quayle R.G., Steadman R.G. The Steadman wind chill: an improvement over present scales// Amer. Meteorological Soc., 1998. V. 13. P. 1187–1193.
11. Report on wind chill temperature and extreme heat indices: evaluation and improvement projects. Washington: DC/NOAA, 2003 [Электронный ресурс]. URL: http://www.ofcm.gov/jagti/r19-ti-plan/pdf/entire_r19_ti.pdf (дата обращения: 10.12.2013).