

Тарасенко А.А., канд. техн. наук, докторант, УГЗУ

ОЦЕНКА ТЕПЛООВОГО ФОНА ПРИ МОНИТОРИНГЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРА

(представлено д-ром техн. наук Абрамовым Ю.А.)

Предложена математическая модель распределения напряженности солнечной радиации и суточных сумм тепла по поверхности рельефа, которая может быть использована при идентификации условий самовоспламенения горючих веществ и динамики влажности растительного горючего материала

Постановка проблемы. Одной из компонент теплового баланса, под действием которого формируется влажность слоя растительного горючего материала (РГМ), является тепло, поступающее в результате прямой солнечной радиации. Быстрое пожарное созревание РГМ южных склонов в условиях холмистой либо горной местности, в засушливую погоду приводит к возникновению чрезвычайных лесопожарных ситуаций [1], и, как следствие, - возможности возникновения и распространения лесных пожаров. В силу неоднородности топографических условий, годовых и суточных изменений положения солнца, влажность РГМ подвержена пространственно-временным изменениям, что непосредственно влияет на динамику контура ландшафтного пожара [2], развивающегося по слою РГМ.

Таким образом, для прогнозирования возможности возникновения некоторых видов техногенных и природных ЧС, динамики их параметров, существует необходимость в определении напряженности солнечной радиации в условиях произвольного рельефа.

Анализ последних исследований и публикаций. В работах [3-4] приведены модели и экспериментальные данные для напряженности солнечной радиации [3] и суточных сумм тепла [4] на горизонтальной либо наклонной площадке для отдельных значений наклона и экспозиции в зависимости от географической широты, времени года и суток.

При этом в работе [3] допущены ошибки в определении азимута солнца, в работе [4] вывод выражения для определения суточных сумм тепла справедлив лишь для горизонтальной площад-

ки. Данные модели неприменимы для произвольного рельефа в силу отсутствия математической модели поверхности рельефа, определений угла склона и экспозиции.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является создание математической модели углового коэффициента инсоляции и нахождение суточных сумм тепла для поверхности реального рельефа.

В [5] на основе векторизированных карт высотных изолиний получена модель поверхности рельефа $Z(x, y)$ в виде

$$Z(x, y) = \sum_{s=0}^{S-1} \sum_{t=0}^{T-1} Z_{st}(x, y) (\eta(x - x_s) - \eta(x - x_{s+1})) (\eta(y - y_t) - \eta(y - y_{t+1})), \quad (1)$$

где $\eta(x), \eta(y)$ - функции Хэвисайда; S, T - количество узлов интерполяции по абсциссе и ординате; x_s, y_t - значения абсциссы и ординаты в узлах регулярной решетки ($s = 0 \dots S; t = 0 \dots T$); $Z_{st}(x, y)$ - бикубические сплайны

$$Z_{st}(x, y) = \sum_{u=1}^4 \sum_{v=1}^4 a_{uv}^{st} (x - x_s)^{v-1} (y - y_t)^{u-1}, \quad (2)$$

коэффициенты которых a_{uv}^{st} получены из условий гладкой сшивки $Z_{st}(x, y)$ с использованием метода Кунса [6].

На рис.1 приведен график поверхности реального рельефа (балка Терновая у юго-восточной окраины г. Харькова - $36^{\circ}25'$ в.д., $49^{\circ}55'$ с.ш.), полученной на основании модели (1)-(2). Направлению на север соответствует положительное направление оси OY .

Поверхность рельефа $Z(x, y)$ в каждой точке (x, y) характеризуется двумя параметрами – крутизной склона $\alpha(\varphi, x, y)$, отмеряемой от горизонтальной плоскости в азимутальном направлении φ , которое в свою очередь отмеряется от направления максимальной крутизны и изменяется в пределах $-\pi \leq \varphi < \pi$ и экспозицией $\beta(x, y)$. Согласно данному определению максимальная крутизна склона $\alpha_{\max}(x, y) = \alpha(0, x, y)$.

$$\alpha_{\max}(x, y) = \arcsin \left(\frac{\sqrt{[\partial Z(x, y)/\partial x]^2 + [\partial Z(x, y)/\partial y]^2}}{\sqrt{[\partial Z(x, y)/\partial x]^2 + [\partial Z(x, y)/\partial y]^2 + 1}} \right). \quad (3)$$

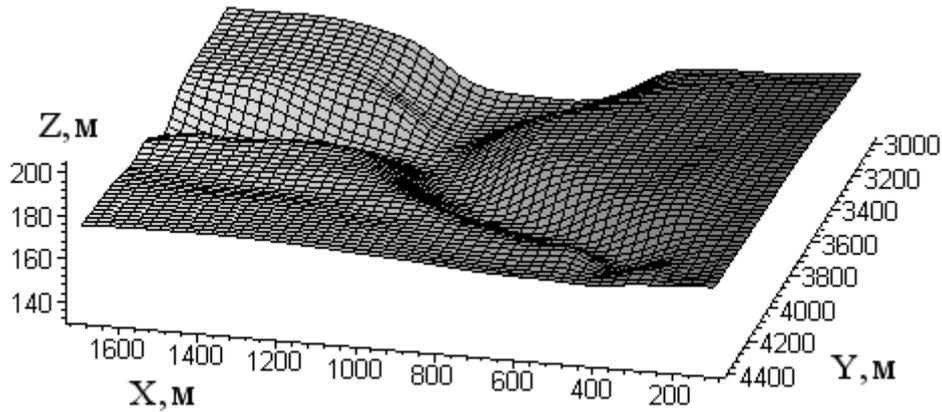


Рис. 1 – График поверхности рельефа северного окончания балки Терновой

В каждой точке (x, y) можно задать направление, противоположное направлению максимальной крутизны склона, в виде вектора $\vec{c} = \left(-\frac{\partial Z(x, y)}{\partial x}; -\frac{\partial Z(x, y)}{\partial y}; 0 \right)$. Экспозицию склона β в точке (x, y) определим как угол между направлением на север и вектором \vec{c} , отмеряемый против часовой стрелки (направление на север соответствует положительному направлению оси OY). В этом случае северному склону соответствует нулевая экспозиция, западному - $\beta = \pi/2$, южному - $\beta = \pi$, восточному - $\beta = 3\pi/2$. Для произвольного склона выражение для экспозиции удобно записать в виде

$$\beta = \pi - \operatorname{arctg} \left(\frac{\partial Z(x, y)}{\partial x}; \frac{\partial Z(x, y)}{\partial y} \right). \quad (4)$$

При этом использование функции $\operatorname{arctg}(y, x) = -i \cdot \ln \left(\frac{x + i \cdot y}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right)$; $-\pi < \operatorname{arctg}(y, x) \leq \pi$; комплексного аргумента $x + i \cdot y$, позволяет записать (4) в компактном виде (с учетом знаков y и x).

Для рельефа $Z(x, y)$, найдем мощность прямой солнечной радиации.

Значение излучательной компоненты теплового потока, проходящей на единицу земной поверхности и имеющей в физической географии название напряжение солнечной радиации, определяется крутизной склона $\alpha_{\max}(x, y)$, углом экспозиции $\beta(x, y)$, географической широтой, временем года и временем суток (определяющих динамику высоты и азимута солнца), альбедо подстилающей поверхности, прозрачностью атмосферы и облачностью [4]. Под влиянием данных факторов формируются суточные суммы тепла.

Найдем их значение в каждой точке поверхности рельефа $Z(x, y)$.

Напряжение солнечной радиации для точки склона, характеризуемой крутизной склона α_{\max} и экспозицией β , вычисляется, согласно [3], как

$$J = J_0 K, \quad (5)$$

где $J_0 = 1.94 \text{ кал} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{мин}^{-1}$ [3] - т.н. солнечная постоянная - напряжение солнечной радиации на перпендикулярную лучам поверхность; K - угловой коэффициент облучения [3], $0 \leq K \leq 1$

$$K = \cos\left(\frac{\pi h}{180^\circ}\right) \sin\left(\frac{\pi \beta}{180^\circ}\right) \cos\left(\frac{\pi(\tilde{A} - \beta)}{180^\circ}\right) + \sin\left(\frac{\pi h}{180^\circ}\right) \cos\left(\frac{\alpha_{\max}}{180^\circ}\right). \quad (6)$$

Отметим недостаточность выражения (5), в силу того, что в нем не учтены альбедо подстилающей поверхности, прозрачность атмосферы, облачность и длина оптического пути солнечного луча сквозь атмосферу, различная в разное время дня.

В выражении (6) величина

$$h = \frac{180^\circ}{\pi} \arcsin \left[\sin\left(\frac{\pi \phi}{180^\circ}\right) \sin\left(\frac{\pi \delta}{180^\circ}\right) + \cos\left(\frac{\pi \phi}{180^\circ}\right) \cos\left(\frac{\pi \delta}{180^\circ}\right) \cos\left(\frac{\pi \omega}{180^\circ}\right) \right] \quad (7)$$

определяет высоту солнца h над горизонтом (градусы) [3]. Величина

$$\tilde{A} = \frac{180^\circ}{\pi} \arcsin \left[\cos \left(\frac{\pi \delta}{180^\circ} \right) \sec \left(\frac{\pi h}{180^\circ} \right) \sin(\omega) \right] \quad (8)$$

определяет азимут солнца (градусы). Азимут отсчитывается от направления на север по часовой стрелке [4].

В выражениях (6)-(8):

- ϕ - географическая широта (градусы) - положительная для северного и отрицательная для южного полушария;
- δ - годовое склонение солнца (градусы);

$$\delta = 23^\circ 26' 43'' \cos(2\pi T / 365.29 \text{ сутки}); \quad (9)$$

- T - время года (сутки), отмеряемое от дня летнего солнцестояния;

- ω - часовой угол солнца (радианы), отмеряемый в плоскости эклиптики по часовой стрелке от угла, соответствующего астрономическому полудню

$$\omega = 2\pi / (24 \cdot 60 \text{ мин}) t; \quad (10)$$

- t - время (минуты), отмеряемое от астрономического полудня.

Отметим ошибочность выражения (8), приведенного в [3], которое приводит к нефизичному результату. Проведенный нами вывод показал, что правильное определение азимута имеет вид

$$A = \begin{cases} -\tilde{A}, & t \leq t_1; \\ 180^\circ + \tilde{A}, & t \leq t_2; \\ 360^\circ - \tilde{A}, & t > t_2, \end{cases} \quad (11)$$

где $t_1 \in [-\pi; 0]$; $t_2 \in [0; \pi]$ - решения уравнения $\frac{\partial \tilde{A}}{\partial t} = 0$. Поэтому необходимо в (6) заменить \tilde{A} на A . Выражение (11) не справедливо для тропических широт.

Модель (1)-(11) дозволяє вычислити значення коефіцієнта $K(x,y)$ для реального рельєфа $Z(x,y)$ на заданній широті $\phi \in [-90^\circ; -23^\circ] \cup [23^\circ; 90^\circ]$ в різне время суток t і різне время года T . На рис. 2 приведені графіки $K(x,y)$ для різного времени суток.

Знання коефіцієнта $K(x,y)$ при учете параметрів, характеризуючих свойства атмосфери і підстилаючої поверхності, дозволяє находить сумми тепла $Q(x,y,t)$ от сонячної радіації, приходящися на єдиничную площадку поверхності рельєфа к моменту времени t . Сделав сдвигку $\tilde{t} = 12$ часов $-t$ удобно отсчитывать время от астрономической полуночи.

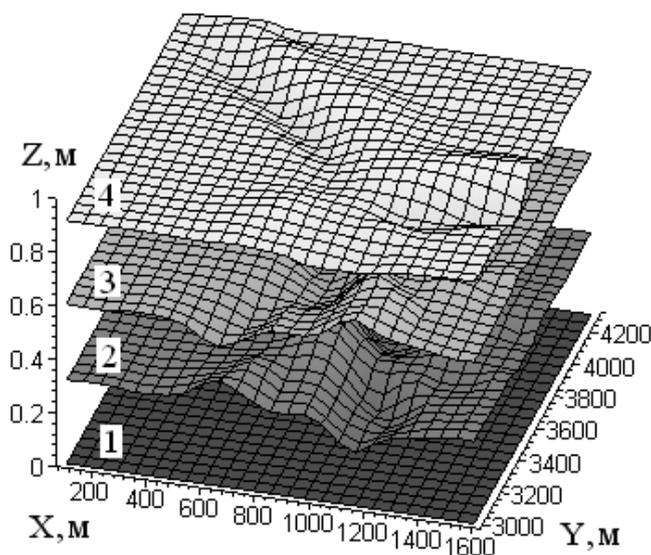


Рис. 2 – График коэффициента $K(x,y)$ в день летнего солнцестояния. Поверхности: 1- $\tilde{t} = 1$ час; 2- $\tilde{t} = 6$ часов; 3- $\tilde{t} = 16$ часов; 4- $\tilde{t} = 12$ часов

В этом случае радиационная сумма тепла пропорциональна интегралу

$$Q(x,y) \sim \int_0^{\tilde{t}} K(x,y,t) dt. \quad (12)$$

Вычисление данного интеграла осуществлялось численно методом прямоугольников в узлах регулярной сетки $[x_s; y_i]$,

$\hat{s} = 0 \dots 2S$; $\hat{t} = 0 \dots 2T$ с временным шагом $\Delta t = 1$ час и с последующей билинейной интерполяцией [5].

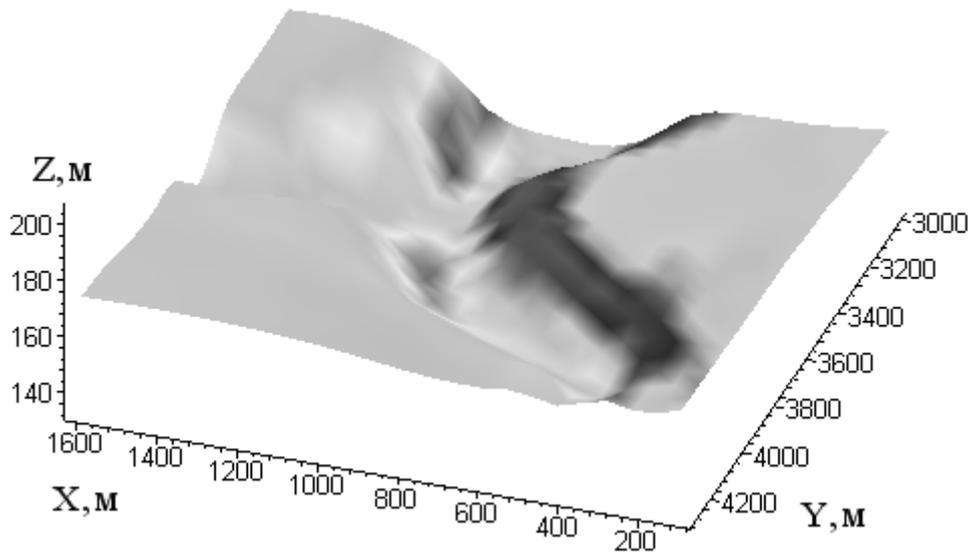


Рис. 3 – График интеграла (12) в день летнего солнцестояния, $\tilde{t} = 20$ часов

Результат вычисления данного интеграла, приведенный в виде окраски поверхности рельефа на рис. 3, позволяет наглядно представить относительное пространственное распределение значений суточной суммы тепла (для $\tilde{t} = 24$ часа).

Для определения абсолютных значений сумм тепла необходимо учесть параметры, характеризующих свойства атмосферы и подстилающей поверхности.

Выводы. Предложена математическая модель распределения напряженности солнечной радиации и суточных сумм тепла по поверхности рельефа, которая может быть использована при создании модели динамики влажности растительного горючего материала в условиях горной местности

ЛИТЕРАТУРА

1. Подрезов Ю.В., Шахраманьян М.А. Методологические основы прогнозирования динамики чрезвычайных лесопожарных ситуаций. – М.: ВНИИ ГОЧС, 2001. – 266 с.
2. Калиновский А.Я., Созник А.П. Модель распространения ландшафтного пожара с учетом изменения влажности горюче-

- го матеріала. Науковий вісник будівництва: Сб. науч. тр. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2005. – Вип. 31. – С. 291-295.
3. Захарова А.Ф. Радиационный режим северных и южных склонов в зависимости от географической широты. Ученые записки ЛГУ, №269. Серия географические науки. Вип. 13. КЛИМАТОЛОГИЯ. Ленинград : ЛГУ, 1959, 185 с.
 4. Хригиан А.Х. Физика атмосферы. Ленинград: Гидрометеорологическое из-во, 1969 г. 647 с.
 5. Абрамов Ю.А., Тарасенко А.А. Формирование априорной информации для систем ликвидации последствий чрезвычайной ситуации // Проблемы надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗ України. Вип. 6. – Харків: УЦЗУ, 2007.- С. 11-22.
 6. Алберг Дж., Нильсон Э., Уолш Дж. Теория сплайнов и ее приложения. – М.: Мир, 1972. – 316 с.

УДК 614. 8

*Тесленко О.О., канд. фіз.-мат. наук., доц., УЦЗУ,
Михайлюк О.П., канд. хім. наук, проф., УЦЗУ,
Олійник В.В., канд. техн. наук, нач. каф., УЦЗУ*

ДОСВІД ЗАСТОСУВАННЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДО ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ПІДВИЩЕНОЇ НЕБЕЗПЕКИ

(представлено д-ром техн. наук Кривцовою В.І.)

Запропонована імітаційна модель потенційно небезпечного об'єкту. Вивчено досвід дослідження статистичної поведінки цієї моделі щодо процедури ідентифікації. Пропонується мова до моделювання щодо визначення властивостей імітаційної моделі

Постановка проблеми. Одним із кроків зменшення ризику надзвичайних ситуацій (НС) на потенційно небезпечних об'єктах (ПНО) є робота по виявленню потенційних джерел НС, прогнозуванню і запобіганню НС. Одним із важливих напрямів даної роботи є своєчасне проорокування величини та характеру аварійної ситуації, основною задачею якого є передбачення всіх можливостей що можуть відбуватися до й під час аварії. При цьому важливою залишається кількісна оцінка проявів аварії. Розв'язання даної