

Разрушает озон и водяной пар (начиная от 800–1100 К), который образуется вследствие испарения воды, используемой для тушения пожаров. Вспомним – их приблизительно 7,5 миллионов ежегодно [5]. При этом образуются молекулярные кислород и водород либо радикалы. Водяной пар, образовавшийся вследствие самого горения, безусловно, также вносит свой вклад в отрицательные последствия пожаров для атмосферных процессов и способен нанести ущерб окружающей среде.

Таким образом, данные расчетов прямо указывают на весьма отрицательную роль пожаров, продуктов горения на озон, содержащийся в атмосфере. Вместе с сильными восходящими потоками они легко могут достигнуть стратосферы, и их взаимодействие с O_3 будет способствовать увеличению “озоновой дыры”.

Полученные результаты будут полезны для последующей оценки опасных факторов пожаров, вредных продуктов процессов горения, экологических последствий их влияния на биосферу, флору, фауну, здоровье людей и, возможно, для дальнейшего совершенствования средств пожаротушения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Асеева Р.М., Заиков Г.Е. *Горение полимерных материалов*. – М., Наука, 1981. – 280 с.
2. *Системный анализ и проблемы пожарной безопасности народного хозяйства / под ред. Брушлинского Н.Н.* – М., Стройиздат, 1988. – 413 с.
3. Будыко М.И. *Глобальная экология*. – М., Мысль, 1977. – 327 с.
4. V.V. Oshchapovsky, V.V. Kovalyshyn, S.L. Kuskovets et al. *Proceedings. 6th International Symposium and Exhibition on Environmental Contamination in Central and Eastern Europe (September 1-4, 2003, Prague). Abstract No 237. Prague, 2003. P.147.*
5. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В., Вагнер П. *Проблема пожаров в мире в начале XXI столетия. // «Пожаровзрывобезопасность», 2003, т. 12, № 1, с.7-14.*
6. Карпетьянц М.Х. *Химическая термодинамика*. – М., Химия, 1975. – 584 с.
7. Киреев В.А. *Методы практических расчетов в термодинамике химических реакций*. – М., Химия, 1975. – 536 с.

УДК 614.895:5.622.445.1

А.А.Гаврилко, Б.В.Болибрух

(Львовский институт пожарной безопасности МЧС Украины),

В.В.Карпенкин (НИИ горноспасательного дела и пожарной безопасности «Респиратор»)

ДОПУСТИМАЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ РАБОТЫ ПРИ ЭРГОТЕРМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

В статье рассматриваются вопросы допустимой продолжительности работы членов аварийно-спасательных команд при эрготермических нагрузках. Рассматривается математическая модель, на базе которой составлена компьютерная программа «Термоэкстрем», позволяющая учитывать 13 исходных параметров (факторов) и получать в результате расчета значения восьми параметров, в том числе значения тепловых потоков, участвующих в процессе теплообмена человека.

В современном производственном процессе, а тем более при возникновении аварийных ситуаций, человеку нередко приходится работать в микроклиматических условиях, существенно отклоняющихся от нормальных. Это относится, прежде всего, к членам аварийно-

спасательных команд (пожарные, горноспасатели и др.). Для сохранения здоровья работающих, предупреждения перегревания организма и тепловых травм, возникает актуальная задача – нормирование продолжительности пребывания и работы человека в таких условиях. Отечественные и зарубежные специалисты уделяют много внимания изучению влияния нагревающей окружающей среды на организм человека [1, 2, 3] и разработке безопасных параметров, регламентирующих пребывание человека в условиях нагревающего микроклимата [4, 5]. Однако, при нормировании продолжительности пребывания в таких условиях учитывается ограниченное количество участвующих в процессе теплообмена факторов [6]. Поэтому задача состоит в более полном учете исходных данных, влияющих на продолжительность пребывания человека в условиях нагревающего микроклимата.

В окружающей среде с нормальными микроклиматическими условиями при работе средней тяжести организм человека сохраняет тепловое равновесие. При этом количество теплоты, поступающей извне и выделяющейся в организме, равно количеству теплоты, отводимой организмом во внешнюю среду. Тепловое равновесие поддерживается благодаря функционированию системы терморегуляции организма. Если теплоотдача в окружающую среду естественным путем становится затруднительной, то система терморегуляции организма начинает выделять пот на поверхности кожи, испарение которого способствует интенсивному теплоотводу. Кроме того, усиливается теплоотвод от внутреннего ядра тела к его поверхности, сопровождающийся расширением кровеносных сосудов на поверхности кожи. Это способствует более интенсивному переносу теплоты изнутри тела наружу и сопровождается усилением сердечной деятельности и увеличением частоты сердечных сокращений. При усиленном тепловом воздействии окружающей среды система терморегуляции организма не может обеспечить необходимый для стабилизации теплового равновесия теплоотвод. В этом случае организм человека начинает нагреваться, вначале до допустимого теплового состояния (ДТС), а затем до предельного теплового состояния (ПТС), после чего наступает прямая угроза теплового удара.

Теплообмен организма человека с окружающей средой обусловлен многими факторами. Наиболее адекватно и комплексно тепловое состояние человека при эрготермической нагрузке отражает допустимая продолжительность работы (ДПР) при определенных условиях, которая ограничивается нормированным ДТС организма. Оно, в свою очередь, характеризуется допустимыми значениями физиологических параметров [7]. Наиболее полную картину результатов теплового воздействия окружающей среды на организм человека можно получить аналитическим методом путем построения соответствующей математической модели, учитывающей большое количество участвующих в процессе теплообмена факторов.

Предлагаемая математическая модель и составленная на ее базе компьютерная программа «Термоэкстрем» позволяют учитывать 13 исходных параметров (факторов) и получать в результате расчета значения восьми параметров, в том числе значения тепловых потоков, участвующих в процессе теплообмена человека с окружающей средой, допустимую и предельную продолжительность работы, а также коэффициент теплового напряжения организма. Базовая матмодель [5] упрощена и модифицирована применительно к работе аварийно-спасательных команд (пожарных, горноспасателей и др.). В состав матмодели входят следующие формулы:

$$v_r = v + 3 \cdot 10^{-3} \cdot \Phi_m - 0,3; \quad (1)$$

$$h_c = 3,5 + 5,2v_r \quad (\text{при } v < 1 \text{ м/с}); \quad (2)$$

$$h_c = 8,7v_r^{0,6} \quad (\text{при } v \geq 1 \text{ м/с}); \quad (3)$$

$$S=718 \cdot 10^{-5} \cdot m^{0,425} \cdot h^{0,725}; \quad (4)$$

$$\Phi_c=0,8 \cdot S \cdot h_c(t_c-35)/(1+0,155h_c \cdot R); \quad (5)$$

$$\Phi_r=0,8 \cdot 4,23 \cdot 10^{-8} \cdot S((t_c+\Delta t_r+273)^4-9 \cdot 10^9)/(0,85R+1); \quad (6)$$

$$p_c=\exp((1514+23,6(t_c-\Delta t))/(236+t_c-\Delta t))-66 \cdot 10^{-5} p_a \Delta t; \quad (7)$$

где v_r – относительная скорость движения воздуха, м/с; v – скорость движения воздуха, м/с; Φ_m – энерготраты организма человека, Вт; h_c – коэффициент теплообмена конвекцией, Вт/(м²·К); S – площадь поверхности тела человека, м²; m – масса тела человека, кг; h – рост человека, см; Φ_c – теплообмен конвекцией, Вт; R – термическое сопротивление одежды, clo; Φ_r – теплообмен излучением, Вт; t_c – температура воздуха по сухому термометру, °С; Δt_r – алгебраическая разница между температурами поверхностей помещения и воздуха, °С; p_c – парциальное давление водяного пара в воздухе, Па. Δt – психометрическая разница температур воздуха, °С; p_a – атмосферное давление, Па.

Параметр $\Delta t=f(V)$ в блоке расчета программы определяется при помощи операции цикла с использованием формулы

$$V=(\exp((1514+23,6(t_c-\Delta t))/(236+t_c-\Delta t))-66 \cdot 10^{-5} p_a \Delta t) \cdot 100 / \exp((1514+23,6 t_c)/(236+t_c)). \quad (8)$$

$$\Phi_{em} = 0,8 \cdot 0,011 h_c \cdot S(p_c - 5623)/(1 + 0,143 h_c \cdot R); \quad (9)$$

$$\Phi_e = \Phi_m(\mu - 1) - \Phi_c - \Phi_r - \Phi_d; \quad (10)$$

$$W = \Phi_e / \Phi_{em}; \quad (11)$$

$$\Phi_s = \Phi_c + \Phi_r + \Phi_{em} + \Phi_m(1 - \mu) + \Phi_d; \quad (12)$$

$$\tau = 58m \cdot \Delta t_n / \Phi_s; \quad (13)$$

$$\tau_n = 1,4 \tau; \quad (14)$$

где V – относительная влажность воздуха, %; Φ_{em} – максимально возможный теплообмен за счет испарения пота, Вт; Φ_e – теплообмен за счет испарения пота, необходимый для термической стабилизации организма человека, Вт; μ – КПД человека при выполнении им работы; Φ_d – теплообмен за счет дыхательного аппарата, Вт; W – коэффициент теплового напряжения организма, относит. ед.; Φ_s – тепловой поток, направленный в организм человека, Вт; τ – допустимая продолжительность работы, мин; Δt_n – допустимый прирост средней температуры тела, °С. τ_n – предельная продолжительность работы, мин.

Блок-схема основного варианта программы показана на рис. 1.

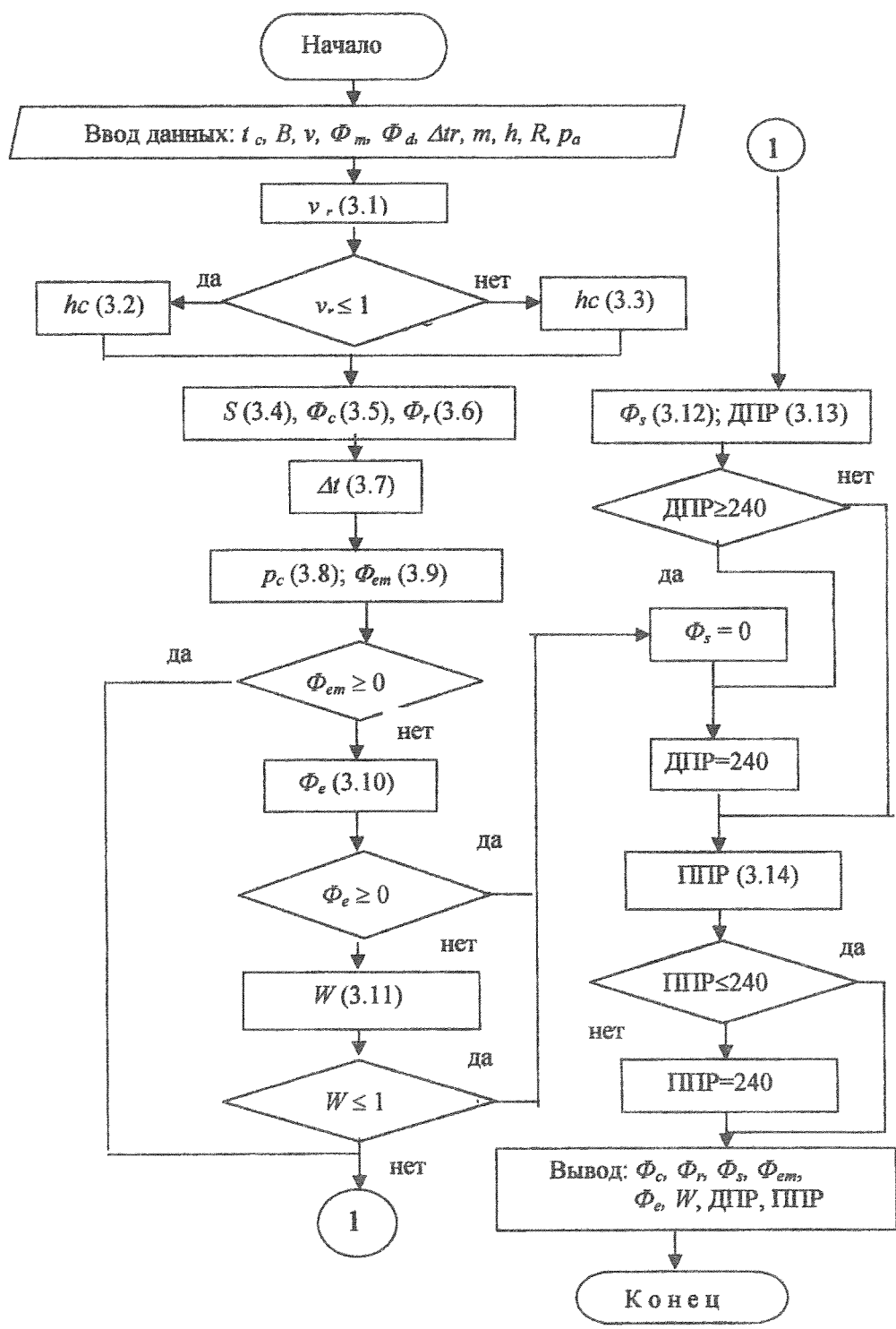


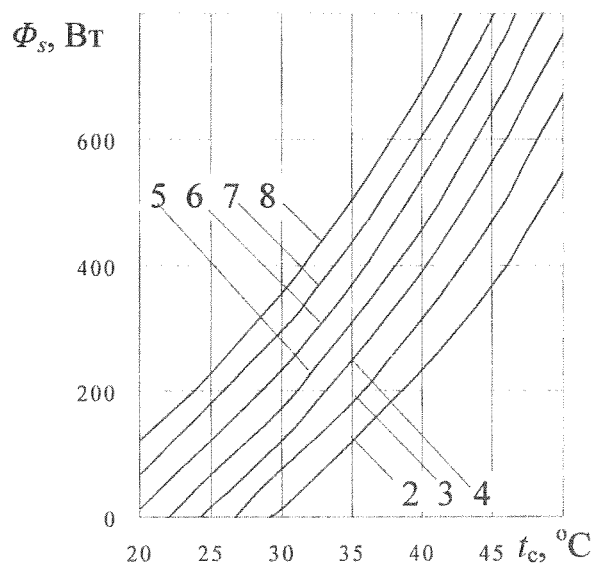
Рис.1. Блок-схема расчетной программы

При инженерных расчетах процесса теплообмена важно проанализировать зависимость результатов от каждого исходного параметра во всем диапазоне его изменения. С этой целью структура программы и ее интерфейс выполнены таким образом, что позволяют при вводе исходных данных для одного из них (по выбору) задать дополнительно 10 его значений с

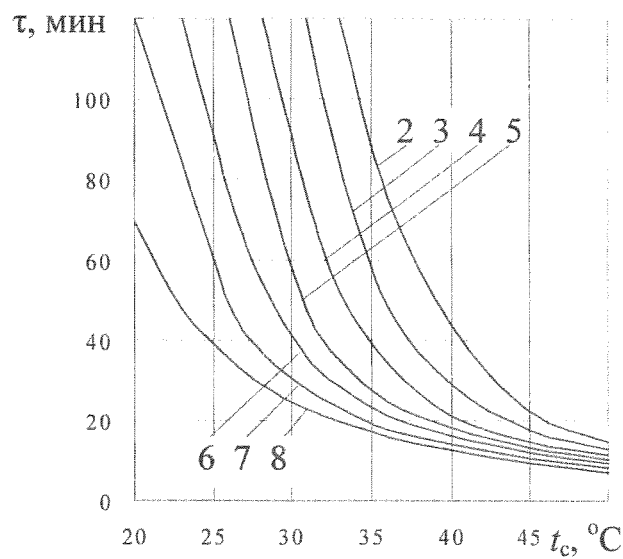
определенными за данными равными интервалами, то есть всего 11 значений. На выходе программа выдает для каждого вычисляемого параметра 11 соответствующих результатов, размещенных в одной таблице, т.е. всего 88 численных значений. Такое выполнение программы существенно облегчает количественный анализ выдаваемых результатов в зависимости от изменения исходных данных, а также позволяет оценивать влияние погрешностей и ошибок при измерении исходных параметров на результаты расчета.

Наиболее важными параметрами, получаемыми при расчете по программе, являются допустимая продолжительность работы τ и тепловой поток Φ_s , направленный в организм человека. Значения этих параметров определены по программе в зависимости от температуры практически неподвижного воздуха и физической нагрузки на человека, т.е. его энергозатрат Φ_m , и по ним построены графики (рис.2, «а» и «б»). Энергозатраты на рисунках показаны в виде номеров режимов работы (от 2 до 8), каждый из которых соответствует 80 Вт, умноженным на номер режима.

Для остальных исходных данных приняты значения: $\Delta t=0$; $V=100\%$; $v=0,1$ м/с; $\Phi_d = -15$ Вт; $\Delta t_r=0$; $m=70$ кг; $h=170$ см; $R=1,0$ clo; $p_a=101325$ Па; $\Delta t_n=2,0$ °С. Из рисунков видно, что функция $\Phi_s = f(t_c)$ близка к линейной зависимости, а кривые функции $\tau = f(t_c)$, обратно пропорциональной Φ_s , являются гиперболами.



а)



б)

Рис.2 Параметры теплообмена организма человека при режимах физической нагрузки на организм, Вт; нагрузки 2 – 8:

а) тепловой поток, поступающий в организм, Вт; б) допустимая продолжительность работы, мин

При оперативном определении норм допустимой и предельной продолжительности работы необходимо ориентироваться на условного среднего человека, а также на исключение некоторых менее характерных и менее важных для расчета исходных данных. Поэтому во втором, упрощенном варианте программы сохранено всего пять исходных параметров: t_c , V , v , Φ_m и Φ_d . Значения других параметров приняты на наиболее часто встречающемся пос-

тоянном уровне: $\Delta t_r = 0$; $m = 70$ кг; $h = 170$ см; $\Delta t_n = 2,0$ °С. Кроме того, с целью упрощения работы пользователя для энергетической оценки нагрузки Φ_m вместо численных значений в компьютер вводится дискретно при помощи меню один из четырех ее уровней: отдых (160 Вт), работа средней тяжести (320 Вт), тяжелая работа (480 Вт) или очень тяжелая работа (640 Вт). Влияние на теплообмен дыхательного аппарата учитывается тепловым потоком Φ_d , заранее рассчитанным для трех возможных типов дыхательных аппаратов. На дисплей компьютера выводится таблица, в которой приводятся значения τ и τ_n для температуры воздуха от 25 до 50 °С через один градус. Таким образом, результаты данной работы позволяют детально проанализировать влияние на теплообмен организма человека многих факторов, а также определить значения безопасных параметров его работы при эрготермических нагрузках.

ЛИТЕРАТУРА:

1. *Городинский С.М., Кузнец Е.И., Малкиман И.И. и др. Физиологические критерии оценки теплового состояния человека в условиях нагревающего микроклимата// Медико-технические проблемы индивидуальной защиты человека. Сборник научных трудов. Выпуск 10.–М.: Медицина.–1972.–С. 3-9.*
2. *Шеррер Ж. Физиология труда: Перевод с франц. – М.: Медицина. – 1973. – 496 с.*
3. *Kerslake D. The stress of hot environment.– Great Britain. Cambridge: At the University Press.– 1972.– 355 p.*
4. *Einsatzdauer der Grubenwehr in Grubenbauen mit feuchtenwarmen Wetter: Technischer Schlussbericht/Forschungsinstitut des Steinkohlenbergbauvereins.– Essen, 1989.– 80 s.*
5. *ISO 7933. Ambiances thermiques chaudes – Determination analytique et interpretation la contrainte thermique fondees sur le calcul de la sudation requise. Premiere edition.– 1989–19 p.*
6. *ДНАОП 1.1.30–4.01–97 Устав ГВГСС по организации и ведению горноспасательных работ.– Киев. 1997.– 223 с.*
7. *Физиолого-гигиенические требования к изолирующим средствам индивидуальной защиты: Утв. Минздравом СССР 23.06.80/ М., 1981. – 28 с. УДК 614.84.*

УДК 614.841

В.Ю. Пудрик (Научно-исследовательский институт горноспасательного дела и пожарной безопасности «Респиратор»)

ЛОКАЛЬНЫЙ ПРОГНОЗ ОПАСНОСТИ САМОВОЗГОРАНИЯ УГЛЯ В ШАХТНЫХ УСЛОВИЯХ

Теоретические и экспериментальные исследования процесса самонагревания угольного скопления с использованием горногеологических и горнотехнических условий разработки пластов, а также полученных в лабораторных условиях параметров массоотдачи, коэффициентов диффузии кислорода в углях, критических температур самовозгорания, инкубационных периодов позволили разработать метод локального прогноза опасности самовозгорания угля в шахтных условиях. Предложены новые зависимости расчета критического размера угольного скопления и инкубационного периода

Исследованиями процессов, приводящих к самовозгоранию угля в шахтах, установлено, что возникновение эндогенного пожара возможно при одновременном осуществлении следующих трех условий:

- уголь должен быть склонным к самовозгоранию;