

УДК 630\* 432.0

**Ю. Т. Цай**

Цай Юрий Тимофеевич родился в 1946 г., окончил в 1968 г. Красноярский сельскохозяйственный институт, кандидат технических наук, доцент, заведующий научным отделом организации лесопожарных работ и экономических исследований ВНИИПОМлесхоза, академик МАНЭБ. Имеет около 110 печатных работ в области механизации сельскохозяйственного и лесохозяйственного производства, организации лесопожарных работ, охраны труда и безопасности жизнедеятельности лесных пожарных.



### **МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ЛЕСНОГО ПОЖАРА**

Изложена методика определения содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны лесного пожара. Приведены формулы для расчета необходимого числа измерений, средней квадратичной ошибки, точности измерений. Дан графоаналитический метод обработки данных.

Ключевые слова: методика, концентрация, вредные газы, опасные факторы, лесной пожар.

ВНИИПОМлесхоз проводит исследования, связанные с охраной труда и безопасностью лесных пожарных. Их работа характеризуется тяжелыми физическими нагрузками, психофизиологическим напряжением и дискомфортными условиями проживания. Установлено [1, 5], что уровень травматизма и профессиональной заболеваемости лесных пожарных является одним из самых высоких в лесной отрасли, и явного снижения его в последнем десятилетии не наблюдалось. Поэтому так актуальна задача повышения эффективности труда и безопасности людей.

При тушении лесного пожара на человека действует ряд опасных факторов: высокая температура воздуха рабочей зоны, тепловое облучение, задымленность воздуха и недостаток кислорода. Измерение и оценка этих факторов преследуют цель установить соответствие фактических значений гигиеническим нормативам и отнести условия труда лесных пожарных к определенному классу вредности и опасности как отдельно по каждому фактору, так и при их сочетании; основные требования к индивидуальным средствам защиты; связь состояния здоровья работающих с условиями труда; разработать мероприятия по их улучшению.

Согласно гигиеническим критериям условия труда подразделяются на четыре класса: оптимальные, допустимые, вредные и опасные [2, 3].

В соответствии с нормативами сумма отношений концентраций вредных веществ в воздухе рабочей зоны к их ПДК не должна превышать единицы:

$$\frac{\tilde{N}_1}{\dot{PDK}_1} + \frac{\tilde{N}_2}{\dot{PDK}_2} + \dots + \frac{\tilde{N}_n}{\dot{PDK}_n} \leq 1,$$

где  $C_1, C_2, \dots, C_n$  – фактическая концентрация веществ в воздухе рабочей зоны;

$PDK_1, PDK_2, \dots, PDK_n$  – ПДК тех же веществ.

Необходимое число измерений  $n$  для достижения требуемых точности и надежности можно определить заранее только в том случае, если известна средняя квадратическая ошибка измерений  $\delta$  [4]. Число измерений определяют по формуле

$$n \geq \left[ \frac{t(\rho)}{\xi} \right] \delta^2,$$

где  $\rho$  – надежность измерений;

$\xi$  – доверительная оценка при известной точности измерений.

Если средняя квадратическая ошибка неизвестна, то число измерений определяют в зависимости от их надежности  $\rho$  и точности  $g$  по таблице.

В качестве показателя точности измерений (точности прибора) применяют средний квадрат отклонения результатов измерений  $x_1, x_2, \dots, x_n$  от значения  $a$ :

$$\delta^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - a)^2,$$

где  $x_i$  –  $i$ -е измерение;

$a$  – средневзвешенное арифметическое значение.

$g$	Число измерений при $\rho$				
	0,90	0,95	0,98	0,99	0,999
1,0	5	7	9	11	17
0,5	13	18	25	31	50
0,4	19	27	37	46	74
0,3	32	46	64	78	127
0,2	70	99	139	171	277
0,1	273	387	545	668	1089
0,05	1084	1540	2168	2659	4338

Если одним и тем же прибором производят  $m$  серий измерений (различных величин), то в качестве оценки дисперсии применяют среднее взвешенное из эмпирических дисперсий:

$$\delta^2 = \frac{(n_1 - 1) \hat{s}_1 + (n_2 - 1) \hat{s}_2 + \dots + (n_m - 1) \hat{s}_m}{(n_1 - 1) + (n_2 - 1) + \dots + (n_m - 1)},$$

где  $n_1, n_2, \dots, n_m$  – число измерений в сериях;

$s_1, s_2, \dots, s_m$  – соответствующие эмпирические дисперсии.

Эта формула практически позволяет использовать больше информации, что повышает ее надежность.

При эмпирическом (экспериментальном) изучении функциональной зависимости одной величины  $y$  от другой  $x$  производят ряд измерений  $y$  при различных значениях  $x$ . Зависимость будет тем точнее и надежнее, чем больше полученной информации. В качестве эмпирической обычно выбирают одну из формул определенного типа, например  $y = ax + b$ ;  $y = ae^{cx} + c$ ;  $y = a + b \sin(\omega x + 1)$  и др. Задача сводится к определению параметров формулы. Обозначим выбранную функциональную зависимость через  $y = f(x; a_0, a_1, \dots, a_n)$  с указанием всех параметров, подлежащих определению.

В нашем случае измерения опасных факторов лесного пожара проводят приборами с постоянной точностью, т. е. все измерения значений функций  $y_1, y_2, \dots, y_n$  произведены с одинаковой точностью. Параметры  $a_0, a_1, \dots, a_n$  оценивают из условия, чтобы сумма квадратов отклонений измеренных значений  $y_k$  от расчетных  $\psi(x_k; a_0, a_1, \dots, a_n)$ , т.е. величина

$$s = \sum_{k=1}^N [y_k - \psi(x_k; a_0, a_1, \dots, a_n)]^2,$$

принимала наименьшее значение.

Экспериментальные исследования основных поражающих факторов лесного пожара проводят на опытном участке в Мининском опытно-механизированном лесхозе и на действующих лесных пожарах в таежных условиях Сибири. На опытных участках поджигают напочвенные горючие материалы, устанавливают тип лесного пожара, температуру и влажность окружающей среды, скорость распространения кромки пожара. Определяют основные поражающие факторы на расстоянии 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 м от кромки лесного пожара.

Температуру измеряют инфракрасным термометром «Raytek», содержание угарного газа – газоанализатором АНКАТ-7664-01. Результаты замеров заносят в таблицы. Если замер  $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$  прибором невозможен, используют метод отбора проб, т. е. в емкости закачивают вредные вещества и в стационарных условиях на приборах определяют их содержание. Среднесменные концентрации измеряют как для лесных пожарных, так и для руководителей, инструкторов, которые по характеру работы могут подвергаться воздействию опасных факторов.

Измерение концентраций приборами индивидуального контроля проводится при непрерывном или последовательном отборе в течение всей смены или не менее 75 % ее продолжительности, охватывает все производственные операции, включая перерывы (нерегламентированные), пребывание в операторных и др. Число отобранных за смену проб зависит от концентрации вещества в воздухе. Для достоверной характеристики воздушной среды необходимо получить данные не менее чем по трем сменам.

Среднесменную концентрацию определяют с учетом всех технологических операций (основные и вспомогательные) и перерывов в работе. Число проб при этом зависит от числа технологических операций, их длительности и, как правило, должно быть не менее пяти. Среднесменную концентрацию рассчитывают как средневзвешенную во времени смены или оп-

ределяют на основе обработки результатов измерений графоаналитическим методом.

Все операции технологического процесса, их длительность (включая нерегламентированные перерывы), длительность отбора каждой пробы и соответствующие ей концентрации вносят в таблицы. Если работник в течение смены выходит из помещения или находится на участках, где заведомо нет контролируемого вещества, то отмечают, чем он был занят, и ставят нуль. В отдельную графу заносят результаты произведения концентрации вещества на время отбора пробы.

Среднюю концентрацию для каждой операции ( $K_o$ ) определяют по формуле [4]

$$K_o = \frac{K_1 t_1 + K_2 t_2 + \dots + K_n t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n},$$

где  $K_1, K_2, \dots, K_n$  – концентрация вещества;

$t_1, t_2, \dots, t_n$  – время отбора пробы.

По результатам средних концентраций за операцию ( $K_o$ ) и ее длительности ( $T_o$ ) рассчитывают среднесменную концентрацию ( $K_{c.c.}$ ) как средневзвешенную за смену:

$$K_o = \frac{K_{o1} T_{o1} + K_{o2} T_{o2} + \dots + K_{on} T_{on}}{\sum T},$$

где  $K_{o1}, K_{o2}, \dots, K_{on}$  – средняя концентрация за операцию;

$T_{o1}, T_{o2}, \dots, T_{on}$  – продолжительность операции.

Медиана ( $Me$ ) – безразмерное среднее геометрическое значение концентрации вредного вещества, которое делит всю совокупность концентраций на две равные части: 50 % проб выше значения медианы, 50 % – ниже. Медиану рассчитывают по формуле

$$\ln Me = \frac{t_1 \ln K_1 + t_2 \ln K_2 + \dots + t_n \ln K_n}{\sum t}; \quad Me = e^{\ln Me}.$$

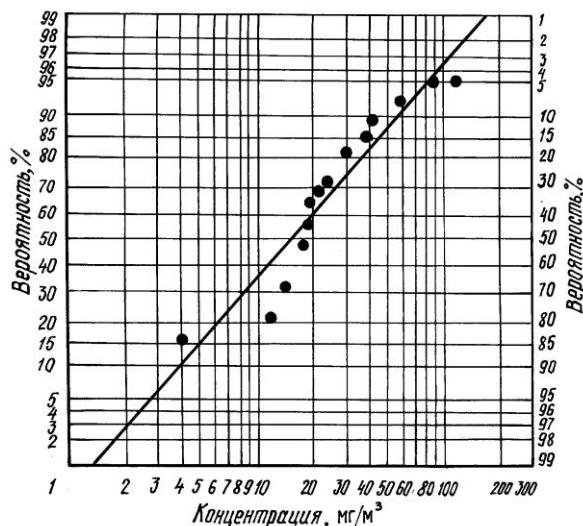
Стандартное геометрическое отклонение ( $\delta_g$ ), характеризующее пределы колебаний концентраций, рассчитывают по формуле

$$\delta_g = e \sqrt{21 \ln \frac{K_{c.c.}}{Me}},$$

где  $K_{c.c.}$  – среднесменная концентрация.

Графоаналитический метод обработки данных о содержании вредных веществ в воздухе рабочей зоны заключается в следующем.

Результаты измерений концентраций вещества в порядке возрастания



вносят в таблицу и отмечают соответствующую длительность отбора пробы. Время отбора всех проб суммируют и принимают за 100 %. Определяют процент времени отбора каждой пробы в общей длительности отбора всех проб  $\sum t$ , а также накопленную частоту последовательным суммированием времени каждой пробы. На логарифмически вероятностную сетку (см. рисунок) наносят значения концентраций (по оси абсцисс) и соответствующие им накопленные частоты (по оси ординат), через нанесенные точки проводят прямую.

Определяют значение  $X_{84}$  или  $X_{16}$ , которое соответствует 84 или 16 % вероятности накопленных частот (оси ординат). Рассчитывают стандартное геометрическое отклонение:

$$\delta_g = \frac{\bar{O}_{84}}{Me} \text{ или } \delta_g = \frac{Me}{\bar{O}_{16}}.$$

Значение  $\delta_g \leq 3$  свидетельствует о стабильности концентраций в воздухе рабочей зоны и не требует повышенной частоты контроля;  $\delta_g > 6$  указывает на значительные колебания концентраций в течение смены и необходимость увеличения частоты контроля среднесменных концентраций для данной профессиональной группы работающих (на данном рабочем месте).

Среднесменную концентрацию рассчитывают по формуле

$$\ln K_{c.c} = \ln Me + 0,5(\ln \delta_g)^2; K_{c.c} = e^{\ln K_{c.c}}.$$

Максимальные концентрации соответствуют значениям 97 % накопленных частот при продолжительности рабочей смены 8 ч.

Предложенная методика позволяет провести замеры опасных и вредных факторов лесного пожара, определить их численные значения, обработать и проанализировать экспериментальные данные, установить зависимость одной величины от другой, рассчитать среднесменную концентрацию вредных газов на тушении лесных пожаров. Все это дает возможность обосновать основные требования к индивидуальным средствам защиты и разработать мероприятия по оздоровлению условий труда лесных пожарных.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Главацкий Г.Д., Цай Ю.Т., Литина Л.А. Охрана труда и безопасность лесных пожарных. – Красноярск: КГТУ, 2001. – 158 с.
2. ГОСТ 12.1.007–76. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. – М.: Гос. комитет СССР по стандартам, 1984. – 5 с.
3. Гигиенические критерии оценки и классификации условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса. – М.:Агрохим, 2000. – 162 с.
4. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. – М.: Наука, 1971. – 192 с.

---

5. Цай Ю.Т., Литина Л.А. Защита людей от воздействия опасных факторов лесного пожара при выполнении лесопожарных работ // Матер. IV Международ. конф. – Томск; Иркутск: Изд-во Томск. ун-та, 2001. – С. 157–159.

ВНИИПОМлесхоз

Поступила 28.12.01

*Yu.T. Tsay*

### **Technique of Investigating Harmful Factors of Forest Fires**

The technique of determining harmful substances content in the air of a forest fire-working zone is stated. The formulae for calculating the necessary number of measurements, mean quadric error and measurement accuracy are provided. Grapho-analytical method of data processing is given.

---