

УДК 697.953:537.56

И.А. Толкунов, аспирант ДонНТУ, Донецк

ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ТРУДА ПЕРСОНАЛА В ПОМЕЩЕНИЯХ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

I.A Tolkunov, postgraduate student (Donetsk National Technical University, Donetsk)

ESTIMATION OF THE WORKING CONDITIONS OF THE PERSONNEL IN THE SPECIAL-PURPOSE ROOMS

Цель. Обоснование использования искусственной аэроионизации рабочей среды помещений оперативного управления силами и средствами личного состава подразделений.

Методика. Теоретические методы исследования процессов формирования аэроионного режима рабочей среды помещений специального назначения.

Результаты. Получены зависимости для определения индивидуальных показателей быстродействия операторов, психологической устойчивости, эффективности выполнения задачи от предельного времени работы оператора в различных условиях среды обитания, избыточных концентраций отрицательных и положительных легких аэроионов при равномерном истечении струи воздуха.

Научная новизна. Установлена связь между производительностью искусственных источников аэроионов и режимно-конструктивными параметрами систем жизнеобеспечения специальных помещений с учетом аэродинамического состояния рабочей среды этих помещений.

Практическая значимость. Полученные результаты могут быть положены в основу методического обеспечения процессов совершенствования аэроионного режима специальных помещений.

Ключевые слова: оперативное управление в чрезвычайных ситуациях, помещение специального назначения, нормативный аэроионный режим, искусственная аэроионизация, концентрация аэроионов.

Постановка проблемы. Реализация мероприятий по предупреждению и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций требует постоянного повышения эффективности оперативного управления силами и средствами (в дальнейшем – оперативного управления). Это в значительной степени определяет деятельность личного состава подразделений оперативного управления, эффективность которой особенно зависит от качества воздуха. При этом эргономическое обеспечение системы «человек-оператор – техника – рабочая среда» (в дальнейшем – «человек – техника – среда») позволяет повысить надежность и эффективность функционирования таких систем без изменения их конструктивных параметров, обеспечивая так требуемую сейчас экономичность разработок. В связи с этим актуально исследование особенностей влияния условий рабочей среды на операторскую деятельность личного состава подразделений оперативного управления силами и средствами и повышение ее качества.

Анализ последних исследований и публикаций. К персоналу подразделений оперативного управления предъявляют требования высокой готовности, точного, безошибочного, адекватного оценивания сложившейся ситуации, своевременного и успешного выполнения операторских функций в

различных условиях. Это требует устойчивости оперативного внимания, памяти, логического мышления, чувства времени, решительности в действиях при внезапно меняющейся обстановке, высокого уровня функционального состояния оператора.

Под влиянием различных факторов, которых в настоящее время насчитывается около 1800, надежность человека-оператора может изменяться от 0 до 0,9999. В этих условиях пути повышения эффективности деятельности личного состава подразделений оперативного управления в основном будут определять возможности оптимизации системы «человек – техника – среда», а также обеспечение биотехнической совместимости, которая состоит в разумном компромиссе между функциональным состоянием оператора и различными факторами окружающей его рабочей среды.

Рабочая среда, представляющая собой совокупность физических, химических и биологических факторов внутренней среды помещений, свойственных конкретному объекту и воздействующих на оператора, рассматривается как одна из важных функциональных характеристик системы «человек – техника – среда». Результаты влияния факторов рабочей среды на операторскую деятельность широко представлены в литературе и в соответствии с их интенсивностью различают четыре ее вида по уровню воздействия на человека-оператора: комфортная, относительно дискомфортная, экстремальная, сверхэкстремальная.

Постановка задачи и пути ее решения. Анализ влияния условий труда на операторскую деятельность личного состава оперативного управления силами и средствами показывает, что повышение эффективности их работы может быть основано на всестороннем учете и управлении факторами искусственно формируемой воздушной среды помещений оперативного управления силами и средствами в чрезвычайных ситуациях. С учетом специфики деятельности особый интерес представляет возможность использования ионизированного воздуха для повышения функциональной устойчивости и работоспособности личного состава подразделений оперативного управления.

Ионизация воздуха, обуславливающая электродинамическое состояние воздушной среды, оказывает на организм человека влияние, которое может быть положительным или отрицательным в зависимости от концентрации аэроионов, их полярности и подвижности, продолжительности воздействия. При этом пониженная и повышенная ионизация воздуха относится к вредным производственным факторам, когда сильнее проявляется отрицательное влияние на оператора всей совокупности физических, химических факторов рабочей среды и режимов оперативного дежурства, а их однонаправленность увеличивает неблагоприятный кумулятивный эффект воздействия.

Параметры аэроионного режима регламентируют нормативные документы, которые устанавливают допустимые уровни ионизации воздуха в зоне дыхания человека и действие их распространяется на сооружения всех

министерств и ведомств, а также организации, проектирующие системы жизнеобеспечения помещений специального назначения.

Для оценки надежности и эффективности деятельности личного состава подразделений оперативного управления силами и средствами в условиях различных аэроионных режимов были использованы методы имитационного моделирования. В реализуемой модели функционирование исследуемой системы «человек – техника – среда» представляет собой последовательность действий, выполняемых оператором и техническими средствами. Имитационная модель ориентирована на временные характеристики деятельности оператора, и основным ее параметром является время выполнения того или иного действия из структуры вычислительного алгоритма и, как результат, время выполнения всего алгоритма. В качестве исходных данных имитации используют характеристики операторов и условия их работы. При этом индивидуальные показатели быстродействия оператора оценивают параметром F_j :

$$F_j = T_{gj}^* / T_{gcp}, \quad (1)$$

где F_j – быстродействие оператора j в исходном пространстве факторов;

T_{gj}^* – среднее время выполнения действия оператором j в цикле перед первой ошибкой, с;

T_{gcp} – время выполнения действия в цикле перед первой ошибкой средним оператором, для которого $F_j = 1$, с.

Параметр F_j дает возможность имитации деятельности оператора, работающего быстрее ($F_j < 1$) или медленнее ($F_j > 1$) среднего оператора ($F_j = 1$). Психологическая устойчивость операторов определяет в модели порог напряженности M_j :

$$M_j = T_{gn}^* / T_{gn}, \quad (2)$$

где T_{gn} – период следования сигналов в цикле с количеством допущенных оператором j ошибок более 5, с.

Для практической реализации модели был проведен анализ конкретной структуры операторской деятельности. На основании документов и инструкций, определяющих порядок оперативного управления силами и средствами при возникновении чрезвычайных ситуаций, были установлены типовые действия оператора и составлен алгоритм его деятельности.

В общем виде деятельность личного состава подразделений оперативного управления силами и средствами может быть представлена следующим образом:

- получение и восприятие информации от различных информационных и сигнальных устройств (сенсорная функция оператора);

- обработка полученной информации и принятие решения о характере, величине и направлении управляющего воздействия (вычислительно-логические функции оператора);
- управляющее воздействие на органы управления или выдача управляющих команд (моторные функции оператора).

Для каждого действия определяли характеристики оператора по формулам

$$P_j = K_p P_{oj}; \quad (3)$$

$$\tau_j = K_\tau \tau_{oj}; \quad (4)$$

$$\sigma_j = K_\sigma K_\tau \tau_{oj}, \quad (5)$$

где P_{oj} , τ_{oj} – показатели операторской деятельности в условиях комфортной среды обитания;

K_p , K_τ , K_σ – безразмерные коэффициенты для учета влияния факторов среды обитания на вероятность безошибочного выполнения действия P_j , а также на математическое ожидание τ_j и среднее квадратичное отклонение σ_j времени его выполнения соответственно, значения которых принимали равными: $K_p = 0,95 \dots 0,9$; $K_\tau = 1,1 \dots 1,2$; $K_\sigma = 0,3 \dots 0,5$.

Для каждого действия устанавливали количественные показатели, определяющие математическое ожидание τ_j и среднее квадратичное отклонение времени выполнения действия σ_j , а также вероятность его безошибочного выполнения P_j . Значения этих показателей могут быть получены методами наблюдения, регистрации входных и выходных параметров физических моделей действия оператора, приемами регистрации деятельной активности и речевых ответов, анализом литературных данных, тестированием и анкетированием личного состава по аппаратурным и бланковым методикам. В работе имитировали деятельность быстрого ($F_j=0,7$), среднего ($F_j=1$) и медленного ($F_j=1,3$) операторов.

Анализ влияния аэроионного режима на операторскую деятельность позволяет определить рабочую среду с пониженной или повышенной степенью аэроионизации как относительно дискомфортную, что подтверждают и гигиенические оценки воздушной среды в изолированных помещениях. Эффективность деятельности операторов W с учетом влияния аэроионного режима рабочей среды определяли как отношение количества успешно выполненных действий к общему их числу (рис. 1).

Результаты проведенных исследований показывают необходимость учета параметров аэроионного режима на всех этапах обеспечения рабочих условий деятельности личного состава подразделений оперативного управления силами и средствами. При этом, наряду с устранением неблагоприятного аэроионного режима, целесообразно использовать ионизированный воздух для повышения

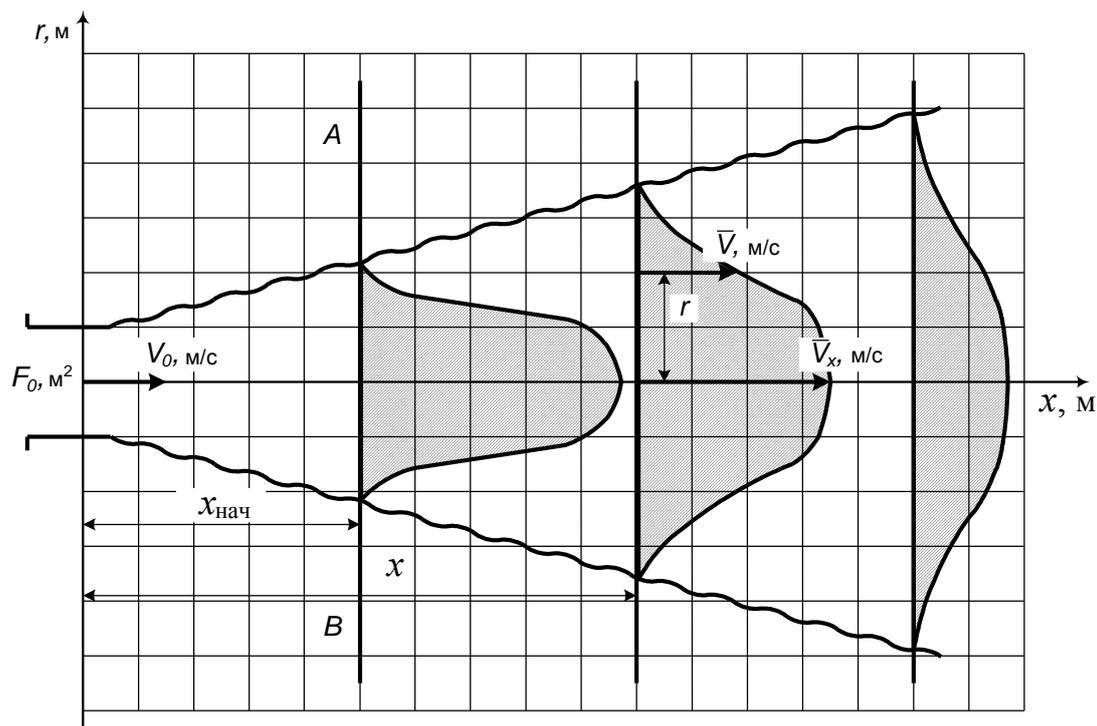


Рис. 2. Схема приточной турбулентной струи: x и r – координаты произвольной точки в струе

При движении ионизированного воздуха изменение концентрации аэроионов происходит в результате эффектов электростатического рассеивания, рекомбинации, диффузии, прилипания к аэрозольным частицам. При этом основной вклад в потери аэроионов вносят эффекты рекомбинации и электростатического рассеивания. С учетом этого распределение избыточной концентрации легких аэроионов отрицательной и положительной полярности в струе для случая $n_0^- > n_0^+$ описывает система уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} \int_0^{F_0} \rho_0 V_0^2 dF = \int_0^{\infty} \rho V^2 dF ; \\ \int_0^{F_0} n_0^- V_0 dF = \int_0^{\infty} n^- V dF + \int_0^x dx \int_0^{\infty} \left[\alpha n^- n^+ + \frac{qk^- n^-}{\epsilon \epsilon_0} (n^- - n^+) \right] dF ; \\ \int_0^{F_0} n_0^+ V_0 dF = \int_0^{\infty} n^+ V dF + \int_0^x dx \int_0^{\infty} \alpha n^- n^+ dF , \end{array} \right. \quad (6)$$

где V – скорость движения воздуха в произвольной точке струи, заданной координатами x и r (см. рис. 2), м/с;

V_0 – скорость истечения поступающего воздуха, м/с;

ρ – плотность воздуха в произвольной точке струи, кг/м³;

- ρ_0 – плотность истекающего воздуха, кг/м³;
 F_0 – площадь отверстия, м²;
 n_0^\pm – избыточная концентрация лёгких положительных и отрицательных аэроионов в начале истечения;
 k^\pm – электрическая подвижность положительных и отрицательных лёгких аэроионов;
 q – элементарный заряд;
 α – коэффициент рекомбинации лёгких аэроионов;
 ε – относительная диэлектрическая постоянная воздуха; ε_0 – электрическая постоянная;
 dF – элементарная площадь поперечного сечения струи, в пределах которой скорость одинакова, м².

Решение системы (6) позволяет найти расчетные формулы для определения избыточных концентраций отрицательных и положительных лёгких аэроионов на оси компактной изотермической струи при равномерном истечении ($n_0^- > n_0^+$) в виде

$$n_x^- = \frac{\Delta n_0 l \sqrt{F_0}}{x \left\{ 1 - K_y \exp \left[-\frac{\alpha \Delta n_0}{V_0} \left(\frac{\pi c^2 l^2}{\sigma} x + l \sqrt{F_0} - \frac{\pi c^2 l^2}{\sigma} l \sqrt{F_0} \right) \right] \right\}} \quad (7)$$

и

$$n_x^+ = \frac{\Delta n_0 l \sqrt{F_0}}{x \left\{ \frac{1}{K_y} \exp \left[\frac{\alpha \Delta n_0}{V_0} \left(\frac{\pi c^2 l^2}{\sigma} x + l \sqrt{F_0} - \frac{\pi c^2 l^2}{\sigma} l \sqrt{F_0} \right) \right] - 1 \right\}}, \quad (8)$$

где l – комплекс коэффициентов, позволяющий учесть подобие процессов переноса теплоты и примесей в поступающих струях и характеризовать изменение избыточных концентраций аэроионов по длине струи без учета влияния эффектов электростатического рассеивания и рекомбинации:

$$l = \frac{(1 + \sigma)\theta}{2\sqrt{\pi c \varphi}}; \quad (9)$$

θ – коэффициент, учитывающий неизотермичность струи, определяется из соотношения

$$\theta = \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_\infty}}; \quad (10)$$

φ – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения скорости движения воздуха по площади отверстия, определяется из соотношения

$$\varphi = \left[\int_0^1 \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 d \left(\frac{F}{F_0} \right) \right]^{1/2}; \quad (11)$$

ρ_∞ – плотность воздуха в окружающем пространстве вне струи, кг/м³;

F – площадь произвольного поперечного сечения струи, м²;

c – экспериментальная постоянная, вероятное значение которой равно 0,082;

σ – экспериментальная постоянная, вероятное значение которой равно 0,8.

Аналогичным образом могут быть получены расчетные соотношения для всех видов поступающих струй в системах вентиляции и кондиционирования воздуха.

Полученные результаты могут быть положены в основу методического обеспечения процессов совершенствования аэроионного режима специальных помещений, включая его мониторинг на всех этапах их жизненного цикла (проектирование, изготовление, эксплуатация).

Выводы. Условия рабочей среды помещений подразделений оперативного управления силами и средствами оказывают существенное влияние на эффективность деятельности личного состава подразделений оперативного управления при чрезвычайных ситуациях, поэтому актуально повышение ее качества путем обеспечения нормативных требований к условиям деятельности операторов.

Показана целесообразность использования искусственной аэроионизации рабочей среды помещений оперативного управления силами и средствами для повышения эффективности деятельности личного состава их подразделений. Для этой цели обоснованы задачи теоретического и экспериментального исследования процессов формирования аэроионного режима рабочей среды таких помещений.

Полученные аналитические соотношения устанавливают связь между производительностью искусственных источников аэроионов и режимно-конструктивными параметрами систем жизнеобеспечения специальных помещений с учетом аэродинамического состояния рабочей среды последних.

Список литературы / References

1. Некоторые аспекты обеспечения нормативного аэроионного режима рабочей среды помещений специального назначения МЧС Украины / И.А. Толкунов, В.В. Марынюк, И.И. Попов, В.В. Пономарь // Проблемы чрезвычайных ситуаций. – Харьков: УГЗУ, 2008. – №8. – С.198 – 206.

Tolkunov, I.A., Marynyuk, V.V., Popov, I.I. and Ponomar, V.V. (2008), *Nekotorye aspekty obespecheniia normativnogo aeroionnogo rezhima rabochei sredy pomestchenii spetsialnogo naznachenii MChS Ukrainy* [Some aspects of the support of the normative aeroionic conditions of the working environment of the special-purpose rooms of the Ministry of extraordinary situations of the Ukraine], UGSU, Kharkov, Ukraine.

2. Толкунов И.А. Теоретическое исследование процессов переноса аэроионов в потоках воздуха в помещениях специального назначения МЧС Украины / И.А. Толкунов, И.И. Попов, В.В. Барбашин // Проблемы чрезвычайных ситуаций. – Харьков: НУГЗУ, 2010. – №11. – С.137 – 145.

Tolkunov, I.A., Popov, I.I. and Barbashin, V.V. (2010), *Teoreticheskoe issledovanie protsessov perenosa aeroionov v potokakh vozdukh v pomestcheniakh spetsialnogo naznachenii MChS Ukrainy* [Theoretical investigation of the processes of transfer of aeroions in air streams in special-purpose rooms of the Ministry of extraordinary situations of the Ukraine], NUGSU, Kharkov, Ukraine.

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук С.В. Росохой.
Дата поступления рукописи 20.02.2014

Ціль. Обґрунтування використання штучної аероіонізації робочого середовища приміщень оперативного управління силами і засобами персонального складу підрозділів.

Методика. Теоретичні методи дослідження процесів формування аероіонного режиму робочого середовища приміщень спеціального призначення.

Результати. Отримані залежності для визначення індивідуальних показників швидкої дії операторів, психологічної стійкості, ефективності виконання завдання від граничного часу роботи оператора в різних умовах середовища перебування, надлишкова концентрація негативних і позитивних легких аероіонів у випадку рівномірного витікання струменя повітря.

Наукова новизна. Установлений зв'язок між продуктивністю штучних джерел аероіонів та режимно-конструктивними параметрами систем життєзабезпечення спеціальних приміщень з урахуванням аеродинамічного стану робочого середовища цих приміщень.

Практична значущість. Отримані результати можуть бути покладені в основу методичного забезпечення процесів вдосконалення аероіонного режиму спеціальних приміщень.

Ключові слова: оперативне управління при надзвичайних ситуаціях, приміщення спеціального призначення, нормативний аероіонний режим, штучна аероіонізація, концентрація аероіонів.

Purpose. Substantiation of the use of artificial aeroionization of the working environment of the rooms of operative control of the forces and means of the personnel of subdivisions.

Methodology. Theoretical methods of investigation of the processes of formation of the aeroionization conditions of the working environment of the special-purpose rooms.

Results. The dependences to determine the individual speed characteristics of operators, psychological stability, effectiveness of fulfillment of a problem on the critical working time of the operator under various habitat conditions, excess concentrations of negative and positive light aeroions by the even outflow of the air stream have been received.

Scientific novelty. The connection between the productivity of the artificial sources of the aeroions and secured and constructive parameters of the life support systems of the special rooms with due regard for the aerodynamic state of their working environment has been established.

Practical value. The results received may be assumed as a basis of the methodical support of the processes of improvement of the aeroionic conditions of the special rooms.

Keywords: operative control in extraordinary situations, special-purpose room, normative aeroionic conditions, artificial aeroionization, concentration of aeroions.