

УДК 551.463.2

*Е.В. Азаренко, ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины»,
Ю.Ю. Гончаренко, ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины»,
М.М. Дивизинюк, ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины»,
А.С. Рыжкин, ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины»*

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАЩИТЫ ЛЮДЕЙ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ, ПРИВОДЯЩИХ К ЗАГРЯЗНЕНИЮ АТМОСФЕРЫ РАДИОАКТИВНЫМИ И ОТРАВЛЯЮЩИМИ ВЕЩЕСТВАМИ

(представлено д.т.н. Андроновым В.А.)

В работе на основе систематизации классических положений газодинамики, санитарных правил и теории надежности разработана математическая модель защиты людей при чрезвычайных ситуациях, приводящих к загрязнению атмосферы радиоактивными и отравляющими веществами. Полученная модель используется для разработки технических заданий по созданию специальных защитных помещений в системе государственной гражданской защиты.

Ключевые слова: математическая модель, радиоактивные и отравляющие вещества, подпор воздуха, герметичное помещение.

Постановка проблемы. Испытательные ядерные взрывы в двадцать первом веке уже не проводятся, но опасность поступления радиоактивных веществ атмосферу сохраняется. Это угроза последствий аварий и катастроф на атомных электростанциях, ядерных реакторах научного и специального назначения, утечка в окружающую среду радиоактивных материалов при переработке радиоактивных отходов, а так же нештатные ситуации при транспортировке ядерных материалов [4, 5]. Поэтому опасность радиоактивного заражения местности уже давно стала глобальной проблемой [1-3].

Анализ последних исследований и публикаций. Кроме этого опасность для населения представляют и другие опасные вещества как хлор и аммиак, которые так же могут попасть в атмосферу в результате техногенных чрезвычайных ситуаций [6, 7]. В Украине четыре действующих АЭС, десятки предприятий, где используются и хранятся радиоактивные вещества в промышленных объемах. На территории Украины сотни предприятий, на каждом из которых сосредоточено от нескольких единиц до десятков цистерн с хлором, и тысячи больших и малых промышленных холодильных установок, где в качестве хладагента используется аммиак. Поэтому вероятность техногенных катастроф может быть достаточно высокой [8, 9], что обосновывает актуальность решения такой научной задачи как разработка математической модели защиты людей при

чрезвычайных ситуациях, приводящих к загрязнению атмосферы радиоактивными и отравляющими веществами.

Постановка задачи и ее решение. Целью данной работы является разработка математической модели защиты людей при чрезвычайных ситуациях, приводящих к загрязнению атмосферы радиоактивными и отравляющими веществами.

Для достижения поставленной цели необходимо решить три основных вопроса. Первый – каковы должны быть размеры специального помещения для защиты людей и каковы должны быть параметры воздуха, нагнетаемого вентиляторами, чтобы обеспечить подпор и не допустить попадания радиоактивных и отравляющих веществ внутрь специального помещения. Второй – какое количество людей и при каких условиях может находиться в специальном помещении и защититься от воздействия (поражения) радиоактивными и отравляющими веществами. Третий – какова надежность работы всех систем специального помещения и соответственно, какова надежность работы всей защитной системы. В соответствии с этими вопросами и будем последовательно осуществлять разработку математической модели защиты людей при чрезвычайных ситуациях, приводящих к загрязнению атмосферы радиоактивными и отравляющими веществами. Первоначально рассмотрим факторы, обеспечивающие подпор в специальном защитном помещении. Затем определим, какое количество людей и в каких условиях могут находиться в этом защитном сооружении и защититься от поражения радиоактивными и отравляющими веществами, распыленными в атмосфере. После чего исследуем вопрос функционирования защитной системы в целом и завершим разработку математической модели.

Главная идея выполняемой работы состоит в том, что облака радиоактивных или отравляющих веществ, появившиеся в результате аварийного взрыва или выброса и в результате террористического акта, распространяются в воздушной среде определенное время, исчисляемое единицами часов. Именно для этих целей и создаются специальные защитные помещения куда может собраться персонал административных и других зданий и сооружений и пробыв там несколько часов, защититься от поражения радиоактивными или отравляющими веществами. Это могут быть не убежища, не укрытия, к которым предъявляется определенный набор жестких требований, а помещения, в которых могут собраться большие группы людей, например, конференц-залы, столовые, кофе и другие помещения, внутри которых можно создать подпор воздуха, чем предотвратить попадание опасных веществ в защищаемое помещение и выполнить задачу по защите людей от поражения радиоактивными и отравляющими веществами. Для этого рассмотрим систему уравнений (1), но при этом сделаем ряд допущений. Первое, в рассматриваемом нами случае происходит изотермический процесс. Это значит, что никаких затрат энергии на нагрев газовой среды нет. Все возможные энерге-

тические потери на завихрения, вызванные неравномерным распределением скоростей потока отсутствуют. Второе – энергия, передаваемая газовому потоку вентиляционной установкой, соответствуют нулевому уровню. По этой причине уровнями начальной энергии пренебрегаем (не учитываем).

Тогда получим следующее

$$\begin{cases} \rho_1 Q_1 S_1 = \rho_2 Q_2 S_2 = \rho_3 Q_3 S_3 \\ \frac{P_1}{\rho_1 g} + \frac{\alpha_1 Q_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho_2 g} + \frac{\alpha_2 Q_2^2}{2g} = \frac{P_3}{\rho_3 g} + \frac{\alpha_3 Q_3^2}{2g}, \end{cases} \quad (1)$$

где индекс 1 соответствует параметрам на первом сечении (вдуваемого вентиляционного короба фильтровентиляционной установки), а именно плотности воздуха, скорости воздушного потока, давления и площади сечения. Выражая через скоростные характеристики потоков, получаемые на первом сечении, скорость на втором и на третьем сечении, и принимая еще одно допущение, что плотность газовой среды на всех участках является величиной неизменной, получим

$$P_2 - P_3 = \frac{\rho Q_1^2}{2} \cdot \left(\frac{S_1^2}{S_3^2} - \frac{S_1^2}{S_2^2} \right). \quad (2)$$

Рассмотрим более детально уравнение (2). Давление P_2 – это давление, создаваемое внутри специального защитного помещения. В этом помещении создается подпор воздуха, то есть давление внутри него на определенную величину ΔP будет выше, чем атмосферное давление, то есть $P_2 = P_{\text{ат}} + \Delta P$. Величина ΔP является тем подпором, который необходимо создать внутри защищаемого помещения, чтобы опасные вещества, находящиеся в открытом воздухе, не могли попасть внутрь. Давление P_3 в нашем случае – это давление воздуха в открытой среде, то есть давление, равное атмосферному. Другими словами, разница $P_2 - P_3 = P_{\text{ат}} + \Delta P - P_{\text{ат}} = \Delta P$ определяется величиной подпора, создаваемого в замкнутом помещении, то есть

$$\Delta P = \rho Q^2 \cdot \left(\frac{2S_1^2}{S_3^2} - \frac{2S_1^2}{S_2^2} \right). \quad (3)$$

В правой части (3) произведение квадрата скорости создаваемого на первом сечении вентиляционной установкой на плотность воздуха и соотношения трех сечений. Скорость потока, создаваемого вентилятор-

ной установкой, это техническая характеристика вентилятора, которая определяется его конструкцией.

S_1 – это площадь сечения вентиляционного короба, подключенного в вентиляторной установке или суммы площадей, если вентиляционный подпор будут создавать несколько вентиляторных установок.

Сечение S_2 , проходящее через специальное защитное помещение, определяется его (помещения) геометрическими характеристиками – шириной – a , высотой – b , если оно прямоугольное. В ряде случаев в административных зданиях имеются конференц-залы и другие помещения, которые имеют сложную конфигурацию, как показано на рис. 1.

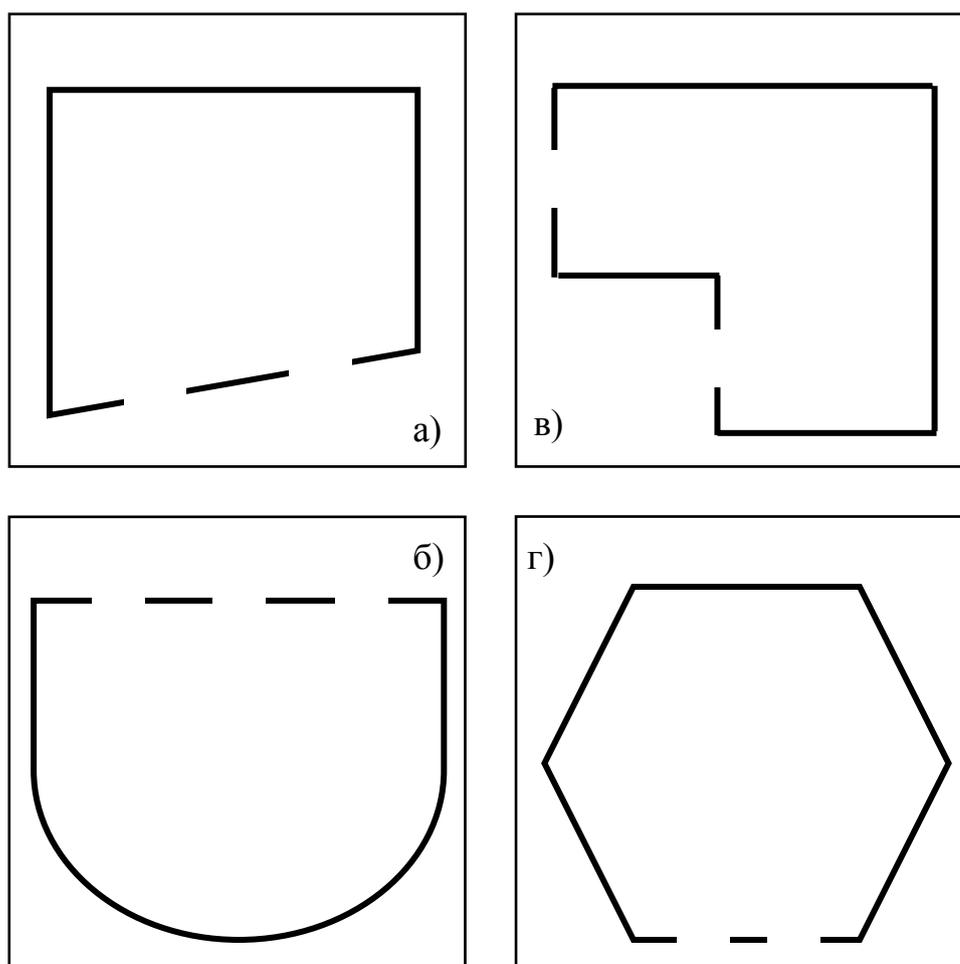


Рис. 1. Оригинальные конфигурации конференц-залов:

а) трапециевидная; б) овальная; в) г-образная; г) шестиугольная (выпуклая)

Сечение S_3 – строго говоря, является условным или суммирующим площади всех негерметичностей (щелей, отверстий и т.д.) специального помещения, то есть

$$S_3 = S_{\text{негер}} = \sum_{i=1}^n S_i. \quad (4)$$

Этот параметр носит название – суммарная площадь негерметичностей специального помещения.

Исходя из выше сказанного можно заключить, что создание подпора в специальном защитном помещении определяется параметрами фильтровентиляционной установки $W_{\text{ФВУ}}$, ее производительностью и площадью выходного сечения $S_{\text{ФВУ}}$, геометрическими характеристиками специального защитного помещения (длиной, шириной, высотой) и суммарной площадью не герметичностей этого помещения, то есть

$$\Delta P = f_1 [W_{\text{ФВУ}}, S_{\text{ФВУ}}, (a, b, l), S_{\text{негерм}}]. \quad (5)$$

Определение возможного количества людей для пребывания в специальном защитном помещении. Здесь возможно несколько вариантов. Первый, что в специальном защитном помещении, каким может быть конференц-зал или столовая, может быть размещено такое количество людей, на которое он рассчитан. Как правило это число посадочных мест, как показано на рис. 2(а). Этот вариант можно назвать нормальным.

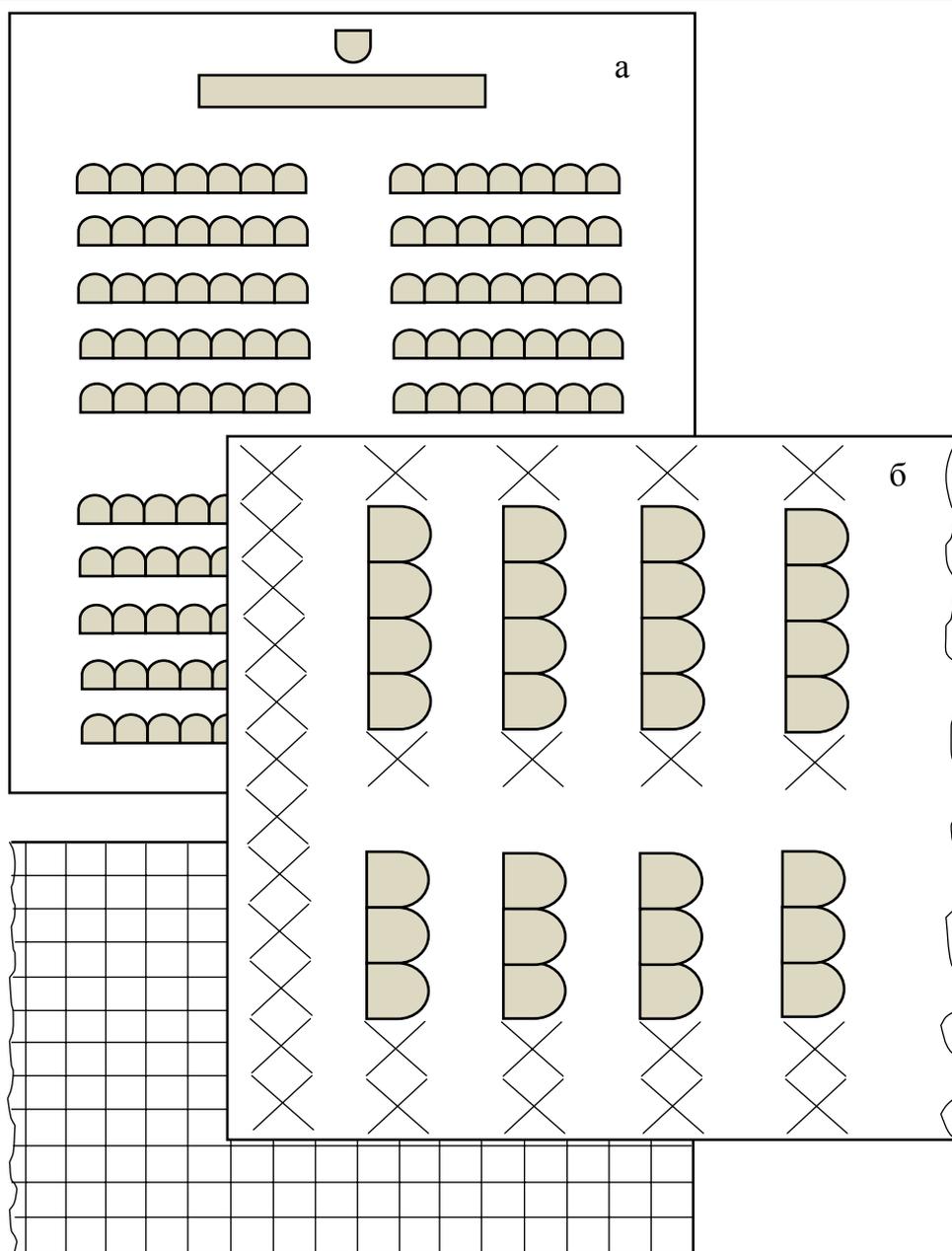
Нормативами определено, что в защитном сооружении (убежище или укрытии) на одного человека предусматривается посадочное место площадью $0,5 \times 0,5$ м. С учетом того, что между рядами должны быть проходы, обеспечивающие подход к месту сидения и выход от него, на одного человека будет приходиться $0,5 \times 1,0$ м. Схематично подобное расположение показано на рис. 2(б). Подобное размещение принято называть уплотненным.

Возможен так же третий вариант, когда для укрытия от газовой атаки или облака радиоактивных аэрозолей, нам необходимо укрыть максимальное количество людей на непродолжительный (до одного-полутора часов) промежуток времени. Принимая за минимально возможную площадь размещения одного человека $0,5 \times 0,5$ м получим, что максимальное количество людей, укрываемых в защитном помещении. Этот вариант размещения принято называть максимальным или максимально возможным рис. 2(в).

Другими словами, возможное количество людей, которых можно укрыть в специальном защитном помещении определяется геометрическими параметрами этого помещения (длиной, шириной, высотой) и нормой площади, необходимой для размещения одного человека, то есть

$$N = f_2 [(a, b, l), S_{\text{нор}}]. \quad (6)$$

В зависимости от нормы размещения на одного человека будут определяться варианты размещения людей в специальном защитном помещении (нормальный, уплотненный и максимальный).



в

Рис. 2. Варианты размещения людей в специальном защитном помещении: а) нормальный; б) уплотненный; в) максимальный

При максимальном варианте размещения предусматривается, что на одном квадратном метре четыре человека могут сидеть, прижавшись спиной к спине. Если взять вариант общественного транспорта в городе (метро, троллейбус, автобус), то на одном квадратном метре могут разместиться и десяток человек. Кроме этого, в подобных условиях поездка может происходить и полчаса, и час, и больше. Особенность защитных помещений, как и укрытий, и убежищ, состоит в том, что необходимо дать возможность людям быть в максимально расслабленном состоянии, то есть хотя бы иметь возможность быть в защитном помещении в сидящем положении.

Надежность функционирования специального защитного помещения. Под надежностью в общем случае понимается возможность технического устройства к безотказной работе в течении заданного времени, обусловленного временем выполнения задачи.

Специальное защитное помещение, строго говоря, представляет собой техническую систему, состоящую из помещения, имеющего специальные технические элементы и устройства. Одним из устройств является фильтровентиляционная установка, которая состоит из вентилятора, пускорегулировочной автоматики, фильтров грубой и тонкой очистки. Сам вентилятор включает специальную корпусную раму, электродвигатель, крыльчатку вентилятора. Другими словами, специальное защитное помещение – это техническая система, состоящая из множества элементов.

Пусть некоторая техническая система S составлена из n элементов A_1, A_2, \dots, A_n .

Допустим, что надежности элементов известны. Определение надежности системы, в которой отказ любого элемента равносителен отказу системы в целом. Выразим надежность такой системы через надежности ее элементов. Пусть имеется некоторый промежуток времени $(0, \tau)$, в течение которого требуется обеспечить безотказную работу системы. Для безотказной работы системы без резервирования в течение времени τ нужно, чтобы работал безотказно каждый из ее элементов. Пусть S – событие, состоящее в безотказной работе системы за время τ ; A_1, A_2, \dots, A_n – события, состоящие в безотказной работе соответствующих элементов; $p(\tau)$ – надежность системы; $p_i(\tau)$ – надежности элементов. Тогда $S = A_1 \cdot A_2 \cdot \dots \cdot A_n$ и по теореме умножения для независимых событий

$$p(\tau) = \prod_{i=1}^n p(A_i) = \prod_{i=1}^n p_i(\tau). \quad (7)$$

Выражая интенсивность отказов системы без резервирования $A(t)$ через интенсивности отказов $\lambda_i(t)$ отдельных ее элементов. Получим

$$p(t) = e^{-\int_0^t A dt} = \prod_{i=1}^n p_i = e^{-\sum_i \int_0^t \lambda_i dt}, \quad (8)$$

где $A(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i$.

Одним из путей повышения надежности системы является введение в нее дублирующих элементов. Будем предполагать, что надежность каждого дублирующего элемента не зависит от того, когда включился в

работу этот элемент (горячий резерв) При произвольном числе m дублирующих друг друга независимых элементов событие $S = A_1 + A_2 + \dots + A_m$.

Тогда надежность резервированной системы вычисляется по формуле

$$p(S) = 1 - p(\bar{S}) = 1 - p(\bar{A}_1 \cdot \bar{A}_2 \cdot \dots \cdot \bar{A}_m) = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - p_i). \quad (9)$$

Если каждый из резервных элементов A_2, \dots, A_m снабжен своим переключателем с надежностью соответственно $p_{\Pi}^{(2)}, p_{\Pi}^{(3)}, \dots, p_{\Pi}^{(m)}$, то надежность системы равна

$$p = 1 - (1 - p_1) = \prod_{i=2}^m (1 - p_i p_{\Pi}^{(i)}). \quad (10)$$

Рассмотрим случай, когда резервный элемент до своего включения в работу вообще не может отказывать (холодное резервирование) или может отказывать, но с другой, меньшей плотностью вероятности, чем после включения (облегченный резерв).

При рассмотрении задач, связанных холодным или облегченным резервированием, недостаточно знания системы и элементов для одного, заранее фиксированного, значения времени τ . Необходим анализ всего случайного процесса функционирования системы.

Пусть система состоит из одного основного A_1 и одного резервного элемента A_2 ; $\lambda_1(t)$ – интенсивность потока отказов элемента A_1 ; при отказе A_1 происходит автоматическое и безотказное переключение на элемент A_2 ($p_{\Pi} = 1$); $\lambda_2(t)$ – интенсивность потока отказов элемента A_2 до его включения в работу в облегченном режиме; после его включения в работу, в момент отказа первого элемента, интенсивность мгновенно становится равной $\tilde{\lambda}_2(t/t_1)$, где t_1 – время, в течение которого элемент работал в облегченном режиме. Требуется найти надежность системы $P(t)$.

Пусть T_1 – случайная величина момента отказа элемента A_1 ; T_2 – случайная величина момента отказа элемента A_2 ; событие S – безотказная работа системы до момента t . Тогда

$$p(\bar{S}) = 1 - P(S) = P(T_1 < t, T_2 < t) = \int_0^t \int_0^t f(t_1, t_2) dt_1 dt_2, \quad (11)$$

где $f(t_1, t_2) = f_1(t_1)f(t_2 | t_1)$ – двумерная плотность; $f_1(t_1)$ – безусловная плотность распределения величины T_1 ; $f(t_2 | t_1)$ – условная плотность распределения величины T_2 при условии, что величина T_1 приняла значение t_1 . Из определения интенсивности следует, что

$$f_1(t_1) = \lambda_1(t_1)p_1(t_1) = \lambda_1(t_1)\exp\left(-\int_0^{t_1}\lambda_1(t)dt\right). \quad (12)$$

Так как

$$\lambda_2(t_2/t_1) = \begin{cases} \lambda_2(t_2), & t_2 < t_1, \\ \tilde{\lambda}_2(t_2/t_1), & t_2 > t_1, \end{cases} \quad (13)$$

то условная плотность равна

$$f(t_2 | t_1) = \begin{cases} \lambda_2(t_2)\exp\left(-\int_0^{t_2}\lambda_2(t)dt\right), & t_2 < t_1, \\ \tilde{\lambda}_2(t_2/t_1)\exp\left\{-\int_0^{t_1}\lambda_2(t)dt - \int_{t_1}^{t_2}\tilde{\lambda}_2(t_2/t_1)dt\right\}, & t_2 > t_1 \end{cases}, \quad (14)$$

так что надежность системы

$$P(t) = 1 - \int_0^t \int_0^t f_1(t_1)f(t_2 | t_1)dt_1dt_2. \quad (15)$$

При $\lambda_2(t) = 0$ найденное решение описывает случай холодного резерва.

В общем случае надежность функционирования специального защитного сооружения будет определяться состоянием специального защитного помещения $A(a, b, l)$, которое зависит от его конструктивных особенностей и числа фильтровентиляционных установок $K_{ФВУ}$, используемых для создания подпора и временем τ , необходимом для решения задачи спасения людей от поражения радиоактивными и отравляющими веществами, распыленными в атмосфере, то есть

$$P(t) = f_3[A(a, b, l), K_{ФВУ}, \tau]. \quad (16)$$

Синтезирование математической модели защиты людей при чрезвычайных ситуациях, приводящих к загрязнению атмосферы радиоактивными и отравляющими веществами. В процессе разработки математической модели были получены три функциональные зависимости.

Первая (5), которая по значениям определяющих факторов позволяет определить величину подпора воздуха в специальном защитном помещении. Этих факторов четыре. Первый – это мощность или производительность фильтровентиляционной установки, главный показатель, обеспечивающий нагнетание чистого (профильтрованного) воздуха в помещении, предназначенного для укрытия людей. Этот фактор или техническая характеристика фильтровентиляционной установки обозначается как $W_{\text{ФВУ}}$. Второй фактор – площадь выходного сечения фильтровентиляционной установки. Фактически это площадь сечения вентиляционного короба, который конструктивно подключен к специальному защитному помещению. Он обозначается как $S_{\text{ФВУ}}$. Третий фактор – это геометрические характеристики специального защитного помещения, которые определяются его длиной, шириной, высотой и обозначаются (a, b, l) . В случае, если помещение будет не прямоугольной конфигурации, овальной, трапециевидной или какой-то другой, то в качестве геометрической характеристики будет браться площадь его среднего сечения. Четвертый фактор – суммарная площадь всех негерметичностей специального защитного помещения. Она обозначается $S_{\text{негерм}}$. Определяется площадь негерметичностей конструктивными особенностями помещения, например, вытяжкой пожарной вентиляции или вычисляется во время испытаний при вводе фильтровентиляционных установок в эксплуатацию.

Вторая функциональная зависимость (6) позволяет определить возможное количество людей, которых можно укрыть в специальном защитном помещении. В этой функциональной зависимости два аргумента. Первый – геометрические параметры специального защитного помещения, а именно длина, ширина высота, которые обозначаются (a, b, l) . В случае, если защитное помещение имеет конфигурацию, отличную от прямоугольной, то это будут площадь этого помещения и его высота. Вторым аргументом – это норма площади, необходимой для размещения одного человека. Оно обозначается $S_{\text{нор}}$ и может быть нормальной, уплотненной и максимально возможной. В первом случае предусматриваются сидячие и лежащие места для укрываемых. Во втором – только сидячие места на стульях и в третьем – сидячие места на полу.

Третья функциональная зависимость (16) предназначена для вычисления надежности функционирования специального защитного сооружения. Аргументами этой функциональной зависимости являются три фактора. Первый фактор – это состояние специального защитного помещения, которое определяется соответствием всем техническим условиям,

разработанным при его проектировании и проверенными при вводе в эксплуатацию. Обозначается этот фактор $A(a, b, l)$. Второй фактор зависит от числа фильтровентиляционных установок, используемых для создания подпора воздуха в специальном защитном помещении. Он обозначается $K_{\text{ФВУ}}$. Третий фактор определяется временем, необходимым для решения задачи спасения людей от поражения радиоактивными и отравляющими веществами в атмосфере. Он обозначается τ .

Объединяя эти три функциональные зависимости в систему, получаем следующую математическую модель

$$\begin{cases} \Delta P = f_1 [W_{\text{ФВУ}}, S_{\text{ФВУ}}, (a, b, l), S_{\text{негерм}}] \\ N = f_2 [(a, b, l), S_{\text{нор}}] \\ P(t) = f_3 [A(a, b, l), K_{\text{ФВУ}}, \tau] \end{cases} \quad (17)$$

Выводы. Математическая модель защиты людей при чрезвычайных ситуациях, приводящих к загрязнению атмосферы радиоактивными и отравляющими веществами, представляет собой совокупность трех функциональных зависимостей. Первая из них определяет величину подпора воздуха в специальном защитном помещении в зависимости от производительности (мощности) фильтровентиляционной установки и площади ее выходного сечения, геометрических характеристик специального защитного помещения и суммарной площади негерметичностей в этом помещении. Вторая функциональная зависимость определяет нормальное, уплотненное или максимальное количество людей, укрываемых в защитном помещении в зависимости от его геометрических параметров и норм площади, необходимых для размещения одного человека. Третья функциональная зависимость определяет вероятность безотказной работы специального защитного помещения от степени соответствия его всем техническим условиям, количества фильтровентиляционных установок, создающих подпор, и временем решения задачи спасения людей от поражения радиоактивными и отравляющими веществами, распыленными в атмосфере.

ЛИТЕРАТУРА

1. Самойлов О.Б. Безопасность ядерных энергетических установок / О.Б. Самойлов, Г.Б. Усынин, А.М. Бахматов: монография – М.: Энергоатом издат, 1989. – 280 с.
2. Гончаренко Ю.Ю. Оценка эффективности управления чрезвычайной ситуацией / Ю.Ю. Гончаренко Е.В. Азаренко, Ю.В. Брасловский и др. / Сб. научн. трудов СНУЯЭиП. – Вып. 2 (38). – Севастополь: СНУЯЭиП, 2011. – С. 239-245.

3. Гончаренко Ю.Ю. Чрезвычайные ситуации, обусловленные информационными потоками / Ю. Гончаренко, Е. Азаренко, М. Дивизинюк, В. Ковач / Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. Науково-технічний збірник. Вип. 2 (30). – К.: НТУУ КПИ, 2015. – С. 21-25.

4. Гончаренко Ю.Ю. Інформаційно-технічні методи попередження надзвичайних ситуацій на техногенних об'єктах / Ю.Ю. Гончаренко, В.О. Ковач, О.О. Попов та ін. / Защита информации. Сборник научных трудов НАУ. Вып. 22. – К.: НАУ, 2015. – С. 122-134.

5. Гончаренко Ю.Ю. Структура контура управления информационной безопасностью предприятия / Ю.Ю. Гончаренко / Научно-практический журнал «Экономика и управление». № 5 – Симферополь: НАПКС, 2012. – С. 97-101.

6. Загрязнения атмосферного воздуха [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://ecology-education.ru/index.php?action=full&id=517>.

7. Химические аварии и катастрофы. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.newsru.com/background/04nov2004/chemdic.html>.

8. Чебоксаров А.Н. Основы теории надежности и диагностика: Курс лекций / А.Н. Чебоксаров. – Омск: Сиб АДИ, 2012. – 76 с.

9. Теория надежности [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://portal.tpu.ru:7777/SHARED/I/LASUKOV/ms/tab1/gG.pdf>.

Получено редколлегией 29.09.2016

О.В. Азаренко, Ю.Ю. Гончаренко, М.М. Дивизинюк, О.С. Рижкін

Математична модель захисту людей при надзвичайних ситуаціях, які призводять до забруднення атмосфери радіоактивними й отруйні речовини

У роботі на основі систематизації класичних положень газодинаміки, санітарних правил і теорії надійності розроблена математична модель захисту людей при надзвичайних ситуаціях, що призводять до забруднення атмосфери радіоактивними і отруйними речовинами. Отримана модель використовується для розробки технічних завдань зі створення спеціальних захисних приміщень в системі державної цивільного захисту.

Ключові слова: математична модель, радіоактивні і отруйні речовини, підпір повітря, герметичне приміщення.

E. Azarenko, Yu. Goncharenko, M. Diviziniuk, A. Ryzhkin

Mathematical model of the protection of people in emergency situations, leading to pollution the atmosphere of radioactive and toxic substances

In this paper, based on the provisions of the systematization of classical gas dynamics, sanitary rules, and reliability theory, a mathematical model for the protection of people in emergency situations, leading to pollution of the atmosphere with radioactive and toxic substances. The resulting model is used to develop technical specifications for the creation of special protection facilities in the system of civil protection.

Keywords: mathematical model, radioactive and toxic substances, air backup, tight room.