

Запобігання та ліквідація надзвичайних ситуацій

УДК 355.587

DOI: 10.30748/zhups.2018.56.26

В.В. Барбашин¹, В.Ю. Дубницький², Г.В. Фесенко¹, И.А. Черепнев³,
В.Н. Базелюк⁴, Е.М. Шпинда⁴

¹ Харківський національний університет городского хозяйства им. А.Н. Бекетова, Харьков

² Харківський учебно-научный институт ГВУЗ Университета банковского дела, Харьков

³ Харківський національний технічний університет сільського господарства
им. П. Василенко, Харьков

⁴ Военный институт танковых войск Национального технического университета
«Харківський політехнічний інститут», Харьков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЁТНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГРАЖДАНСКИХ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ФИЛЬТРУЮЩЕГО ТИПА

Рассмотрена статистика чрезвычайных ситуаций. Выявлена четкая общемировая тенденция увеличения экономического ущерба и числа погибших в техногенных и природных катаклизмах. Высказано предположение о снижении риска применения химического оружия в ходе боевых действий и о высокой возможности возникновения очага химического заражения на территории Украины именно в результате аварий на потенциально опасных объектах. Проанализировано состояние химической безопасности и обеспечение населения средствами индивидуальной защиты (СИЗ). Предложена методика определения расчётной эффективности СИЗ фильтрующего типа. Переменными параметрами СИЗ приняты следующие характеристики конструкции: максимальная ингаляционная токсодоза, поглощаемая СИЗ; коэффициент подсоса в зону дыхания; коэффициент подсоса в зону органов зрения; заданное техническим заданием время защитного действия СИЗ. Постоянными параметрами СИЗ, задаваемыми техническим заданием, приняты: значение пороговой ингаляционной токсодозы, значение пороговой концентрации ОВ при воздействии через органы дыхания, значение пороговой концентрации ОВ при воздействии через органы зрения. Эффективность отдельно взятого СИЗ определена как вероятность выполнения своего функционального назначения с учётом всех возможных путей проникновения ОВ в организм человека. Эту величину предложено определять как произведение вероятности выполнения защитных функций фильтрующим устройством (коробкой), вероятности выполнения защитных функций с учётом подсоса в зону дыхания, вероятности выполнения защитных функций СИЗ с учётом подсоса в зону органов зрения. Для определения влияния малых изменений переменных параметров на эффективность СИЗ определены эластичности каждого из сомножителей по переменным параметрам. Вычислены абсолютные погрешности сомножителей в зависимости от абсолютной погрешности переменных параметров. Для окончательной оценки эффективности СИЗ, с учётом абсолютных погрешностей переменных параметров, использована интервальная арифметика с представлением чисел в системе центр-радиус.

Ключевые слова: последствия чрезвычайных ситуаций, химическая обстановка, средства индивидуальной защиты фильтрующего типа, эффективность средств индивидуальной защиты, эластичность функции, абсолютная погрешность функции, интервальные вычисления, система центр-радиус.

Введение

Вся история человечества сопровождается чередой катастроф и катаклизмов различного характера. «Жизнь древних обществ была, как известно, очень тесно связана с природными условиями на занимаемых и эксплуатируемых ими территориях. Резкие изменения таких условий и иные катаклизмы естественного характера оказывали громадное воздействие на весь ход развития данной конкретной цивилизации» [1, с. 135]. Упоминания о катаклизмах, которые периодически возникают на нашей

планете, можно найти в мифах, преданиях и легендах практически всех народов Земли: «Аристарх из Самоса в III веке до н. э. утверждал, что каждые 2484 года Земля проходит через две катастрофы – пожар и потоп. По свидетельству Раши, известного средневекового толкователя Библии и Талмуда, катаклизмы происходят с интервалом в 1656 лет. Племена майя и ацтеков считали, что между мировыми катастрофами лежит период в 52 года. Греческий философ Гераклит Эфесский считал, что мир погибает в огне через каждые 10800 лет. По истечении

этого времени все в мире возвращается на круги своя и повторяется. Цензорин (*прим.авт: древнеримский писатель живший в III в. н.э.*) упоминает о четырех веках по 105 лет, которые, по верованиям этрусков, будто бы прошли между двумя мировыми катастрофами» [2].

С развитием научно-технического прогресса и увеличением антропогенного давления на окружающую среду масштабы чрезвычайных ситуаций (ЧС) и их последствия значительно возросли. Человеческая деятельность зачастую стала провоцировать возникновение природных катаклизмов. Можно привести пример влияния вырубки лесов в Карпатах на возникновение селевых потоков: «Тотальное уничтожение заповедных карпатских лесов, из-

менение климата последних десятилетий вызывает деградацию горного оледенения. На этом фоне в обозримом будущем можно ожидать увеличения частоты и энергетики селевых процессов, особенно связанных с парагляциальной обстановкой» [3]. В ряде работ приведены данные по статистике ЧС природного, техногенного и социального характера за несколько последних десятилетий [4–7]. Последняя информация, доступная авторам данного сообщения, соответствует 2016 году. Нами, на основании источников [6–7], составлена табл. 1, в которой представлены данные по количеству погибших и размерам экономических потерь от ЧС в 2015 – 2016 гг. для Украины и мира в целом.

Таблица 1

Количество погибших и размер экономических потерь от ЧС в 2015–2016 гг. для Украины и мира в целом

| Территория, по которой производилась оценка | Экономические потери от стихийных бедствий и техногенных катастроф в 2015 году | Экономические потери от стихийных бедствий и техногенных катастроф в 2016 году | % от ВВП, 2015 г | % от ВВП, 2016 г. | Количество погибших в ЧС, 2015 г. | Количество погибших в ЧС, 2016 г. |
|---|--|--|------------------|-------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Во всем мире | \$94 млрд. | \$175 млрд | 0,082 | 0,24 | 4000 чел. | 11000 чел. |
| В Украине | 531 831 000 грн. | 265 306 000 грн. | 0,027 | 0,011 | 242 чел. | 183 чел. |

К сожалению, не стали достоянием прошлого военные конфликты разных масштабов. В работе [8] приведены данные по статистике потерь военнослужащих и мирного населения за 1600 – 2000 гг. Из анализа этих данных видна четко выраженная тенденция гибели преимущественно гражданского населения, которая представлена на рис. 1. В среднем, в период 1945 – 2000 гг. из общего количества погибших 80% были гражданскими. Для Вьетнама (1970–1975 гг.) и эти цифры еще более трагические: 9 из 10 погибших относился к категории мирного населения [9].

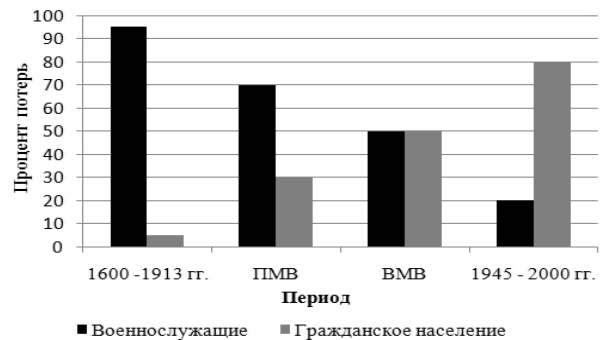


Рис. 1. Удельный вес (%) потерь военнослужащих и гражданского населения в войнах XVII – XX веков

Таблица 2

Статистика потерь в африканских войнах второй половины XX века

| Страна | Конфликт | Годы | Оценка общих потерь | Убито в бою | % боевых потерь |
|----------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|----------------------|-------------|-----------------|
| Судан | Восстание Аня Ня | 1963–1973 | 250 000–750 000 | 20 000 | 3–8 |
| Нигерия | Восстание Биафры | 1967–1970 | 500 000–2 000 000 | 75 000 | 4–15 |
| Ангола | Гражданская война | 1975–2002 | 1 500 000 | 160 475 | 11 |
| Эфиопия (без войны в Эритрее) | Гражданская война | 1976–1991 | 1 000 000–2 000 000 | 16 000 | 2 |
| Мозамбик | Гражданская война | 1976–1992 | 500 000–1 000 000 | 145 400 | 15–29 |
| Сомали | Гражданская война | 1981–1996 | 250 000–350 000 | 66 750 | 19–27 |
| Судан | Гражданская война | 1983–2002 | 2 000 000 | 55 500 | 3 |
| Либерия | Гражданская война | 1989–1996 | 150 000–200 000 | 23 500 | 12–16 |
| Демократическая республика Конго | Гражданская война | 1998–2001 | 2 500 000 | 145 000 | 6 |
| Итого по восьми странам | Все гражданские войны | За период 39 лет (115 лет конфликта) | 8 650 000–12 300 000 | 707 625 | 5–8 |

Значительное количество жертв именно среди гражданских лиц было отмечено в Ираке: «В ходе вторжения в Ирак в 2003 году и после, в течении 18 месяцев, избыточная смертность в стране достигла 100 тысяч человек, это в семь раз выше убитых в боевых действиях» [10]. Но, пожалуй, все «рекорды» побил военные конфликты в Африке, когда гибель гражданских лиц превысила 90 % от общей численности убитых. Эти данные приведены в табл. 2, заимствованной из работы [10].

Самое массовое применение оружия массового поражения (ОМП) в ходе боевых действий произошло во время Первой мировой войны (ПМВ). Всего за годы ПМВ было произведено 180 тысяч тонн боеприпасов различных типов, начиненных отравляющими веществами, из которых на поле боя было применено 125 тысяч тонн. Боевую проверку прошло свыше 40 типов ОВ. Общие потери от химического оружия оцениваются в 1,3 млн. человек, из них до 100 тысяч со смертельным исходом [11]. Нельзя не отметить, что массовое применение ОВ армиями противоборствующих сторон было осуществлено вопреки запретам, закрепленным в решениях Гаагской мирной конвенции 1899 г. Договаривающиеся стороны объявили о своем решении «воздерживаться от применения снарядов, исключительной целью которых является распыление удушающих или вредных газов». Во Второй Гаагской конвенции (1907 г.) подтверждались предыдущие запреты на применение отравляющих или отравленных вооружений [12]. Второй раз химическое оружие (ХО) было запрещено Женевским протоколом 1925 года. Но и Женевская конвенция от 1925 года не смогла приостановить использование ХО. Итальянская армия в войне с Эфиопией в 1935–1936 гг. нанесла 19 массированных химических ударов по войскам и населению этой страны, что привело к массовым поражениям. В 1937–1943 гг. Япония применяла ОВ во время войны против Китая, в результате чего китайские войска потеряли более 50 тыс. человек, пораженных этими веществами [13]. Но на фронтах Второй мировой войны воюющие стороны практически не применяли ХО (за исключением Крыма): «О применении химических отравляющих веществ в борьбе с советскими воинами под Керчью говорят и немецкие источники. Из «Военного дневника» Ф. Гальдера известно, что представитель гитлеровской ставки генерал химических войск Окснер 13 июня 1942 г. докладывал о своей поездке в Крым и об участии в боях за Керчь химических подразделений. Надо полагать, что Окснер являлся если не инициатором, то первой фигурой в деле технического исполнения чудовищного преступления против аджимушкайского подземного гарнизона» [14, С. 147]. В Германии нацисты активно использовали созданный нобелевским лауреатом Фрицом Габером

газ Циклон Б для уничтожения узников концлагерей [15]. После Второй мировой войны было зафиксировано применение химического оружия Египтом в Йемене и слезоточивого газа и гербицидов Соединенными Штатами Америки во время войны во Вьетнаме, что стало мощным стимулом к принятию международных договоров по его окончательному запрещению и уничтожению [16]. ОВ также применялись Ираком в войне против армии Ирана и курдских повстанцев.

По неполным данным, в XX в. из числа 70 наиболее интенсивных военных конфликтов по крайней мере в 15 было применено химическое оружие. По каждому такому случаю мировая общественность проявляла озабоченность и выражала осуждение [13]. Поэтому, принятие и вступления в силу 29 апреля 1997 г. «Конвенции о запрещении разработки, производства, накопления и применения химического оружия и о его уничтожении» (далее – Конвенция) является значительным прорывом в сфере международного гуманитарного права. Генеральный секретарь Организации Объединенных Наций является депозитарием Конвенции. Контроль за соблюдением Конвенции осуществляется международной Организацией по запрещению химического оружия (ОЗХО), находящейся в Гааге (Королевство Нидерланды) [17]. Однако, известны факты применения запрещенного зажигательного оружия на основе белого фосфора вооруженными силами США в Ираке [18]. Соблюдение вышеупомянутой Конвенции и проводимые рядом государств мероприятия по уничтожению запасов ХО в значительной степени снижают риск его применения «законными вооруженными формированиями» в ходе боевых действий против военнослужащих или гражданского населения. В составе вооруженных сил практически всех государств существуют специализированные подразделения радиационной, химической и биологической защиты, а личный состав оснащен эффективными средствами выявления факта химической атаки и защиты от неё, как индивидуальными, так и коллективными. Например, в Украине для военнослужащих Национальной гвардии в конце 2014 г. была заказана партия в 6000 противогазов (ПГ) в ООО «Наука». Из доступного авторам источника информации следует, что «эти средства индивидуальной защиты (СИЗ) изготовлены по стандартам НАТО, оснащены мембранами, позволяющими вести переговоры на расстоянии до 2 м. Такой противогаз солдат может не снимать в течение суток. В нем можно спать и даже есть. Стоимость одного комплекта составляет 200 евро» [19].

Поэтому, по мнению авторов данного сообщения, необходимо обратить внимание на риск возникновения очага химического заражения и, как следствие, поражения населения вследствие аварий

на потенциально опасных объектах или при транспортировке опасных химических веществ.

Для Украины эта проблема является весьма актуальной. Как сказано в [7]: «В Україні існує високий рівень ризику виникнення НС, пов'язаних із аваріями з викидом або загрозою викиду небезпечних хімічних речовин. Він пов'язаний з функціонуванням 711 об'єктів, на яких зберігається або використовується у виробничій діяльності більше 285 тис. т небезпечних хімічних речовин, у тому числі: більше 3 тис. т хлору, 183 тис. т аміаку та близько 99 тис. т інших небезпечних хімікалій... Залишається гострою проблема належного поводження з твердими побутовими відходами та складами для зберігання отрутохімікатів у міській, а особливо в сільській місцевостях. На території країни накопичено понад 20 млрд. т побутових відходів, і щороку ця кількість зростає на 700 млн. т». В результате этого, в зонах возможного химического заражения от этих объектов проживает 10,244 млн. человек, что составляет около 25 % населения Украины [20]. Несмотря на наличие реальной угрозы возникновения ЧС, состояние с обеспечением неработающего населения страны СИЗ оставляет желать лучшего и в среднем составляет 13 % от необходимого. Причем, в отдельных областях эти цифры значительно ниже, а именно: Сумской (0,1 %), Днепропетровской (0,3 %), Ивано-Франковской (0,6 %). В Луганской, Запорожской, Львовской и Херсонской областях неработающее население вообще не обеспечено СИЗ [7]. Исправить положение можно или закупкой СИЗ гражданского типа за рубежом, или (что лучше с точки зрения поддержки отечественных производителей) организовав массовое производство на предприятиях Украины. В ряде публикаций, например, [21–24], делается вывод о том, что население лучше всего обеспечивать СИЗ фильтрующего типа, что позволяет сочетать относительную простоту в эксплуатации, приемлемую стоимость изготовления, а также достаточно высокую эффективность защиты от наиболее распространенных опасных химических веществ.

Только в последние годы в открытом доступе стала появляться литература, в которой рассматривали отдельные вопросы проектирования СИЗ как инженерных конструкций [25–27]. Работу [31] можно смело считать раритетной. Отсюда следует, что исследования в области проектирования СИЗ следует считать актуальными. Очевидно, что любое изменение конструктивных параметров СИЗ влечёт за собой изменение в надёжности (эффективности) СИЗ. Для этого в работе [25] предложено определять эффективность СИЗ как вероятность выполнения им своего функционального назначения. В рамках данной работы подобное определение принято без дальнейшего его обсуждения. Для оптимизации процесса проектирования важно знать чувствитель-

ность величины расчетной надёжности СИЗ по отношению к малым изменениям конструктивных параметров.

Анализ литературы. Для оценки влияния малых изменений аргумента на изменение функции в безразмерной форме используют понятие эластичности функции. Свойства эластичности подробно описаны в работе [28]. Пусть задана дифференцируемая функция $y = f(x)$. Эластичностью (относительной чувствительностью) этой функции по аргументу x называют величину:

$$E_x(y) = \frac{d}{dx} f(x) \cdot \frac{x}{f(x)}. \quad (1)$$

Эта величина показывает, на сколько процентов изменится значение функции при изменении аргумента на один процент. Это понятие будет использовано для оценки влияния изменения конструктивных параметров СИЗ на его надёжность.

При оценке эффективности СИЗ органов дыхания в чрезвычайных ситуациях в работе [29] использован вероятностный подход, при котором законы распределения случайных величин, характеризующих частные показатели надёжности, принимают известными. В этой же работе предложено вероятность непоражения человека в зоне выброса токсических веществ определять по условию:

$$p_n = 1 - p(T), \quad (2)$$

где $p(T)$ – вероятность поражения, определяемая из выражения:

$$p(T) = \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf}(\sqrt{k} \ln T(x, y, z)) \right]. \quad (3)$$

В этом выражении $T(x, y, z)$ – эффект токсического действия вещества в точке с координатами (x, y, z) . Для ориентировочных расчетов в работе [29] рекомендуют принимать $k=1$. Примем, что $u = \ln(T(x, y, z))$, тогда $\operatorname{erf}(u)$ – интеграл вероятностей или функция Крампа, имеющая вид:

$$\operatorname{erf}(u) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^u \exp(-t^2) dt. \quad (4)$$

Для удобства расчётов напомним, что связь между стандартной функцией нормального распределения

$$\Phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2}} \int_{-\infty}^u \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt \quad (5)$$

и функцией Крампа в работе [30] дана в виде:

$$\Phi(u) = \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf}\left(\frac{u}{\sqrt{2}}\right) \right]. \quad (6)$$

Следовательно, вероятность поражения:

$$p(T) = \Phi(u). \quad (7)$$

В работе [29] предложено эффективность от-дельно взятого СИЗ оценивать как вероятность P_ϕ выполнения своего функционального назначения с учётом всех возможных путей проникновения ОБ в организм человека. Величину P_ϕ предложено опре-делять по условию:

$$P_\phi = P_{\text{кор}} P_{\text{дых}} P_{\text{зр}}, \quad (8)$$

где $P_{\text{кор}}$ – вероятность выполнения защитных функ-ций фильтрующим устройством (коробкой); $P_{\text{дых}}$ – вероятность выполнения защитных функций с учё-том подсоса в зону дыхания; $P_{\text{зр}}$ – вероятность вы-полнения защитных функций средством ИЗ с учётом подсоса в зону органов зрения.

Величину $P_{\text{кор}}$ предложено определять по фор-муле:

$$P_{\text{кор}} = 1 - \left(\frac{D_{\text{gr}}}{D_{\text{gr}} + D_a} \right)^{1,14}, \quad (9)$$

где D_a – максимальная поглощаемая средством ИЗ ингаляционная токсодоза (гс/м³); D_{gr} – значение пороговой ингаляционной токсодозы (гс/м³).

Величину $P_{\text{дых}}$ предложено определять по формуле:

$$P_{\text{дых}} = 1 - \left(\frac{D_{\text{gr}}}{D_{\text{gr}} + C_{\text{grd}} \left(\frac{100 - K_d}{K_d} \right) t} \right)^{1,14}, \quad (10)$$

где C_{grd} – значение пороговой концентрации ОБ (г/м³) при воздействии через органы дыхания; K_d – коэффициент подсоса в зону дыхания (%); t – время защитного действия (с).

Величину $P_{\text{зр}}$ предложено определять по фор-муле:

$$P_{\text{зр}} = 1 - \left(\frac{D_{\text{gr}}}{D_{\text{gr}} + C_{\text{grz}} \left(\frac{100 - K_z}{K_z} \right) t} \right)^{1,14}, \quad (11)$$

где C_{grz} – значение пороговой концентрации ОБ (г/м³) при воздействии через органы зрения; K_z – коэффи-циент подсоса в зону органов зрения (%); t – время защитного действия (с). Условия (8–11) примем в ка-честве основных расчётных соотношений.

Постановка задачи. Цель работы состоит в формировании предложений к методике определе-ния надежности СИЗ фильтрующего типа, исполь-зующей понятие эластичности (относительной чув-ствительности) основных конструктивных характе-ристик изделия.

Полученные результаты

В табл. 3 перечислены характеристики СИЗ, принимаемые в рамках данной работы постоянными и переменными величинами.

Таблица 3

Конструктивные параметры и нормативные характеристики СИЗ

| Конструктивные (переменные) параметры СИЗ | Нормативные (постоянные) характери-стики СИЗ, задаваемые техническим заданием |
|--|---|
| D_a – максимальная по-глощаемая СИЗ ингаля-ционная токсодоза. | D_{gr} – значение порого-вой ингаляционной ток-содозы. |
| K_d – коэффициент под-соса в зону дыхания; t – заданное техниче-ским заданием время защитного действия. | C_{grd} – значение порого-вой концентрации ОБ при воздействии через органы дыхания. |
| K_z – коэффициент под-соса в зону органов зре-ния; t – время защитного действия | C_{grz} – значение порого-вой концентрации ОБ функция при воздейст-вии через органы зрения |

Для решения поставленной задачи выполним следующие действия.

Определим эластичность $P_{\text{кор}}$ – вероятности выполнения защитных функций фильтрующим уст-ройством (коробкой).

Примем, что:

$$U = \left(\frac{D_{\text{gr}}}{D_{\text{gr}} + D_a} \right). \quad (12)$$

Используя (1) и (9), получим, что:

$$\frac{dP_{\text{кор}}}{dD_a} = \frac{1,14 D_a U^{0,14}}{(D_a + D_{\text{gr}})^2}. \quad (13)$$

Следовательно, искомую эластичность вероят-ности выполнения защитных функций фильтрую-щим устройством (коробкой) можно определить из выражения:

$$E_{D_a}(P_{\text{кор}}) = \frac{1,14 D_{\text{gr}} D_a U^{0,14}}{(D_a + D_{\text{gr}})^2 (1 - U)^{0,14}}. \quad (14)$$

Исходя из выражений (10) и (11) вероятность выполнения защитных функций СИЗ с учётом подсосов в зону дыхания и органов зрения есть функция двух переменных: соответствующего конструктивного параметра и времени пребывания СИЗ в активном состоянии.

Определим эластичность величины $P_{\text{дых}}$ по переменной K_d . Примем, что:

$$V = K_d (D_{\text{gr}} - C_{\text{grd}} t) + 100C_{\text{grd}} t. \quad (15)$$

Используя (10) и (15) получим, что:

$$\frac{\partial P_{\text{дых}}}{\partial K_d} = - \frac{114D_{\text{gr}} C_{\text{grd}} t \left(\frac{D_{\text{gr}} K_d}{V} \right)^{0.14}}{V^2}. \quad (16)$$

Следовательно, искомая эластичность величины $P_{\text{дых}}$ по переменной K_d может быть определена по выражению:

$$E_{K_d}(P_{\text{дых}}) = - \frac{114D_{\text{gr}} C_{\text{grd}} t \left(\frac{D_{\text{gr}} K_d}{V} \right)^{0.14}}{V^2} \times \frac{K_d}{1 - \left(\frac{D_{\text{gr}}}{D_{\text{gr}} + C_{\text{grd}} \left(\frac{100 - K_d}{K_d} \right) t} \right)^{1.14}}. \quad (17)$$

Эластичность величины $P_{\text{дых}}$ по переменной t будет результатом выполнения следующих действий:

$$\frac{\partial P_{\text{дых}}}{\partial t} = \frac{1,14C_{\text{gr}} D_{\text{grd}} K_d (100 - K_d) \left(\frac{D_{\text{gr}} K_d}{V} \right)^{0.14}}{V^2}; \quad (18)$$

$$E_t(P_{\text{дых}}) = \frac{1,14C_{\text{gr}} D_{\text{grd}} K_d (100 - K_d) \left(\frac{D_{\text{gr}} K_d}{V} \right)^{0.14}}{V^2} \times \frac{t}{1 - \left(\frac{D_{\text{gr}}}{D_{\text{gr}} + C_{\text{grd}} \left(\frac{100 - K_d}{K_d} \right) t} \right)^{1.14}}. \quad (19)$$

Определим эластичность величины $P_{\text{зр}}$ по переменной K_z . Примем, что:

$$W = K_z (D_{\text{gr}} - C_{\text{grz}} t) + 100C_{\text{grz}} t. \quad (20)$$

Используя выражения (1) и (11) получим, что:

$$\frac{\partial P_{\text{зр}}}{\partial K_z} = - \frac{114D_{\text{gr}} C_{\text{grz}} t \left(\frac{D_{\text{gr}} K_z}{W} \right)^{0.14}}{W^2}. \quad (21)$$

Эластичность величины $P_{\text{зр}}$ по переменной K_z определим как:

$$E_{K_z}(P_{\text{зр}}) = - \frac{114D_{\text{gr}} C_{\text{grz}} t \left(\frac{D_{\text{gr}} K_z}{W} \right)^{0.14}}{W^2} \times \frac{K_z}{1 - \left(\frac{D_{\text{gr}}}{D_{\text{gr}} + C_{\text{grz}} \left(\frac{100 - K_z}{K_z} \right) t} \right)^{1.14}}. \quad (22)$$

Эластичность величины $P_{\text{зр}}$ по переменной t определим, как результат выполнения следующих действий:

$$\frac{\partial P_{\text{зр}}}{\partial t} = \frac{1,14C_{\text{gr}} D_{\text{grz}} K_z (100 - K_z) \left(\frac{D_{\text{gr}} K_z}{W} \right)^{0.14}}{W^2}; \quad (23)$$

$$E_t(P_{\text{зр}}) = \frac{1,14C_{\text{gr}} D_{\text{grz}} K_z (100 - K_z) \left(\frac{D_{\text{gr}} K_z}{W} \right)^{0.14}}{W^2} \times \frac{t}{1 - \left(\frac{D_{\text{gr}}}{D_{\text{gr}} + C_{\text{grz}} \left(\frac{100 - K_z}{K_z} \right) t} \right)^{1.14}}. \quad (24)$$

Сформулированные в условиях (14; 17; 22; 24) результаты позволяют сформулировать предложения по внесению конструктивных изменений в параметры СИЗ для обеспечения их надёжности. Для оценки влияния культуры производства СИЗ на эту характеристику, определим величины абсолютной погрешности определения $\Delta P_{\text{кор}}$, $\Delta P_{\text{дых}}$, $\Delta P_{\text{зр}}$ в зависимости от величин абсолютной погрешности величин ΔD_a , ΔK_d , ΔK_z . Для этого, используя работу [32] и условия (13; 16; 21) получим, что:

$$\Delta P_{\text{кор}} = \left| \frac{1,14D_a U^{0.14}}{(D_a + D_{\text{gr}})^2} \right| \Delta D_a; \quad (25)$$

$$\Delta P_{\text{дых}} = \left| \frac{114 D_{\text{gr}} C_{\text{grd}} t \left(\frac{D_{\text{gr}} K_d}{V} \right)^{0.14}}{V^2} \right| \Delta K_d ; \quad (26)$$

$$\Delta P_{\text{зр}} = \left| \frac{114 D_{\text{gr}} C_{\text{grz}} t \left(\frac{D_{\text{gr}} K_z}{W} \right)^{0.14}}{W^2} \right| \Delta K_z . \quad (27)$$

Условия (25) и (26) фактически определяют абсолютную погрешность сомножителей, входящих в условие (8). Знание этих величин позволяет вычислить интервал возможных значений величины P_{ϕ} , необходимый для оценки эффективности СИЗ.

Интервал, содержащий возможные значения величины P_{ϕ} , определим методом интервальной арифметики, в которой интервальные числа заданы в системе центр-радиус. Основные положения этого метода описаны в работах [33–36].

Следуя этим работам, рассмотрим множество действительных чисел R , на котором определим интервальное число $[A]$ в виде замкнутого интервала:

$$[A] = (\underline{a}, \bar{a}) = (a_1, a_2) = [a_1, a_2], \quad \underline{a} \leq \bar{a}; \quad a_1 \leq a_2, \quad (28)$$

и представим его в виде:

$$\tilde{A} = \langle a, r_a \rangle, \quad (29)$$

где

$$a = \frac{a_1 + a_2}{2}; \quad r_a = \frac{a_2 - a_1}{2}; \quad a, r_a \in R. \quad (30)$$

В рамках данной работы примем, что границы интервалов, которые ограничивают рассматриваемые числа, образованы вычислительными ошибками, погрешностями измерений или неполным знанием области изменения некоторой физической величины.

Иначе будем считать, что задача, в рамках наших представлений об исследуемом объекте, физического смысла не имеет. Для выполнения операций умножения и деления используем выражения вида:

$$\langle a, r_a \rangle \langle b, r_b \rangle = \langle ab + r_a r_b, ar_b + br_a \rangle. \quad (31)$$

Данные о центрах и радиусах интервалов соответствующих переменных приведены в табл. 4.

Используя условия (8), (28–31) получим следующее.

Пусть:

$$\begin{aligned} \langle E; r_E \rangle &= \langle P_{\text{кор}}; \Delta P_{\text{кор}} \rangle \cdot \langle P_{\text{дых}}; \Delta P_{\text{дых}} \rangle = \\ &= \langle P_{\text{кор}} P_{\text{дых}} + \Delta P_{\text{кор}} \Delta P_{\text{дых}}; P_{\text{кор}} \Delta P_{\text{дых}} + P_{\text{дых}} \Delta P_{\text{кор}} \rangle. \end{aligned} \quad (32)$$

Окончательно интервал расчётных значений эффективности определим по условию:

$$\begin{aligned} \langle P_{\phi}; r_{\phi} \rangle &= \langle E; r_E \rangle \cdot \langle P_{\text{зр}}; \Delta P_{\text{зр}} \rangle = \\ &= \langle EP_{\text{зр}} + r_E \Delta P_{\text{зр}}; E \Delta P_{\text{зр}} + P_{\text{зр}} r_E \rangle. \end{aligned} \quad (33)$$

Таблица 4

Значения центров и радиусов интервалов проектных характеристик СИЗ

| Наименование конструктивных параметров СИЗ | Центр интервала (Расчетное значение конструктивного параметра) | Радиус интервала (расчётная формула) |
|--|--|--------------------------------------|
| D_a – максимальная поглощаемая СИЗ ингаляционная токсодоза | D_a | $\Delta P_{\text{кор}}$ (25) |
| K_d – коэффициент подсоса в зону дыхания | K_d | $\Delta P_{\text{дых}}$ (26) |
| K_z – коэффициент подсоса в зону органов зрения; | K_z | $\Delta P_{\text{зр}}$ (27) |

Выводы об эффективности СИЗ можно сделать, используя рекомендации, приведенные в работе [25] и сведенные нами в табл. 5.

Таблица 5

Интервальные значения критерия оценки эффективности СИЗ

| Качественная оценка эффективности СИЗ | Границы интервалов |
|---------------------------------------|--------------------|
| Низкая | 0...0,50 |
| Средняя | 0,51...0,74 |
| Высокая | 0,75...0,94 |
| Особо высокая | 0,95...1 |

Таким образом, предложенная совокупность методов позволяет определить расчётную эффективность СИЗ фильтрующего типа на стадии проектирования с учетом неизбежных технологических погрешностей. При этом, в зависимости от технического задания, время защитного действия СИЗ может быть принято постоянным или переменным параметром.

Выводы

1. Начиная со второй половины XX века в военных конфликтах в общем числе потерь, преобладают жертвы из числа мирного населения.

2. С наибольшей вероятностью на территории Украины возникновение очага химического заражения может быть вызвано в результате аварий на потенциально опасных объектах с выбросом опасных химических веществ, жертвами которых, помимо обслуживающего персонала этих производств, может стать неработающее население.

3. По официальным данным, обеспечение СИЗ неработающего населения Украины в ряде областей находится на крайне низком уровне. Поэтому требуется разработка эффективных, простых в эксплуатации и недорогих в производстве СИЗ для защиты неработающего населения.

4. Предложена методика определения расчётной эффективности СИЗ фильтрующего типа.

5. Переменными параметрами СИЗ приняты следующие характеристики конструкции СИЗ: максимальная ингаляционная токсодоза, поглощаемая СИЗ, коэффициент подсоса в зону дыхания; коэффициент подсоса в зону органов зрения; заданное техническим заданием время защитного действия СИЗ.

6. Постоянными параметрами СИЗ, задаваемыми техническим заданием, приняты: значение пороговой ингаляционной токсодозы, значение пороговой концентрации ОВ при воздействии через

органы дыхания, значение пороговой концентрации ОВ функция при воздействии через органы зрения.

7. Эффективность отдельно взятого СИЗ оценивать, как вероятность P_{ϕ} выполнения своего функционального назначения с учётом всех возможных путей проникновения ОВ в организм человека. Величину P_{ϕ} предложено определять, как произведение вероятности выполнения защитных функций фильтрующим устройством (коробкой), вероятности выполнения защитных функций с учётом подсоса в зону дыхания, вероятности выполнения защитных функций средством ИЗ с учётом подсоса в зону органов зрения.

8. Определены абсолютные погрешности частных показателей надёжности.

9. Для окончательной оценки эффективности СИЗ, с учётом абсолютных погрешностей переменных параметров, использована интервальная арифметика с представлением чисел в системе центр-радиус.

10. Для окончательной оценки эффективности СИЗ, с учётом абсолютных погрешностей переменных параметров, использована интервальная арифметика с представлением чисел в системе центр-радиус.

Список литературы

1. Молчанов А.А. Социальные структуры и общественные отношения в Греции II тысячелетия до н.э. / А.А. Молчанов. – М.: РАН, 2000. – 316 с.
2. Трещалин М.Ю. Предания древних народов и предсказания периодичности мировых катастроф / М.Ю. Трещалин // GISAP. Culturology, sports and art history. – 2014. – № 2. – С. 3-5.
3. Куковський А.Г. Селеві явища на території Українських Карпат і гірського Криму / А.Г. Куковський, В.П. Кизима, П.П. Семчук // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2017. – Вип. 66. – С. 155-161.
4. Порфирьев Б.Н. Опасность природных и антропогенных катастроф в мире и в России / Б.Н. Порфирьев // Россия в окружающем мире: 2004 год (Аналитический ежегодник). – М.: Модус-К – Этерна, 2005. – С. 37-61.
5. Основные факторы экологического давления на составляющие агропромышленного комплекса / И.А. Черепнев, А.Д. Черенков, Г.А. Ляшенко, А.Г. Курченко // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2011. – Вип. 8(98). – С. 290-302.
6. Глобальный обзор Swiss Re природных и техногенных катастроф в мире. Застрахованные убытки в 2016 году превысили \$54 млрд [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.trud.tj/globalniy-obzor-swisse-re.html> – 27.03.2018 – Загл. с экрана.
7. Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні за 2016 рік [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.dsns.gov.ua/ua/Analitichniy-oglyad-stanu-tehnogennoyi-ta-prirodnoyi-bezpeki-v-Ukrayini-za-2015-rik.htm> – 27.03.2018 – Загол. з екрану.
8. Черепнев И.А. Применение оружия несмертельного действия в военных и полицейских операциях с точки зрения международного гуманитарного права / И.А. Черепнев, Г.А. Ляшенко, Н.В. Полянова // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС, 2012. – № 1(30). – С. 226-233.
9. Іщенко О.Г. Цивільна оборона України, структура, завдання та роль МНС України: методичний посібник / О.Г. Іщенко, Н.М. Томко. – К, Центральні державні курси ЦО, промислової та екологічної безпеки України, 1999. – 48 с.
10. Lacina B. Monitoring Trends in Global Combat: A New Dataset of Battle Deaths / B. Lacina, N.P. Gleditsch // European Journal of Population. – 2005. – № 21. – P. 145-166.
11. Кихтенко А. Война газов / А. Кихтенко [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://ww1.milua.org/GasesWW1.htm> – 27.03.2018 – Загл. с экрана.
12. Организация по запрещению химического оружия. Информационный бюллетень 1. История Конвенции по химическому оружию и ОЗХО [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: https://20years.opcw.org/wp-content/uploads/2017/03/FactSheetCompilation_Russian.pdf – 27.03.2018 – Загл. с экрана.
13. Кутепов В.А. Химическое оружие и аспекты международного права / В.А. Кутепов // Вестник Омской юридической академии. – 2014. – № 1(22). – С. 20-23.
14. Абрамов В. Керченская катастрофа 1942 / В. Абрамов. – М.: Яуза, Эксмо. – 2006. – 353 с.
15. Хавкин Б. «Он удушил газом тысячи и спас от голода миллионы»: патриот Германии Фриц Габер / Б. Хавкин // Родина. – 2014. – № 11. – С. 46-50.

16. Кучеренко М. Разработка и принятие Конвенции о запрещении химического оружия / М. Кучеренко [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.pircenter.org/media/content/files/13/14672783880.pdf> – 27.03.2018 – Загл. с экрана.
17. Калинина Н.И. О Конвенции по запрещению химического оружия. Что о ней надо знать? / Н.И. Калинина [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.pircenter.org/media/content/files/10/13556157240.pdf>
18. Миндубаев А.З. Биологическая деградация белого фосфора: осуществимость и перспективы / А.З. Миндубаев, А.Д. Волошина, Д.Г. Яхваров // Бутлеровские сообщения. – 2013. – Т. 33. – № 2. – С. 1-17.
19. В Україні виготовляють протигазу «натівського» зразка для бійців АТО [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://24tv.ua/v_ukrayini_vigotovlyayut_protigazi_nativskogo_zrazka_dlya_biytsiv_ato_n519142 – 27.03.2018 – Загол. з екрану.
20. Хімічна безпека в Україні як складовий елемент національної безпеки [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://eesri.org/wp-content/uploads/2016/04/Chemical-Safety-in-Ukraine-as-Part-of-National-Security-UKR.pdf> – 27.03.2018 – Загол. з екрану.
21. Тронин С.Я. Проблемы разработки средств индивидуальной защиты для населения / С.Я. Тронин, Е.М. Мещеряков // Технологии гражданской безопасности. – 2011. – Т. 8. – № 3(29). – С. 12-19.
22. Батырев В.В. Химическая защита населения в чрезвычайных ситуациях мирного и военного времени. Основные проблемы и пути их решения / В.В. Батырев // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2011. – Том 1, № 1(1). – С. 65-72.
23. Лянг А.В. Предложения по защите населения с точки зрения специалистов в области фильтрующих СИЗОД / А.В. Лянг, И.Г. Малик, Л.С. Лукин // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: сборник научных трудов VII Международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию создания первого в Республике Беларусь научного подразделения в области предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и пожаров. Минск, 01 ноября 2016 года. – Минск: ЧПТУП «Колорград», 2016. – С. 305-325.
24. Лялин А.В. Разработка и внедрение перспективных средств индивидуальной защиты населения / А.В. Лялин // Совершенствование гражданской обороны в российской федерации: материалы VI Научно-практической конференции. Москва, 25 октября 2009 года. – М.: ЦСИГЗ МЧС, 2009. – С. 136-139.
25. Батырев В.В. Методические рекомендации по выбору и применению фильтрующих средств индивидуальной защиты органов дыхания для защиты населения в чрезвычайных ситуациях / В.В. Батырев, А.В. Коробейников, С.Я. Тронин. – Москва: ФГБУ ВНИИ ГОСЧ (ФЦ), 2011. – 72 с.
26. Батырев В.В. Система показателей качества фильтрующих средств индивидуальной защиты органов дыхания и эффективности их использования в чрезвычайных ситуациях / В.В. Батырев // Технология гражданской безопасности. – 2012. – № 1(31). – С. 18-22.
27. Математическое моделирование корпуса полумаски респиратора типа «СНЕЖОК ГП – В» / Н.В. Мензелинцева, Г.В. Воронкова, К.Г. Марышев, Е.О. Фомина, И.В. Стефаненко // Вестник ВолГАСУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2013. – Вып. 32(51). – С. 178-183.
28. Салманов О.Н. Математическая экономика с применением Mathcad и Excel / О.Н. Салманов. – Санкт-Петербург: «БХВ-Петербург», 2003. – 464 с.
29. Оценка эффективности и качества фильтрующих средств индивидуальной защиты органов дыхания в чрезвычайных ситуациях / В.В. Батырев, Г.А. Живулин, И.В. Сосунов, И.Л. Садовский. – Москва: ФГБУ ВНИИ ГО (ФЦ), 2017. – 424 с.
30. Абезгауз А.Г. Справочник по вероятностным расчётам / А.Г. Абезгауз, А.П. Тронь, Ю.Н. Копенкин, И.А. Корovina. – Москва: Военное издательство Министерства обороны СССР, 1966. – 407 с.
31. Ивонин Н. Противогазы фильтрующие и изолирующие / Н. Ивонин. – Москва, Ленинград: Ленгорлит, 1935. – 146 с.
32. Копчёнова Н.В. Вычислительная математика в примерах и задачах / Н.В. Копчёнова, И.А. Марон. – Москва: «Наука», 1972. – 368 с.
33. Дубницкий В.Ю. Вычисление значений элементарных функций с интервально заданным аргументом в системе центр-радиус / В.Ю. Дубницкий, А.М. Кобылин, О.А. Кобылин // Системи обробки інформації. – Х.: ХНУПС, 2016. – Вип. 7(144). – С. 107-112.
34. Дубницкий В.Ю. Определение вычислительной погрешности расчёта надёжности / В.Ю. Дубницкий, А.М. Кобылин, А.И. Ходырев // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. – 2012. – № 7(59). – С. 272-278.
35. Дубницкий В.Ю. Оценка влияния неопределённости исходных данных на неопределённость результатов косвенных измерений / В.Ю. Дубницкий, А.М. Кобылин, О.А. Кобылин // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2016. – Вип. 1. – С. 47-51.
36. Жуковська О.А. Основи інтервального аналізу: навч. посіб. / О.А. Жуковська. – Київ: Освіта України, 2009. – 136 с.

References

1. Molchanov, A.A. (2000), "Social'nye struktury i obshhestvennye otnoshenija v Grecii II tysjacheletija do n. je", [Social structures and social relations in Greece II millennium BC. e.], RAS, Moscow, 316 p.
2. Treschalin, M.Ju. (2014), "Predanija drevnih narodov i predskazanija periodichnosti mirovyh katastrof" [Devotion to ancient peoples and predictions of world catastrophe periodicity], *GISAP. Culturology, Sports and Art History*, No. 2, pp. 3-5.
3. Kukovskyi, A.H., Kyzyma, V.P. and Semchuk, P.P. (2017), "Selevi yavysshcha na terytorii Ukrainykykh Karpat i hirsokoho Krymu" [Selain phenomena on the territory of the Ukrainian Carpathians and the mountainous Crimea], *Bulletin of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*, No. 66, pp. 155-161.
4. Porfir'ev, B.N. (2005), "Opasnost' prirodnyh i antropogennyh katastrof v mire i v Rossii" [The danger of natural and man-made disasters in the world and in Russia], *Russia in the World: 2004 (Analytical Yearbook)*, pp. 37-61.

5. Cherenkov, A.D., Cherepnev, I.A., Lyashenko, G.A. and Kurchenko, A.G. (2011), "Osnovnye faktory jekologicheskogo davlenija na sostavljajushhie agropromyshlennogo kompleksa" [Basic factors of ecological pressure on constituents of agroindustrial complex], *Information Processing Systems*, No. 8(98), pp. 290-302.
6. "Global'nyj obzor Swiss Re prirodnyh i tehnogennyh katastrof v mire. Zastrahovannye ubytki v 2016 godu prevysili \$54 mlrd" [Global overview of Swiss Re for natural and man-made disasters in the world. Insured losses in 2016 exceeded \$ 54 billion], www.trud.tj/globalniy-obzor-swisse-re.html (accessed 27 March 2018).
7. "Analitychnyi ohliad stanu tekhnogennoi ta pryrodnoi bezpeky v Ukraini za 2016 rik" [Analytical review of the state of man-made and natural safety in Ukraine for 2016], www.dsns.gov.ua/ua/Analitichniy-oglyad-stanu-tehnogennoi-ta-prirodnoi-bezpeki-v-Ukrayini-za-2015-rik.htm (accessed 27 March 2018).
8. Cherepnev, I.A., Lyashenko, G.A. and Polyanova, N.V. (2012), "Primenenie oruzhija nesmertelnogo dejstviya v voennyh i policejskikh operacijah s točki zrenija mezhdunarodnogo gumanitarnogo prava" [Application of weapon of unmortal action in soldiery and constabulary operations from point of international humanitarian law], *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, No. 1(30), pp. 226-233.
9. Ishchenko, O.H. (1999), "Tsyvilna oborona Ukrainy, struktura, zavdannia ta rol MNS Ukrainy: metodychni posibnyk", [Civil defense of Ukraine, structure, tasks and role of the Ministry of Emergencies of Ukraine], Central state courses of civil defense, industrial and ecological safety of Ukraine, Kyiv, 48 p.
10. Lacina, B. (2005), Monitoring trends in global combat: a new dataset of battle deaths, *European Journal of Population*, No. 21, pp. 145-166.
11. Kihtenko, A. (2018), "Vojna gazov" [War of Gases], www.wwl.milua.org/GasesWW1.htm (accessed 27 March 2018).
12. "Organizacija po zapreshheniju himicheskogo oruzhija. Informacionnyj bjulleten' 1. Istorija Konvencii po himicheskomu oruzhiju i OZHO" [Organization for the Prohibition of Chemical Weapons. Fact sheet 1. History of the Chemical Weapons Convention and the OPCW], https://20years.opcw.org/wp-content/uploads/2017/03/FactSheet_Compilation_Russian.pdf (accessed 27 March 2018).
13. Kutepov, V.A. (2014), "Himicheskoe oruzhie i aspekty mezhdunarodnogo prava" [Chemical weapon and military-historical aspects of international law], *Bulletin of the Omsk Law Academy*, No. 1(22), pp. 20-23.
14. Abramov, V. (2006), "Kerchenskaja katastrofa 1942", [The Kerch catastrophe of 1942], Jauza, Jeksmo, Moscow, 353 p.
15. Havkin, B. (2014), "On udushil gazom tysjachi i spas ot goloda million": patriot Germanii Fritz Haber" [He strangled thousands with gas and saved millions from starvation": German patriot Fritz Haber], *Homeland*, No. 11, pp. 46-50.
16. Kucherenko, M. (2018), "Razrabotka i prinjatje Konvencii o zapreshhenii himicheskogo oruzhija" [Development and adoption of the Convention on the Prohibition of Chemical Weapons], www.pircenter.org/media/content/files/13/14672783880.pdf (accessed 27 March 2018).
17. Kalinina, N.I. (2018), "O Konvencii po zapreshheniju himicheskogo oruzhija. Chto o nej nado znat?" [On the Convention on the Prohibition of Chemical Weapons. What do you need to know about it?], www.pircenter.org/media/content/files/10/13556157240.pdf (accessed 27 March 2018).
18. Mindubaev, A.Z., Voloshina, A.D. and Jahvarov, D.G. (2013), "Biologicheskaja degradacija belogo fosfora: osushhestvimost' i perspektivy" [Biological degradation of white phosphorus: feasibility and prospects], *Butlerov messages*, Vol. 33, No. 2, pp. 1-17.
19. "V Ukraini vyhotovliaiut protyhazi «nativskoho» zrazka dlja biitsiv ATO" [NATO gas masks for ATO fighters are manufactured in Ukraine], https://24tv.ua/v_ukrayini_vigotovlyayut_protigazi_nativskoho_zrazka_dlya_biytsiv_ato_n519142 (accessed 27 March 2018).
20. "Khimichna bezpeka v Ukraini yak skladovyi element natsionalnoi bezpeky" [Chemical safety in Ukraine as an integral part of national security], www.eesri.org/wp-content/uploads/2016/04/Chemical-Safety-in-Ukraine-as-Part-of-National-Security-UKR.pdf (accessed 27 March 2018).
21. Tronin, S.Ja. and Mescheryakov, E.M. (2011), "Problemy razrabotki sredstv individual'noj zashhity dlja naselenija" [Development of individual protective means for the population], *Civil SecurityTechnology*, Vol. 8, No. 3(29), pp. 12-19.
22. Batyrev, V.V. (2011), "Himicheskaja zashhita naselenija v chrezvyčajnyh situacijah mirnogo i voennogo vremeni. Osnovnye problemy i puti ih reshenija" [Chemical protection of the population in emergency situations of civil and military time. Main problems and solutions], *Civil Protection Strategy: Problems and Research*, Vol. 1, No. 1(1), pp. 65-72.
23. Ljang, A.V., Malik, I.G. and Lukin, L.S. (2016), "Predlozhenija po zashhite naselenija s točki zrenija specialistov v oblasti fil'trujushhijh SIZOD" [Proposals for protection of the population from the point of view of specialists in the field of filtering RPE], *VII International Scientific and Practical Conference dedicated to the 60th anniversary of the creation of the first scientific unit in the field of prevention and elimination of emergencies and fires in the Republic of Belarus: Emergency situations: prevention and elimination*, November 01, Minsk, pp. 305-325.
24. Ljalin, A.V. (2009), "Razrabotka i vnedrenie perspektivnyh sredstv individual'noj zashhity naselenija" [Development and introduction of perspective means of individual protection of the population], *VI Scientific and Practical Conference: Improvement of civil defense in the Russian Federation*, October 25, Moscow, pp. 136-139.
25. Batyrev, V.V., Korobejnikov, A.V. and Tronin, S.Ja. (2011), "Metodicheskie rekomendacii po vyboru i primeneniju fil'trujushhijh sredstv individual'noj zashhity organov dyhanija dlja zashhity naselenija v chrezvyčajnyh situacijah" [Methodical recommendations on the selection and application of filtering means for personal protection of respiratory organs for protection of the population in emergency situations], All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergency Situations of the Ministry of Emergencies of Russia, Moscow, 72 p.
26. Batyrev, V.V. (2012), "Sistema pokazatelej kachestva fil'trujushhijh sredstv individual'noj zashhity organov dyhanija i jeffektivnosti ih ispol'zovanija v chrezvyčajnyh situacijah" [The system of individual protection of respiratory organs filtering means quality indicators and the efficiency of their use in emergency situations], *Civil SecurityTechnology*, Vol. 9, No. 1(31), pp. 18-22.
27. Menzelintseva, N.V., Voronkova, G.V., Maryshev, K.G., Fomina, E.O. and Stefanenko, I.V. (2013), "Matematicheskoe modelirovanie korpusa polumaski respiratora tipa "SNEZHOK GP – V"" [Mathematical modeling of a case of respirator half-

mask of "Snezhok GP-V" type], *Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture*, No. 32(51), pp. 178-183.

28. Salmanov, O.N. (2003), "Matematicheskaja jekonomika s primeneniem Mathcad i Excel" [Mathematical Economics with Mathcad and Excel], BHV-Peterburg, Sankt-Peterburg, 464 p.

29. Batyrev, V.V., Zhivulin, G.A., Sosunov, I.V. and Sadovski, I.L. (2017), "Ocenka jeffektivnosti i kachestva fil'trujushhih sredstv individual'noj zashhity organov dyhanija v chrezvyčajnyh situacijah" [Evaluation of the effectiveness and quality of individual respiratory protective devices in emergency situations], All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergency Situations of the Ministry of Emergencies of Russia, Moscow, 424 p.

30. Abezgaus, A.G., Tron', A.P., Kopenkin, Ju.N. and Korovina, I.A. (1966), "Spravochnik po verojatnostnym raschjotam" [Handbook on Probabilistic Calculations], Military Publishing House of the Ministry of Defense of the USSR, Moscow, 407 p.

31. Ivonin, N. (1935), "Protivogazy fil'trujushhie i izolirujushhie" [Filter and insulating masks], Lengorlit, Leningrad, 146 p.

32. Kопchjonova, N.V. and Maron, I.A. (1972), "Vychislitel'naja matematika v primerah i zadachah" [Computational Mathematics in Examples and Tasks], Nauka, Moscow, 368 p.

33. Dubnitskiy, V.Yu., Kobylin, A.M. and Kobylin, O.A. (2016), "Vychislenie znachenij jelementarnyh funkcij s interval'no zadannym argumentom v sisteme centr-radius" [Calculation of elementary function values with interval stated argument determined in centre-radius system], *Information Processing Systems*, No. 7(144), pp. 107-112.

34. Dubnitskiy, V.Yu., Kobylin, A.M. and Khodyrev, A.I. (2012), "Opredelenie vychislitel'noj pogreshnosti raschjota nadjozhnosti" [Determination of calculating error of reliability calculation], *Radioelectronic and Computer Systems*, No. 7(59), pp. 272-278.

35. Dubnitskiy, V.Yu., Kobylin, A.M. and Kobylin, O.A. (2016), "Ocenka vlijanija neopredeljonnosti ishodnyh dannyh na neopredeljonnost' rezul'tatov kosvennyh izmerenij" [Evaluation of initial data uncertainty effect on indirect measurement results uncertainty], *Systems of Control, Navigation and Communication*, No. 1(37), pp. 47-51.

36. Zhukovska, O.A. (2009), "Osnovy interval'nogo analizu: navchalnyi posibnyk" [Fundamentals of interval analysis], Education of Ukraine, Kyiv, 136 p.

Поступила в редколлегию 12.02.2018

Одобрена к печати 17.04.2018

Відомості про авторів:

Барбашин Віталій Валерійович

кандидат технічних наук доцент
доцент Харківського національного університету
міського господарства ім. О.М. Бекетова,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-3262-8305>

Дубницький Валерій Юрійович

кандидат технічних наук старший науковий співробітник
старший науковий співробітник Харківського навчально-
наукового інституту Державного вищого навчального
закладу «Університет банківської справи»,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-1924-4104>

Фесенко Герман Вікторович

кандидат технічних наук доцент
доцент Харківського національного університету
міського господарства ім. О.М. Бекетова,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-4084-2101>

Черепньов Ігор Аркадійович

кандидат технічних наук доцент
доцент Харківського національного
технічного університету сільського господарства
ім. П. Василенка,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-2421-6503>

Information about the authors:

Vitalii Barbashyn

Candidate of Technical Sciences Associate Professor
Senior Lecturer of O.M. Beketov National University
of Urban Economy in Kharkiv,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-3262-8305>

Valeriy Dubnitskiy

Candidate of Technical Sciences Senior Research
Senior Research Associate of
Kharkiv Educational Scientific institute SHEI "University
of Banking" Kharkov,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-1924-4104>

Herman Fesenko

Candidate of Technical Sciences Associate Professor
Senior Lecturer of O.M. Beketov National University
of Urban Economy in Kharkiv,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-4084-2101>

Ihor Cherepnov

Candidate of Technical Sciences Associate Professor
Senior Lecturer of Kharkiv Petro Vasylenko
National Technical University
of Agriculture,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-2421-6503>

Базелюк Володимир Миколайович

старший викладач кафедри Військового інституту танкових військ Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-7348-0349>

Volodymyr Bazeliuk

Senior Instructor of Military Institute of Tank Troops of National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-7348-0349>

Шпінда Євген Михайлович

старший викладач кафедри Військового інституту танкових військ Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-4359-2670>

Yevhen Shpinda

Senior Instructor of Military Institute of Tank Troops of National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-4359-2670>

ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЦИВІЛЬНИХ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ ФІЛЬТРУЮЧОГО ТИПУ

В.В. Барбашин, В.Ю. Дубницький, Г.В. Фесенко, І.А. Черепньов, В.М. Базелюк, Є.М. Шпінда

Розглянута статистика надзвичайних ситуацій. Виявлена чітка загальносвітова тенденція щодо збільшення економічних збитків та кількості загиблих в техногенних і природних катаклізмах. Висловлено припущення щодо зниження ризику застосування хімічної зброї в ході бойових дій та щодо високої можливості виникнення вогнища хімічного зараження на території України саме в результаті аварій на потенційно небезпечних об'єктах. Проаналізовано стан хімічної безпеки та забезпечення населення засобами індивідуального захисту (ЗІЗ). Запропоновано методику визначення розрахункової ефективності ЗІЗ фільтруючого типу. Змінними параметрами ЗІЗ прийняті наступні характеристики конструкції: максимальна інгаляційна токсодоза, що поглинається ЗІЗ, коефіцієнт підсмоктування до зони дихання; коефіцієнт підсмоктування до зони органів зору; заданий технічним завданням час захисної дії ЗІЗ. Постійними параметрами ЗІЗ, що задаються технічним завданням, є: значення порогової інгаляційної токсодози, значення порогової концентрації отруйної речовини (ОР) у разі впливу крізь органи дихання, значення порогової концентрації ОР у разі впливу крізь органи зору. Ефективність окремо взятого ЗІЗ визначена як імовірність виконання свого функціонального призначення з урахуванням усіх можливих шляхів проникнення ОР в організм людини. Цю величину запропоновано визначати як добуток імовірності виконання захисних функцій, фільтруючим пристроєм (коробкою), імовірності виконання захисних функцій з урахуванням підсмоктування до зони дихання, імовірності виконання захисних функцій ЗІЗ з урахуванням підсмоктування до зони органів зору. Для визначення впливу малих змін змінних параметрів на ефективність ЗІЗ визначені еластичності кожного із співмножників по змінних параметрах. Обчислені абсолютні похибки співмножників в залежності від абсолютної похибки змінних параметрів. Для остаточної оцінки ефективності ЗІЗ, з урахуванням абсолютних похибок змінних параметрів, використана інтервальна арифметика з поданням чисел у системі центр-радіус.

Ключові слова: наслідки надзвичайних ситуацій, хімічна обстановка, засоби індивідуального захисту фільтруючого типу, ефективність засобів індивідуального захисту, еластичність функцій, абсолютна похибка функції, інтервальні обчислення, система центр-радіус.

DETERMINATION OF THE CALCULATING EFFECTIVENESS OF CIVIL FILTERING PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT

V. Barbashyn, V. Dubnytskyi, H. Fesenko, I. Cherepnov, V. Bazeliuk, Ye. Shpinda

The statistics of emergency situations are considered. A clear global trend of increasing economic damage and the number of deaths in man-made and natural disasters is revealed. It was suggested that both the risk of using chemical weapons in the course of combat operations and the high probability of the emergence of a hotbed of chemical contamination on the territory of Ukraine as a result of accidents at potentially hazardous facilities are decreasing. The state of chemical safety and the population provision with personal protective equipment (PPE) is analysed. A technique for determining the design efficiency of filtering PPE is proposed. Variable parameters of PPE have the following design characteristics: maximal inhalation toxic dose, absorbed PPE, coefficient of sucking into the respiration zone; coefficient of suction in the zone of vision; specified by the technical specification, the protective action time of PPE. The fixed PPE parameters specified by the technical specification assume the following: the value of the threshold inhalation toxic dose, the value of the threshold concentration of poisoning substance (PS) when exposed through respiratory organs, the value of the threshold concentration of PS when exposed through the eyes. The effectiveness of a single PPE is defined as the probability of fulfilling its functional purpose, taking into account all possible ways of penetration of PS into the human body. This value is proposed to be defined as the product of the probability of performing protective functions by the filtering device (box), the probability of performing protective functions, taking into account the sucking into the breathing zone, the likelihood of performing protective functions of PPE, taking into account the suction in the zone of vision. To determine the effect of small changes in variable parameters on the effectiveness of PPE, the elasticity of each of the factors with respect to variable parameters is determined. The factors absolute errors are calculated depending on the variable parameters absolute error. For the final evaluation of the effectiveness of PPE, taking into account the variable parameters absolute errors, interval arithmetic with the representation of numbers in the centre-radius system is used.

Keywords: consequences of emergency situations, chemical conditions, filtering personal protection equipment, the effectiveness of personal protective equipment, the elasticity of the function, the absolute function error, interval calculations, the centre-radius system.