

**ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ЗАЩИТЫ ЛЮДЕЙ ОТ ПОРАЖАЮЩИХ ФАКТОРОВ
РАДИОАКТИВНОГО И ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ
ВО ВРЕМЕННЫХ УКРЫТИЯХ В НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ**

Определен новый концептуальный подход к разработке математической модели защиты людей от поражающих факторов радиоактивного и химического загрязнения атмосферы во временных укрытиях в населенных пунктах. Решение граничной задачи нагнетания воздуха в ограниченный негерметичный объем показывает, что создание воздушных потоков препятствует попаданию опасных веществ, распыленных в атмосфере, вовнутрь ограниченного объема.

Ключевые слова: радиоактивное загрязнение, химическое загрязнение, фильтровентиляционная установка, ограниченный объем, граничная задача.

M. M. DIVIZINYUK, T. V. KACHUR, O. M. MIROSHNIK, A. S. RYZHKIN

State Enterprise «Institute of Environmental Geochemistry NAS of Ukraine»

**APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF THE MATHEMATICAL MODEL OF
PROTECTING PEOPLE FROM DEFEAT FACTORS OF RADIOACTIVE AND CHEMICAL
CONTAMINATION OF THE ATMOSPHERE IN TEMPORARY SHELTERS IN HUMAN SETTLEMENTS**

The objects of increased danger include nuclear, thermal and hydroelectric power plants, chemical and petrochemical plants, metallurgical plants and defense industry enterprises. These enterprises are also commonly referred to as critical infrastructure facilities. Protecting critical infrastructure is an important problem for all countries. The basic measures for protection are aimed, as a rule, to reduce the level of vulnerability of critical infrastructure objects in relation to natural phenomena and accidents, to terrorist acts and other criminal acts.

As world experience shows, terrorists can use radioactive and poisonous substances as dirty bombs. In connection with the above, it is necessary to develop new conceptual approaches for collective protection in human settlements.

The purpose of this work is to define new conceptual approaches to developing a mathematical model of protecting people from the damaging factors of radioactive and chemical pollution of the atmosphere in temporary shelters in populated areas.

In Ukraine there is a sufficiently large number of engineering structures. Unfortunately, most of the protective structures after the nineties were used for storage facilities and even for vegetable stores, as a result of which they came to a state that does not allow them to be used for their intended purpose. In addition, staff working there usually do not have special training and are not able to maintain the equipment installed in the protective structures, and thereby ensure their combat readiness for solving problems in the event of various emergencies. The information given above on the status of existing protective structures attests to the urgent need to develop new conceptual approaches to the creation of collective protective equipment.

For many years it was also believed that in order to protect people from dangerous substances that spread in the air, they must be placed in a sealed room (construction) and create a back-up (excess pressure) in it from clean air. Therefore, a new approach to creating temporary shelters in populated areas is as follows. In the administrative building of the settlement, in a room containing a large enough number of people, which can quickly become conditionally tight, equip with filter-ventilation units. Only in emergency situations, these installations take air through special filters that absorb radioactive and toxic substances. Air supply in the room is not created, but due to the constant pumping of clean air, air flows appear, preventing the penetration of hazardous substances into the room, which is a temporary shelter.

Such theoretical problems belong to the class of boundary-value problems, the solution of which shows that if the air flow generated in a limited volume is commensurate with the air flows passing through the leakage of the room into which air is injected, we can talk about the isolation of this room from penetration of dangerous substances into the interior atomized in the atmosphere.

Key words: radioactive contamination, chemical pollution, filter-ventilation installation, limited volume, boundary problem.

Введение

К объектам повышенной опасности относятся атомные, тепловые и гидроэлектростанции, химические и нефтехимические комбинаты, металлургические заводы и предприятия оборонной промышленности, которые в современной терминологии принято называть объектами критической инфраструктуры [1-3]. Их защита в условиях нарастающей мировой террористической угрозы является серьезной проблемой для всех стран. Основные мероприятия по обеспечению безопасности направлены, как

правило, на снижение уровня уязвимости объектов критической инфраструктуры по отношению к природным явлениям и авариям, к террористическим актам и иным преступным деяниям [4-7]. Однако последние десятилетия Украина остается страной техногенных аварий и катастроф [8, 9], которые сопровождаются загрязнением атмосферы и распространением опасных и токсичных химических соединений. Пожары, происходящие в Чернобыльской зоне и других «мертвых» лесных массивах, приводят не только к химическому, но и к радиоактивному загрязнению воздушной среды. Распространяющиеся таким образом опасные вещества поражают людей, оказавшихся в непосредственной близости с очагом загрязнения.

Как показывает мировой опыт, в качестве грязных бомб террористы могут использовать радиоактивные и отравляющие вещества, которые взрывной волной расплывются в атмосфере и ветром разносятся на большие расстояния [10-12]. В этом случае отсутствует поражающее действие ударной волны, как это происходит в результате применения ядерного оружия, поэтому для защиты людей не обязательно создавать специальные защитные сооружения, способные выдерживать все поражающие факторы ядерного взрыва, как это было в годы «холодной» войны. В связи со сказанным выше, возникает необходимость в новых концептуальных подходах к разработке коллективных средств защиты в населенных пунктах.

Постановка цели и задач научного исследования

Целью данной работы является определение новых концептуальных подходов к разработке математической модели защиты людей от поражающих факторов радиоактивного и химического загрязнения атмосферы во временных укрытиях в населенных пунктах.

Для решения этой актуальной научной задачи необходимо проанализировать состояние существующих защитных сооружений, рассмотреть понятие временного укрытия в населенных пунктах, определить новые подходы к разработке математической модели защиты людей от поражающих факторов радиоактивного и химического загрязнения атмосферы во временных укрытиях в населенных пунктах.

Состояние существующих защитных сооружений

В Украине имеется достаточно большое количество инженерных сооружений, предназначенных для защиты населения и военнослужащих от поражающих факторов оружия массового поражения, которые строились систематически по особому плану и представляют собой, как правило, сооружения, отдельные или встроенные в подвальную часть зданий. Они рассчитывались на длительный срок эксплуатации. Это сложные в техническом отношении сооружения, которые обеспечивали требуемые нормативные условия жизнеобеспечения людей в течение расчетного времени, надежно защищая их от ударной волны, светового излучения, проникающей радиации и радиоактивного заражения при ядерных взрывах, от отравляющих веществ и бактериальных средств, а также от высоких температур и вредных газов в зоне пожаров и оборудовались системами вентиляции, водоснабжения, канализации, отопления, освещения и средствами телекоммуникаций.

К сожалению, большая часть защитных сооружений после девяностых годов использовалась под складские помещения, овощехранилища и т. д., в результате чего они пришли в состояние, которое не позволяет их использовать по прямому назначению. Сохранившиеся в удовлетворительном и даже в хорошем состоянии, к сожалению, имеют оборудование, устаревшее физически и морально. Кроме того, работающий там персонал, как правило, не имеет специальной подготовки и не в состоянии обслуживать (выполнять периодические регламенты) имеющееся оборудование и тем самым обеспечивать боевую готовность для решения задач при возникновении различных чрезвычайных ситуаций в современных условиях.

Все сказанное выше о состоянии существующих защитных сооружений свидетельствует об острой необходимости в разработке новых концептуальных подходов к созданию коллективных средств защиты.

Понятие временного укрытия в населенных пунктах

Под населённым пунктом принято понимать населённое людьми место в пределах одного застроенного земельного участка. Это может быть село, деревня, станция, хутор, посёлок городского типа и город. Обязательный признак населённого пункта – это постоянство использования его как места обитания из года в год, хотя бы сезонно. Принципиальное различие между сельским и городским населёнными пунктами состоит в том, что в сельском населённом пункте большая часть населения работает в сельском хозяйстве.

Укрытие в самом широком смысле этого слова – это сооружение, строение, приспособление, укрывающее или защищающее от чего-либо, поэтому сам населённый пункт является укрытием, где можно переждать плохую погоду, отдохнуть, пополнить запасы еды и питья и решить множество других проблем. В нашем случае необходимо защищаться от радиоактивного и химического загрязнения атмосферы.

Поражающими факторами радиоактивного загрязнения атмосферы являются радиоактивные частицы как результат первичного деления ядерного материала, радиоактивные частицы, являющиеся результатом вторичного облучения, радиоактивные газы и аэрозоли, а также радионуклиды, образующиеся при активации ядер воздуха.

Поражающими факторами химического загрязнения атмосферы являются окислы, фенолы, углеводороды, а также аэрозоли различных химических, в том числе и высокотоксичных веществ, а также продукты разложения и горения. Они попадают в атмосферу в результате техногенных аварий, пожаров на техногенных и природных объектах, а также взрывов грязных радиоактивных и химических бомб, используемых террористами.

Опасные радиоактивные и химические вещества распространяются посредством переноса загрязненной воздушной среды и попадают в органы дыхания людей и на их кожные покровы. Для защиты населения в этом случае нужно исключить возможность непосредственного контакта людей с загрязненной воздушной средой. Для этого необходимо укрыться в домах с закрытыми окнами и дверями и обеспечить минимальное попадание загрязненной воздушной среды в условно изолированное помещение. Такая изоляция называется условной, так как любые жилые помещения не являются герметичными и, соответственно, не могут гарантировать полную защиту от распространяющихся в воздухе радиоактивных и токсичных веществ.

Если в доме есть погреб, то укрываться можно и в нем, но он обладает теми же недостатками, что и жилые помещения, прежде всего – отсутствием полной герметичности, вследствие чего опасные вещества могут попасть на кожу и в органы дыхания людей.

Разработка математической модели защиты людей от поражающих факторов радиоактивного и химического загрязнения атмосферы во временных укрытиях в населенных пунктах

Долгие годы считалось, что в интересах защиты населения от воздействия опасных веществ, распространяющихся в воздушной среде, людей необходимо помещать в герметичное помещение (сооружение) и создавать в нем подпор (избыточное давление) из чистого воздуха. Как правило, подпор создавался с использованием фильтровентиляционных установок, очищающих воздух, поступающий снаружи, и подающих его в герметичное помещение. Создание таких сооружений – довольно трудоемкий и сложный процесс, их эксплуатация требует постоянного обслуживания. В связи с этим предлагается новый подход, состоящий в создании временных укрытий в населенных пунктах на базе уже имеющихся сооружений. Например, в административном здании населенного пункта выбрать помещение, вмещающее достаточно большое количество людей, которое можно быстро сделать условно герметичным путем закрывания окон и дверей, оборудовать фильтровентиляционными установками. При нормальной эксплуатации помещения такие установки могут использоваться для подачи в него воздуха, а при возникновении чрезвычайных ситуаций – переводиться в режим забора воздуха через специальные фильтры, поглощающие радиоактивные и токсичные вещества, распыленные снаружи. Подпор воздуха в помещении не создается, но за счет постоянного нагнетания чистого воздуха возникают воздушные потоки, препятствующие проникновению опасных веществ в помещение, являющееся временным укрытием.

Такого типа теоретические задачи относятся к классу граничных задач и могут решаться методом разложения по неортогональным функциям. Основная вычислительная трудность заключается в решении линейных алгебраических уравнений вида

$$Ax = F, \quad (1)$$

где A – заданная матрица,
 x и F – соответственно, искомый и заданный векторы.

Как правило, если $|A| \neq 0$, то решение системы (1) находится по формуле: $x = A^{-1}F$. Но если элементы матрицы A получены приближенно, то трудно сказать, имеет ли матрица A отличный от нуля определитель или нет. При решении граничных задач методом разложения по неортогональным функциям имеет место именно тот случай, когда элементы матрицы A и вектор правых частей получаются приближенно, поэтому следует применить некоторые известные оценки для погрешности и обусловленности матриц для детерминантов Грама.

Матрица A^{-1} считается устойчивой, если малым изменениям в элементах матрицы A соответствуют малые изменения в элементах матрицы A^{-1} , при этом матрица A будет плохо

обусловленной, если соответствующая ей обратная матрица A^{-1} неустойчива. Для устойчивости матрицы A^{-1} необходимо, чтобы определитель матрицы был не слишком мал. Заметим, что

$$G_N(\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_N) \leq \left(\frac{\bar{C}}{N} \right)^N, \quad (2)$$

где G_N – детерминант Грама N -го порядка,

$\bar{C} = C|G_1|_m$ – независимая от N постоянная.

Из оценки (2) следует, что при больших N обратная матрица совпадает с матрицей Грама системы функций $\{\varphi_k\}_{k=1}^N$.

Если A^{-1} неустойчива, то решение системы (1) либо получить невозможно, либо оно будет иметь большую погрешность. Чтобы ее оценить, необходимо получить так называемые числа обусловленности, которые со своей стороны требуют оценок собственных значений матрицы A . Если A вырождается при увеличении N , то она должна иметь, по крайней мере, одно собственное значение, стремящееся к нулю, так как произведение собственных значений равно определителю матрицы. Поэтому необходимо получить оценки для наименьшего λ_{\min} и наибольшего λ_{\max} собственных значений матрицы A , исходя из оценки (2).

Для получения оценки сверху λ_{\min} предположим, что $\lambda_i \equiv \lambda$ ($i = 1, \dots, N$).

Учитывая равенство

$$\prod_{i=1}^N \lambda_i = |A| \quad (3)$$

и оценку (2) для $|A|$, получаем

$$\lambda = \lambda_{\max} = \lambda_{\min} = \sqrt[N]{|A|} \leq \frac{\bar{C}}{N}. \quad (4)$$

Оценка (4) для λ_{\min} слишком оптимистична.

Другой крайний случай (случай наиболее пессимистичной оценки для λ_{\min}) получается, если предположить, что для всех $\lambda_i \equiv \lambda$ ($i = 1, \dots, N$) достигается оценка Гриша

$$\lambda_i \leq \omega M, \quad i = 2, \dots, N, \quad (5)$$

где M – максимум модуля элементов матрицы A .

Если система функций $\{\varphi_k\}_{k=1}^N$ нормирована, то $M = 1$, и из (5) в случае равенства следует

$$\lambda_i = N, \quad i = 2, \dots, N, \quad (6)$$

Подставляя эти равенства в (3), получаем

$$\prod_{i=1}^N \lambda_i = \lambda_{\min} \prod_{i=2}^N \lambda_i = \lambda_{\min} N^{N-1} \leq \left(\frac{\bar{C}}{N} \right)^N,$$

или

$$\lambda_{\min} \leq \bar{C}^N N^{-2N+1}. \quad (7)$$

Если оценку (4) следует считать слишком «оптимистичной», то оценка (7) слишком «пессимистична». Следует заметить, что известное равенство

$$spA = \sum_{i=1}^N a_i, i = \sum_{i=1}^N \lambda_i \quad (8)$$

не выполняется при достаточно больших N ни для спектра (4)

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i = \bar{C} \sum_{i=1}^N a_{ii} = N, \quad (9)$$

ни для спектра (6), (7)

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i = (N-1)N + \bar{C}^N N^{-2N+1} > \sum_{i=a}^N a_{ii} = N. \quad (10)$$

Из неравенства (3) следует, что часть собственных значений имеет величину, большую, чем дает асимптотическое неравенство (4), и, следовательно, минимальное собственное значение меньше, чем доставляемое оценкой (4). Аналогично из неравенства (10) следует, что некоторые собственные значения имеют величину, меньшую, чем (6), и, следовательно, при выполнении равенства в неравенстве (2) получаем

$$\lambda_{\min} \geq \bar{C}^N N^{-2N+1}.$$

Заметим, что при анализе спектра собственных значений с помощью равенств типа (8) можно сказать, что оно не выполняется лишь в том случае, если для правой и левой частей получаются разные асимптотики при $N \rightarrow \infty$. Другими словами, если формируемый в ограниченном объеме воздушный поток будет соизмерим с потоками воздуха, проходящего через негерметичности помещения, в которое нагнетается воздух, то можно говорить об изоляции этого помещения от проникновения вовнутрь опасных веществ, распыленных в атмосфере.

Выводы

Состояние существующих защитных сооружений свидетельствует об острой необходимости в разработке новых концептуальных подходов к созданию коллективных средств защиты. Долгие годы считалось, что в интересах защиты населения от опасных веществ, распространяющихся в воздушной среде, людей необходимо помещать в герметичное помещение (сооружение) и создавать в нем подпор (избыточное давление) из чистого воздуха. Решение граничной задачи в математической модели защиты людей от поражающих факторов радиоактивного и химического загрязнения атмосферы во временных укрытиях в населенных пунктах показывает, что если формируемый в ограниченном объеме воздушный поток будет соизмерим с потоками воздуха, проходящего через негерметичности помещения, в которое нагнетается воздух, то можно говорить об изоляции этого помещения от проникновения вовнутрь опасных веществ, распыленных в атмосфере.

Литература

1. Указ Президента України № 8/2017 від 16 січня 2017 року. – Режим доступу: <http://www.president.gov.ua/documents/82017-21058>.
2. Critical infrastructure – content, structure and problems of its protection. – Input: https://www.google.com.ua/?gfe_rd=cr&ei=gVWAWMT9FNKBYOfZnOAE&gws.
3. Хофрейтер Л. Критическая инфраструктура – содержание, структура и проблемы ее защиты. – Режим доступа: <https://jml2012.indexcopernicus.com/fulltxt.php?ICID=1129729>.
4. Гончаренко Ю. Ю. Структура контура управления информационной безопасностью предприятия / Ю. Ю. Гончаренко // Научно-практический журнал «Экономика и управление». – Симферополь: НАПКС, 2012. – № 5. – С. 97 – 101.
5. Азаренко Е. В. Хронология чрезвычайных ситуаций и основные этапы их развития / Е. В. Азаренко, О. В. Бляшенко, Ю. Ю. Гончаренко, М. М. Дивизинюк // Техногенно-экологическая безопасность и гражданская защита. – Киев: ГП «Институт геохимии окружающей среды НАНУ», 2014. – Вып. 7. – С. 119 – 128.
6. Азаренко Е. В. Защита информации в системах мониторинга чрезвычайных ситуаций / Е. В. Азаренко, О. В. Бляшенко, М. М. Дивизинюк, В. Е. Ковач // Науково-технічний збірник «Правове,

нормативне та метрологічне забезпечення систем захисту інформації в Україні». – Київ: Державна служба спеціального звуку та захисту інформації в Україні НТУУ «КПІ». 2015. – Вип. 1 (29). – С. 82 – 87.

7. Лазаренко С. В. Некоторые аспекты безопасности критической инфраструктуры государства / Ю. Ю. Гончаренко, М. М. Дивизинюк, Н. В. Касаткина, Г. В. Камышенцев, С. В. Лазаренко // Научный журнал Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля „Інформаційна безпека”. – Северодонецьк: Суну ім. В. Даля, 2016. – № 4 (24). – С. 135 – 140.

8. Загрязнения атмосферного воздуха. – Режим доступа: <http://ecology-education.ru/index.php?action=full&id=517>.

9. Загрязнение атмосферы радиоактивными веществами. – Режим доступа: http://www.saveplanet.su/articles_7.html.

10. Гончаренко Ю. Ю. Математическая модель выявления низкоактивного ионизирующего гамма-излучения / Ю. Ю. Гончаренко, М. М. Дивизинюк, А. В. Фаррахов // Наука та техніка Повітряних сил Збройних сил України. – Харків: ХУПС ім. Кожедуба, 2014. – № 4 (17). – С. 100 – 103.

11. Фаррахов О. В. Потенційні джерела загроз ядерно-радіаційної безпеки. Ядерний тероризм / О. В. Фаррахов // Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист. – 2015. – № 8. – С. 32 – 40.

12. Ліпкан В. А. Боротьба з тероризмом: Монографічне дослідження / В. А. Ліпкан, Д. І. Никифорчук, М. М. Руденко. – К.: Знання України, 2002. – 254 с.

Reference

1. Ukaz Prezydenta Ukrainy #8/2017 vid 16 sichnya 2017 roku. – Rezhym dostupu: <http://www.president.gov.ua/documents/82017-21058>.

2. Critical infrastructure – content, structure and problems of its protection. – Input: https://www.google.com.ua/?gfe_rd=cr&ei=gVWAWMT9FNKBYOfZnOAE&gws.

3. Khofreyter L. Krytycheskaya ynfrastruktura – sodержanye, struktura y problemy ee zashchyty. – Rezhym dostupa: <https://jml2012.indexcopernicus.com/fulltxt.php?ICID=1129729>.

4. Honcharenko Yu. Yu. Struktura kontura upravlenyya ynformatsyonnoy bezopasnost'yu predpryyatyya / Yu. Yu. Honcharenko // Nauchno-praktycheskyy zhurnal «Ekonomyka y upravlenye». – Symferopol': NAPKS, 2012. – № 5. – S. 97 – 101.

5. Azarenko E. V. Khronolohyya chrezvychaynykh sytuatsyy y osnovnye etapy ykh razvytyya / E. V. Azarenko, O. V. Blyashenko, Yu. Yu. Honcharenko, M. M. Dyvyzynyuk // Tekhnohenno-ekolohycheskaya bezopasnost' y hrazhdanskaya zashchyta. – Kyev: HP «Ynstytut heokhymyy okruzhayushchey sredy NANU», 2014. – Vyp. 7. – S. 119 – 128.

6. Azarenko E. V. Zashchyta ynformatsyy v systemakh monytorynha chrezvychaynykh sytuatsyy / E. V. Azarenko, O. V. Blyashenko, M. M. Dyvyzynyuk, V. E. Kovach // Naukovo-tekhnichnyy zbirnyk «Pravove, normatyvne ta metrolohichne zabezpechennya system zakhystu informatsiyi v Ukraini». – Kyiv: Derzhavna sluzhba spetsial'noho zvuku ta zakhystu informatsiyi v Ukraini NTUU «KPI». – 2015. – Vyp. 1. (29). – S. 82 – 87.

7. Lazarenko S. V. Nekotorye aspekty bezopasnosti krytycheskoy ynfrastruktury hosudarstva / Yu. Yu. Honcharenko, M. M. Dyvyzynyuk, N. V. Kasatkyna, H. V. Kamyshentsev, S. V. Lazarenko // Naukovy zhurnal Skhidnoukrayins'koho natsional'noho universytetu im. V. Dalya „Informatsiyina bezpeka”. – Severodonets'k: SUNU im. V. Dalya, 2016. – № 4 (24). – S. 135 – 140.

8. Zahryaznenyya atmosfernoho vozdukha. – Rezhym dostupa: <http://ecology-education.ru/index.php?action=full&id=517>.

9. Zahryaznenye atmosfery radyoaktyvnymy veshchestvamy. – Rezhym dostupa: http://www.saveplanet.su/articles_7.html.

10. Honcharenko Yu. Yu. Matematycheskaya model' vyyavlenyya nyzkoaktyvnogo yonyzyruyushcheho hamma-yzluchenyya / Yu. Yu. Honcharenko, M. M. Dyvyzynyuk, A. V. Farrakhov // Nauka ta tekhnika Povitryanykh syl Zbroynykh syl Ukrainy. – Kharkiv: KhUPS im. Kozheduba, 2014. – № 4 (17). – S. 100 – 103.

11. Farrakhov O. V. Potentsiyini dzherela zahroz yaderno-radiatsiyanoi bezpeky. Yadernyy teroryzm. / O. V. Farrakhov // Tekhnohenno-ekolohichna bezpeka ta tsyvil'nyy zakhyst. – 2015. – № 8. – S. 32 – 40.

12. Lipkan V. A. Borot'ba z teroryzmom / V. A. Lipkan, D. I. Nykyforchuk, M. M. Rudenko: Monohrafichne doslidzhennya. – K.: Znannya Ukrainy, 2002. – 254 s.

Рецензія/Peer review : 12.11.2017 р.

Надрукована/Printed : 16.01.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією