

**ДЕРЖАВНА УСТАНОВА  
“ІНСТИТУТ ГЕОХІМІЇ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА  
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ”**

**ТЕХНОГЕННО-ЕКОЛОГІЧНА  
БЕЗПЕКА ТА ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ**

*ВИПУСК 8*

**КИЇВ  
2015**

**Головний редактор**  
**ЛИСИЧЕНКО Георгій Віталійович**

**Editor-in-chief**  
**Georgiy V. LYSYCHENKO**

**Заступник головного редактора:**  
**Забулонов Ю.Л. (Україна)**

**Deputy Editor:**  
**Zabulonov Yu.L. (Ukraine)**

**РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:**

Барбашев С.В. (Україна)  
Белєвцев Р.Я. (Україна)  
Бондаренко Г.М. (Україна)  
Верховцев В.Г. (Україна)  
Дівізінюк М.М. (Україна)  
Задвернюк Г.П. (Україна)  
Коваленко Г.Д. (Україна)  
Ковач В.О. (Україна)  
Ольховик Ю.О. (Україна)  
Покалюк В.В. (Україна)  
Попов О.О. (Україна)  
Тищенко Ю.Є. (Україна)  
Улицький О.А. (Україна)  
Фаррахов О.В. (Україна)  
Чумаченко С.М. (Україна)  
Шабалін Б.Г. (Україна)  
Шмандій В.М. (Україна)  
Яковлев Є.О. (Україна)  
Яцишин А.В. (Україна)

**EDITORIAL BOARD:**

Barbashev S.V. (Ukraine)  
Belevtsev R. Ya. (Ukraine)  
Bondarenko G.M. (Ukraine)  
Verkhovtsev V.G. (Ukraine)  
Diviziniuk M.M. (Ukraine)  
Zadvernyk G.P. (Ukraine)  
Kovalenko G.D. (Ukraine)  
Kovach V.O. (Ukraine)  
Olkhovik Yu.O. (Ukraine)  
Pokaluk V.V. (Ukraine)  
Popov O.O. (Ukraine)  
Tyshchenko Yu.Y. (Ukraine)  
Ylitskiy O.A. (Ukraine)  
Farrakhov O.V. (Ukraine)  
Chumachenko S.M. (Ukraine)  
Shabalin B.G. (Ukraine)  
Shmandiy V.M. (Ukraine)  
Yakovlev Y.O. (Ukraine)  
Yatsyshyn A.V. (Ukraine)

**ІНОЗЕМНІ ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:**

Войчик В. (Польща)  
Алієв Р. (Азербайджан)  
Калінін М. (Білорусь)  
Єременко В.А. (Росія)

**INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD:**

Wojcik W. (Poland)  
Aliiev R. (Azerbaijan)  
Kalinin M. (Belarus)  
Eremenko V.A. (Russia)

**Технічний секретар:** Фесай О.П.  
**Редактор-перекладач англійського тексту:** Ковач В.О.

**ЗАСНОВНИКИ:**

Національна академія наук України  
Державна служба України з надзвичайних ситуацій  
Державна установа “Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України”

**Адреса редакційної колегії:**

**03680, Київ-142, пр. Палладіна, 34-А**  
**ДУ “Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України”,**  
**Тел. (044) 424 00 29, факс (044) 423 17 96. Електронна пошта: u-risk@ukr.net**  
**Сайт журналу: tes.igns.gov.ua**

Друкується за постановою Вченої ради ДУ “Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України”

Свідоцтво про державну реєстрацію ДЗМІ – серія КВ № 16163-4635Р від 30.12.2009 р.

Фахова реєстрація у ВАК України в галузі геологічних і технічних наук (екологічна безпека)  
Постанова Президії ВАК України від 23.02.2011 № 1-05/2

У 2014 р. журнал включений до бібліографічної бази даних наукових публікацій РІНЦ НЕБ (Російський індекс наукового цитування Наукової електронної бібліотеки).

**ТЕХНОГЕННО-ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ**

© *Державна установа “Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України”*

## ЗМІСТ

<i>Захматов В.Д., Лисиченко Г.В., Фесай А.П.</i> О ликвидации аварий на потенциально опасных промышленных объектах в зоне военных действий	4
<i>Кукуева В.В.</i> Екологічні аспекти застосування вогнегасних речовин	15
<i>Дівізінюк М.М., Попов О.О., Ковач В.О., Бляшенко О.В., Сметанін К.В.</i> Розробка математичних засобів оцінки екологічного та економічного збитку від забруднення атмосферного повітря в зонах впливу техногенних об'єктів	23
<i>Ночвай В.И.</i> Оценка индекса интегрированной экологической безопасности региона	33
<i>Шевченко Р.И.</i> Моделювання комунікативних небезпек критичності системи моніторингу надзвичайних ситуацій від зовнішнього впливу техногенного та природного характеру в рамках інформаційно-функціонального підходу	38
<i>Біленко В.І., Воробйов В.В., Пасенко А.В., Підоріна Л.І., Стеля О.Б., Сьомик О.Б., Шевченко І.В.</i> Інформаційно-математичне моделювання та прогнозування екологічного стану ґрунтових вод	49
<i>Годованюк С.П., Селиванов С.Е.</i> Расчет местоположения судна с застопоренными машинами при воздействии на него течения в Черном море	55
<i>Студзінська А.О., Верховцев В.Г., Юськів Ю.В., Крамар О.О.</i> Новітня тектоніка центральної частини Українського щита (у зв'язку з урановим та іншим металевим зруденінням)	63
<i>Бородіна Н.А.</i> Оцінювання безпеки руху на автомобільних дорогах загального користування	79
<i>Вит'ко В.И., Жегулина Ю.Н., Коваленко Г.Д.</i> Трансграничное влияние Чернаводской АЭС на загрязнение тритием поверхностных вод реки Дунай на территории Украины	92
<i>Мирошник О.М.</i> Комплексна система раннього виявлення надзвичайних ситуацій	103

## CONTENS

<i>Zahmatov V.D., Lysychenko G.V., Fesay O.</i> About liquidation of accidents on potentially hazardous industrial facilities in war zone	4
<i>Kukueva V.V.</i> Environmental aspects of extinguishing substances application	15
<i>Diviziniuk M.M., Popov O.O., Kovach V.O., Bliashenko O.V., Smetanin K.V.</i> Development of mathematical means for estimation of ecological and economical losses from pollution of atmospheric air in zones of technogenic objects impact	23
<i>Nochvay V.I.</i> Assessment of integrated environmental safety index of region	33
<i>Shevchenko R.I.</i> Modeling of communicative criticalities in system of emergency situation from external influence of technogenic and natural character on the basis of information and functional approach	38
<i>Bilenko V.I., Vorobyov V.V., Pasenko A.V., Pidolina L.I., Stelia O.B., S'omyk O.B., Shevchenko I.V.</i> Informational and mathematic modeling and prognostication the environmental status of ground water	49
<i>Godovanyuk S., Selivanov S.</i> Calculation of the ship's position with locked machines at influence of currents in the Black sea	55
<i>Studzinska A.O., Verkhovtsev V.G., Yuskiv Y.V., Kramar O.A.</i> New tectonic of central part of Ukrainian shield (in connection with uranium and other metal mineralizations)	63
<i>Borodina N.A.</i> Assessment of safety motion on automobile roads of general use	79
<i>Vit'ko V.I., Zhegulina I.M., Kovalenko G.D.</i> Transboundary impact of Chernavodska NPP on tritium pollution of Danube river in Ukraine territory	92
<i>Miroshnik O.</i> Comprehensive system of early detection of emergency situations	103

УДК 662.756:662.612.

**В.Д. ЗАХМАТОВ, Г.В. ЛИСИЧЕНКО, А.П. ФЕСАЙ**

*Государственное учреждение «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», г. Киев*

## **О ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙ НА ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ В ЗОНЕ ВОЕННЫХ ДЕЙСТВИЙ**

*С учетом опыта работ на аварийных промышленных предприятиях предложены технические средства и технологии, которые целесообразно внедрить при ликвидации последствий ракетно-артиллерийских обстрелов химических заводов в зонах ведения военных действий на востоке Украины. Показано, что при повреждении в результате обстрелов потенциально опасных объектов (ПОО) или элементов их инфраструктуры (химических аппаратов, установок, трубопроводов и других объектов), имеется высокая вероятность возникновения самопроизвольных выбросов токсичных паров, пыли химических реагентов, газов, последствия которых могут быть намного более катастрофичны, чем взрывы при обстрелах. При этом, могут образовываться масштабные токсичные облака, создающие угрозу химического отравления населения, проживающего на прилегающих к этим объектам территориях.*

*В публикации предлагаются для внедрения комплексные технологии и технические системы для быстрой и максимально безопасной ликвидации аварийных ситуаций на взрывоопасных и токсичноопасных промышленных объектах. Для предотвращения и локализации экологической катастрофы в Донецко-Луганском регионе обоснована необходимость оперативного оснащения Государственных пожарно-спасательных частей (ГПСЧ) новыми техническими средствами и технологиями ведения аварийно-спасательных работ.*

### **Проблемные вопросы экологической безопасности в зонах военных действий.**

Последние несколько лет на территории Донецкой и Луганской областей в результате сепаратистских провокаций и агрессии российских наемников возник военный конфликт, ведутся активные боевые действия с захватом части территории Украины, приводящие к многочисленным человеческим жертвам, разрушению городов и населенных пунктов. Действия украинской стороны по защите своего суверенитета квалифицируются как антитеррорестическая операция (АТО). В период протекания военных конфликтов особую опасность представляют возможные последствия прицельных ракетно-артиллерийских обстрелов площадок ПОО, а также террористические акты с подрывом химических заводов, складов боеприпасов, нефтебаз и др. [1].

Например, жители г. Горловка под Донецком опасаются экологической катастрофы в связи с возможным загрязнением территории города токсичными химическими веществами, хранящимся на его заводах. В частности, на территории ведения военных действий в г. Горловка расположено одно из крупнейших химических предприятий Украины - концерн "Стирол", относящийся к наиболее опасным ПОО. При разрушении этого завода в результате масштабной утечки химическиопасных веществ, которые в огромном количестве были задействованы в его производственных процессах, жертвами химического отравления могут стать тысячи мирных граждан [2]. По оценкам экспертов, радиус поражения (с учетом розы ветров, бассейнов рек и акватории Азовского моря) может составлять более 300 километров [3].

Концерн "Стирол" – крупнейший поставщик минеральных удобрений и сырья для химического производства. До начала военного конфликта на долю этого предприятия

приходилось 3% мирового экспорта аммиака и карбамида, полимерных материалов и изделий из них [4]. Завод в Горловке относится к ПОО. Из материалов СМИ стало известно, что с мая 2015 г. руководство компании Дмитрия Фирташа – владельца концерна — в связи с напряженной ситуацией в Донецком регионе, приостановило выпуск аммиака и другой продукции на предприятии [3]. Объяснили это желанием компании "исключить все риски для сотрудников и жителей региона". Однако сам факт остановки производства отнюдь не исключает крупной утечки токсичных паров, пыли, газов в результате возможных террористических актов или прямых попаданий снарядов в трубопроводы, технологические аппараты, резервуары, которые технически невозможно очистить полностью от токсичных материалов. Только закрытие завода и последующая многолетняя работа по разборке технологических зданий, аппаратов, трубопроводов, резервуарных парков, вывозу и утилизации верхнего слоя земли, асфальта, бетона, отравленных навечно, позволит заметно уменьшить экологическую опасность.

В настоящее время остановка «Стирала» частично снизила, но не ликвидировала его потенциальную опасность. Сам факт обстрела территории «Стирала» с большой вероятностью отрицает возможность его быстрого восстановления и возобновления работы. Неизбежны уже имеющиеся скрытые трещины в технологическом оборудовании от воздействия взрывных волн, а также другие скрытые дефекты, которые могут стать причиной аварийных ситуаций в будущем. Таким образом, ведение военных действий в промышленно-развитом регионе, до их прекращения будет постоянно грозить созданием потенциальной экокатастрофы, ликвидация последствий которой, потребует длительного времени и миллионы долларов.

Необходимо отметить, что в зоне АТО, кроме Концерна "Стирал", размещено еще ряд крупных ПОО:

- Донецкий казённый завод химических изделий, производивший взрывчатые вещества на основе тротила (ТНТ) и гексогена - остатки сырья и полуфабрикаты готовой продукции этого завода взрывоопасны и высокотоксичны – могут вызывать острые отравления с нарушениями генетики;

- «Донецкхим» - лакокрасочный завод - сырьё, полуфабрикаты, готовая продукция взрывоопасны и высокотоксичны;

- Государственное спецпредприятие «Донецкий ГСК «Радон», специализируется на хранении радиоактивных материалов в могильниках – законсервированных хранилищах – сейчас деятельность предприятия приостановлена, в связи с неоднократными обстрелами его территории;

- Горловский химический завод (ХГЗ) - закрыт в 1990г., до начала АТО производилась частичная очистка его территории и утилизация оборудования - на промплощадке осталось много токсичных и взрывоопасных веществ, которые могут привести к образованию высокотоксичных облаков пыли, паров и их ветровому переносу в густонаселенные районы;

- Авдеевский коксохимзавод – летучие бензопирены (утечки в воду, грунт, атмосферу);

- Северодонецкий «Азот» – жидкий и газообразный аммиак [3].

При авиационных бомбёжках, артиллерийских обстрелах, диверсионных подрывах этих и ряда других предприятий будут неизбежны вторичные взрывы и пожары, сопровождающиеся токсичными выбросами и утечками из разрушенных технологических систем. Такие аварии также возможны и при восстановлении заминированных или остановленных с нарушениями технического регламента промышленных предприятий.

В мирное время после распада СССР в юго-восточном регионе Украины было около 800 объектов, на которых использовалось или хранилось до 200 тысяч тонн опасных химических веществ. На большинстве таких предприятий работало оборудование, которому более 30 лет. С середины 90-х годов прошлого столетия, когда прекратились плановые ремонты и обновления технологического оборудования, а службы безопасности

предприятий лишили реальных способов воздействия на их администрацию, сложились условия, которые классифицируются, как аварийно-опасное состояние промышленных объектов, которые ныне еще более ухудшились [3]. Указанные факторы обуславливают очень высокий уровень вероятности возникновения серьезных аварий на химических предприятиях этого региона. По данным МЧС Украины известно, что в зонах потенциально возможного аварийного, химического заражения сейчас проживает свыше 10 миллионов украинцев [5].

Военные действия усугубили эту ситуацию. На предприятиях зоны АТО хранятся химические вещества, которые даже в мирное время представляют высокую токсикологическую опасность. Основные химические риски в зоне АТО, по оценке экспертов, будут обусловлены загрязнением окружающей среды от выбросов с предприятий специальной химии [3, 5]. При этом в аварийных ситуациях следует быть готовым для работы с такими веществами:

- азотная и серная кислоты, которые даже после многолетнего хранения сильно токсичны и интенсивно реагируют с неорганическими материалами и почти всеми металлами;

- сульфитные щелока (СЩ) - отходы производства в аппаратах очистки тротила (отработанные СЩ фактически являются взрывчатыми веществами (ВВ) - гигроскопичны, высокочувствительны к удару - до 95-100% взрывов; при сгорании СЩ выделяют токсичные газы: сернистый, углекислый, сероводород, окислы азота);

- растворы соды кальцинированной - применяются для промывки технологического оборудования и нейтрализации кислых вод;

- твердые отходы производства тринитротолуолов (ТНТ), накопленные в ряде аппаратов - ловушках СЩ, на дне приемных сепараторов, системах сушки и чешуирования ТНТ (высохшие на дне и стенках этих аппаратов кристаллы ТНТ высокочувствительны к механическим воздействиям особенно ударам, из-за кристаллического состояния и наличия примесей неорганического шлама и сульфитных щелоков, являются ВВ);

- динитротолуол технический (ДНТ) - полуполуфабрикат производства ТНТ с примесями - негигроскопичный кристаллический продукт желтого цвета со значительными по массе включениями маслянистых примесей (ДНТ хорошо растворим в большинстве органических растворителей - в серной и азотной кислотах, плохо - в воде). ДНТ - горюч и является взрывчатым веществом, но сравнительно слабым, поэтому как ВВ обычно не применяется из-за нестабильной детонации;

- тротил-сырец является взрывчатым веществом, загорается или взрывается при трении или ударе;

- сера - желтое твердое вещество, в воде растворяется, самовоспламеняется при температуре 232 °С, при горении выделяет 2200 ккал/кг (*пары и пыль серы образуют с воздухом взрывчатые смеси; тонкодисперсная пыль самовозгорается при увлажнении*).

- граммонит 79/21 - взрывчатая, сыпучая смесь (*от трения и удара, загорается и с вероятностью до 12% взрывается*).

- аммиачная селитра (АС) - при нагревании до 220 °С или взаимодействии с серой, кислотами, хлорной известью, порошками металлов (особенно цинка) разлагается, выделяя токсичные окислы и кислород, облегчающий загорание горючих материалов (*АС, загрязненный органикой или при интенсивном горении взрывается*).

#### **Оценка существующего потенциала технических средств для ликвидации аварийных ситуаций в зоне АТО.**

В мирное время для ликвидации токсичных выбросов при тушении пожаров применяется традиционная техника - пожарные машины. Однако их эффективная работа требует подачи сотен тонн воды, которая обеспечивает процесс тушения пожара и осаждение распыленными струями токсичных облаков. Как правило, в зоне АТО водопроводы не работают, а если работают, то маловероятно, что они могут дать нужный напор воды. Поэтому традиционная техника в зоне АТО может работать с весьма

ограниченными возможностями - тушить только небольшие пожары и обеспечивать только незначительное, локальное осаждение токсичных облаков, что фактически не защитит население от токсичного, поражающего воздействия [3].

При неработающих водопроводах и существующем уровне разрухи в зоне АТО традиционной пожарной техникой, находящейся на вооружении Государственных пожарно-спасательных частей (ГПСЧ) в Луганской и Донецкой областях с привлечением сил из соседних областей и даже во всеукраинском масштабе, практически невозможно предотвратить надвигающуюся эколого-социальную катастрофу. Для решения указанной проблемы необходимы новые технологические подходы и новые технические средства.

В Украине имеются научно-экспериментальные разработки и технические системы, позволяющие достаточно быстро и эффективно ликвидировать последствия описанных выше типов аварий, возникающих на площадках промышленных объектов в результате военных действий. К сожалению, эти технологии и новые технические средства не задействованы силами ГПСЧ [6].

Так, еще в 1990 г. на Дарницком танкоремонтном заводе (г. Киев) была изготовлена опытно-промышленная партия из 30 технических комплексов - машин типа «Импульс-3м» (рис.1). Данная техника была успешно испытана на ряде предприятий по производству взрывчатых веществ и боеприпасов: Красноармейский НИИ Механизации (КНИИМ, Московская обл., Россия); п/я В-8379; Чапаевский опытный завод измерительных приборов (ЧОЗИП, г.Чапаевск, Самарская обл. Россия), и НПО «Полимер» (г. Чапаевск), Химический завод им. С.М. Кирова (г.Пермь, Россия) и др. В настоящее время в Украине находится 10 таких машин, из них 4 в ведении Минобороны, в России – 15 комплексов, продано в Республику Йемен 5 машин [6, 7].

Технический комплекс «Импульс-3М», при его использовании для пожаротушения, характеризуется достаточно высокой степенью защиты экипажа – бронированный корпус, предотвращающий прямое попадание осколков, снарядов и пуль. Эта установка обладает уникальной способностью эффективно использовать любые жидкие, сыпучие огнетушащие составы и природные материалы, позволяя автономно работать в условиях отсутствия подачи воды, подвоза пенообразователя, огнетушащего порошка. К положительным характеристикам «Импульс-3М» также относят: гибкое управление импульсной подачей реагентных смесей; наличие системы регулирования дальности распыления; возможность регулирования мощностью струй распыления, а также количеством воздействий и интервалами между ними. Данное техническое средство просто в обращении, характеризуется высокой надежностью работы в сложных условиях техногенных аварий, обеспечивает возможность тушения пожара на отдалении до 110 м, площадь воздействия тушащими реагентами до 3000м<sup>2</sup> без перезарядки комплекса (рис.2) [7].

Аналоги, подобные «Импульс-3М», по комплексу тактико-технических характеристик, обеспечивающих эффективную, автономную и безопасную работу в зонах военных действий или зонах промышленных аварий, в мире отсутствуют. Использование машин «Импульс-3М» наиболее эффективно при авариях на предприятиях и складах взрывчатых и токсичных веществ, в зонах токсичных или радиоактивных загрязнений, когда очень важны быстрота, точность, снижение расхода специальных и защитных составов, эффективное использование экологически чистых природных материалов – вода, грунт, грязь, песок, пыль. Распыление больших масс воды – тонкодисперсно, масштабно и на больших площадях в приземном слое атмосферы – единственный способ своевременно осадить и нейтрализовать облака токсичных паров, газов, пыли или токсичного дыма при лесных пожарах.

К сожалению, комплексы «Импульс-3М», находящиеся на дежурстве в объектово-пожарных частях Украины - химический завод «Азот» Черкассы, пожарная часть в Чернобыле (2 машины), полтавская часть по ликвидации газонефтяных фонтанов (2 машины), НПЗ Гнединский, Черниговская область - не могут использоваться для

ликвидации аварийных ситуаций с токсичными и радиоактивными загрязнениями в зоне АТО. Нужны специализированные трайлеры для перевозки комплексов на значительные расстояния, необходимо создать специальное производство для изготовления распылительных зарядов на заводах Украины.



**Рис. 1.** Технический комплекс типа «Импульс-3м» - самоходная машина на гусеничном ходу



**Рис. 2.** Комплекс «Импульс-3м» обеспечивает возможность тушения пожара на отдалении до 110 м, площадь воздействия тушащими реагентами до 3000м<sup>2</sup>

Практика ликвидации аварий и катастроф показывает, что экономически гораздо целесообразнее регулярно выделять финансирование на плановые ремонты и новую аварийно- спасательную технику, чем малоэффективно «вбрасывать громадные суммы», когда «грянет гром». Затраты на ликвидацию последствий промышленных катастроф и выплаты компенсаций семьям погибших и травмированных, в десятки раз превосходят суммы, необходимые на предупреждение аварий и совершенствование техники для их ликвидации [3, 7, 8].

Предлагается незамедлительно оснастить местные пожарные части новыми наиболее мощными в мире, дальнобойными пожарными, гусеничными бронированными машинами «Импульс-3М», оснатив их 50-ствольным модулем на танковом шасси. Это позволит впервые, реально быстро обеспечить локализацию аварийной ситуации непосредственно в пределах промышленной площадки объекта и предотвратить ее разрастание до катастрофических масштабов.

В настоящее время по украинским патентам [9, 10] в Китае начато серийное изготовление многоствольных модулей для импульсного распыления пожаротушащих смесей и жидкостей, а также специальных зарядов/контейнеров к ним (рис. 3 а, б, в).

Выпускаются с различными свойствами и под задачи для их использования - тушение пожара, создание локального прохода в очаге пожара, осаждение токсичных паров, подавление химически пылящих веществ и др.





**Рис. 3.** Новые многоствольные модули и контейнеры для зарядки жидкости в ствол: а - общий вид модульной установки; б и в – фрагменты зарядки установки распылительными зарядами .

Специальные контейнеры для распыления жидкостей сейчас производятся только в Китае, где можно заказать также распылительные заряды и специальные пыжи к ним. В Китае проведены специальные исследования по созданию новых многоствольных модулей и боеприпасов к ним, которые были успешно испытаны. С участием украинских специалистов в Китае была испытана технология масштабного распыления воды для осаждения токсичных облаков, а также разработан промышленный образец контейнера для быстрой перезарядки стволов (рис 4 а, б). Корпус легкого, не металлического контейнера полностью разрушается в канале ствола без образования тяжёлых, поражающих осколков (рис. 3 б, в).



**Рис. 4. а, б.** Распыление 54л воды на дальность до 60-70м, ширина фронта газовойдыного шквала до 8м, высота 3,5м, «коридор» эффективного воздействия 1500–1700м<sup>3</sup> за 1сек - наиболее эффективный и масштабный способ осадить токсичные облака пыли, паров, газов. Машина «Импульс-3М», заряженная новыми контейнерами с водой, может сделать 16 таких залпов, осадив токсичное облако в объёме до 23000-25000м<sup>3</sup> за период 2-4 мин.

Необходимо отметить, что ликвидация чрезвычайной ситуации в зоне АТО имеет свои особенности. Главная из них состоит в том, что в большинстве случаев на аварийном объекте будет отсутствовать четкий план организации работ по стабилизации ситуации. Поэтому, программа работ по ликвидации аварии в зоне АТО может состояться только на основании данных личного обследования и реальной оценки текущей обстановки. При этом должна учитываться сложность и опасность работ, отсутствие точных сведений о составе, количестве горючих, токсичных или радиоактивных веществ на объекте, возможность взрывоопасности. Только после получения указанных объективных данных можно определить порядок, объём и виды выполнения работ, а также обосновать необходимое оборудование.

В зонах боевых действий при ликвидации чрезвычайных ситуаций, возникающих после артиллерийских обстрелов и диверсионных подрывов, с целью минимизации их негативных последствий могут быть предложены и другие технологические решения.

Например, технология ликвидации последствий аварийных ситуаций без вхождения в заминированную, высокорadioактивную или токсичную зону с использованием распылительных авиационных бомб (рис. 5).

Первая распылительная бомба емкостью до  $0,25 \text{ м}^3$  была спроектирована и успешно испытана в мае 1986 г. с целью подавления возгораний в «Рыжем лесу», наиболее высокорadioактивном участке Чернобыльской Зоны отчуждения на площади около 10 га с уровнями радиации 1000-2500 рентген в час [6]. Такая бомба была снаряжена мокрым грунтом, песком и водой с пенообразователем. Подобные бомбы применялись в Зоне ЧАЭС для распыления пылеподавляющих растворов на участках с высокими уровнями radioактивности. В дальнейшем подвесные распылительные бомбы широко применялись для тушения лесных пожаров в горах, ущельях, заминированной и токсичной местности – Крым, Карпаты, Урал, Польша, Израиль, Швейцария [1, 6, 11].

Достаточно хорошие результаты при испытаниях дали водяные бомбы с пластиковым корпусом, изготовленные из стандартной пластиковой бочки емкостью  $0,16 \text{ м}^3$ . Такая бомба способна эффективно потушить от 100 до 200  $\text{м}^2$  горящего леса в зависимости от вида и высоты деревьев и интенсивности их горения.



**Рис. 5.** Разные стадии развития взрыва при испытаниях водяной «бомбы», применяемой для осаждения облака газов, паров или пыли над площадью более  $500 \text{ м}^2$

Залп из 4-х бомб, расположенных определенным образом, способен потушить лесной пожар на площади до  $2000 \text{ м}^2$ . Эта бомба совершенно безопасна для леса – не ломает деревья, кусты, не убивает и не ранит животных и людей. Взрывное распыление наиболее эффективно производить на высоте 8 - 15м. При этом, если использовать в бомбе простой взрыватель с замедлением, то вертолет может лететь на высоте до 3000 м. На сегодня это наиболее совершенный и эффективный образец водяной бомбы, на базе которого возможно создать промышленный образец универсальной водяной бомбы с широким потребительским спросом. В настоящее время наиболее успешно производство распылительных бомб и многобомбовых подвесных модулей для вертолётного использования налажено в Китае, который обеспечивает их поставку в разные страны.

Определенный практический интерес для решения локальных задач ликвидации описанных чрезвычайных ситуаций может представлять дальнoбойный ручной распылитель (ДРП), изготовленный и сертифицированный в Украине (рис. 6). Его применение может быть эффективным в труднодоступных зонах промышленных аварий или территориях военных действий при решении ряда перечисленных ниже задач:

- распыление быстротвердеющей пены с 10-12м для локализации взрывоопасных предметов;
- распыление сорбентов для локализации розливов нефти на воде в радиусе до 10м от плавсредства и до 20м при залпе из 3-х распылителей;
- тонкодисперсное распыление жидкостей в радиусе до 12м (залпом до 20м) для осаждения и нейтрализации облака токсичных веществ;
- равномерное распыление вязких гелей в радиусе до 15м (залпом до 25м) для локализации радиоактивной пыли;
- локализация и тушение лесных пожаров и очагов;
- оперативное создание проходов в зонах возможной установки мин или растяжек.

Широкие возможности использования указанного распылителя позволяют отнести его к устройствам универсального типа (ДРР-У).



**Рис. 6.** Промышленный образец дальнобойного ручного распылителя универсального типа (на фото - автор разработки В.Д.Захматов)

ДРР-У позволяет производить эффективное распыление различных природных материалов – песок, грунт, грязь, пыль, воду в радиусе до 25м и до 14м в высоту. Одним выстрелом за время менее 1сек. с дистанции до 8м тушатся очаги 0,1А и 0,3А после 6 мин. свободного горения. Природные материалы для формирования распыляющего заряда, как правило, можно найти непосредственно вблизи очага чрезвычайной ситуации. Такие материалы обычно не нарушают экологическое состояние района проведения аварийно-спасательных работ [7].

Вес заряженного ДРР-У составляет 4,5кг; время перезарядки ДРР-У 5-10 сек. Заряд представляет собой легкий (до 0,1 кг) пластиковый контейнер бутылочной формы емкостью 1л с распылительным патроном в горловине. Контейнеры могут заполняться различными наполнителями - жидкостями, гелями, пенообразователями, порошковыми смесями или указанными выше природными материалами. ДРР-У безопасен в эксплуатации, имеет 5-ти кратный запас прочности, характеризуется высокой эффективностью, стабильностью и безотказностью в работе при температурах от  $-50^{\circ}$  до  $+50^{\circ}$ С. Устройство может эксплуатироваться в условиях высокой влажности, запылённости и при его загрязнении. Работа с ДРР-У не требует специальных навыков для управления струей (необходимо только правильно прицелиться). Любой заряженный состав распыляется тонкодисперсно и движется в виде широкого овального облака,



накрывающего сразу площадь от 2 до 10 м<sup>2</sup>, локализуя разливы, выбросы или площадь горения. ДРР-У прошел успешные испытания при ликвидации: взрывоопасных предметов; разливах нефти по водной акватории; токсичных выбросов; небольших очагов лесных пожаров. К сожалению, эта разработка имеется в единичных экземплярах и серийно не выпускается.

Подобные распылители пневмоимпульсного типа выпускаются и используются в практике пожаротушения за рубежом: "IFEX-3012" (Германия), "TSIS" (США), «Игла», «ГИРС» (Россия). Однако, их технические характеристики существенно уступают описанной отечественной модели, а именно: они тяжелее в 3-4 раза; требуют комплектации дефицитными шлангами высокого давления; опасны при разрыве даже при наличии тяжёлой защитной одежды; распыляют только специально очищенную воду; дальность эффективного тушения не более 2 м, что заставляет пожарного работать непосредственно в опасной зоне теплового излучения пламени. Стоимость продажи импортных пневмоимпульсных огнетушителей от 4500 до 12500 долл. США.

По мнению авторов публикации, охарактеризованные выше технические средства и технологии, испытанные при ликвидации аварийных ситуаций на химических заводах и других ПОО, целесообразно задействовать при ликвидации последствий *ракетно-артиллерийских обстрелов в зонах ведения военных действий на востоке Украины*. Они могут качественно улучшить аварийно-спасательные операции и спасти не одну сотню жизней пожарных и населения.

1. Лисиченко Г.В. Проблеми хімічної та радіаційної безпеки в Україні / Г.В. Лисиченко // Вісник НАН України – 2015.– вип. №6. – С.20-21. ISSN 1027-3239.
2. [Обстрелы "Стирала" могут обернуться экологической катастрофой не только для Украины.](http://so-l.ru/news/show/obstrel_i_stirola_mogut_obernutsya_ek_zhi) // Вести. – 11 августа 2014. Электронный ресурс: [http://so-l.ru/news/show/obstrel\\_i\\_stirola\\_mogut\\_obernutsya\\_ek\\_zhi](http://so-l.ru/news/show/obstrel_i_stirola_mogut_obernutsya_ek_zhi)
3. Захматов В.Д. Система комплексной ликвидации аварийных ситуаций на взрывоопасных и химически опасных промышленных объектах / В.Д.Захматов // Пожаровзрывобезопасность. – М.: –2012 –том. 21, №9, – С.43-59.
4. ПАО «Концерн Стирол» – самое старшее предприятие химической промышленности Украины. Электронный ресурс: <http://stirol.ostchem.com/>
5. МЧС: 25 % украинцев угрожает химзаражение из-за высокого риска катастроф в техносфере. // Новости Украины Newsru.ua – 7 апреля 2012. Электронный ресурс: <http://txt.rus.newsru.ua/ukraine/07apr2012/technosphere.html>
6. Захматов В.Д. Импульсная техника в Чернобыле./ В.Д. Захматов // – М.: Пожаровзрыво-безопасность. . – 2010. – Том 19, № 4, – с. 49 – 52.
7. Захматов В.Д., Щербак М. В. Новая техника для реализации современных, информационных технологий при ликвидации последствий экологических катастроф / В.Д. Захматов, М. В. Щербак // Пожаровзрывобезопасность – М.: 2010. – Том. 19, № 9. – С. 42 – 46.
8. Захматов В.Д. Система для импульсного напыления адсорбентов на нефтяную плёнку на акватории / В.Д.Захматов, М. В. Щербак // Техногенно – екологічна безпека та цивільний захист» – Київ-Кременчук: Збірник наукових праць –2010. –№2. - С. 64 – 74.
9. Захматов В.Д. Патент на винахід № UA 103994. Імпульсний розпилювач сорбентів./ В.Д.Захматов, М. В. Щербак // Бюл. № 24 .– 25.12.2013. – С4.
10. Захматов В.Д. Патент на винахід № UA 104027. Пристрій імпульсний розпилювальний для гасіння і універсального захисту / В.Д.Захматов, О.В. Коростельов, О.В. Ключніков, О.В.Княжич, М. В. Щербак // Бюл. № 24 .– 25.12.2013. – С4.
11. Захматов В.Д. Техника для гасіння лісових пожеж у Ізраїлі./ В.Д. Захматов // – Киев: Пожежна безпека. – 2011. – № 2 (137). – с. 18 – 21.

1. Lysychenko G.V. Problems of chemical and radiation safety in Ukraine/G.V. Lisichenko // Bulletin of NAS of Ukraine – 2015.– ed. №6. – P.20-21. ISSN 1027-323. [in Ukrainian]
2. Shelling of "Stirol" may turn into environmental disaster not only for Ukraine//News. – 11 August 2014. Electronic resource: [http://so-l.ru/news/show/obstreli\\_stirola\\_mogut\\_obernutsya\\_ek\\_zhi](http://so-l.ru/news/show/obstreli_stirola_mogut_obernutsya_ek_zhi) [in Russian]
3. Zahmatov V.D. System of comprehensive emergency situations liquidation on explosion and chemically hazardous industrial objects / V.D.Zahmatov // Fire and explosion safety. – M.: –2012 –tom. 21, №9, – P.43-59. [in Russian]
4. PJSC «Concern Stirol» - eldest enterprise of chemical industry in Ukraine. Electronic resource: <http://stirol.ostchem.com/> [in Russian]
5. MES: For 25% of Ukrainians exist threats of chemical contamination, due to high risk of catastrophes in technosphere // News of Ukraine Newsru.ua – 7 April 2012. Electronic resource: <http://txt.rus.newsru.ua/ukraine/07apr2012/technosphere.html> [in Russian]
6. Zahmatov V.D. Impulsive technique in Chornobyl / V.D. Zahmatov // M.: Fire and explosion safety. . – 2010. – т 19, № 4, – P. 49 – 52. [in Russian]
7. Zahmatov V.D., Scherbak M.V. New technique for modern information technologies realization during liquidation of ecological catastrophes consequences/ V.D. Zahmatov, M.V.Scherbak// Fire and explosion safety– M.: 2010. – Т. 19, № 9. – P. 42 – 46. [in Russian]
8. Zahmatov V.D. System for impulse spraying of absorbents on oil film of water area // V.D.Zahmatov.,M.V.Scherbak// «Techogenic - Environmental safety and civil protection»–Kyiv-Kremenchug: Collection of scientific papers–2010. –№2. - P. 64 – 74. [in Russian]
9. Zahmatov V.D. Patent on invention № UA 103994.Impulsive nebulizer of sorbents.V.D.Zahmatov, M.V. Scherbak // Bull. № 24.– 25.12.2013. – P4. [in Ukrainian]
10. Zahmatov V.D. Patent on invention № UA 104027. Impulsive spraying device for stew and universal protection / V.D.Zahmatov, O.V.Korostelev, O.V. Klyuchnikov, O.V.Knyazhych, M.V.Scherbak // Bull. № 24.– 25.12.2013. – P4. [in Ukrainian]
11. Zahmatov V.D. Technique for forest fire stew in Israel./ V.D.Zahmatov // – Kyiv: Fire safety. – 2011. – № 2 (137). – P. 18 – 21. [in Ukrainian]

**В.Д. Захматов, Г.В. Лисиченко, О.П. Фесай**

**ПРО ЛІКВІДАЦІЮ АВАРІЙ НА ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТАХ В ЗОНІ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ**

*З урахуванням досвіду виконання робіт на аварійних промислових підприємствах запропоновано технічні засоби і технології, які доцільно запровадити при ліквідації наслідків ракетно-артилерійських обстрілів хімічних заводів у зонах ведення військових дій на сході України. Показано, що при пошкодженні в результаті обстрілу потенційно небезпечних об'єктів (ПНО) або елементів їхньої інфраструктури (хімічних апаратів, установок, трубопроводів тощо), є висока ймовірність виникнення аварійних викидів токсичних парів, пилу хімічних реагентів, газів, наслідки яких можуть бути набагато більші катастрофічні, ніж вибухи при обстрілі. При цьому, можуть утворюватися масштабні токсичні хмари, що створюють загрозу хімічного отруєння населення, що проживає на прилеглих до цих об'єктів територіях.*

*У публікації пропонуються для впровадження комплексні технології і технічні системи для швидкої і максимально безпечної ліквідації аварійних ситуацій на вибухонебезпечних і токсичнонебезпечних промислових об'єктах. Для запобігання та локалізації екологічної катастрофи в Донецько-Луганському регіоні обґрунтовано необхідність оперативного оснащення Державних пожежно-рятувальних частин (ДПРЧ) новими технічними засобами і технологіями ведення аварійно-рятувальних робіт.*

**V.D. Zahmatov, G.V. Lysychenko, O. Fesay**

**ABOUT LIQUIDATION OF ACCIDENTS ON POTENTIALLY HAZARDOUS INDUSTRIAL FACILITIES IN WAR ZONE**

*Based on the experience of performed works on emergency industrial enterprises, technical means and technologies, that advisable to introduce during liquidation of rocket shelling consequences on chemical enterprises in areas of warfare in eastern Ukraine is proposed. Showed that in case of potentially hazardous objects (PHO) (or elements of their infrastructure (chemical apparatus, installations, pipelines, etc)) damaging, exist high probability of emergent toxic vapors (or dust of chemical reagents, gases, etc) releasing, effect of which can be more catastrophic then explosions during shelling*

*At the same time, massive toxic clouds, which cause hazard of chemical poisoning for population that living on territories adjacent to those objects is formed. In publication, for implementation complex technologies and technical systems for quick and safe liquidation of emergency situations on explosive and toxic hazardous industrial objects is proposed*

*For prevention and localization of environmental catastrophe in Donetsk and Lugansk regions, necessity of State Fire and Rescue units (SFRU) operational equipping, by new technical means and technologies for rescue operation conduction is grounded.*

УДК: 621.039.7.001.2

**В.В. КУКУЄВА**

*Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», м. Київ*

**ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ВОГНЕГАСНИХ РЕЧОВИН**

*Для дослідження механізму вогнегасної дії як хладонів, так і деяких альтернативних вогнегасних засобів запропоновано квантово-хімічний підхід, який дозволяє прослідкувати взаємодію між інгібітором та полум'ям на рівні елементарних реакцій. Показана відповідність меншої енергії розриву зв'язків більш активним інгібіторам. Доведено, що замість озono руйнівних хладонів можуть бути застосовані альтернативні вогнегасні засоби, в молекулах яких інгібувальні компоненти утворюються з меншою енергією.*

**Актуальність**

Рік у рік простежується екологічний аспект небезпеки від пожеж. Будь-яка пожежа завдає шкоди навколишньому середовищу; в деяких випадках екологічні втрати більш значні, ніж економічні: пожежі негативно впливають на атмосферу, водне середовище, ліси, рослини, ґрунт. В їхньому осередку й навколо нього з'являються токсичні продукти горіння – чадний та вуглекислий газ, синильна кислота, шкідливі сполуки азоту, діоксин. Згубно впливає на природу не лише пожежа, а й деякі вогнегасні речовини, що використовуються для її гасіння: піни, хладони тощо. Використання вогнегасних речовин на об'єктах промисловості інколи має тривалі екологічні наслідки [1].

Особливої уваги заслуговує питання про хладони (галогенопохідні вуглеводнів). Засоби пожежогасіння з використанням галогеновмісних вуглеводнів, особливо  $\text{CCl}_4$ , відомі з початку ХХ століття, коли дешевий хлор одержували шляхом електролізу морської води. Метил бромід з'явився на ринку вогнегасних засобів у 1920-х роках і був визнаний більш ефективним. Пізніше було розпочато пошук хімічних вогнегасних засобів, які б за ефективністю наближувалися до тетрахлориду та метил броміду, зі зниженою токсичністю. Численні наукові роботи привели до широкого застосування хладонів для військових цілей, пов'язаних з пожежогасінням. Але досі відсутня однозначна думка щодо механізму їхньої дії, з'ясування якого відкриє можливість свідомого, науково-обґрунтованого пошуку альтернативних інгібіторів.

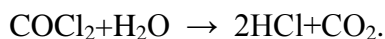
**Постановка задачі**

У 1948 році армія США, враховуючи значні втрати під час другої світової війни, ініціювала дослідження з метою пошуку ефективних проте менш токсичних вогнегасних засобів. Під час досліджень, результати яких пізніше стали відомі широкому загалу, розглянули приблизно 60 сполук. Це були головним чином галогеновмісні вуглеводні (які потім назвали хладонами). Були ідентифіковані хладони 1301 ( $\text{CF}_3\text{Br}$ ), 1211 ( $\text{CF}_2\text{ClBr}$ ), 2402 ( $\text{C}_2\text{F}_4\text{Br}_2$ ) і 1202 ( $\text{CHF}_2\text{Br}$ ). Європа використовувала хладон 1211, але згодом перейшла на 1301, як менш токсичний. В СРСР користувалися переважно хладоном 2402 [1]. Як вогнегасні речовини галогеновуглеводні можуть бути застосовані, в основному, для гасіння пожеж займистих речовин (бензин, нафта, лаки), електричного обладнання, моторних відділень двигунів літаків (стаціонарного обладнання), трансформаторів, комутаторного обладнання, карбюраторів вантажних автомобілів, ракетного палива тощо. Поряд із перевагами, до яких належить висока вогнегасна активність, галогеновуглеводні мають деякі недоліки. Так, через високу токсичність їх небезпечно застосовувати для гасіння пожеж в закритих, тісних, погано провітрюваних приміщеннях, а також, для гасіння пожеж, які супроводжуються тлінням; для гасіння легких металів. У таблиці 1. Наведені формули, хімічні назви і умовні позначення деяких хладонів.

**Таблиця 1.** Галогеноуглеводні, які широко застосовувалися в минулому

№	Формула	Хімічна назва	Умовне позначення
1	CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	Дифлуородихлорметан	1220
2	CF <sub>3</sub> Br	Трифлуоробромметан	1301
3	CF <sub>2</sub> ClBr	Дифлуорохлорбромметан	1211
4	C <sub>2</sub> F <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>	Тетрафлуордихлоретан	2420
5	C <sub>2</sub> F <sub>4</sub> Br <sub>2</sub>	Тетрафлуородибромметан	2402
6.	CH <sub>2</sub> ClBr	Хлоробромметан	1011

При високих температурах під час пожежі відбувається піроліз галогенідів з виділенням токсичних газів, особливо СОСl<sub>2</sub>, який при контакті з водою розкладається:



Під час пожежі формується високотоксичне середовище, оскільки в зоні горіння завжди присутня водяна пара, яка реагує з фосгеном, утворюючи хлоридну кислоту.

У 50-х роках минулого століття було зафіксовано значно менший вміст озону над Антарктикою, ніж на відповідних широтах північної півкулі. У 1974 році американські вчені Ф. Роуланд і М. Моліна висунули гіпотезу, згідно з якою озоновий шар руйнують сполуки техногенного походження (фреони, хладони) [2]. Вони відкрили хлорний цикл розкладання озону. Хлор входить до складу більшості фреонів. В атмосферних умовах фреони інертні і безпечні, але внаслідок накопичення їх в стратосфері при фотолізі вивільняється хлор, який впливає на зменшення озону. Внаслідок руйнівної дії на озоновий шар атмосфери в 90-х роках ХХ століття виробництво і застосування хладонів було значно обмежено [3], а згодом заборонено. Слід нагадати, що гідної альтернативи хладонам у пожежній безпеці досі не має. Газові вогнегасні речовини, які пропонуються замість озоноруйнівних хладонів, мають низку істотних недоліків. Вони, як правило, поступаються озоноруйнівним хладонам у вогнегасній ефективності в 1,5–10 разів, що вимагає збільшення обсягів та маси вогнегасних речовин. Застосування деяких з них обмежене через високу токсичність. Тому скорочувати використання хладонів слід поступово, замінюючи їх на альтернативні газові вогнегасні речовини з близькою до нуля озоноруйнівною здатністю. У них мають бути аналогічні до хладонів фізико-хімічні властивості, які б здешевили витрати на переобладнання систем пожежогасіння [1]. Отже, гостро стоїть проблема пошуку нових інгібіторів горіння, які були б екологічно безпечними при високій вогнегасній ефективності і мали низьку температуру кипіння та невеликий час життя в атмосфері. Для заміни хладонів необхідно розглянути родини хімічних сполук, що не поступаються вогнегасною ефективністю і які могли б бути потенційною їхньою альтернативою. Молекули хімічних сполук, які пропонуються як альтернативні хладону 1301(CF<sub>3</sub>Br), включають широкий спектр хімічних функціональних груп і до них висуваються певні вимоги. Повинні бути розглянуті такі фактори як: безпека для навколишнього середовища, токсичність, вогнегасний ефект, реакційна здатність тощо [1, 2, 4]. Найбільший внесок у вивчення альтернативних хладонам вогнегасних речовин внесли повітряні сили Сполучених Штатів Америки, які ініціювали дослідження в Національному інституті Стандартів і Технологій (NIST),



результати яких опубліковані у серпні 1990 року в [5]. Ця робота стала першим систематизованим оглядом родин хімічних сполук, які можуть бути потенційними заміниками для хладонів, починаючи з кінця сорокових років двадцятого століття. В ній ідентифікований ряд специфічних хімічних родин, який включає 103 сполуки, що викликають безпосередню зацікавленість у подальшому дослідженні їх вогнегасних властивостей. В табл. 2 наведений перелік рекомендованих класів хімічних речовин [5].

**Таблиця 2.** Перелік рекомендованих класів хімічних речовин

Рекомендовані класи хімічних сполук	Обґрунтування для подальшого розгляду – екологічні переваги та оцінка вогнегасних властивостей.
Ненасичені вуглеводні	Висока реакційна здатність алкенів по відношенню до атмосферних ОН <sup>*</sup> .
Галогеновмісні етери і подібні сполуки	Червоний зсув поглинання завдяки фотолізу зв'язків С–О–С.
Йодовмісні хладони	Йодовані галогеновмісні сполуки проявляють фотохімічну реакційну здатність і високу вогнегасну ефективність.
Сульфуровмісні галогеніди	Бажані особливості: низька токсичність, можливі вогнегасні властивості.
Фосфоровмісні сполуки	Встановлені вогнегасні властивості (очікуваний механізм «пастки» для вільних радикалів).
Сполуки силіцію і германію	Силіцій зокрема (можливо германій) може проявляти вогнегасну ефективність і має короткий час життя його сполук в атмосфері.
Металовмісні сполуки	Встановлені вогнегасні властивості.
Інертні гази	Фізична дія як розріджувачів.

Головні особливості, які вимагаються від альтернативних хладонам речовин: вогнегасна ефективність, низький залишковий ефект (продукти горіння тощо), низька електропровідність, антикорозійні властивості, стабільність при довготривалому зберіганні, низький рівень токсичності (дихальної і контактної) як самих хімічних сполук, так і їхніх продуктів горіння, низька (або нульова) озоноруйнівна здатність.

Деякі бромовмісні вогнегасні речовини після ретельного дослідження були дозволені для користування: Бромовані флуороалкени ( $\text{CH}_2=\text{CBr}-\text{CF}_3$ ) мають низьку температуру кипіння і високу реакційну здатність по відношенню до ОН<sup>\*</sup>[5]. Існує багато бромованих флуороалкенів, пропенів, бутенів і деяких пентенів, дослідження яких дозволено Монреальським протоколом [3]. Ефективне пожежогасіння, прийнятна гостра інгаляційна токсичність і короткий термін життя в атмосфері характеризує ці речовини, але серцева сенсibiliзація, яка може бути викликана ними, стала головною перешкодою на шляху розвитку вивчення цього класу вогнегасних речовин. Температура кипіння, як правило, вище 25°C для бромфлуоропропенів. Бром-тетрафлуороалкени можуть мати найкраще поєднання рівня токсичності, вогнегасної здатності і температури кипіння.

Бромованіфлуороетери ( $\text{CF}_2\text{Br}-\text{O}-\text{CF}_2\text{H}$ ) продемонстрували вогнегасну ефективність, нижчу температуру кипіння, короткий час життя в атмосфері при достатній наявності гідрогену в структурі. Токсичність в деяких випадках може бути прийнятною для

застосування. Синтетичні шляхи перетворення флуорметилетерів на їх бромовмісні аналоги забезпечують готові підходи до інших сполук цієї хімічної родини [5].

Ще одна родина, зокрема, алкіламіни мають низьку токсичність при суттєвій вогнегасній активності [6]. Особливий інтерес викликають фосфоровмісні органічні і неорганічні речовини. При досить високій вогнегасній ефективності ці речовини не впливають на стратосферу. Висока ступінь вогнегасної ефективності фосфоровмісних органічних речовин доведена експериментально. Деякі з представників цього класу ефективні в дестабілізації полум'я при концентрації менше ніж 25 % в порівнянні з хладонами [6].

Хімічні родини, які запропоновані в різних джерелах як альтернативні, і властивості яких будуть вивчені в представленій роботі квантово-хімічними методами, такі: бромфлуороалкени, флуороалкани, алкіламіни, фосфоровмісні органічні і неорганічні сполуки та деякі неорганічні солі. Додаткове дослідження інгібувальних агентів звузило спектр до чотирьох робочих категорій вогнегасних речовин:

- 1) сполуки з низькою озоноруйнівною здатністю, молекули яких містять щонайменше один атом Cl, Br або I (наприклад,  $\text{CHFCl}_2$ ,  $\text{CF}_2=\text{CClF}$ ,  $\text{CF}_2 = \text{CFBr}$ ,  $\text{CHF}_2\text{CHFBr}$ ,  $\text{CF}_3\text{I}$  та інш.);
- 2) сполуки, в молекули яких входить флуор, але відсутні атоми озоноруйнівних галогенів (наприклад,  $\text{CF}_2=\text{CFCHF}_2$  і  $\text{CHF}=\text{CFCHF}_2$ );
- 3) неорганічні солі без атомів галогенів (наприклад,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{KHCO}_3$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ );
- 4) органічні фосфоровмісні речовини (наприклад,  $(\text{CH}_3\text{O})_3\text{PO}$  і  $((\text{CH}_3\text{O})_2\text{CH}_3\text{PO})$  [5].

### Розв'язання та висновки

Результати теоретичних розрахунків енергії дисоціації зв'язків для широкого набору молекул флуоровмісних і хлоровмісних вуглеводнів свідчать, що присутність в них атомів хлору та флуору може впливати на сусідні C–H зв'язки по-різному [7]. Крім того, енергія утворення атомів галогенів, відповідальних за інгібування горіння, залежить від вибору носія для посилення інгібувального ефекту. Ці та інші особливості впливу структури на властивості інгібіторів потребують вивчення їх за допомогою квантово-хімічних методів в роботі, що пропонується.

Для дослідження механізму вогнегасної дії як хладонів, так і деяких альтернативних вогнегасних засобів запропоновано квантово-хімічний підхід, який дозволяє прослідкувати взаємодію між інгібітором та полум'ям (яке представлено сукупністю активних центрів полум'я (АЦП), які утворюються в стадіях, що лімітують швидкість горіння) на рівні елементарних реакцій. Отже, в досліджуваній системі з одного боку виступають молекули інгібітору, або продукти їхнього термічного розкладання, з іншого – АЦП ( $\text{H}^\bullet$ ,  $\text{O}^{\bullet}$ ,  $\text{OH}^\bullet$ ). Розрахунки виконувалися методом Хартрі-Фока з використанням базисного набору 6-31 G\*. Результати представлені в таблиці 3.

**Таблиця 3.** Квантово-хімічний розрахунок abinitio шляхів термічної деструкції молекул бромовмісних насичених вуглеводнів з базисним набором 6–31G\*

№ п.п.	Елементарний процес	Енергія розриву зв'язку C-Br, E, ккал/моль
1.	$\text{CF}_3\text{CH}=\text{CH}-\text{Br} \rightarrow \text{CF}_3\text{CH}=\text{CH}^\bullet + \text{Br}^\bullet$	27.6
2.	$\text{CF}_3\text{CH}=\text{CH}-\text{Br} \rightarrow \bullet\text{CH}=\text{CH}-\text{Br} + \text{CF}_3^\bullet$	54.3
3.	$\text{CF}_3\text{CH}=\text{CH}-\text{Br} \rightarrow \text{CF}_3\text{CH}=\text{C}^\bullet-\text{Br} + \text{H}^\bullet$	60.9

4.	$\text{CF}_3\text{CH}=\text{CH}-\text{Br} \rightarrow \text{CF}_2\dot{\text{C}}\text{H}=\text{CH}-\text{Br} + \text{F}\cdot$	42.1
5.	$\text{CH}_3 - \text{Br} \rightarrow \text{CH}_3\cdot + \text{Br}\cdot$	41.3
6.	$\text{CH}_2\text{Br} - \text{H} \rightarrow \text{CH}_2\text{Br}\cdot + \text{H}\cdot$	82.9
7.	$\text{CF}_3 - \text{Br} \rightarrow \text{CF}_3\cdot + \text{Br}\cdot$	55.9
8.	$\text{CF}_2\text{Br} - \text{F} \rightarrow \text{CF}_2\text{Br}\cdot + \text{F}\cdot$	25.3
9.	$\text{C}_2\text{F}_5\text{Br} \rightarrow \text{CF}_2\text{Br}\cdot + \text{CF}_3\cdot$	54.1
10.	$\text{C}_2\text{F}_4\text{Br} - \text{F} \rightarrow \text{C}_2\text{F}_4\text{Br}\cdot + \text{F}\cdot$	68.9
11.	$\text{C}_2\text{F}_5 - \text{Br} \rightarrow \text{C}_2\text{F}_5\cdot + \text{Br}\cdot$	29,3
12.	$(\text{CF}_3 - \text{CH}_2 - \text{O})_2\text{POBr} \rightarrow (\text{CF}_3 - \text{CH}_2 - \text{O})_2\text{PO}\cdot + \text{Br}\cdot$	6.6
13.	$(\text{CCl}_3 - \text{CH}_2 - \text{O})_2\text{POBr} \rightarrow (\text{CCl}_3 - \text{CH}_2 - \text{O})_2\text{PO}\cdot + \text{Br}\cdot$	32.6

В таблиці 3 реакція (1) відповідає інгібувальній дії дозволеного для застосування бромовмісного алкену, який наведено вище. Дві останні реакції (12, 13) характеризують новітній інгібітор, який крім атому бромовмісного також містить фосфор, який виступає одним із перспективних альтернативних елементів, що входять до складу молекул вогнегасних речовин. Як видно із результатів дослідження (табл. 3) енергія відщеплення бромовмісного в молекулі трифлуорбромпропену, який дозволений для застосування Монреальським протоколом [3] вдвічі менше, ніж аналогічна величина в хладоні 1301 ( $\text{CF}_3\text{Br}$ ). Цікаво відмітити, що найменшій енергії потребує відщеплення інгібувального агента від бромовмісного триметилфосфату (12), який пропонується як новітній інгібітор горіння [8]. Відщеплення атома флуору (8) вимагає меншої енергії, ніж деструкція молекули з утворенням радикалів  $\text{Br}\cdot$  та  $\text{CF}_3\cdot$ . Відомо, що інгібувальна дія хладону 1301 забезпечується як за рахунок бромовмісного, так і частково за рахунок флуорометильного радикала [9]. Атом бромовмісного в хладоні 1301 в значній мірі відповідальний як за вогнегасну ефективність, так і за руйнування озону [9]. Слід зазначити, що відщеплення радикалів  $\text{CF}_3\cdot$  завжди відбувається легше при наявності в молекулі атома бромовмісного, який виступає заміном і безпосередньо впливає на міцність зв'язку в молекулі.

Як видно з результатів розрахунків (табл. 3.), в молекулі тетрафлуорбромпропану найлегше від молекули відривається радикал бромовмісного. Атом флуору порівняно з бромом відривається з енергією у 6.5 разів або, відповідно, на 26.7 ккал/моль більшою енергією. Радикал  $\text{CF}_3\cdot$  відщеплюється від досліджуваної сполуки на 6.57 ккал/моль енергії легше, ніж атом водню. Атом водню відривається з вдвічі більшою енергією (6), ніж інгібувальний компонент  $\text{Br}$ , що є характерним для речовин, які мають інгібувальну здатність [10]. Можна сказати, що утворення агента-пастки, яким, в даному випадку, поряд з атомарним бромом, виступає  $\text{CF}_3\cdot$  рівноймовірно з  $\text{H}\cdot$ . В молекулі бромфлуоретану атом бромовмісного відривається від молекули з невеликою енергією. В той же час енергія відриву атома водню в 2 рази більша. З результатів дослідження даної молекули можна зробити висновок про те, що її можна застосовувати як інгібітор горіння. Пентафлуороетильний радикал також в осередку полум'я буде утворювати агенти пастки

для АЦП  $CF_3\cdot$  і  $CF_2\cdot$ . На підставі аналізу розрахунків термічної деструкції досліджуваних речовин можна зробити висновок про високу ймовірність утворення інгібувальних частинок.

Активність бромовмісних речовин по відношенню до активних центрів полум'я добре встановлена як експериментальними, так і теоретичними методами [11-16], основна частина з яких наведена в попередньому огляді, і доведена багаторічним застосуванням бромовмісних вогнегасних речовин. В таблиці 4 наведені результати квантово-хімічних розрахунків abinitio з базисним набором 6-31G\* енергії взаємодії атомарного бромовмісника з АЦП.

**Таблиця 4.** Енергія взаємодії атому бромовмісника з активними центрами полум'я, розрахована методом Хартрі-Фока з базисним набором 6-31 G\*

№ п/п	Активні центри полум'я	Енергія в заємодії, E, ккал/моль.	Рівноважна між'ядерна відстань, R, Å
		Br $\cdot$	Br-АЦП
1	H $\cdot$	56,9	1,41
2	OH $\cdot$	66,4	2,8
3	O $\cdot$	79,9	3,1

Якщо порівняти величини одержаних енергій, то найменше значення відповідає взаємодії Br $\cdot$  з атомом гідрогену. Цей результат узгоджується з численими експериментальними [11, 12] і теоретичними роботами [13-17] відносно провідної ролі цієї реакції в інгібувальному циклі бромовмісних вогнегасних речовин. Трохи більша енергія відповідає взаємодії бромовмісника з гідроксильним радикалом і атомарним киснем. Розрахункові результати добре узгоджуються з експериментами, які доводять універсальний характер атома бромовмісника як «агента-пастки» для всіх АЦП.

Отже, для успішного підбору альтернативних вогнегасних речовин крім урахування фізичних властивостей, важливе значення має з'ясування механізму вогнегасної дії як відомих інгібіторів, так і тих речовин, які пропонуються як альтернативні. В роботі показана відповідність меншої енергії розриву зв'язків більш активним інгібіторам. При цьому розрахований параметр для альтернативних інгібіторів наближається до аналогічної величини для хладонів, а в деяких випадках має значно меншу величину.

1. Жартовський В.М. Техніко-економічні аспекти заміни хладонів 114B2 та 13B1 в автоматичних установках пожежогасіння / В.М.Жартовський, М.Я. Откідач, Ю.В. Цапко. – Науковий вісник УКРНДІПБ. – 2002. – №2(6). –С. 31–37
2. Molina M.J. Stratospheric sink for chlorofluoromethanes. Chlorine atom catalyzed destruction of ozone / M.J. Molina, F.S.Rowland –Nature. –1974. – V. 249. –P. 810.
3. Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer, with later amendments, <http://www.ciesin.org/TG/PI/POLICY/montpro.html>.
4. Tapscott R.E., Alternative fire suppressant chemicals: a research review with recommendations / R.E. Tapscott, R.S.Sheinson, V.I.Babushok, M.R.Nyden, R.G.Gann. – NIST TN 1443. – 2001. – P. 83.
5. Mather J.D. NGP Search for New Chemicals: Environmentally Acceptable fire suppressants/ J.D. Mather, R.E.Tapscott. – Halon Options Technical Working Conference, 16<sup>th</sup> Proceedings. – 2006. Albuquerque, NM. – P.1–17.
6. Takahashi, K., Inhibition of Combustion by Bromine-Free Polyfluorocarbons I. Burning Velocities of Methane Flames Containing Polyfluoroalkylamines/ Takahashi, K.,

Sekiuji, Y., Inomata, T., Abe, T., Fukaya, H., Hayashi, E., and Inoue, G.// *Combustion Science and Technology*. – 1994. – Vol. 102. – P. 213.

7. Weil E. D. A Review of Phosphate Ester Fire Resistance Mechanisms and Their Relevance to Fluid Testing / Weil, E. D., and Marolewski, T. A.: in *Fire Resistance of Industrial Fluids*, ASTM STP 1284, Totten, G. E., and Reichel, J., editors, American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia, Pennsylvania. – 1996.

8. Timperley C.M., Fluorinated phosphorus compounds. Part. 5. The boiling points of fluoroalkylphosphoryl compounds / C.M.Timperley, M.J.Waters // *Journal of Fluorine Chemistry*. – 2001. – V. 109. – PP.103–111.

9. Linteris G.T., Experimental and numerical burning rates of premixed methane-air flames inhibited by fluoromethanes/ G.T. Linteris, L.Truett. – *Combustion Institute, Eastern State Section Meeting*, Dec. 5–7, 1994.

10. Денисов Е.Т. Ингибирование цепных реакций / Е.Т Денисов., В.В. Азатян. – *Черноголовка*. – 1996. – 268 с.

11. Simmons R.F. The influence of methyl bromide on flames / R.F.Simmons, and H.G.Wolfhard// *Transactions of the Faraday Society*. –1956. – V. 52. – PP. 53–59.

12. Levy A., / Levy A., Droege J.W., Tighe J.J., and Foster J.F., / *Eighth Symposium (Int.) on Combustion*, Williams and Wilkins Co., Baltimore, – 1962. 524.

13. Harvey L., Ab initio calculations and kinetic modeling of halon and halon replacements / L.HarveyPaige, Rajiv J. Berry and oth., HOTWC, May 7–9, 1996, Albuquerque, New Mexico.

14. Кукуєва В.В. Квантово-хімічне дослідження галогеновмісних інгібіторів / В.В. Кукуєва // *Збірник наукових праць «Пожежна безпека: теорія і практика»*. – № 3. – 2009. – 48–51.

15. Kim C.H. Effects of Halons and Halon Replacements on Hydrogen-Fueled Laminar Premixed Flames // C.H.Kim, O.C.Kwon, G.M.Faeth, J. Propulsion and Power. – 2002. – V.18. – P 1059–1067.

16. Li K., Experimental and computational studies of the pyrolysis of CF<sub>3</sub>Br, and the reaction of CF<sub>3</sub>Br with CH<sub>4</sub> / K.Li, E.M.Kennedy, B.Z.Dlugogorski// *Chem. Eng. Sci.* – 2000. – V. 55. – P. 4064.

17. Кукуєва В.В. Квантово-хімічне дослідження інгібувальних властивостей дихлортрифлуоретану / В.В. Кукуєва, Р.В. Романюк // *Пожежна безпека: теорія і практика*, 2012. – № 12. – С.71 – 75.

1. Zhartovskyj V.M. Technical and economical aspects of 114B2 and 13B1 chladones substitution in automatic fire extinguishing installations / V.M. Zhartovskyj, M.Ya. Otkidach, Yu.V. Czapko. - *Scientific proceedings of USRIFS*. - 2002. – №2(6). –P. 31–37. [*in Ukrainian*]

2. Molina M.J. Stratospheric sink for chlorofluoromethanes. Chlorine atom catalyzed destruction of ozone / M.J. Molina, F.S.Rowland –*Nature*. –1974. – V. 249. –P. 810. [*in English*]

3. Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer, with later amendments, <http://www.ciesin.org/TG/PI/POLICY/montpro.html>. [*in English*]

4. Tapscott R.E., Alternative fire suppressant chemicals: a research review with recommendations / R.E. Tapscott, R.S.Sheinson, V.I.Babushok, M.R.Nyden, R.G.Gann. – *NIST TN 1443*. – 2001. – P. 83. [*in English*]

5. Mather J.D. NGP Search for New Chemicals: Environmentally Acceptable fire suppressants/ J.D. Mather, R.E.Tapscott. – *Halon Options Technical Working Conference*, 16<sup>th</sup> Proceedings. – 2006. Albuquerque, NM. – P.1–17. [*in English*]

6. Takahashi, K., Inhibition of Combustion by Bromine-Free Polyfluorocarbons I. Burning Velocities of Methane Flames Containing Polyfluoroalkylamines/ Takahashi, K., Sekiujji, Y., Inomata, T., Abe, T., Fukaya, H., Hayashi, E., and Inoue, G.// *Combustion Science and Technology*. – 1994. – Vol. 102. – P. 213. [*in English*]

7. Weil E. D. A Review of Phosphate Ester Fire Resistance Mechanisms and Their Relevance to Fluid Testing / Weil, E. D., and Marolewski, T. A.: in Fire Resistance of Industrial Fluids, ASTM STP 1284, Totten, G. E., and Reichel, J., editors, American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia, Pennsylvania. – 1996. [in English]
8. Timperley C.M., Fluorinated phosphorus compounds. Part. 5. The boiling points of fluoroalkylphosphoryl compounds / C.M.Timperley, M.J.Waters // Journal of Fluorine Chemistry. – 2001. – V. 109. – PP.103–111. [in English]
9. Linteris G.T., Experimental and numerical burning rates of premixed methane-air flames inhibited by fluoromethanes/ G.T. Linteris, L.Truett. – Combustion Institute, Eastern State Section Meeting, Dec. 5–7, 1994. [in English]
10. Denisov E.T. Inhibition of chain reactions / E.T. Denisov , V.V. Azatyan. – Chernogolovka. - 1996. – 268 p. [in Russian]
11. Simmons R.F. The influence of methyl bromide on flames / R.F.Simmons, and H.G.Wolfhard// Transactions of the Faraday Society. –1956. – V. 52. – PP. 53–59. [in English]
12. Levy A., / Levy A., Droegge J.W., Tighe J.J., and Foster J.F., / Eighth Symposium (Int.) on Combustion, Williams and Wilkins Co., Baltimore, – 1962. 524. [in English]
13. Harvey L., Ab initio calculations and kinetic modeling of halon and halon replacements / L.HarveyPaige, Rajiv J. Berry and oth., HOTWC, May 7–9, 1996, Albuquerque, New Mexico. [in English]
14. Kukuyeva V.V. Quantum-chemical research of halogens containing inhibitors / V.V. Kukuyeva // Collection of scientific papers «Fire safety: theory and practice». - № 3. – 2009. – P. 48–51. [in Ukrainian]
15. Kim C.H. Effects of Halons and Halon Replacements on Hydrogen-Fueled Laminar Premixed Flames // C.H.Kim, O.C.Kwon, G.M.Faeth, J. Propulsion and Power. – 2002. – V.18. – P. 1059–1067. [in English]
16. Li K., Experimental and computational studies of the pyrolysis of CF<sub>3</sub>Br, and the reaction of CF<sub>3</sub>Br with CH<sub>4</sub>/ K.Li, E.M.Kennedy,B.Z.Dlugogorski// Chem. Eng. Sci. – 2000. – V. 55. – P. 4064. [in English]
17. Kukuyeva V.V. Quantum-chemical research of dichlorotrifluoroethane inhibiting properties / V.V. Kukuyeva, R.V. Romanyuk // Fire safety: theory and practice, 2012. – № 12. – P.71– 75. [in Ukrainian]

### **В.В. Кукуева**

#### **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОГNETУШАЩИХ ВЕЩЕСТВ**

*Для исследования механизма огнетушащего действия как хладонов, так и некоторых альтернативных огнетушащих средств предложен квантово-химический подход, который позволяет проследить взаимодействие между ингибитором и пламенем на уровне элементарных реакций. Показано соответствие меньшей энергии разрыва связей более активным ингибиторам. Доказано, что вместо озоноразрушающих хладонов могут быть применены альтернативные огнетушащие средства, в молекулах которых ингибирующие компоненты образуются с меньшей энергией.*

### **V.V. Kukueva**

#### **ENVIRONMENTAL ASPECTS OF EXTINGUISHING SUBSTANCES APPLICATION**

*Quantum-chemical approach was proposed for investigation of fire extinguishing mechanism action of chladones, and some alternative fire extinguishing substances. This mechanism allows to trace the interaction between the inhibitor and the flame at the elementary reactions level. The correspondence of less destruction energy to more active inhibitors was shown. Results have proved that alternative extinguishing agents can be used instead ozone-depleting Freon. Molecules of alternative extinguishing agents form inhibiting components with lower energy.*

УДК 504.3.054 : 519.876.5

**М.М. ДІВІЗІНЮК, О.О. ПОПОВ, В.О. КОВАЧ, О.В. БЛЯШЕНКО,  
К.В. СМЕТАНІН**

*Державна установа „Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України”,  
м. Київ*

## **РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ ЗАСОБІВ ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОГО ТА ЕКОНОМІЧНОГО ЗБИТКУ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В ЗОНАХ ВПЛИВУ ТЕХНОГЕННИХ ОБ’ЄКТІВ**

*В роботі представлено розв’язання однієї з важливих задач раціонального природокористування, а саме розроблено сучасні математичні засоби оцінки величини збитку, який наноситься об’єктам природи забрудненою атмосферою, а також методи розрахунку витрат на їх відновлення. Наведено модельний приклад використання розроблених засобів. Відзначено переваги розроблених засобів над існуючими аналогами.*

### **Вступ**

Чисте атмосферне повітря – одна з непорушних умов здорового життя. Разом з тим енергоємне, морально й фізично застаріле технологічне і природоохоронне обладнання, а в окремих випадках – відсутність очисних споруд та ефективного контролю за діяльністю небезпечних підприємств, низька технологічна дисципліна, гострий дефіцит коштів для забезпечення нормальної експлуатації очисного устаткування і споруд призводять до забруднення повітряного басейну середовища життєдіяльності більшості населення.

Забруднення приземної атмосфери (50-100 м) – найпотужніший, постійно діючий чинник негативного впливу на людину, харчовий ланцюг та оточуюче середовище.

Забруднене атмосферне повітря інтенсивно впливає не лише на людину і біоту, а й на гідросферу, ґрунтово-рослинний покрив, геологічне середовище, будівлі, споруди й інші техногенні об’єкти. Тому охорона атмосферного повітря і озонового шару є найбільш пріоритетною проблемою екології, їй надається належна увага в усіх розвинених країнах [1].

Однією з важливих задач раціонального природокористування є розробка методів оцінки величини збитку, який наноситься об’єктам природи забрудненою атмосферою, а також методів розрахунку витрат на їх відновлення.

### **Літературний огляд**

Оцінка економічного збитку від забруднення навколишнього середовища має велику теоретичну базу в економічній науці та широке практичне застосування, при цьому найбільшу складність викликає визначення міждисциплінарних типів збитку [2]. В даній роботі розглядається взаємодія економічних та екологічних показників, тобто зміна економічних показників в результаті зміни екологічних параметрів повітряного середовища в зонах впливу техногенних об’єктів.

Не дивлячись на постійне вдосконалення методичних основ кількісного визначення економічного збитку від забруднення навколишнього середовища, існуючі на даний момент методи [2-12] мають ряд недоліків, обумовлених відсутністю кількісних залежностей рівня пошкодження об’єктів сприйняття від рівня забруднення навколишнього середовища. При розрахунку економічного збитку не враховуються такі фактори як інтенсивність, послідовність та тривалість впливу забруднення, процеси можливого самовідновлення об’єктів живої природи при знятті шкідливого впливу.

Оскільки поняття економічного збитку є єдиною мірою оцінки техногенного впливу на різні сфери життя суспільства, його розрахунок потребує великої множини вихідних даних, багато з яких або практично не фіксуються, або просто не піддаються формалізації.

Частина соціального, морального, естетичного та інших видів збитків, які мають деякий економічний еквівалент, теоретично може бути виражений за допомогою вартісних оцінок, однак це лежить поки за межами можливостей сучасного економічного апарату, тому розрахунковий економічний збиток завжди є заниженим по відношенню до реально існуючого [2].

В даній роботі вирішується задача розробки засобів оцінки екологічного та економічного збитку від забруднення атмосферного повітря техногенними об'єктами, в яких усунуто вищезазначені недоліки.

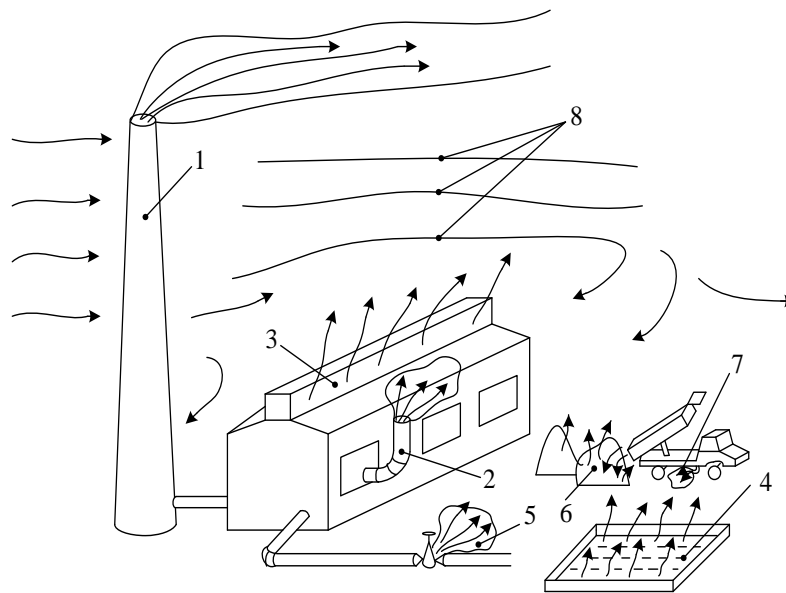
### Методи та результати дослідження

Розв'язання поставленої задачі розіб'ємо на 3 етапи:

1. визначення рівня забруднення атмосферного повітря залежно від потужності викиду техногенного джерела і метеоумов;
2. визначення рівня пошкодженості об'єктів, що потрапили в зону забруднення, залежно від інтенсивності й тривалості впливу техногенного джерела;
3. визначення вартості відновлення об'єктів залежно від рівня їх пошкодженості.

#### Визначення рівня забруднення атмосферного повітря

Техногенне забруднення атмосфери відбувається в результаті практичної діяльності людини. Основні джерела забруднення (ДЗ), пов'язані з діяльністю людини, показані на рис. 1.



**Рис. 1.** Основні техногенні ДЗ атмосфери:

1 – висока димова труба; 2 – низька димова труба; 3 – аераційний ліхтар цеха; 4 – випаровування з поверхні басейну; 5 – витоки через нещільність устаткування; 6 – запилення при розвантаженні сипких матеріалів; 7 – вихлопна труба автомобіля; 8 – напрям руху потоків повітря

Як показують дослідження, проведені в роботі [13], найбільша кількість забруднюючих речовин (ЗР) викидається техногенними об'єктами через димові труби, які з точки зору математичного моделювання є стаціонарними точковими ДЗ. Далі в роботі буде йти мова саме про такі техногенні ДЗ.

Після того, як домішки (радіоактивні речовини, токсичний газ або аерозоль) потрапляють в повітря, характер їх переміщення визначається їх власними фізичними властивостями і властивостями атмосфери, в яких вони знаходяться. Концептуальна



поведінка ЗР, викинутих стаціонарним точковим техногенним джерелом, показана на рис. 2 [13].

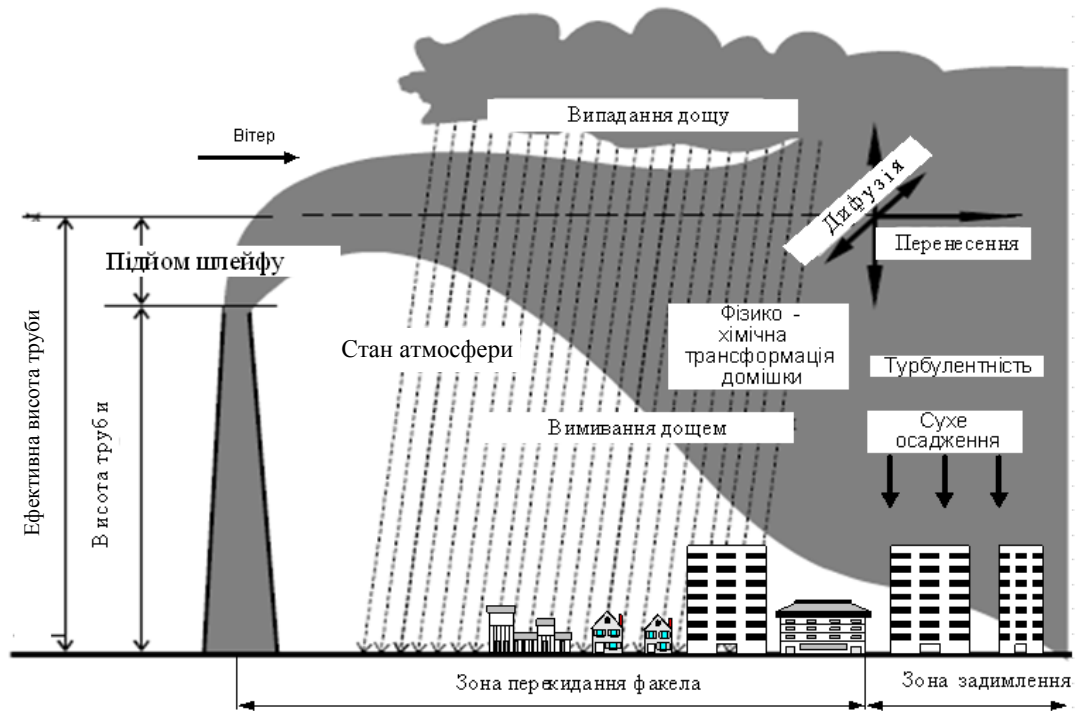


Рис. 2. Поведінка ЗР у повітряному середовищі в результаті викиду їх техногенним ДЗ

Визначення розподілу концентрації ЗР, які надходять в атмосферу міста від техногенних ДЗ, базується на розв'язанні рівняння масопереносу в декартовій системі координат  $Oxyz$  з відповідними початковими та граничними умовами [13]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \frac{\partial (w-w_s)C}{\partial z} + \alpha C = \\ = \frac{\partial}{\partial x} k_x \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} k_y \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial C}{\partial z} + \sum_{i=1}^n Q_i(t) \delta(r-r_i(t)) \end{aligned} \quad (1)$$

де  $C(x, y, z, t)$  – концентрація домішок,  $[г/м^3]$ ;  $t$  – час,  $[с]$ ;  $u, v, w$  – компоненти поля вітру за напрямком осей  $x, y, z$ , відповідно,  $[м/с]$ ;  $k_x, k_y, k_z$  – коефіцієнти турбулентної дифузії,  $[м^2/с]$ ;  $w_s$  – швидкість гравітаційного осадження частинок ЗР,  $[м/с]$ ;  $\alpha$  – коефіцієнт, який визначає зміну з часом концентрації забруднення за рахунок взаємодії з навколишнім середовищем,  $[1/с]$ ;  $Q_i$  – потужність точкових ДЗ,  $[г/с]$ ;  $\delta(r-r_i)$  – дельта-функція Дірака;  $r_i = (x_i, y_i, z_i)$  – місцезнаходження ДЗ.

В загальній постановці дане рівняння розв'язується лише за допомогою чисельних методів, що, в свою чергу, є довготривалим та складним процесом. Це не дозволяє відповідним органам оперативно отримати необхідні результати розподілу забруднення та прийняти швидкі ефективні управлінські рішення для зменшення техногенного впливу на атмосферне повітря. Тому, на практиці використовують математичні моделі, отримані на основі розв'язання рівняння (1) з відповідними припущеннями. Такі моделі дозволяють досить швидко отримати потрібні результати з похибкою, яка не перевищує 15-20 %, що є прийнятним для задач такого класу.

В нашому випадку будемо розглядати наступну постановку задачі. Нехай в початковий момент часу при нульовій початковій концентрації в точці  $(x_0, y_0, z_0)$  нескінченного простору  $-\infty < x, y, z < \infty$  виділилося (утворилося, вибухнуло) миттєво  $M$  одиниць маси газу (аерозолі). Прийнявши припущення, що в рівнянні (1) параметри  $u, v, w, k_x, k_y, k_z$  не залежать від координат, причому  $k_x = k_y = k_z = k$ , то при наявності вітру та взаємодії з навколишнім середовищем розподіл концентрації ЗР буде описуватись наступним параболічним рівнянням з відповідними початковими та граничними умовами [13]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} + \sigma C = k \left( \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right) + M \delta(|r - r_0|) \delta(t), \quad (2)$$

початкові умови:  $C(x, y, z, 0) = 0$ ;

граничні умови:  $C(|r| \rightarrow \infty) \rightarrow 0$ .

Його розв'язок має вигляд [13]:

$$C(x, y, z, t) = \frac{M}{8\sqrt{(\pi kt)^3}} \exp\left(-\frac{(x-ut-x_0)^2 + (y-vt-y_0)^2 + (z-wt-z_0)^2}{4kt}\right), \quad (3)$$

$$x \neq x_0, y \neq y_0, z \neq z_0, t > 0.$$

#### Визначення рівня пошкодженості об'єктів

Забруднення навколишнього середовища призводить до пошкодження біологічних і небіологічних об'єктів. Розглянемо об'єкт, що знаходиться в точці  $\vec{r}(x, y, z)$ , який протягом часу  $0 \leq \tau \leq t$  перебував під впливом забруднень інтенсивністю  $\varphi(\vec{r}, t) = C(\vec{r}, t)/C_0(\vec{r})$ , де  $C_0(\vec{r})$  – концентрація, яка відповідає миттєвій загибелі об'єкта.

В роботах [3, 5, 8] запропоновано описувати рівень пошкодженості об'єкту за допомогою скалярної функції пошкодженості  $0 \leq \Pi(\vec{r}, t) \leq 1$ . При відсутності пошкоджень  $\Pi = 0$ , при  $\Pi = 1$  об'єкт гине (руйнується).

Величина пошкодженості об'єкта  $\Pi(\vec{r}, t)$  в момент часу  $t$  залежить не тільки від інтенсивності впливу в момент  $t$ , а й від усієї історії впливу на проміжку  $0 \leq \tau \leq t$ . Для визначення величини  $\Pi(\vec{r}, t)$  можна використовувати, наприклад, лінійні відносно  $\varphi(\vec{r}, t)$  функціонали виду [1, 6]:

$$\Pi(\vec{r}, t) = \varphi(\vec{r}, t) + \int_0^t H(t, \tau) \varphi(\vec{r}, \tau) d\tau. \quad (4)$$

Функція  $H(t, \tau)$  називається ядром спадковості і характеризує швидкість «забування» в момент часу  $t$  про вплив, який скоєно в момент  $\tau$ . Якщо властивості об'єкта з часом не змінюються (об'єкт не «старіє»), то ядро  $H(t, \tau)$  залежить лише від різниці  $t - \tau$ :

$$\Pi(\vec{r}, t) = \varphi(\vec{r}, t) + \int_0^t H(t - \tau) \varphi(\vec{r}, \tau) d\tau. \quad (5)$$

Перший доданок в формулах (4), (5) характеризує «миттєву» пошкодженість в момент часу  $t$  від впливу в цей же момент. Другий доданок враховує пошкодженість, накопичену за проміжок часу  $0 \leq \tau < t$ .

В роботах [1, 6, 10, 11] пропонується для визначення пошкодженості рослин використовувати в якості ядра спадаючу експоненціальну функцію

$$H(t - \tau) = ce^{-\alpha(t-\tau)}, \quad (6)$$

де  $c, \alpha$  – сталі, які визначаються експериментально.

У цьому випадку вираз для визначення пошкодженості прийме наступний вигляд:

$$\Pi(\vec{r}, t) = \varphi(\vec{r}, t) + c \int_0^t e^{-\alpha(t-\tau)} \varphi(\vec{r}, \tau) d\tau. \quad (7)$$

Вираз (7) дозволяє врахувати характерні риси поведінки, притаманні біологічним об'єктам природи, які здатні повністю або частково відновлюватися після припинення шкідливого впливу.

На відміну від біологічних об'єктів небіологічні об'єкти здатні лише накопичувати пошкодження, викликані окремими імпульсами забруднення, незалежно від того, в який момент часу і в якому порядку вони діють.

Для описання пошкодженості таких об'єктів можна використовувати формулу (4) з ядром, яке залежить лише від одного аргументу:  $H(t, \tau) \equiv H(\tau)$ , тобто формулу

$$\Pi(\vec{r}, t) = \varphi(\vec{r}, t) + \int_0^t H(\tau) \varphi(\vec{r}, \tau) d\tau. \quad (8)$$

Функції пошкодженості для деяких видів навантажених елементів конструкцій, що знаходяться в агресивному середовищі, запропоновані в роботах [1, 3, 4, 8].

Слід відмітити, що якщо в деякий момент часу пошкодженість об'єкта досягне 1, то об'єкт гине (руйнується) і для цього об'єкта в наступні моменти часу слід вважати  $\Pi(\vec{r}, t) = 1$ .

У разі точкового короткочасного викиду забруднень масою  $M$  відносна інтенсивність забруднень прийме вигляд

$$\varphi(\vec{r}, t) = \frac{C(x, y, z, t)}{C_0(x, y, z)} = \frac{M}{8\sqrt{(\pi k t)^3 C_0(x, y, z)}} \times \exp\left(-\frac{(x-ut-x_0)^2 + (y-vt-y_0)^2 + (z-wt-z_0)^2}{4kt} - \sigma t\right). \quad (9)$$

Підставляючи цю функцію у вирази (4), (5), (7) або (8), отримуємо залежність пошкодженості об'єкта від часу, потужності викиду, напрямку і швидкості вітру, коефіцієнтів дифузії і т.д. Інтегралі в правих частинах згаданих виразів можна обчислити чисельно.

*Визначення величини збитку від забруднень*

Позначимо  $\rho_j(\vec{r})$  – поверхневу щільність розташування об'єктів  $j$ -го типу в точці  $\vec{r}$ , тоді  $\rho_j(\vec{r}) dS$  – кількість таких об'єктів на площі  $dS$ .

Нехай  $R_j(\Pi)$  – вартість відновлення одного об'єкта  $j$ -го типу з рівнем пошкодженості  $\Pi$ . Сумарна вартість відновлення об'єктів, які знаходяться на площі  $S$  в момент часу  $t$ , визначається за формулою:

$$R_S(t) = \sum_j R_j(t) = \sum_j \iint_S R_j[\Pi(\vec{r}, t)] \rho_j(\vec{r}) dS. \quad (10)$$

В окремому випадку, коли вартість відновлення об'єкта пропорційна його рівню пошкодженості:

$$R_j[\Pi(\vec{r}, t)] = R_{0j}(\vec{r}) \Pi(\vec{r}, t), \quad (11)$$

де  $R_{0j}(\vec{r})$  – вартість неушкодженого об'єкта  $j$ -го типу, формула (10) прийме вигляд:

$$R_S(t) = \sum_j \iint_S R_{0j}(\vec{r}) \Pi_j(\vec{r}, t) \rho_j(\vec{r}) dS. \quad (12)$$

Якщо на площі  $S$  рівномірно розподілені однотипні об'єкти (щільність розташування об'єктів стала  $\rho(\vec{r}) = \rho_0 = const$ ), тоді формула (12) прийме вигляд

$$R_S(t) = R_0 \rho_0 \iint_S \Pi(\vec{r}, t) dS. \quad (13)$$

Для практичних розрахунків в формулах (10)-(13) зручно замінити інтеграли відповідними сумами. Розіб'ємо територію площею  $S$  на  $n$  малих ділянок таким чином, щоб в межах  $i$ -ої ділянки можна було вважати пошкодженість об'єктів сталою. Нехай  $\Delta S_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) – площа, а  $\vec{r}_i$  – радіус-вектор  $i$ -ої ділянки;  $m_{ji}$  – кількість об'єктів  $j$ -го типу на  $i$ -ій ділянці з рівнем пошкодження  $\Pi_{ji}$ .

Замінюючи у формулі (10) подвійний інтеграл сумою, отримуємо сумарну вартість відновлення об'єктів в момент часу  $t$ :

$$R_S(t) = \sum_j R_j(t) \approx \sum_j \sum_{i=1}^n R_{ji}(t) m_{ji}, \quad (14)$$

де  $R_{ji}(t)$  – вартість відновлення одного об'єкту  $j$ -го типу з рівнем пошкодження  $\Pi_{ji}$ .

Формули (10)-(14) дозволяють оцінити економічні витрати на екологічне відновлення навколишнього середовища в зонах з різним ступенем пошкодження.

Використання розроблених математичних засобів розглянемо на наступному модельному прикладі. Нехай в момент часу  $t = 0$  в точці з координатами  $x_0 = 1, y_0 = 3$  (км) відбувся викид ЗР  $\text{SO}_2$  в кількості  $M/C_0 = 0,01$ .

На рис. 3-5 для моментів часу  $t = 10, 30, 120$  хв наведені лінії рівнів пошкодженості ялини, розрахованої по формулі (7) з параметрами  $\alpha = 3,3 \cdot 10^{-6} \text{ c}^{-1}$ ,  $c = 5,5087 \text{ c}^{-1}$ . Складові швидкості вітру  $u = 4 \text{ м/с}$ ,  $v = 0 \text{ м/с}$ . Коефіцієнти дифузії  $k = 0,001 \text{ км}^2/\text{с}$ , характеристика розпаду аерозолі  $\sigma = 1 \cdot 10^{-5} \text{ c}^{-1}$ . Розміри області  $8 \times 6 \text{ км}$ .

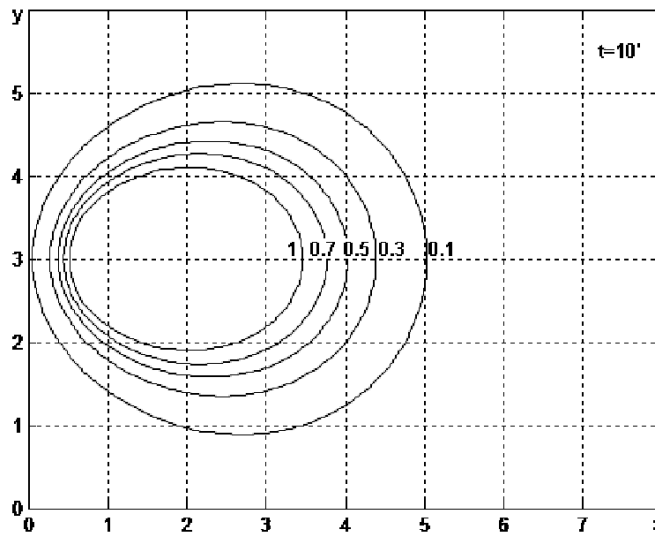


Рис. 3. Лінії рівня функції пошкодженості для  $t = 10$  хв

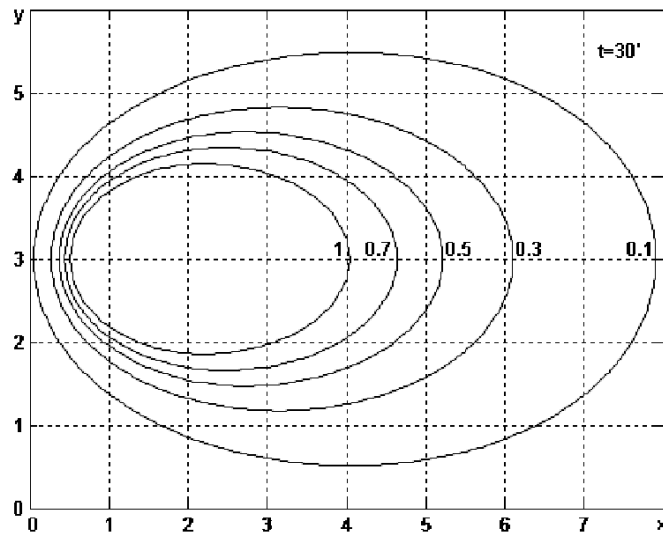


Рис. 4. Лінії рівнів функції пошкодженості для  $t = 30$  хв

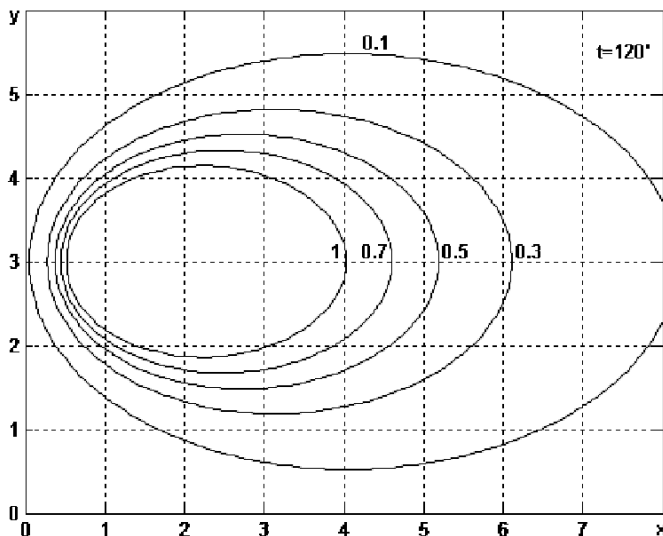


Рис. 5. Лінії рівнів функції пошкодженості для  $t = 120$  хв

На рис. 3-5 внутрішній контур, який відповідає величині пошкодженості  $\Pi = 1$ , обмежує область загиблих рослин. З плином часу ця область спочатку збільшується, досягаючи максимальних розмірів, а потім залишається сталою за величиною. Області з пошкодженістю  $\Pi < 1$  досягають максимальних розмірів, а потім, внаслідок самовідновлення рослин після припинення шкідливого впливу, поступово стягуються до контуру з пошкодженістю  $\Pi = 1$ .

На рис. 6 наведені залежності від часу відносного збитку  $R_s^*(t) = R_s(t)/(R_0\rho_0)$ , які розраховані за формулою (13), для зображеної на рис. 3-5 області розміром  $8 \times 6$  км при різній швидкості  $u$  західного вітру ( $v=0$ ). У випадку відсутності вітру ( $u=0$ ) передбачалось, що ДЗ знаходиться в центрі області  $x_0 = 4$ ,  $y_0 = 3$  (км).

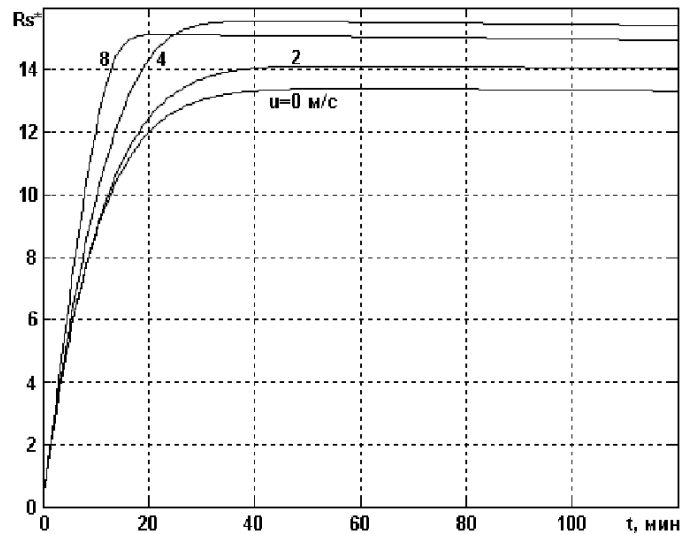


Рис. 6. Залежність відносного збитку  $R_s^*(t)$  від часу  $t$  та швидкості вітру  $u$

В табл. 1 наведені значення максимального відносного збитку  $\max R_s^*(t)$  та часу досягнення цього максимуму  $t_{\max}$  для розглянутої вище області при різних швидкостях західного вітру. Для всіх випадків ДЗ знаходилося в точці з координатами  $x_0 = 1$ ,  $y_0 = 3$  (км).

Таблиця 1. Залежність максимального відносного збитку в розрахунковій області від швидкості вітру  $u$

$u$ , м/с	0	2	4	8	10
$\max R_s^*(t)$	10,65	14,12	15,56	15,13	14,32
$t_{\max}$ , хв	58,5	55,5	41	22,5	18

### Висновки

В роботі запропоновано математичну модель, яка дозволяє оцінити рівень забруднення об'єктів, викликаного короткочасним точковим викидом ЗР в атмосферу, а також рівень пошкодженості забруднених об'єктів та величину витрат на їх відновлення.

Запропонована модель має наступні переваги:

- потребує менших витрат в порівнянні з визначенням вартості відновлення об'єктів в різних зонах за допомогою вимірювання (оцінки експертами) рівня їх пошкодженості.
- дозволяє описати розташування зон з різною вартістю відновлення об'єктів;
- дозволяє швидко та економічно оцінювати вартість відновлення в різних зонах, на великих просторах та прогнозувати її при відомому прогнозі про масу викиду ЗР та атмосферних умов;
- дозволяє планувати природоохоронні заходи.

Модель може бути використана при розрахунках економічного збитку від забруднення об'єктів, викликаного короткочасним точковим викидом ЗР в атмосферу.

1. Троянський О.І. Моніторинг якості повітря / О.І. Троянський, О.А. Дашковський. – Житомир : Волинь, 2004. – 159 с.
2. Ильичева М.В. Методы оценки экономического ущерба негативного влияния загрязненной среды / М.В. Ильичева // Известия Челябинского научного центра. – 2005. - Вып. 3 (29). - С. 112-116.

3. Балацкий О.Ф. Теоретические и практические вопросы определения экономического ущерба от загрязнения окружающей среды / О.Ф. Балацкий. – К. : Знание, 1982. – 15 с.
  4. Временная типовая методика определения эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценке экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды / А.С. Быстров, В.В. Варанкин, М.А. Виленский и др. - М. : Экономика, 1986. - 93 с.
  5. Хачатуров С.Т. Экономика природопользования / С.Т. Хачатуров. - М. : Наука, 1987. - 254 с.
  6. Елаховский В.С. Об оценке экономической эффективности природоохранного мероприятия / В.С. Елаховский // Экономические оценки в системе охраны природной среды СССР. - Л. : Гидрометеиздат, 1988. – С. 54-67.
  7. Методы определения ущерба экономическим способом. Нормативный документ ОНВ – 22/195. - Алма-Ата, 1991. - 220 с.
  8. Голуб А.А. Экономика природопользования / А.А. Голуб, Е.Б. Струкова. - М. : Изд. Аспект-пресс, 1995. - 188 с.
  9. Рюмина Е.В. Экономические последствия опасных процессов / Е.В. Рюмина // Экономика природопользования: обзор информации. - 1999. - № 4. - С. 80-88.
  10. Мкртчян Г.М. Топливо-энергетический комплекс и окружающая среда: экономические и правовые аспекты / Г.М. Мкртчян, Н.И. Пляскина ; под ред. И.И. Думовой. - Новосибирск : ИЭОПП СО РАН, 2002. - 340 с.
  11. Пахомова Н.В. Экономика природопользования и охрана окружающей среды : учеб. пособие / Н.В. Пахомова, К.К. Рихтер. - СПб. : Изд-во Санкт-Петербургского университета, 2006. – 220 с.
  12. Бобылев С.Н. Экономика природопользования : учебник / С.Н. Бобылев, А.Ш. Ходжаев. - М. : ИНФРА-М, 2010. - 502 с.
  13. Попов О.О. Математичне та комп'ютерне моделювання техногенних навантажень на атмосферу міста від стаціонарних точкових джерел забруднення : дис. ... кандидата технічних наук : 01.05.02 / Попов Олександр Олександрович; Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України. - К., 2010. – 198 с.
- 
1. Troyanskyj O.I. Monitoring of air quality / O.I. Troyanskyj, O.A. Dashkovskij. – Zhytomyr : Volyn, 2004. – 159 p. [in Ukrainian]
  2. Ilicheva M.V. Methods for assessing the economic damage the negative impact of polluted environment / M.V. Ilicheva // Proceedings of the Chelyabinsk Scientific Center. – 2005. – Iss. 3 (29). – P. 112-116. [in Russian]
  3. Balatskiy O.F. Theoretical and practical questions of definition of economic damage from pollution / O.F. Balatskiy. - Kiev : Znanie, 1982. – 15 p. [in Russian]
  4. Temporary typical method of determining the effectiveness of the implementation of environmental protection measures and the assessment of the economic damage caused to the national economy pollution / A.S. Byistrov, V.V. Varankin, M.A. Vilenskiy et al. - Moscow : Ekonomika, 1986. – 93 p. [in Russian]
  5. Hachaturov S.T. Environmental Economics / S.T. Hachaturov. – Moscow : Nauka, 1987. – 254 p. [in Russian]
  6. Elahovskiy B.C. About estimation of the cost-effectiveness of environmental measures / B.C. Elahovskiy // Economic evaluation of the system of protection of the natural environment of the USSR. - Leningrad : Hidrometeoizdat, 1988. – P. 54-67. [in Russian]
  7. Methods of determination of damage by the economic way. Regulatory Document – 22/195. - Alma-Ata, 1991. – 220 p. [in Russian]
  8. Golub A.A. Environmental Economics / A.A. Golub, E.B. Strukova. - Moscow : Aspekt-press, 1995. – 188 p. [in Russian]

9. Ryumina E.V. Economic consequences of hazardous processes / E.V. Ryumina // Economy of nature: overview of information. – 1999. - N 4. – P. 80-88. [*in Russian*]
10. Mkrtchan G.M. Energy and Environment: economic and legal aspects / G.M. Mkrtchan, N.I. Plyaskina. - Novosibirsk : IEOPP SO RAN, 2002. – 340 p. [*in Russian*]
11. Pahomova N.V. Environmental Economics and Environmental Protection / N.V. Pahomova, K.K. Rihter. - St. Petersburg : Publishing house of St. Petersburg State University, 2006. – 220 p. [*in Russian*]
12. Bobylev S.N. Environmental Economics : textbook / S.N. Bobylev, A.Sh. Hodzhaev. - Moscow : INFRA-M, 2010. – 502 p. [*in Russian*]
13. Popov O.O. Mathematical and computer modeling of man-made pressures on the city atmosphere from stationary point sources of pollution : ...Ph.D. thesis in Engineering Science : 01.05.02 / Popov Olexander Olexandrovych; Institute of modeling problems in power named after G. Pukhov of NAS of Ukraine. – Kiev, 2010. – 198 p. [*in Ukrainian*]

**М.М. Дивизинюк, А.А. Попов, В.Е. Ковач, О.В. Бляшенко, К.В. Сметанин**

**РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО И ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В ЗОНАХ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

*В работе представлено решение одной из важных задач рационального природопользования, а именно разработаны современные математические средства оценки величины ущерба, который наносится объектам природы загрязненной атмосферой, а также методы расчета затрат на их восстановление. Приведен модельный пример использования разработанных средств. Отмечены преимущества разработанных средств над существующими аналогами.*

**M.M. Diviziniuk, O.O. Popov, V.O. Kovach, O.V. Bliashenko, K.V. Smetanin**

**DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MEANS FOR ESTIMATION OF ECOLOGICAL AND ECONOMICAL LOSSES FROM POLLUTION OF ATMOSPHERIC AIR IN ZONES OF TECHNOGENIC OBJECTS IMPACT**

*The article describes the solution of one of the most important problems of rational use of natural resources. Modern mathematical tools for damage estimation, which are caused by atmospheric pollution to natural objects, and also methods for calculation of the cost for their renewal were developed. Model example of developed means usage was described. Advantages of developed means over existed analogs were noticed.*



УДК 519.863:504.6

**В.И. НОЧВАЙ**

*Институт проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины,  
г. Киев*

**ОЦЕНКА ИНДЕКСА ИНТЕГРИРОВАННОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕГИОНА**

*В статье освещены основные проблемы управления экологической безопасностью. Проанализированы и обобщены основные классы задач управления региональной экологической безопасностью и предложены комплексные подходы для их решения на основе математического представления процессов в социально-экологических системах.*

**Введение.** Управление экологической безопасностью является важным аспектом регионального управления и требует применения научно-обоснованных методов и математических моделей, без которых принятие эффективных решений невозможно, особенно в долгосрочном периоде. Исходной информацией для управленческих решений является комплексная экологическая оценка территории и данные экологического мониторинга. Методические основы комплексной оценки техногенной и природной опасности в региональном разрезе описаны в работе [1]. Основными задачами являются: идентификация источников природной и техногенной опасности; контроль опасных объектов, функционирование которых связана с интенсивным природопользованием, а также с возможностью возникновения чрезвычайных ситуаций; планирование оптимального распределения ресурсов для снижения рисков.

**Интегрированная экологическая безопасность.** Управление техногенно-экологической безопасностью следует рассматривать как составляющую безопасности социоэкологической системы производительных сил соответствующего территориального образования. Безопасность является основной потребностью человека наряду с физиологическими, социальными и духовными потребностями. В социоэкологической системе некоторого региона производственные, социальные и природные процессы связаны между собой взаимно поддерживающими материальными, энергетическими и информационными потоками. Необходимым условием для удовлетворения социально-экономических потребностей общества в товарах, услугах и других общественных благах есть качество и безопасность среды обитания, достаточные запасы природных ресурсов, устойчивость и сохранение естественных свойств экосистем. Более того сама безопасность является одним из общественных благ, для характеристики которого в работе [2] определено понятие интегрированной безопасности - как оптимального баланса социально-экономической и техногенно-экологической безопасностей, который достигается при помощи распределения общих ограниченных ресурсов эколого-экономической системы – материальных, трудовых, энергетических, финансовых, интеллектуальных и информационных. Оптимальное значение интегрированной безопасности определено как:

$$B_{OPT} \equiv \{B_{CE}(R_{CE}) + B_{TE}(R_{TE})\} \rightarrow MAX$$

$B_{CE}(R_{CE}), B_{TE}(R_{TE})$  - обусловленность социально-экономической и техногенно-экологической безопасностей соответствующими затратами частей общих достижимых ресурсов  $R=R_{CE}+R_{TE}$

При этом необходимым условием, базирующемся на основе принципа максимума Понтрягина, является равенство двух видов предельных затрат прироста ресурсов – на социально-экономическую и техногенно-экологическую безопасность:

$$\frac{\partial B_{CE}}{\partial R_{CE}} = \frac{\partial B_{TE}}{\partial R_{TE}}$$

Задачей управления есть достижение оптимального состояния, возможного для имеющегося уровня ресурсного обеспечения, с учетом одновременного взаимодействия социально-экономической, геоэкологической и технологической подсистем [2].

Будем различать два основных режима функционирования антропо-техногенной деятельности: регламентный и кризисный (аварии, катастрофы). В кризисном режиме реализуется некоторое неблагоприятное событие А, полный риск которого для социальной (С), экономической (Э) и экологической (Е) сфер региона можно выразить формулой [1]:

$$R_n = r^C + r^Э + r^E$$

**Техногенно-экологическая безопасность региона.** При превышении границы несущей емкости геоэкологической системы она становится источником экологической опасности для социально-экономической системы. Ведь лишь функционирование и сохранность биосферы делают возможным существование на Земле всех форм жизни, включая человека.

Существует много интерпретаций и представлений экологической безопасности. Например, в работе [3] экологическую безопасность региона формализовано представлено функцией трех переменных:

$$B_E = F(R, Q, E)$$

где R-природные ресурсы, E- экосистема, ее свойства, Q- человек, среда его проживания.

В таком случае, представим функцию суммарного риска для региональной экологической безопасности как суммы рисков для соответствующих составляющих, в следствие антропо-техногенной деятельности в регламентном и кризисном режимах:

$$r_E = r^R + r^E + r^Q \quad (1)$$

- $r^R$  - риск потерь природных ресурсов в регионе
- $r^E$  - риск негативных воздействий на региональные экосистемы
- $r^Q$  - экологические риски для населения

На экологическую безопасность влияют, с одной стороны, риски аварий и стихийных бедствий, а с другой – состояние окружающей среды. Накопительные негативные эффекты ухудшения качества среды (загрязнение, деградация и прочее) представляет значительные угрозы как для здоровья человека, так и для устойчивости экосистем. Таким образом можно говорить о том, что в точке оптимума достигается, с одной стороны, баланс производства и потребления товаров и услуг, который гарантирует удовлетворения потребностей жизнеобеспечения и развития региона. А с другой – баланс использования и восстановления природных ресурсов в регионе. При этом должны удовлетворяться условия обеспечения допустимых экологических и социально-экономических рисков.

С учетом концепции критического природного капитала ( $R^*$ ) – как необходимых для жизни природных благ, которые невозможно искусственно заменить (ландшафты,

биоразнообразие, озоновый слой, климат, экологическое равновесие и т.д.) основные соотношения устойчивого развития можно записать в виде [4]:

$$Y_t(K, L, R) \leq Y_{t+1}(K, L, R)$$

$$R_t^* \leq R_{t+1}^*$$

$$R_t = R_t^* + R_s^*$$

$Y_t(K, L, R)$  – неубывающая во времени производственная функция региона.

$K, L, R$  – агрегированные переменные капитала, труда и природных ресурсов.

$R_s^*$  – часть замещения невозобновляемого ресурса природного капитала возобновляемым.

Если выразить финансовые ресурсы региона, которые останутся после удовлетворения основных социально-экономических потребностей (С) в результате регионального объема производства товаров и услуг (Y) через  $\Phi(Y, C)$  то она может выступать критерием социально-экономической безопасности. Если использовать интерпретацию индекса техногенно-экологической безопасности, предложенной в [2, с.102], то с учетом (1) получим общий вид индекса интегрированной экологической безопасности региона:

$$I_B = \Phi(Y, C) - r_E$$

**Задачи управления экологической безопасностью в регламентном режиме антропо-техногенной деятельности.** Целью управления экологической безопасностью в некотором регионе  $\Sigma_0$  является обеспечение допустимого уровня негативного воздействия природных и антропогенных факторов на окружающую среду и человека. Одним из традиционных механизмов обеспечения экологической безопасности [5] является обеспечение стратегически направленных механизмов экологического управления (u) в регионе по уменьшению в некотором периоде (как правило год) выбросов (Q) от пространственно распределенных источников, формирующих загрязнения (S) на основе критериев стандартов качества окружающей среды в k-зоне:

$$\min_{\{u(t, \Sigma)\}} \int_t \int_{\Sigma_k} S(Q, u, \Sigma, t) d\Sigma dt \leq S_{k \text{ норм}}$$

В случае присутствия окружающей среде одновременно n факторов, что проявляют суммацию вредного воздействия, для каждой группы таких факторов следует рассчитать суммацию вредного воздействия.

Второй задачей региональной экологической безопасности является проведение мероприятий (u) минимизации до приемлемого уровня рисков вредных эффектов антропогенных воздействий (например - организованных и неорганизованных выбросов загрязняющих веществ мощности) как для отдельных элементов экосистемы, так и на их общие эмерджентные характеристики и функции (E):

$$\min_{\{u(t, \Sigma)\}} \int_t \int_{\Sigma_k} R(Q, u, E, \Sigma, t) d\Sigma dt \leq r_{k \text{ норм}}$$

**Управление риском кризисных и катастрофических явлений.** Еще одной важной задачей региональной экологической безопасности является оценка риска возможных чрезвычайных ситуаций и аварийных выбросов с целью предупреждения возникновения и ликвидации последствий.

Используем формулу [5] полного риска  $r(Y, A)$  эколого-экономических потерь (Y) на конечном множестве  $A = \{e_{i,A}\}$ ,  $i=1..N$ , независимых сценариев  $e_{i,A}$  аварий, каждый из

которых в сочетании с некоторыми независимыми неблагоприятными условиями – элементами конечного множества,  $\theta_k \in \Theta$ ,  $k=1..K$ , приводит к ущербу  $Y(e_{i,A}, \theta_k)$

$$r(Y, A) = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K p(e_{i,A}, \theta_k) Y(e_{i,A}, \theta_k)$$

где  $p(e_{i,A}, \theta_k)$  – полные вероятности пересечения  $i$ -аварийных сценариев  $e_{i,A} \in A$ ,  $i=1..N$ , с неблагоприятными условиями  $\theta_k \in \Theta$ ,  $k=1..K$ , вероятности которых считаются заданными. Неблагоприятные условия в месте возникновения опасного источника загрязняющих веществ, в первую очередь определяются метеоусловиями, которые определяют характер и направленность развития зоны токсического поражения, а также наличием поблизости средств и сил противодействия чрезвычайным ситуациям.

База возможных сценариев опасных выбросов в результате чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера охватывает: промышленные аварии, аварии на транспорте, теракты, взрывы, пожары, землетрясения, наводнения, ураганы. Если на их основе построить полную группу наиболее вероятных событий  $e_{i,A} \in E$ ,  $i=1..N$  с применением байесового подхода, то для определения полной вероятности экологического ущерба в регионе достаточно задать структурную функцию  $\Psi(S)$  надежности (экобезопасности региональной системы), такую, что

$$\Psi(S) : E \rightarrow A$$

Таким образом оценив плотность распределения вероятности данных событий по территории и рассчитав вероятное пространственно-временное распределение вредного фактора (вероятность контакта с реципиентами риска) можно определить:

$$p(e_{i,E}, \theta_k) = p(e_{i,E}) p(\theta_k)$$

и на основе экономической оценки природных ресурсов и потерь для здоровья можно оценить уровень риска региональной экологической безопасности от возможных чрезвычайных ситуаций. Для решения задач региональной экологической безопасности очень важным условием является существование реестров опасных объектов в регионе, а также инвентаризация источников загрязнений окружающей среды. Для учета физико-химических особенностей различных сценариев выбросов (разливы, пожары, взрывы) необходимо формирование базы региональных эмиссионных моделей. Снижение риска кризисных и катастрофических явлений в технологических и геоэкологических системах возможны в активном и пассивном режимах управления техногенно-экологической опасностью [2]. В первом случае социально-экономическая производительность не уменьшается, а вероятные кризисные явления предупреждаются с использованием соответствующих затрат для повышения устойчивости систем. Во втором случае снижение риска происходит за счет уменьшения их социально-экономической производительности – закрытие, конверсия, снижение производственной мощности, ограничение природопользования и т.д.

**Выводы.** В статье освещены основные подходы к моделированию задач управления региональной экологической безопасностью. Такие задачи имеют комплексный многокомпонентный и многоуровневый характер. Для адекватного представления экономических и экологических процессов в математических моделях необходимо иметь динамическое представление основных факторов производства и потребления материальных и природных ресурсов, достаточных для представления интегрированной безопасности региона. Кроме того, модель должна включать возможность управления экологическими рисками для отдельных подсистем и объектов региональной социэкологической системы.

1. Лисиченко Г.В., Забулонов Ю.Л. Хміль Г.А. Природний, техногенний та екологічний ризику: аналіз, оцінка, управління. К. Наукова Думка – 2008. – 520с.
2. Дорогунцов С.И. Ральчук А.Н. Управление техногенно-экологической безопасностью в контексте парадигмы устойчивого развития. К. Наукова Думка – 2002.- 2—с.
3. Герасимчук З.В., Тендюк А.А. Процесс формирования инструментария обеспечения экологической безопасности на региональном уровне. Методы решения экологических проблем. Под ред. Мельника Л.Г. Сумы: СумГУ, 2010.- Вып.3.- с. 251-263.
4. Красс М.С. Моделирование эколого-экономических систем: Учебное пособие. – М.: ИНФРА-М, 2010.-272 с.
5. Беляев Н.Н. Ночвай В.И. Математическое моделирование процессов загрязнения атмосферы в региональных задачах экологической безопасности. Збірник наукових праць НГУ – Д.: Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», 2015 - №47 – с.131-138
6. Стефанишин Д.В. Вибрані задачі оцінки ризику та прийняття рішень за умов стохастичної невизначеності.-К.:Азимут-Україна, 2009. – 104 с.

1. Lysychenko G.V., Zabulonov Yu.L. Xmil G.A. Natural, technological and environmental risks: analysis, assessment and management. K. Naukova Dumka – 2008. – 520p. [in Ukrainian]
2. Doroguntsov S.I. Ralchuk A.N. Management of technogenic and environmental safety in the context of sustainable development paradigm. K. Naukova Dumka – 2002.- 2–p. [in Russian]
3. Gerasymchuk Z.V., Tendyuk A.A. Process of tools formation for environmental safety provision at the regional level. Methods environmental problems solution. Edited by Melnik L.G. Sumy: SymSU, 2010.- Vol.3.- P. 251-263. [in Russian]
4. Krass M.S. Modelling of environmentl and economic systems: Textbook. – М.: INFRA-M, 2010.-272 p. [in Russian]
5. Belyaev N.N. Nochvay V.I. Mathematical modeling of atmsphere pollution in regional problems of environmental safety. Proceedings of NSU – D.: State Higher Educational Institution "National Mining University", 2015 - №47 – P.131-138. [in Russian]
6. Stefanyshyn D.V. Selected problems of risk assessment and decision-making under conditions of stochastic uncertainty.-К.: Azymut-Ukrayina, 2009. – 104 p. [in Ukrainian]

### **В.І. Ночвай**

#### **ОЦІНКА ІНДЕКСУ ІНТЕГРОВАНОЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ РЕГІОНУ**

*В статті описані основні проблеми управління регіональною екологічною безпекою. Проаналізовані і узагальнені основні класи задач управління регіональною екологічною безпекою, запропоновано комплексні підходи до їх розв'язання на основі математичного представлення процесів в соціально-екологічних системах.*

### **V.I. Nochvay**

#### **ASSESSMENT OF INTEGRATED ENVIRONMENTAL SAFETY INDEX OF REGION**

*The article describes the main problems of regional environmental safety management. Major classes of regional environmental problems management were analyzed and summarized. New integrated approaches to solve these problems on the basis of mathematical representation of the processes in socio-ecological systems were proposed.*

УДК 614.8

**Р.І. ШЕВЧЕНКО**

*Національний університет цивільного захисту України, м. Київ*

## **МОДЕЛЮВАННЯ КОМУНІКАТИВНИХ НЕБЕЗПЕК КРИТИЧНОСТІ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ВІД ЗОВНІШНЬОГО ВПЛИВУ ТЕХНОГЕННОГО ТА ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРУ В РАМКАХ ІНФОРМАЦІЙНО-ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПІДХОДУ**

*В роботі проведена оцінка впливу на інформаційно-комунікативну стійкість функціонування системи моніторингу надзвичайних ситуацій зовнішніх чинників небезпеки техногенного та природного характеру. Наведені рекомендації з організації підсистеми відповідного компенсування з урахуванням регіональних особливостей.*

**Постановка проблеми.** Незважаючи на неодноразове декларування необхідності створення єдиної системи моніторингу надзвичайних ситуацій [1-4]. Істотного покращення в цьому напрямку, на сьогоднішній день, не досягнуто. Своєрідним підсумком роботи є наведений матеріал у розділі «Стан функціонування систем моніторингу та прогнозування» Національної доповіді про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2014 році [5], у якому наголошується наступне: «На теперішній час моніторинг і прогнозування надзвичайних ситуацій в Україні здійснюються на рівні регіональних, галузевих або інших самостійних систем, не об'єднаних у єдиний інформаційно-аналітичний комплекс. Кодекс цивільного захисту України [6] визначає створення та функціонування системи моніторингу і прогнозування надзвичайних ситуацій, проте «де-юре» загальнодержавну систему моніторингу джерел надзвичайних ситуацій та їх прогнозування у державі не створено. Територіальні і функціональні підсистеми Єдиної державної системи цивільного захисту не забезпечують належного щоденного збирання, оброблення, передавання та аналізування інформації про ймовірність виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру, відпрацювання запобіжних заходів та пропозицій щодо їх проведення. Єдині методики щодо збирання, оброблення, передавання та аналізування інформації про ймовірність виникнення надзвичайних ситуацій в Єдиній державній системі цивільного захисту відсутні, а технічне забезпечення таких робіт незадовільне.»

Як бачимо наведена низка проблем не вирішена навіть на концептуальному рівня. Натомість актуальна, щоденно загострююча, проблематика впливу на систему (системи) моніторингу надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру зовнішніх чинників різної природи, і у тому числі нерегламентованої складової соціального впливу зовсім не обговорюється та, за винятком окремих публікацій [7, 8], не виноситься як існуюча та життєво актуальна проблема, що потребує проведення комплексного дослідження за запропонованою тематикою

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розуміючи гостроту існуючої проблеми, на протязі останніх років були здійснені окремі спроби проаналізувати механізм впливу та розробити окремі рекомендації щодо компенсування нерегламентованого впливу природного та техногенного характеру, на систему моніторингу надзвичайних ситуацій [8-12]. Ні відкидаючи цінність наведених праць, зазначимо, що основним недоліками є відсутність системності у розв'язанні поставленого завдання та здебільш декларативний характер наведених рішень.

**Виклад основного матеріалу.** Проблема відсутності дієвої системи моніторингу потенційно небезпечних об'єктів багаторазово посилилась під час проведення АТО.

Концептуально робота існуючої системи моніторингу надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру не планувалась в рамках постійно зростаючого зовнішнього впливу з постійними ускладненнями нерегламентованого соціального характеру та за відсутності регулюючих (компенсуючого впливу) сигналів системи моніторингу соціальної напруги. А від так, навіть на рівні об'єктових систем моніторингу потенційно небезпечних об'єктів окремих регіонів, на сьогодні відсутній будь-який контроль за низкою потенційних небезпек різного характеру. На місцевому та регіональному рівнях компенсація кризових станів, які породжені зовнішніми факторами та ускладнені нерегламентованим соціальним впливом, системи моніторингу також функціонально не передбачалось. Відповідно метою дослідження є системний аналіз факторів зовнішнього впливу техногенного та природного характеру, з соціальними ускладненнями, на окремі інформаційно-функціональні підсистеми системи моніторингу надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру та розробка рекомендацій з компенсації їх негативного впливу.

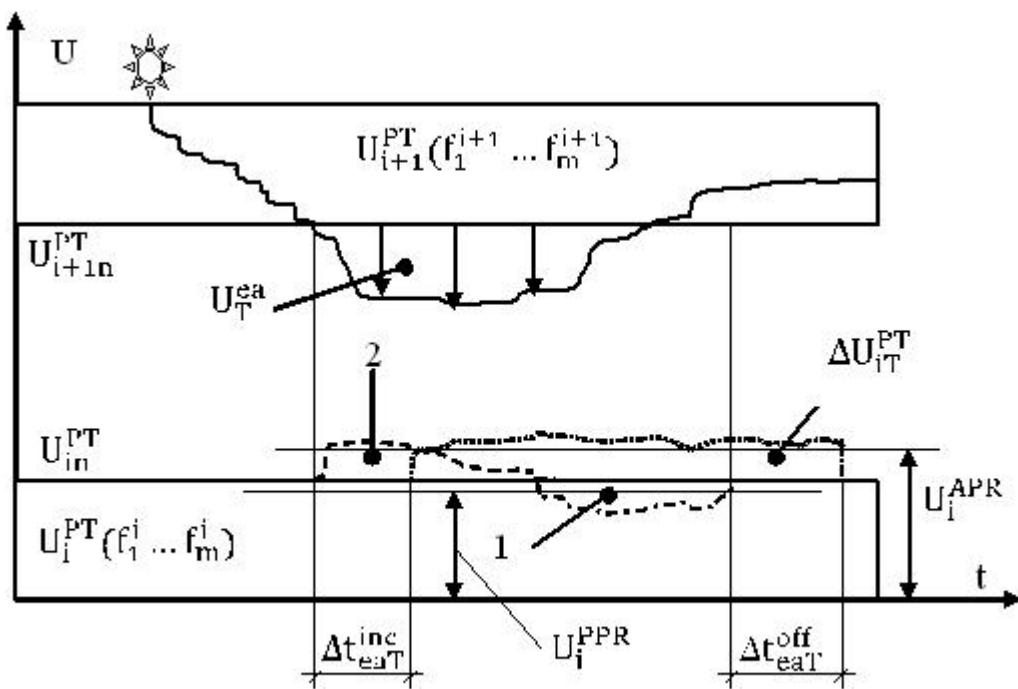
Насамперед потребує оцінки регіональний зріз потенційно-небезпечної напруги та її вплив на стале функціонування системи моніторингу надзвичайних ситуацій за природною, техногенною та соціальною складовою зовнішнього впливу.  $f_1^{eaP}$

**Таблиця 1.** Визначення регіональної моделі зовнішнього впливу на систему моніторингу надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру

Номер регіону	Інтегральна оцінка можливого зовнішнього впливу на підсистеми моніторингу надзвичайних ситуацій від факторів різної природи						Модель зовнішнього впливу на систему моніторингу		
	$\int U_T^{ea}$	$\int U_P^{ea}$			$\int U_{SV}^{ea}$		$U_T^{ea}$	$U_P^{ea}$	$U_{SV}^{ea}$
	$f_1^{eaT}$	$f_1^{eaP}$	$f_2^{eaP}$	$f_3^{eaP}$	$f_1^{eaSV}$	$f_2^{eaSV}, f_3^{eaSV}$			
1	O	O	O	M	M	O	O	M	M
2	O	O	-*	R	O	-	O	R	O
3	R	M	R	-	O	O	R	R	O
4	R	M	O	-	R	R	R	M	R
5	O	O	M	R	M	-	O	R	M
6	R	O	O	-	O	-	R	O	O
7	R	M	M	-	M	O	R	M	M
8	R	O	R	O	O	-	R	R	O
9	R	O	O	M	-	-	R	M	-
10	O	O	M	O	M	O	O	M	M
11	R	O	M	-	M	R	R	M	R
12	R	O	O	-	O	-	R	O	O
13	M	M	M	-	O	O	M	M	O
14	O	M	O	-	M	M	O	R	M
15	O	M	-	O	O	O	O	M	O
16	M	M	M	M	O	-	M	M	O
17	M	O	O	R	M	O	M	R	M
18	M	M	R	O	O	-	M	R	O
19	R	M	O	-	-	M	R	M	M
20	O	O	O	O	O	O	O	O	O
21	M	R	M	O	-	-	M	R	-
22	M	O	O	M	O	-	M	M	O
23	R	M	M	-	O	-	R	M	O
24	M	O	M	R	O	-	M	R	O

В таблиці наведені наступні визначення: \* - негативний вплив зовнішнього фактору менше межі об'єктового рівня;  $f_1^{eaT}$  – інтегральний фактор зовнішнього впливу техногенного характеру визначений з показнику щільності ПНО [1, 5];  $f_1^{eaP}$ ,  $f_2^{eaP}$ ,  $f_3^{eaP}$  - інтегральні фактори зовнішнього впливу природного характеру визначені з показників вірогідності виникнення надзвичайних ситуацій геологічного, гідрометеорологічного характеру та пожеж у природних екосистемах [1, 5];  $f_1^{eaSV}$ ,  $f_2^{eaSV}$ ,  $f_3^{eaSV}$  – інтегральні фактори зовнішнього впливу соціального характеру визначені з показників соціальної напруги [13, 14], терористичної та воєнної загрози [15]; O, M, R – вплив зовнішнього фактору на підсистеми моніторингу надзвичайних ситуацій до відповідного рівня (об'єктового, місцевого, регіонального) включно; 1-24 регіони України у алфавітному порядку за виключенням АР Крим, м.м. Севастополя та Києва.

Безпосередньо, графічну інтерпретацію моделі зовнішнього впливу техногенного характеру на інформаційні потоки (i) підсистеми моніторингу наведено на рис 1.



**Рис. 1.** Модель впливу зовнішнього фактору техногенного характеру на інформаційний потік системи моніторингу надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру (де  $U_i^{PT}(f_1^i...f_m^i)$  та  $U_{i+1}^{PT}(f_1^{i+1}...f_m^{i+1})$  - регламентовані інформаційні потоки (i та i+1) підсистем моніторингу ПНО;  $U_{in}^{PT}$  та  $U_{i+1n}^{PT}$  - рівні інформаційного потоку у нормальному (за відсутності критичності) стані функціонування відповідних підсистем моніторингу;  $U_T^{ea}$  - розподіл зовнішнього впливу техногенного характеру на (i) підсистему моніторингу; 1 та 2 – викривлення інформаційного потоку від дії зовнішнього впливу (i) підсистеми моніторингу у бік надлишку або збитковості інформації;  $\Delta U_{iT}^{PT}$  – прибуток інформаційного потоку від дії зовнішнього впливу техногенного характеру;  $\Delta t_{eaT}^{inc}$  та  $\Delta t_{eaT}^{off}$  - час затримки включення та виключення процесу надходження додаткового прибутку інформаційного потоку про вплив зовнішнього фактору;  $U_i^{PPR}$  та - межа інформаційного потоку необхідного для ефективної оцінки стану (i) об'єкту моніторингу,  $U_i^{APR}$  - межа інформаційної можливості з огляду пропускових параметрів (i) тезаурусу)

Окремо зазначимо, що існуюча на сьогодні модель системи моніторингу надзвичайних ситуацій базується на наступному припущенні – виникнення  $\Delta U_{iT}^{PT}$



прибутку інформаційного потоку розглядається як тимчасова нерегламентована складова основного інформаційного потоку без чітких  $\Delta t_{eaT}^{inc}$  та  $\Delta t_{eaT}^{off}$  часових параметрів надходження, а від так виникає наступна критичність функціонування:

T1) критичність (1 або 2), а саме тимчасове виконання умови:

$$U_i^{PT}(f_1^i \dots f_m^i) < U_i^{PPR}, (k_{скф}^{32}) \quad (1)$$

$$U_i^{PT}(f_1^i \dots f_m^i) > U_i^{APR}, (k_{скф}^{31}) \quad (2)$$

$$\text{if } t \in [t_{eaT}^{inc}, t_{eaT}^{off}], (k_{скф}^1) \quad (3)$$

де  $t_{eaT}^{inc}$ ,  $t_{eaT}^{off}$  - час початку та кінця зовнішнього впливу техногенного характеру,  $k_{скф}^{31}$ ,  $k_{скф}^{32}$  – критерії критичності: надлишок та збитковість інформації,  $k_{скф}^1$  - залежність інформаційного потоку від розвитку ситуації

T2) критичність ( $\Delta U_{iT}^{PT}$ ), а саме тимчасове виконання умови:

$$U_i^{PT}(f_1^i \dots f_m^i) + \Delta U_{iT}^{PT} > U_i^{APR}, (k_{скф}^{31}) \quad (4)$$

$$\text{if } t \in [t_{eaT}^{inc} + \Delta t_{eaT}^{inc}, t_{eaT}^{off} + \Delta t_{eaT}^{off}], (k_{скф}^1) \text{ та } (k_{скф}^5) \quad (5)$$

$$\Delta U_{iT}^{PT} = \alpha_i^{eaT} + \overline{U_i U_{i+1}} + CU_i^{PT}, \quad (6)$$

де  $\alpha_i^{eaT}$  - неформалізована складова формуєма зовнішнім впливом  $U_T^{ea}$ ,  $\overline{U_i U_{i+1}}$  – складова взаємовпливу різнооб'єктових підсистем моніторингу,  $CU_i^{PT}$  – зростання (принаймні кількісного характеру) даних інформаційного потоку,  $k_{скф}^5$  – критерії критичності: непередбачуваність ситуації, орієнтація на досвід.

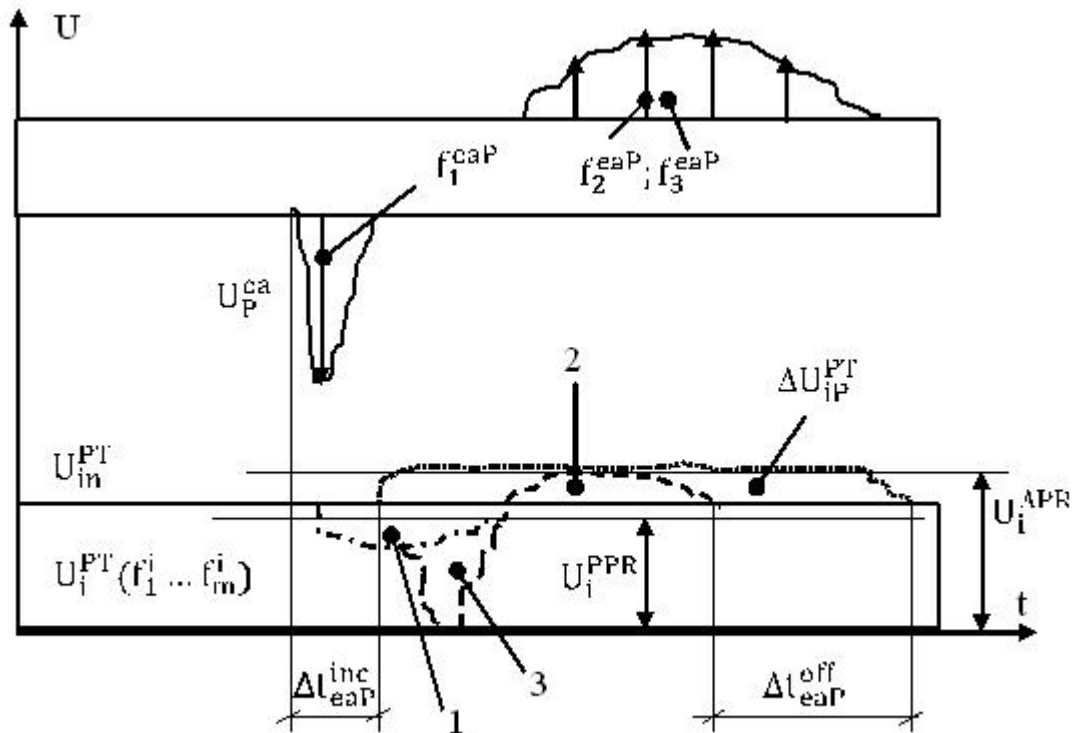
Слід зазначити, що функціонально окремого інформаційного потоку взаємодії підсистем моніторингу не передбачено, а від так склад прибутку інформаційного потоку для (i) та (i+2) підсистем моніторингу від зовнішнього впливу об'єкту контролю (i+1) як кількісно, так і якісно може суттєво відрізнятись, що призводить до стану критичності на наступних рівнях системи моніторингу:

T3) критичність ( $O_i^{eaT} \dots O_{i+n}^{eaT}$ )  $\rightarrow M^{eaT} \rightarrow R^{eaT} \rightarrow D^{eaT}$ , а саме:

$$\Delta U_{iT}^{PT} \equiv \Delta U_{i+2T}^{PT}, (k_{скф}^2) > (k_{скф}^6), \quad (7)$$

де  $k_{скф}^2$  та  $k_{скф}^6$  - критерії критичності: недостовірні інформація, відсутність дієвості кінцевої цілі.

Графічна інтерпретацію моделі зовнішнього впливу природного характеру на інформаційні потоки (i) підсистеми моніторингу наведено на рис 2.



**Рис. 2.** Модель впливу зовнішнього фактору природного характеру на інформаційний потік системи моніторингу надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру (де  $U_p^{ca}$  – розподіл зовнішнього впливу природного характеру на (i) підсистему моніторингу;  $\Delta U_{iP}^{PT}$  – прибуток інформаційного потоку від дії зовнішнього впливу природного характеру;  $\Delta t_{eaP}^{inc}$  та  $\Delta t_{eaP}^{off}$  – час затримки включення та виключення процесу надходження додаткового прибутку інформаційного потоку про вплив зовнішнього фактору; 3 – тимчасова відсутність інформаційного потоку в наслідок впливу зовнішніх факторів.

Як і у випадку з техногенною складовою, слід оцінити можливі стани критичності від дії зовнішнього впливу природного характеру на систему моніторингу надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру:

P1) критичність (1 або 2), а саме тимчасове виконання умови:

$$U_i^{PT}(f_1^i...f_m^i) < U_i^{PPR}, \quad (k_{скф}^{32}) \quad (8)$$

$$U_i^{PT}(f_1^i...f_m^i) > U_i^{APR}, \quad (k_{скф}^{31}) \quad (9)$$

$$\text{if } t \in [t_{eaP}^{inc}, t_{eaP}^{off}], \quad (k_{скф}^1) \quad (10)$$

де  $t_{eaP}^{inc}$ ,  $t_{eaP}^{off}$  – час початку та кінця зовнішнього впливу природного характеру.

P2) критичність (3), саме тимчасове виконання умови:

$$U_i^{PT}(f_1^i...f_m^i) = 0, \quad (k_{скф}^{32}), \quad (11)$$

$$\text{if } U_i^{PT}(f_1^i...f_m^i) \ll U_i^{PPR}, \quad (k_{скф}^{322}), \quad (12)$$

де  $k_{\text{скф}}^{322}$  – тимчасова відсутність інформації

P3) критичність ( $\Delta U_{\text{іР}}^{\text{PT}}$ ), а саме тимчасове виконання умови:

$$U_{\text{і}}^{\text{PT}}(f_1^i \dots f_m^i) + \Delta U_{\text{іР}}^{\text{PT}} > U_{\text{і}}^{\text{APR}}, (k_{\text{скф}}^{31}), \quad (13)$$

$$\text{if } t \in [t_{\text{eaP}}^{\text{inc}} + \Delta t_{\text{eaP}}^{\text{inc}}, t_{\text{eaP}}^{\text{off}} + \Delta t_{\text{eaP}}^{\text{off}}], (k_{\text{скф}}^1) \text{ та } (k_{\text{скф}}^5), \quad (14)$$

$$\Delta U_{\text{іР}}^{\text{PT}} = \alpha_{\text{і}}^{\text{eaP}} + \overline{U_{\text{і}} U_{\text{і+1}}} + C_1 U_{\text{і}}^{\text{PT}}, \quad (15)$$

де  $\alpha_{\text{і}}^{\text{eaP}}$  - неформалізована складова формуєма зовнішнім впливом  $U_{\text{Р}}^{\text{ea}}$ ,  $\overline{U_{\text{і}} U_{\text{і+1}}}$  – складова взаємовпливу різнооб’єктових підсистем моніторингу,  $C_1 U_{\text{і}}^{\text{PT}}$  – зростання (принаймні кількісного характеру) даних інформаційного потоку.

Зважаючи на те, що нерегламентований зовнішній вплив від природних складових має виключно ландшафтний характер розподілу, справедливе наступне припущення, а саме: під дію останнього попадає принаймні декілька об’єктових систем моніторингу надзвичайних ситуацій одночасно, а від так, за відсутності регламентованої оцінки взаємовпливу систем, слід вважати на тимчасове виникнення наступного критичного стану. На відмінність від схожого випадку критичності (Т3), у наслідок припущення щодо ландшафтного характеру впливу, процедура компенсування критичності (Р4), можлива лише на рівні (R), а від так, слід припустити геометричне зростання кількісного показнику прибутку інформації від нерегламентованого природного впливу вже на рівні (M) систем моніторингу:

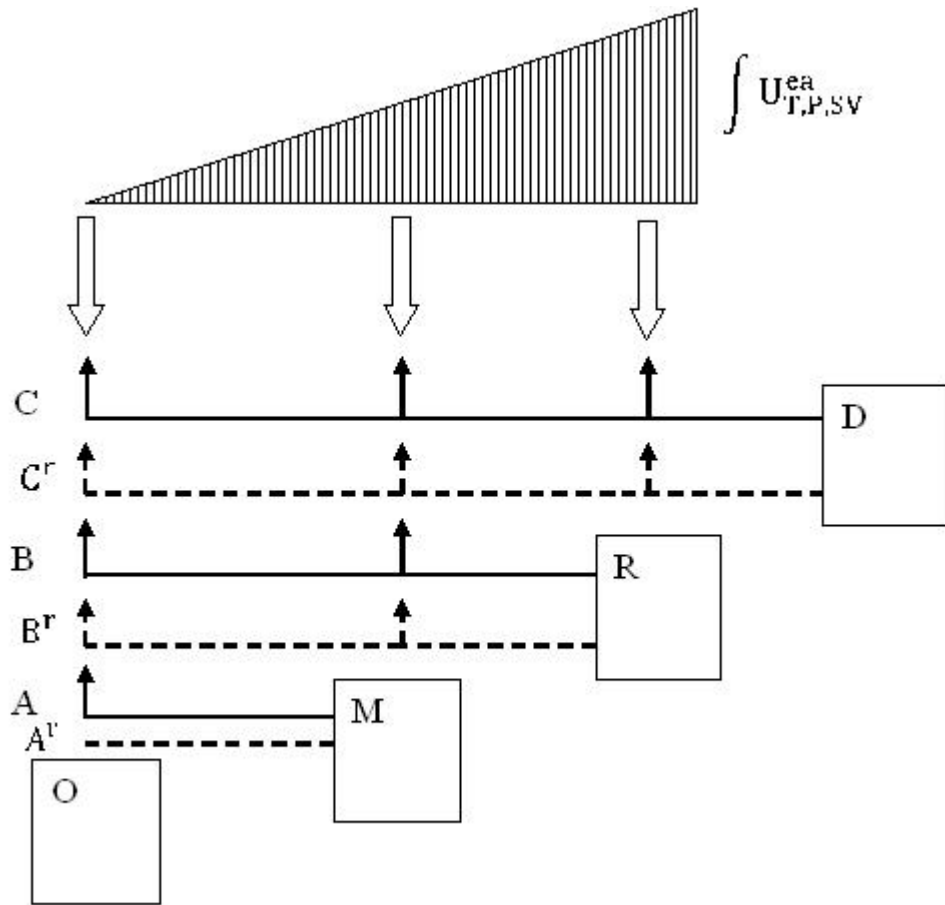
$$P4) \text{ критичність } (O_{\text{і}}^{\text{eaP}} \dots O_{\text{і+n}}^{\text{eaP}}) \rightarrow (M_{\text{ј}}^{\text{eaP}} \dots M_{\text{ј+m}}^{\text{eaP}}) \rightarrow R^{\text{eaT}} \rightarrow D^{\text{eaT}}$$

$$\Delta U_{\text{іР}}^{\text{PT}} \equiv \Delta U_{\text{і+1Р}}^{\text{PT}} \dots \equiv \Delta U_{\text{і+nР}}^{\text{PT}}, (k_{\text{скф}}^{31}) \cup (k_{\text{скф}}^2) > (k_{\text{скф}}^6) >$$

$$\Delta U_{\text{јР}}^{\text{PT}} \equiv \Delta U_{\text{ј+1Р}}^{\text{PT}} \dots \equiv \Delta U_{\text{ј+mР}}^{\text{PT}}, (k_{\text{скф}}^2) > (k_{\text{скф}}^6). \quad (16)$$

Розглянуті моделі зовнішнього впливу (рис. 1 та 2) та відповідної критичності в системі моніторингу надзвичайних ситуацій є неврахованим, нерегламентованим (здебільш безпідставно), але досить природним для системи, з позиції можливості побудови адекватного відгуку, явищем, оскільки, безпосередньо чинники техногенного та природного впливу, враховуються в системі або прямо в якості інформаційного сигналу від джерела небезпеки, або опосередковано в якості інтегрованої оцінки на більш високих рівнях системи. Слід зауважити, що для подолання можливих критичностей Т та Р характеру, є відповідні як функціональні так і технічні можливості, які на сьогодні не застосовуються за відсутності чіткої концепції створення та функціонування системи моніторингу надзвичайних ситуацій, а від так відсутності безперервної політики удосконалення інформаційно-комунікативної ефективності останньої [16].

Враховуючу методологію [16-18] підходу інформаційно-комунікативного компенсування зовнішніх впливів на функціонування системи моніторингу надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру була запропонована наступна загальна схема функціонування підсистеми компенсування зовнішніх впливів рис. 3.



**Рис. 3.** Загальна схема організації функціонування підсистеми інформаційно-комунікативного компенсування зовнішніх впливів на систему моніторингу надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру (де  $\int U_{T,P,SV}^{ea}$  - інтегральні фактори зовнішнього впливу техногенного, природного, соціального характеру; O, M, R, D – відповідний рівень системи моніторингу надзвичайних ситуацій; режими функціонування підсистеми інформаційно-комунікативного компенсування зовнішніх впливів: A, B, C – компенсування,  $A^r$ ,  $B^r$ ,  $C^r$  – очікування (компенсуюча інформація не надходить)

**Таблиця 2.** Регіональні особливості функціонування підсистем інформаційно-комунікативного компенсування зовнішніх впливів.

Номер регіону	Схема функціонування підсистеми компенсування зовнішніх впливів на відповідних рівнях системи моніторингу								
	місцевий			регіональний			державний		
	$-U_T^{ea}$	$-U_P^{ea}$	$-U_{SV}^{ea}$	$-U_T^{ea}$	$-U_P^{ea}$	$-U_{SV}^{ea}$	$-U_T^{ea}$	$-U_P^{ea}$	$-U_{SV}^{ea}$
1	A	A	A	$B^r$	B	B	$C^r$	$C^r$	$C^r$
2	A	A	A	$B^r$	B	$B^r$	$C^r$	C	$C^r$
3	A	A	A	B	B	$B^r$	C	C	$C^r$
4	A	A	A	B	B	B	C	$C^r$	C
5	A	A	A	$B^r$	B	B	$C^r$	C	$C^r$
6	A	A	A	B	$B^r$	$B^r$	C	$C^r$	$C^r$
7	A	A	A	B	B	B	C	$C^r$	$C^r$
8	A	A	A	B	B	$B^r$	C	C	$C^r$
9	A	A	$A^r$	B	B	$B^r$	C	$C^r$	$C^r$
10	A	A	A	$B^r$	B	B	$C^r$	$C^r$	$C^r$

11	A	A	A	B	B	B	C	C <sup>r</sup>	C
12	A	A	A	B	B <sup>r</sup>	B <sup>r</sup>	C	C <sup>r</sup>	C <sup>r</sup>
13	A	A	A	B	B	B <sup>r</sup>	C <sup>r</sup>	C <sup>r</sup>	C <sup>r</sup>
14	A	A	A	B <sup>r</sup>	B	B	C <sup>r</sup>	C	C <sup>r</sup>
15	A	A	A	B <sup>r</sup>	B	B <sup>r</sup>	C <sup>r</sup>	C <sup>r</sup>	C <sup>r</sup>
16	A	A	A	B	B	B <sup>r</sup>	C <sup>r</sup>	C <sup>r</sup>	C <sup>r</sup>
17	A	A	A	B	B	B	C <sup>r</sup>	C	C <sup>r</sup>
18	A	A	A	B	B	B <sup>r</sup>	C <sup>r</sup>	C	C <sup>r</sup>
19	A	A	A	B	B	B	C	C <sup>r</sup>	C <sup>r</sup>
20	A	A	A	B <sup>r</sup>	B <sup>r</sup>	B <sup>r</sup>	C <sup>r</sup>	C <sup>r</sup>	C <sup>r</sup>
21	A	A	A <sup>r</sup>	B	B	B <sup>r</sup>	C <sup>r</sup>	C	C <sup>r</sup>
22	A	A	A	B	B	B <sup>r</sup>	C <sup>r</sup>	C <sup>r</sup>	C <sup>r</sup>
23	A	A	A	B	B	B <sup>r</sup>	C	C <sup>r</sup>	C <sup>r</sup>
24	A	A	A	B	B	B <sup>r</sup>	C <sup>r</sup>	C	C <sup>r</sup>

Функціонування підсистеми компенсування повинно організовуватися у відповідності до моделі зовнішнього впливу (табл. 1), як наслідок:

- при переходах підсистеми з режимів очікування в режими компенсування та у зворотному порядку слід враховувати наявність певної інерційності системи;

- при однаковій інформаційно-комунікативній організації інформаційних потоків (рис. 3) слід враховувати суттєві регіональні особливості з надходження та обробки компенсуючої інформації (табл. 2), що вимагає при організації системи моніторингу надзвичайних ситуацій як ряду типових (з погляду регіональних розбіжностей) інформаційно-комунікативних заходів, так і низки (регіонально особливих) рішень технічного і штатно-посадового (кадрового) характеру.

**Висновки.** В роботі проведена оцінка інформаційного зовнішнього впливу техногенного та природного характеру на інформаційно-комунікативну стійкість функціонування системи моніторингу надзвичайних ситуацій, а саме: визначені основні методологічні підходи до проведення подібного аналізу, розроблені відповідні інформаційно-функціональні моделі техногенного та природного впливу, запропоновані загальні підходи до побудови системи відповідної компенсації, як окремої підсистеми системи моніторингу, наведено регіональний зріз як особливостей характеру зовнішнього інформаційного впливу на систему моніторингу, так і регіональних особливостей з їх компенсування, наведені окремі рекомендації з організації підсистеми компенсування. Подальші дослідження будуть направлені на розробку моделей впливу соціальних чинників, як ускладнюючих факторів та дослідження їх впливу на інформаційно-комунікативну стійкість системи моніторингу надзвичайних ситуацій.

1. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2013 році [Електрон.ресурс]. – Режим доступу: [www.mns.gov.ua/content/annual\\_report\\_2013.html](http://www.mns.gov.ua/content/annual_report_2013.html)

2. Абрамов Ю.А. Основные требования к созданию единой системы мониторинга чрезвычайных ситуаций / Ю.А. Абрамов, В.В. Тютюник, Р.И. Шевченко // Системы обробки інформації. - Сб. науч. тр. . - Харьков: ХУПС 2005. – Вып. 6 (46).- С. 203-207.

3. Абрамов Ю.А. Взаимосвязь иницирующих и поражающих факторов чрезвычайных ситуаций природного характера на территории Украины / Ю.А. Абрамов, В.В. Тютюник, Р.И. Шевченко // Проблемы надзвичайних ситуацій. - Сб. наук. пр. . - Харків: УЦЗУ 2007. – Вип. 5 - С. 8-17.

4. Макиев Ю.Д. Аннотация на монографию «Современные системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций»: Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования /Ю.Д. Макиев Том 4, 2014, № 1(6) –С. 85-90
5. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2014 році [Електрон.ресурс]. – Режим доступу: [www.mns.gov.ua/content/annual\\_report\\_2014.html](http://www.mns.gov.ua/content/annual_report_2014.html)
6. Кодекс цивільного захисту України [Електрон.ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>
7. 5 экологических бомб Донбасса, которые могут сдетонировать во время войны [Електрон.ресурс]. – Режим доступу: <http://obozrevatel.com/crime/52194-5-ekologicheskikh-bomb-donbassa-kotoryie-mogut-sdetonirovat-vo-vremya-vojnyi.htm>
8. Журавлёв Д.А. Реализация мониторинга в системе спутниковой связи в условиях внешнего воздействия/ Д.А. Журавлёв // Scientific researches and their practical application. Modern state and ways of development. 2012 [Електрон.ресурс]. – Режим доступу: <http://www.sworld.com.ua/index.php/ru/conference/the-content-of-conferences/archives-of-individual-conferences/oct-2012>
9. Шевченко Р.І. Визначення показників небезпеки факторів зовнішнього впливу на ПНО / Р.І. Шевченко, Д.В. Тарадуда // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. Матер. ХІХ міжнародної науково-практичної конференції, Харків, НТУ «ХПІ», 2011, С.240
10. Андронов В.А. Природні та техногенні загрози, оцінювання небезпек / В.А. Андронов, А.С. Рогозін, О.М. Соболев та інші Навч.посібник –Х.: НУЦЗУ, 2011. -264 с.
11. Тютюник В.В. Кластерный анализ территории Украины по основным показателям повседневного функционирования и проявления техногенной опасности /В.В. Тютюник, Н.В. Бондарев, Р.І. Шевченко та інші // Геоінформатика. – Київ: Інститут геологічних наук НАН України, 2014. – 4(52). – С. 63 – 72.
12. Тютюник В.В. Розробка науково-технічних основ створення системи моніторингу за зонами взаємного ризику від стаціонарних і рухомих потенційно небезпечних об'єктів / В.В. Тютюник, О.М. Соболев, Р.І. Шевченко та інші // Системи озброєння і військова техніка. – Харків: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2014. – № 3(39). – С. 150 – 156.
13. Регіональний людський розвиток: Стат. Збірник / Державна служба статистики України – К.: ДССУ, 2011, - 44 с. [Електрон.ресурс]. – Режим доступу: [www.ukrstat.gov.ua](http://www.ukrstat.gov.ua)
14. Регіональний людський розвиток: Стат. Збірник / Державна служба статистики України – К.: ДССУ, 2013, - 61 с. [Електрон.ресурс]. – Режим доступу: [www.ukrstat.gov.ua](http://www.ukrstat.gov.ua)
15. Оцінка загроз тероризму станом на 20 травня 2014 року [Електрон.ресурс]. – Режим доступу: <http://politkuhnya.info/novosti/oceneni-uroven-ugrozy-terrorizma-v-ukraine-infografika.html>
16. Шевченко Р.І. Формування політики інформаційно-комунікативної безпеки системи моніторингу надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру/ Р.І. Шевченко// Матеріали 17 Всеукраїнської НПК рятувальників «Сучасний стан цивільного захисту України: Перспективи та шляхи до європейського простору» - К.: ІДУЦЗ, 2015. - С. 438-441.
17. Шевченко Р.І. Застосування АВС-аналізу для формування інформаційного фільтру другого порядку підсистеми збору та контролю стану об'єктів моніторингу надзвичайних ситуацій / Р.І. Шевченко// Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил – Харків: ХУПС ім. Івана Кожедуба, 2015. – № 2 (43). – С. 166 – 175.
18. Шевченко Р.І. Розробка методу критичних та ускладнюючих сигналів для формування інформаційного фільтру підсистеми збору та контролю стану об'єктів моніторингу надзвичайних ситуацій / Р.І. Шевченко// Системи обробки інформації – Харків: ХУПС ім. Івана Кожедуба, 2015. – № 7 (132). – С. 204 – 209

1. National report on the state of technogenic and natural safety in Ukraine in 2013 [Electronic resource]. – Mode of access: [www.mns.gov.ua/content/annual\\_report\\_2013.html](http://www.mns.gov.ua/content/annual_report_2013.html) [in Ukrainian]
2. Abramov Yu.A. Main requirements for creation of a single monitoring system of emergency situations / Yu.A. Abramov, V.V. Tyutyunik, R.I. Shevchenko // Systems of information processing. - Coll. of sc. papers. - Harkov: HUAF 2005. – Vol. 6 (46).- P. 203-207. [in Russian]
3. Abramov Yu.A. Correlation of initiative and damaging factors of emergency situations of natural origin in Ukraine / Abramov Yu.A., V.V. Tyutyunik, R.I. Shevchenko // Problems of emergency situations. - Coll. of sc. papers. - Kharkiv: NUCP 2007. – Vol. 5 - P. 8-17. [in Russian]
4. Makiev Yu.D. Abstract on the monograph "Modern system of monitoring and forecasting of emergency situations": Strategy of civil protection: problems and investigations / Makiev Yu.D. Vol 4, 2014, № 1(6) –P. 85-90. [in Russian]
5. National report on the state of technogenic and natural safety in Ukraine in 2014 [Electronic resource]. – Mode of access: [www.mns.gov.ua/content/annual\\_report\\_2014.html](http://www.mns.gov.ua/content/annual_report_2014.html)
6. Civil protection code of Ukraine [Electronic resource]. – Mode of access: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>. [in Ukrainian]
7. 5 environmental Donbass bombs that can detonate during the war [Electronic resource]. – Mode of access: <http://obozrevatel.com/crime/52194-5-ekologicheskikh-bomb-donbassa-kotoryie-mogut-sdetonirovat-vo-vremya-vojnyi.htm> [in Russian]
8. Zhuravlyov D.A. Realization of monitoring in satellite communication system in conditions of external influence / Zhuravlyov D.A.// Scientific researches and their practical application. Modern state and ways of development. 2012 [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.sworld.com.ua/index.php/ru/conference/the-content-of-conferences/archives-of-individual-conferences/oct-2012> [in Russian]
9. Shevchenko R.I. Definition of indicators of dangerous factors of external influence on PDO / R.I. Shevchenko, D.V. Taraduda // Informational technologies: science, engineering, technology, education, health. Materials of third international scientific conference, Kharkiv, NTU «KhPI», 2011, P.240. [in Ukrainian]
10. Andronov V.A. Natural and technogenic threats, hazards assessment / V.A. Andronov, A.S. Rogozin, O.M. Sobol and others. Textbook –Kh.: NUCPU, 2011. - 264 p. [in Ukrainian]
11. Tyutyunyk V.V. Cluster analysis of Ukraine territory on the main indicators of daily functioning and manifestation of technogenic danger / V.V. Tyutyunyk, N.V. Bondarev, R.I. Shevchenko and others // Geoinformatyka. – Kyiv: Institute of geological sciences NAS of Ukraine, 2014. – 4(52). – P. 63 – 72. [in Russian]
12. Tyutyunyk V.V. Development of scientific and technological foundations for creation of system for monitoring of mutual risk areas from stationary and movable potentially dangerous objects / V.V. Tyutyunyk, O.M. Sobol, R.I. Shevchenko and others // Weapons systems and military equipment. – Kharkiv: Kharkiv university of air forces named Ivan Kozhedub, 2014. – № 3(39). – P. 150 – 156. [in Ukrainian]
13. Regional human development: Statistical collection / State statistics service of Ukraine – K.: SSSU, 2011, - 44 p. [Electronic resource]. – Mode of access: [www.ukrstat.gov.ua](http://www.ukrstat.gov.ua) [in Ukrainian]
14. Regional human development: Statistical collection / State statistics service of Ukraine – K.: SSSU, 2013, - 61 p. [Electronic resource]. – Mode of access: [www.ukrstat.gov.ua](http://www.ukrstat.gov.ua) [in Ukrainian]
15. Assessment of terrorism threats at May 20, 2014 [Electronic resource]. – Mode of access: <http://politkuhnya.info/novosti/oceneni-uroveni-ugrozy-terrorizma-v-ukraine-infografika.html> [in Ukrainian]

16. Shevchenko R.I. Formation of policy for information and communication safety of monitoring system of natural and technogenic character disasters / R.I. Shevchenko // Materials of 17 scientific and practical conference of Ukrainian rescuers «The current state of civil defense of Ukraine: Prospects and ways to European extension» - K.: IPASCP, 2015. - P. 438-441. [in Ukrainian]

17. Shevchenko R.I. Application of ABC analysis to form informational filter of second order of subsystem and to control objects state of monitored emergencies / R.I. Shevchenko // Collection of scientific papers of Kharkiv air force university – Kharkiv: KhUAF, 2015. – № 2 (43). – P. 166 – 175. [in Ukrainian]

18. Shevchenko R.I. Development of critical and complicating signals method to form a filter of information collection subsystem and to control objects state of monitored emergencies / R.I. Shevchenko // System of information processing – Kharkiv: KhUAF named Ivan Kozhedub, 2015. – № 7 (132). – P. 204 – 209. [in Ukrainian]

### **Р.И. Шевченко**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ КОММУНИКАТИВНЫХ КРИТИЧНОСТЕЙ В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ОТ ВНЕШНЕГО ВЛИЯНИЯ ТЕХНОГЕННОГО И ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРА В РАМКАХ ИНФОРМАЦИОННО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПОДХОДА**

*В работе проведена оценка воздействия на информационно-коммуникативную устойчивость функционирования системы мониторинга чрезвычайных ситуаций внешних факторов опасности техногенного и природного характера. Приведены рекомендации по организации подсистемы соответствующего компенсирования с учетом региональных особенностей.*

### **R.I. Shevchenko**

**MODELING OF COMMUNICATIVE CRITICALITIES IN SYSTEM OF EMERGENCY SITUATION FROM EXTERNAL INFLUENCE OF TECHNOGENIC AND NATURAL CHARACTER ON THE BASIS OF INFORMATION AND FUNCTIONAL APPROACH**

*This paper evaluates impact external danger factors of technogenic and natural emergencies on informational and communicational stability of monitoring system functioning. Recommendations on the organization of the subsystem relevant compensation considering regional differences are given.*



УДК 51-7:502/504.43:556.3

**В.І. БІЛЕНКО<sup>3</sup>, В.В. ВОРОБЙОВ<sup>2</sup>, А.В. ПАСЕНКО<sup>2</sup>, Л.І. ПІДОРІНА<sup>4</sup>,  
О.Б. СТЕЛЯ<sup>1</sup>, О.Б. СЬОМИК<sup>5</sup>, І.В. ШЕВЧЕНКО<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, м. Київ

<sup>2</sup>Кременчуцький національний університет ім. Михайла Остроградського,  
м. Кременчук

<sup>3</sup>Фізико-математичний інститут Національного педагогічного університету  
ім. Михайла Драгоманова, м. Київ

<sup>4</sup>Кременчуцька загальноосвітня школа I-III ступенів №31, м. Кременчук

<sup>5</sup>Управління освіти виконкому Кременчуцької міської ради, м. Кременчук

## **ІНФОРМАЦІЙНО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ҐРУНТОВИХ ВОД**

*Розглянуто питання інформаційно-математичного та комп'ютерного моделювання потоку ґрунтових вод на великих територіях у складних гідрогеологічних умовах. Запропонована методика та концепція моніторингу екологічного стану, що ґрунтується на моделі планового потоку ґрунтових вод у зв'язаних водоносних горизонтах та на застосуванні спеціальних прикладних інформаційних технологій. Побудовано математичну модель та алгоритм її аналізу, що має властивості ненасиченості та оптимальності по точності прогнозування екологічного стану ґрунтових вод. Проведений моніторинг гідрологічного режиму ґрунтових вод на підтопленій території м. Кременчука та дана оцінка їхнього екологічного стану.*

**Постановка проблеми.** Важливим питанням техногенної екологічної безпеки є дослідження стану та прогнозування забруднення водних ресурсів України, зокрема ґрунтових вод [1–9]. На даний час значною екологічною проблемою в Україні є підтоплення населених пунктів та сільськогосподарських угідь. Наслідком підтоплення є забруднення каскаду Дніпровських водосховищ. Причинами, що викликають підтоплення, є підйом ґрунтових вод унаслідок динаміки рівня води дніпровських водосховищ та зрошення територій. Заходами боротьби з підтопленням є дренаж та оптимізація іригаційної практики [6, 8].

Світовий досвід ґрунтується на інформаційно-математичному моделюванні [1, 2, 3]. При цьому математична модель повинна враховувати всю складність живлення водоносних горизонтів, джерелами яких є втрати на фільтрацію з каналів різного призначення, живлення ґрунтових вод за рахунок зрошення, атмосферних опадів, відбору ґрунтових вод дренажними свердловинами, можливого перетікання між водоносними горизонтами.

Зазначимо, що однією з актуальних проблем інформаційно-математичного моделювання є побудова інтелектуальних (високоточних, оптимальних та надійних) алгоритмів без насичення точності [10–14] для аналізу й прогнозування гідрологічних процесів часто в умовах неповної інформації.

Моніторинг гідрогеологічного режиму території, стану її забруднення залишається актуальним прикладним питанням сучасних гідро- та геоекологічних досліджень. Математичне моделювання динаміки ґрунтових вод, гідрогеологічних процесів сприятиме розробці заходів з оптимізації антропогенних процесів, що, як наслідок, дозволить зменшити їх забруднення.

На даний час існує багато програмних продуктів для досліджень у галузі техногенно-екологічної безпеки водних ресурсів та їх інформаційного забезпечення [3, 15–17]. Найбільш популярними на ринку програмного забезпечення є пакети Visual Modflow та Feflow. Основою для Visual Modflow є програма, що реалізує скінченно-

різницевий метод для реалізації фільтраційної моделі Modflow. В основу Feflow покладено метод скінченних елементів для тривимірної моделі вологопереносу. Розроблена компанією Геолінк Консалтінг програмна система ModTech для моделювання процесів геофільтрації та масопереносу в підземній гідросфері, крім своїх розробок, використовує також обчислювальні методи пакету Modflow. Вітчизняною розробкою є моделюючий комплекс KRISFLOW [16, 17].

У процесі екологічного моніторингу важливим завданням є своєчасне розпізнавання екологічної ситуації, що склалася, і застосування ефективних заходів її вирішення. У зв'язку з цим, актуальним напрямом наукових досліджень є розробка інформаційних технологій розпізнавання й прогнозування екологічних ситуацій і підтримки ухвалення рішень, спрямованих на зниження впливу несприятливих чинників. Інформація про поточний стан водного або повітряного басейну зазвичай передається у вигляді багатьох значень параметрів, що характеризують екологічну ситуацію, характер їх змін, як правило, стохастичний [1, 4, 16]. Крім цього, найчастіше відсутня можливість прямих вимірів значень цих параметрів. Усе це істотно ускладнює контроль й інтерпретацію стану екосистеми.

Математичні методи моделювання застосовують для оцінки джерел антропогенного забруднення та розробки заходів щодо попередження погіршення екологічного стану ґрунтових вод [1, 2]. Також методи математичного моделювання дозволяють розраховувати багаторічну динаміку ґрунтових вод і оптимізувати схеми дренажу в складних гідрогеологічних умовах.

У той же час складність даних завдань та їх постійно зростаюча актуальність призводить до необхідності нових досліджень в області розробки методів, алгоритмів і програмних засобів, що дозволяють не лише моделювати явища масопереносу з метою непрямого виміру їх параметрів, але й інтерпретувати отримані дані з метою розпізнавання ситуацій і підтримки ухвалення рішень [17].

Запропоновані алгоритми аналізу та прогнозування екологічного стану ґрунтових вод вигідно відрізняються від існуючих алгоритмів властивостями ненасичуваності та оптимальності в сенсі точності й дозволяють високоефективно використовувати їх в умовах невизначеності та неповної інформації [10–14].

Метою роботи є адаптація та застосування моделюючого комплексу для розрахунку та прогнозу забруднення ґрунтових вод у складних гідрогеологічних умовах, побудова моделі інформаційно-аналітичної системи моніторингу екологічної ситуації, а також моделі підсистеми підтримки прийняття управлінських рішень. З урахуванням вищенаведеного необхідно розробити теоретико-множинну модель, як основу побудови структури інформаційно-аналітичної системи моніторингу екологічної ситуації.

#### **Виклад основного матеріалу дослідження.**

У роботі розглянуто основні проблеми моніторингу складних екологічних систем і явищ. Запропоновано концепцію моніторингу екологічного стану, яка передбачає застосування спеціальних прикладних інформаційних технологій моніторингу та діагностики екологічного стану об'єктів довкілля. Сформульовані принципи побудови системи моніторингу:

1. Організаційна, інформаційна та функціональна єдність системи моніторингу, основу якого складають:

- єдина система класифікації екологічних ситуацій, показників і критеріїв оцінки стану екосистеми;
- базові (типові) протоколи, алгоритми (програми) збору, обробки та обміну інформацією, підготовки та автоматизованої підтримки прийняття та реалізації рішень на основі даних моніторингу;
- забезпечення цілісності й несуперечності інформації в системі.

3. Застосування методів і моделей обчислювального інтелекту для отримання даних непрямих вимірювань, для аналізу, прогнозування та моделювання процесів в об'єкті моніторингу.

4. Уніфікація програмних, інформаційних і технічних засобів, забезпечення сумісності елементів підсистеми моніторингу, можливості її модульного нарощування та модернізації.

5. Підсистема повинна бути реалізована у вигляді сукупності спільно функціонуючих модулів (компонентів), взаємодія між якими має здійснюватися через єдине інформаційне середовище.

6. Підсистема повинна бути розроблена як сукупність незалежних, але логічно взаємопов'язаних програмних модулів та елементів для забезпечення можливості структурного й функціонального розвитку.

При розробці математичної моделі екологічного стану водних об'єктів, як правило, вирішуються наступні задачі:

- структуризація й формалізація неповних, нечітких, різнотипних і навіть суперечливих вихідних даних і знань про об'єкт на етапі збору інформації та формування бази знань;

- обробка великих потоків інформації, які містять значну кількість контрольованих параметрів;

- забезпечення достовірності та інформативності даних на етапі їх обробки;

- забезпечення функціонування системи моніторингу в режимі реального часу.

Для максимального задоволення всіх перерахованих суперечливих вимог, що пред'являються до автоматизованих систем моніторингу, необхідно відійти від традиційно використовуваних при проектуванні таких систем технологій і архітектури й врахувати наступні сучасні тенденції та перспективи розвитку інформаційних технологій:

1. Перехід від класичних обчислень до альтернативних способів організації обчислювального процесу, зокрема орієнтація на розробку й застосування методів і моделей обчислювального інтелекту.

2. Багатоагентний підхід до побудови систем моніторингу та підтримки прийняття рішень.

З урахуванням вищенаведеного в роботі розглянуто теоретико-множинну модель як основу побудови структури інформаційно-аналітичної системи моніторингу екологічної ситуації. У якості інструментальної моделі використовується математична модель потоку ґрунтових вод у плані для зв'язаних перетоками водоносних горизонтів.

У попередніх роботах були порівняні різні моделі течії ґрунтових вод. Особливу увагу приділено моделі, яка описує нестационарний плановий потік ґрунтових вод у зв'язаних між собою водоносних горизонтах. Для адміністрування й керування у сфері гідрології в роботі було розроблено модель синтезу підсистеми прийняття рішень, а також модель пошуку оперативних рішень для ОПР з урахуванням специфіки предметної області. Запропоновано алгоритм знаходження послідовності правил, який дозволяє керованому об'єкту перейти з поточного стану в бажаний чи припустимий.

Для побудови адекватної інформаційно-математичної моделі потрібно провести аналіз геологічних умов та глибини залягання поверхні ґрунтових вод, джерел живлення, хімічного складу, виду забруднення (природне, фонове й антропогенне) ґрунтових вод регіону. Для прийняття оптимальних управлінських рішень потрібно проведення моніторингу гідрологічного режиму території, зокрема режиму і джерел підтоплення, стану забруднення сполуками, що потрапляють у ґрунтові води з промислових зон. Особлива увага приділяється містам, які розташовані близько до водосховищ. Детальний аналіз ґрунтових вод виконано для м. Кременчука, яке розташоване в долині р. Дніпро на заплаві й чотирьох терасах та підтоплене ґрунтовими водами на 70% від площі, що впливає не тільки на гідрологічний режим території, але й сприяє забрудненню ґрунтових вод. Підтоплення території м. Кременчука – результат підвищення рівня води в

Дніпродзержинському водосховищі порівняно з природним рівнем води в р. Дніпро. Рівень води продовжує зростати також через замулення водозабірних каналів дренажної мережі міста внаслідок як природних, так і антропогенних факторів. На території міста проведені дослідження також і природних ґрунтів, які безпосередньо впливають на хімічний склад та забруднення ґрунтових вод, а саме: досліджено вплив підтоплення на генезис природних ґрунтів заплави, визначено властивості та ступені деградації ґрунтів, виконана класифікація ґрунтів терас та заплави, що давно вийшла із заплавної режиму та підтоплюється ґрунтовими водами, досліджені ґрунтоутворні процеси на насипних територіях, визначено забруднення важкими металами техногенних та природних ґрунтів Кременчуцького регіону.

#### **Висновки.**

На підставі попередніх досліджень авторів запропоновано новий системний підхід щодо моніторингу екологічного стану водних об'єктів, який передбачає застосування спеціальних прикладних інформаційно-математичних технологій моделювання, прогнозування та діагностики гідрологічних процесів.

Розроблені та обґрунтовані високоточні методи та алгоритми без насичення точності інформаційно-математичного моделювання та прогнозування екологічного стану ґрунтових вод в умовах неповної інформації.

Проведено теоретичний аналіз інформаційно-аналітичної системи, що включає підсистеми збору даних, моделювання складних гідрогеологічних процесів, інтерпретацію отриманих результатів, розпізнавання ситуацій та підтримку прийняття оперативних рішень у реальному часі.

Вивчено питання щодо застосування запропонованої інформаційно-аналітичної системи для дослідження ґрунтових вод та природних ґрунтів Кременчуцького регіону.

1. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды.– М. : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 320 с.
2. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры.– М.Наука, «Физматлит», 2-е изд. – 2001.– 320 с.
3. Стеля О.Б. Моделирующий комплекс расчета потока грунтовых вод в сложных гидрогеологических условиях / О.Б. Стеля // Математическое моделирование. – 2011. – Т. 23, № 4. – С. 120 – 130.
4. Ісаєнко В.М. Моніторинг і методи вимірювання параметрів навколишнього середовища // В.М. Ісаєнко, Г. В. Лисиченко, Т.В. Дудар та ін. – К. : Видавництво НАУ, 2009. – 312 с.
5. Зюман Б. В. Моніторинг складу ґрунтових вод / Б. В. Зюман, А. В. Пасенко, В. С. Корнатовський, Т. Ю. Калачова // Захист довкілля від антропогенного навантаження. – Харків – Кременчук : ПП ШВИДКА, 2005. – Вип.11 (13). – С. 158 – 165.
6. Підоріна Л. І., Смоляр Н. О., Джупанас А. Г. Природні ґрунти заплавної частини міста Кременчука в умовах підтоплення: генезис та забруднення важкими металам // Тех-ногенно-екологічна безпека та цивільний захист. – 2012. – Вип. 4. – С. 103 – 113.
7. Воробьёв В.В., Воробьева Л. Д., Беззубченкова М.В. Методы улучшения экологической обстановки при массовых взрывах на карьерах // Розробка, використання та еко-логічна безпека сучасних гранульованих та емульсійних вибухових речовин. X міжнародна науково-технічна конференція. Кременчук – Кошице, 03 – 08 лютого 2014 р. Матеріали конференції. – Кременчук: КрНУ, 2014. – С. 83 – 86.
8. Пахомов В. М. К вопросу комплексного изучения процессов подтопления города Кременчуга подземными водами / В. М. Пахомов, В. К. Свистун, Г. А. Демёхин // Захист довкілля від антропогенного навантаження. – 2001. – № 4 (6). – С. 72 – 79.
9. Крукиер Л. А., Шевченко И. В. Сравнение моделей гравитационного режима течения грунтовых вод // Математическое моделирование, 2002. – т.14. – № 2. – С.51 – 60.

10. Бабенко К. И. О явлении насыщения в численном анализе / К. И. Бабенко // Докл. АН СССР. – 1978. – Т.241, № 3. – С.505 – 508.
  11. Гаврилюк И. П. Сильнопозитивные операторы и численные алгоритмы без насыщения точности / И. П. Гаврилюк, В. Л. Макаров. – К. : Ин-т математики НАН Украины, 2004. – 500с.
  12. Bilenko V. Integro-approximational methods for modelling nonlinear dinamycobjects.– Math.and comp.model.in science rec., BAS, 1994. – P.146 – 158.
  13. Дзядык В. К. Аппроксимационные методы решения дифференциальных и интегральных уравнений / В. К. Дзядык. – Киев : Наукова думка, 1988. – 387 с.
  14. Біленко В. І. Кусково-поліноміальні наближення розв'язків жорстких задач на основі апроксимаційного методу В. К. Дзядика / В. І. Біленко, А. І. Дерієнко, Н. Г. Кирилаха // Журн. обчисл. та приклад. математики. – 2013. – № 2. – С. 68 – 77.
  15. Поліщук В. В. Перспективи використання ГІС технологій та гідрологічних моделей для оцінки величини площинного змиву та формування якості вод річкового басейну / Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія : наук. збірник / Гол. редактор В. К. Хільчевський. – К. : ВГЛ «Обрії», 2012. – Т. 1(26). – С. 34–42.
  16. Ляшко С.И., Стеля О.Б., Стеля О.И., Бондарь Е.С. Программное обеспечение гидрогеологической модели KRISFLOW // Журнал обчислювальної та прикладної математики. – 2014. – № 1(115). – С. 119 – 128.
  17. Шевченко И. В. Проблемы мониторинга сложных технологических процессов и систем // Актуальні питання та організаційно-правові основи міжнародного співробітництва у сфері високих технологій : матеріали X Міжнародної науково – практичної конференції. – Київ, 2014. – С. 81–84.
1. Marchuk G.I. Mathematical modeling in environmental problems. – М: Nauka, 1982. – 320 p. [in Russian]
  2. Samarskiy A.A., Mikhailov AP Mathematical modeling. Ideas. Methods. Examples.– М.Nauka "Physmathlit", 2nd ed. – 2001.– 320 p. [in Russian]
  3. Stelia O.B. Modeling complex of calculation of groundwater flow in complicated hydrogeological conditions / O.B. Stelia // Mathematical modeling. – 2011. – V. 23, № 4. – p. 120 – 130. [in Russian]
  4. Isaenko V.M. Monitoring and methods of environmental parameters measurement //V.M. Isayenko,G.V. Lysychenko, T.V. Dudar and others.– K.,Publisher NAU,2009. – 312p. [in Ukrainian]
  5. Zyuman B.V. Monitoring of groundwater composition / B.V. Zyuman, A.V. Pasenko, V.S. Kornatovskyy, T.Yu. Kalachova // Protection of environment from human activity. – Kharkiv – Kremenchug: PP SHVYDKA, 2005. – Vol.11 (13). – P. 158 – 165. [in Ukrainian]
  6. Pidolina L. I., Smolyar N. O., Dzhupanas A. G. Natural soils of water meadow part of Kremenchuk in terms of flooding: genesis and heavy metals contamination // Technogenic and ecological safety and civil protection. – 2012. Vol. 4. – P. 103 – 113. [in Ukrainian]
  7. Vorobyov V.V., Vorobeva L. D., Bezzubchenkova M.V. Methods to improve the environmental situation during massive explosions in the quarries //Development, use and environmental safety of modern granular and emulsion explosive substances. X International scientific conference. Kremenchug – Kosice 03 – February 8, 2014 Mat. – Kremencerials of the conferencehug: KrNU, 2014. – P. 83 – 86. [in Russian]
  8. Pahomov V. M. About complex investigation of flooding process of Kremenchug city by groundwater/ V. M. Pahomov. V. K. Swistun, G. A. Demyohin // Protection of environment from anthropogenic load. – 2001. – № 4 (6). – P. 72 – 79. [in Russian]
  9. Krukier L.A., Shevchenko I.V. Comparison of gravitational regime models of groundwater flow // Mathematical modeling, 2002. – V.14. – № 2. – P.51 – 60. [in Russian]
  10. Babenko K.I., About phenomenon of saturation in numerical analysis / K.I. Babenko

//report of USSR Academy of Sciences. – 1978. – V.241, № 3. – P.505 – 508. [in Russian]

11. Gavrilyuk I.P. Positive operators and numerical algorithms without accuracy saturation / I.P. Gavrilyuk, V.L. Makarov. – K.: Institute of Mathematics National Academy of Sciences of Ukraine, 2004. – 500 p. [in Russian]

12. Bilenko V. Integro-approximational methods for modelling nonlinear dynamical objects. – Math. and comp. model. in science rec., BAS, 1994. – P.146 – 158. [in English]

13. Dzyadyik V.K. Approximation methods for solution of differential and integral equations / V.K. Dzyadyik. – Kiev: Naukova Dumka, 1988. – 387 p. [in Russian]

14. Bilenko V.I. Polynomial approximation of hard problems solutions based on approximation method of V.K. Dzyadyik / V.I. Bilenko, A.I. Deriyenko, N.G. Kyrylaha // Journal of computable and applied mathematics. – 2013. – № 2. – P. 68 – 77. [in Ukrainian]

15. Polishchuk V.V. Prospects of GIS technologies and hydrological models application to estimate the planar flushing and formation of water quality of river basin / Hydrology, hydrochemistry and hydroecology: Science. collection / Main editor V.K. Khilchevsky. – K.: "Obriyi", 2012. – Vol 1 (26). – P. 34 – 42. [in Ukrainian]

16. Lyashko S.I., Stelia O.B., Stelia O.I. Program software of hydrological model KRISFLOW // Journal of computational and applied mathematics. – 2014. – № 1 (115). – P. 119 – 128. [in Russian]

17. Shevchenko I. V. Monitoring problems of complex technological processes and systems // Actual questions and organizational and legal foundations of international cooperation in sphere of high technologies: Materials of X international scientific conference. – Kyiv, 2014. – P. 81– 84. [in Russian]

**В.И. Биленко, В.В. Воробьев, А.В. Пасенко, Л.И. Пидорина, Е.Б. Сёмик, О.Б. Стеля, И.В. Шевченко**

**ИНФОРМАЦИОННО–МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД**

*Рассмотрен вопрос информационно - математического и компьютерного моделирования потока грунтовых вод на крупных территориях в сложных гидрогеологических условиях. Предложена методика и концепция мониторинга экологического состояния, базирующаяся на модели планового потока грунтовых вод в связанных водоносных горизонтах и на применении специальных прикладных информационных технологий. Построена математическая модель и алгоритм её анализа, имеющая свойства ненасыщенности и оптимальности по точности прогнозирования экологического состояния грунтовых вод. Проведен мониторинг гидрологического режима грунтовых вод на подтопленной территории г. Кременчуга, дана оценка их экологического состояния.*

**V.I. Bilenko, V.V. Vorobyov, A.V. Pasenko, L.I. Pidolina, O.B. Stelia, O.B. S'omyk, I.V. Shevchenko**

**INFORMATIONAL AND MATHEMATIC MODELING AND PROGNOSTICATION THE ENVIRONMENTAL STATUS OF GROUND WATER**

*Questions of informational, mathematical and computer modeling of underflow in the large areas in difficult hydrogeological conditions were considered. Methods and concept of ecological state monitoring were offered. Such methods are based on the model of a planned underflow in the binder water bearing stratum and on the application of special applied information technologies. There were developed mathematical model and algorithm of its analysis which has properties of unsaturation and optimality on the accuracy of ground waters ecological state forecasting. There was performed Monitoring of hydrological regime of ground waters in flooded territory of Kremenchug was performed. Estimation of flooded territories ecological state was given.*

УДК 347.799.2: 519.171

**С.П. ГОДОВАНЮК, С.Е. СЕЛИВАНОВ**

*Херсонская государственная морская академия, г. Херсон*

## **РАСЧЕТ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ СУДНА С ЗАСТОПОРЕННЫМИ МАШИНАМИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА НЕГО ТЕЧЕНИЯ В ЧЕРНОМ МОРЕ**

*В статье рассмотрена созданная на Украине система морского поиска и спасения (SAR). Система SAR, как любая другая система, состоит из отдельных компонентов (структур), которые должны функционировать во взаимодействии в целях обеспечения системы в целом. Такими структурами являются координационный центр (подцентры) поиска и спасения (RCC) с соответствующим районом поиска и спасения (SRR). Показано, что от точки местоположения судна, во время дрейфа, при аварии с застопоренными машинами, зависит эффективность поисково-спасательной операции. Рассмотрен дрейф судна, т.е. дрейф судна вследствие течения. Поставлена задача определения исходной точки дрейфующего судна (для примера в зоне ответственности Украины на Черном море) от первоначального момента подачи сигнала бедствия «mayday» до точки нахождения судна по истечению определенного времени и сообщение о ней всем спасательным службам. Для расчета местоположения судна выдвинута математическая модель. Известно, что коэффициент скорости дрейфа судна под воздействием течения, для большинства судов равен 0,04 – 0,012, этот коэффициент использовался для нахождения скорости дрейфа судна. Расчетная точка нахождения судна, через заданный промежуток времени, определялась с использованием метода Монте-Карло. С учетом проведенного анализа и с надежностью 0,95 найдено, что судно при дрейфе через 10 часов окажется на определенном расчетном расстоянии.*

**Постановка проблемы.** Иногда судну потерпевшему аварию (с застопоренными машинами) приходится длительное время находиться в море, совершая дрейф от места аварии, например, под воздействием течения при условии отсутствия ветра.

Проблема судоводителя заключается в том, чтобы в любой момент знать местоположение своего дрейфующего судна от первоначального момента подачи сигнала бедствия (в голосовой связи сигналом бедствия служит «Mayday», SOS (СОС) – международный сигнал бедствия в радиотелеграфной связи) до точки нахождения судна по истечению определенного времени и сообщение своего местонахождения всем спасательным службам.

**Актуальность выбранной темы.** Украина, как и каждое прибрежное государство, признает большое значение спасению жизни людей и необходимость непосредственно участвовать в оказании услуг авиационного и морского поиска и спасения (SAR) лицам (судам), терпящим бедствие на море [1, 2].

Система SAR, как любая другая система, состоит из отдельных структур, которые должны функционировать во взаимодействии в целях обеспечения службы в целом. Разработка системы SAR, как правило, предполагает создание одного или нескольких районов поиска и спасения SRR наряду с обеспечением возможностей приема аварийных оповещений, координации и работы служб SAR в каждом SRR. Каждый SRR связан с координационным центром поиска и спасения RCC. Все RCC должны удовлетворять определенным минимальным требованиям.

Необходимым условием является хорошая связь. Средства связи должны обеспечивать незамедлительную передачу в RCC аварийной информации, что позволяет RCC без задержек направлять свои ресурсы в районы поиска и поддерживать двустороннюю связь с судами, терпящими бедствие.



Возможности знания местоположения судна позволяют средствам SAR, предпринимающим меры реагирования, свести время поиска к минимуму и прибыть к фактическому месту бедствия для проведения спасательных работ.

Таким образом, определение местоположения судна с застопоренными машинами при воздействии на него течения в Черном море является актуальным, поскольку от этого зависит своевременный выход судна-спасателя в исходную точку поиска.

Отметим, что нами в работе [3] проведено определение местоположения судна с застопоренными машинами при ветровом дрейфе в Черном море.

**Цель и задача** данной работы сводится к расчету вероятного местоположения судна с застопоренными машинами через несколько часов после аварии при дрейфе, вызванном течением в условиях отсутствия ветра в Черном море и определении расстояния, пройденное судном при дрейфе через определенно заданное время.

#### **Изложение основного материала.**

Говоря о сносе судна вызванного течением, при условии отсутствия ветра, дадим определение морского течения, как перемещение масс воды в море.

Морские течения характеризуются: направлением, которое указывается в градусах от 0 до 360° или в румбах той точки горизонта, к которой течение направлено, или как говорят, течение “из компаса”; скоростью – скорость течения определяется в системе СИ в м/с, но иногда км/ч. Единицей измерения скорости в мореходной практике – узел. Узел равен одной морской миле в час.

По международному определению, один узел равен 1,852 км/ч (1 морская миля в час) или 0,514 м/с. Эта единица измерения, хотя и является внесистемной, допускается для использования наряду с единицами в СИ.

Морские течения бывают постоянные, периодические и временные. На практике судоводитель чаще всего сталкивается с постоянными и периодическими (приливно-отливными) течениями.

На обобщенной карте течений в поверхностном слое Черного моря (рис.1) приведены основное замкнутое кольцо и два вихревых потока – кольца, шириной от 20 до



Рис. 1. Карта течений в Черном море

50 миль и проходящее в 2 – 5 милях от берега против часовой стрелки и несколько соединительных струй между его отдельными частями. Внутри этого кольца прослеживаются циклонические круговороты со скоростями течений до 0,1 м/с в



центральных, и до 0,25 м/с в периферийных областях, но при сильных и штормовых ветрах скорость течения может достигать 1 – 1,5 м/с.

Между круговоротами наблюдается устойчивое течение от Синопа к Кавказскому побережью со скоростью до 0,45 м/с. Весной и в начале лета, когда реки приносят в море большое количество воды, течение усиливается и становится более устойчивым [2].

В морях и океанах наблюдаются течения, не зависящие, от ветра.

В данной работе для определения сноса неуправляемого судна, вызванного течением, воспользуемся тем же сценарием, который предложен для определения скорости ветрового дрейфа судна опубликованной в [3].

Для расчета местоположения сноса судна с застопоренными машинами при воздействии на него течения представим на рис.2 снос судна от т. А , до т. Н , через т. G , т. Р и т. F (т. F – является серединой отрезка GH).

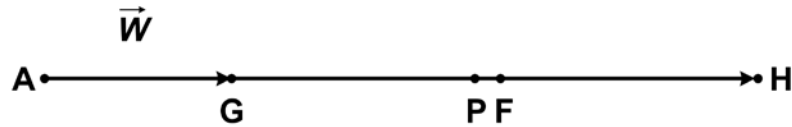


Рис. 2. Снос судна от т. А до т. Н

Скорость сноса судна  $W_{др}$  вызванного течением запишем:

$$W_{др} = K_W \cdot W ,$$

где  $K_W$  – коэффициент дрейфа судна под воздействием течения;

$W$  – величина скорости течения в районе расположения судна, м/с.

Коэффициент  $K_W$  зависит от гидродинамических свойств судна, таких как обтекаемость корпуса судна, площади поперечного сечения судна и т.д.

Коэффициент ветрового течения приводится в мореходных таблицах – МТ-2000 [4] его величина варьируется от 0,04 до 0,012.

Ориентировочно будем полагать, что коэффициент дрейфа составляет

$$K_W = 0,01 - 0,04 , \text{ т.е. } K_W \in (0,01; 0,04) .$$

Через какое-то время  $t$  после начала дрейфа судно может оказаться в т. G , от т. А , пройдя расстояние AG .

Тогда  $\overline{AG} \uparrow \vec{w}$ ,  $\vec{w}$  – единичный вектор, со направленный с вектором  $\vec{W}$ , а по модулю равный единице, т.е.  $|\vec{w}| = 1$ .

При условии, что коэффициент  $K_W = 0,01$ :

$$\overline{AG} = K_W \cdot W \cdot t \cdot \vec{w} = 0,01 \cdot W \cdot t \cdot \vec{w} \text{ или } AG = 0,01 \cdot W \cdot t .$$

Аналогично, если судно под воздействием течения окажется через промежуток времени  $t$  в т.Н пройдя расстояние AN и если  $K_W = 0,04$ , то  $\overline{AN} \uparrow \vec{w}$  или  $AN = 0,04 \cdot W \cdot t$ .

Весной и в начале лета, когда реки приносят в Черное море большое количество воды, течение усиливается и становится более устойчивым.

Предположим, что величина скорости течения в районе расположения судна в это время года  $W = 1,2$  м/с.

Допустим, что спасательное судно прибудет в район аварии через  $t = 10$  час. т.е.  $t = 36000$  с.

За это время судно пройдет расстояние:

$$AG = 0,01 \cdot 1,2 \cdot 36000 = 432 \text{ м. } AN = 0,04 \cdot 1,2 \cdot 36000 = 1728 \text{ м.}$$

Расстояние, которое пройдет судно при сносе, есть случайная величина.

Пусть на рис. 2 т. F является точкой наиболее вероятного нахождения судна после аварии (математическое ожидание положения судна), расположена в интервале (G; H) и является серединой интервала (G; H), то  $\overline{AF} \uparrow \uparrow \vec{w}$ .

По правилу сложения векторов можно записать

$$\overline{AF} = \frac{1}{2}(\overline{AG} + \overline{AH}) = \frac{1}{2}(0,01 \cdot W \cdot t + 0,04 \cdot W \cdot t) \vec{w} = 0,025 \cdot W \cdot t \cdot \vec{w}.$$

$$AF = 0,025 \cdot 1,2 \cdot 36000 = 1080 \text{ м.}$$

Расчетной точкой, в которой окажется судно, через некоторое время  $t$  после начала сноса возьмем т. P (рис. 2). Очевидно, что эта точка с вероятностью близкой к 1 будет находиться в интервале (G; H).

Согласно рис.2 положим  $|\overline{FP}| = x$ ; величина  $x$  является случайной.

Поскольку предположили, что величина  $x$  является случайной, то проанализируем и проведем вычисление, насколько эта случайная величина отклонится от математического ожидания

Будем предполагать, что  $x$  подчиняется нормальному закону распределения. Если случайная величина распределена нормально, то абсолютная величина ее отклонения от математического ожидания не превосходит утроенного среднего квадратического отклонения, что является правилом 3-х  $\sigma$  («трех сигм») [5]. Сигмой ( $\sigma$ ) в статистическом анализе обозначают стандартное отклонение.

Проанализируем вероятность того, что отклонение нормально распределенной случайной величины  $X$  от ее математического ожидания  $a$  по абсолютной величине меньше заданного положительного числа  $\varepsilon$ , требуется найти вероятность осуществления неравенства  $|X - a| < \varepsilon$ , где  $a = M(X)$  – математическое ожидание нормального распределения.

Получим:

$$P(|X - a| < \varepsilon) = 2\Phi\left(\frac{\varepsilon}{\sigma}\right).$$

Обозначим

$$u = \frac{\varepsilon}{\sigma}, \quad \varepsilon = u\sigma.$$

Тогда получим:

$$P(|X - a| < u\sigma) = 2\Phi(u).$$

Если  $u = 3$ , то

$$P(|X - a| < 3\sigma) = 2\Phi(3).$$

Для нахождения значений интегральной функции Лапласа воспользуемся фрагментом таблицы [6].

**Таблица 1.** Значения интегральной функции Лапласа

t	$\Phi(u)$	u	$\Phi(u)$	u	$\Phi(u)$	u	$\Phi(u)$	$\Phi(u)$	u	$\Phi(u)$	
0,00	0,0000	0,50	0,1915	1,00	0,3413	50	0,4332	2,00	0,4772	3,00	0,49865

Используя таблицу 1 значений функции Лапласа, получим:

$$P(|X - a| < 3\sigma) = 2\Phi(3) = 2 \cdot 0,49865 = 0,9973.$$

Таким образом, вероятность того, что отклонение случайной величины от математического ожидания по абсолютной величине будет меньше утроенного среднего квадратического отклонения, равна 0,9973.

Естественно предположить  $GF = FH = 3\sigma$ .

На рис.2

$GF = FH$ , а  $GF = AF - AG = 1080 - 432 = 648$  м.

Тогда

$3\sigma = 648$ , а  $\sigma = 216$ .

Возвращаемся к обсуждению положения точки Р (рис. 2), в которой окажется судно по истечению времени  $t$  с остановленными двигателями (потерпевшее аварию).

Для определения положение т. Р применим метод Монте-Карло [7].

Разобьем интервал (G; H) на  $2k$  частичных интервала одинаковой длины  $l$ .

Величину  $l$  будем в дальнейшем определять, исходя из гарантированной возможности визуального обнаружения потерпевшего аварию судна на расстоянии  $0,125 \cdot l$ . Численное значение  $l$  зависит от времени суток и от возможностей оптических и радиолокационных приборов, имеющих в распоряжении спасателей.

Длина каждого частичного интервала будет равна:  $\frac{GH}{2k}$ .

Поскольку

$GH = AH - AG$  (рис.2),

то

$GH = 0,04 \cdot W \cdot t - 0,01 \cdot W \cdot t = 0,03 \cdot W \cdot t = 0,03 \cdot 1,2 \cdot 36000 = 1296$  м.

Следовательно,  $\frac{GH}{2k} = \frac{1296}{2k}$ .

Тогда, согласно выше сформулированного требования

$\frac{GH}{2k} = \frac{1296}{2k} \leq 0,125 \cdot l$ .

Отсюда следует  $k \geq \frac{1296}{l}$ .

При нормальной видимости в дневное время можно положить  $l = 1000$  м.

Получим:

$k \geq \frac{1296}{0,125 \cdot 1000} = 10,368$ .

Для дальнейшего удобства вычислений положим  $k = 10$ ,  $2k = 20$ .

Далее, на основании выше полученного, в соответствии с методом Монте-Карло [8], разобьем интервал (0; 1) на  $2k = 20$  частичных интервалов, рис. 3.

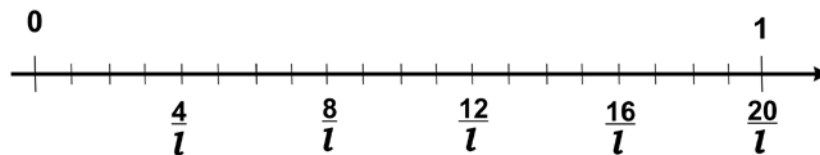


Рис. 3. Распределение интервала (0; 1) на 20 частей

Тогда

(0; 0,05); (0,05; 0,1); (0,1; 0,15); (0,15; 0,2); (0,2; 0,25); (0,25; 0,3); (0,3; 0,35); (0,35; 0,4); (0,4; 0,45); (0,45; 0,5); (0,5; 0,55); (0,55; 0,6); (0,6; 0,65); (0,65; 0,7); (0,7; 0,75); (0,75; 0,8); (0,8; 0,85); (0,85; 0,9); (0,9; 0,95); (0,95; 1).

Обозначим все 20 частей распределенного интервала (0; 1) через (1).

Пусть  $\delta$  – верхняя граница ошибки, т.е. самое большое возможное расстояние между истинным положением судна и положением, рассчитанным по методу Монте-Карло.

С надежностью  $\gamma = 0,95$  верхнюю границу ошибки  $\delta$  можно вычислить по формуле

$$\delta = \frac{u\sigma}{\sqrt{n}},$$

как средняя ошибка средней арифметической величины,

где  $u$  – значение аргумента функции Лапласа, при котором  $\Phi(u) = \frac{\gamma}{2}$ ,

$n$  – число испытаний (разыгранных значений  $x$ ),

$\sigma$  – среднее квадратическое отклонение.

Поскольку в качестве надежности взято число  $\gamma = 0,95$ , то по таблице значений функции Лапласа из условия  $\Phi(u) = 0,475$  находим  $u = 1,96$ .

В работе [3] показано, что наименьшее число испытаний, которое гарантирует заданную верхнюю границу ошибки  $\delta$ , равно  $n$ :

$$n = \frac{u^2 \sigma^2}{\delta^2}.$$

Поскольку  $u = 1,96$ ;  $\sigma = 216$  м.;  $\delta = 125$  м., то

$$n = \frac{u^2 \sigma^2}{\delta^2} = \frac{1,96^2 \cdot 216^2}{125^2} = 1,96^2 \cdot \left(\frac{216}{125}\right)^2 = 3,8416 \cdot 1,728^2 = 3,8416 \cdot 2,99 = 11,49.$$

Для удобства, положим  $n = 12$ .

Так как в работе имитируются случайные величины, то в среде Excel имитационный процесс осуществляется в условиях правдоподобных предположений о законах распределения случайных величин. Статистическая обработка данных, полученных в результате имитационного процесса, позволяет сделать вывод о целесообразности использования случайных величин.

Для реализации процесса имитационного моделирования с помощью средств Excel важнейшую роль играет функция СЛЧИС, которая является датчиком случайных чисел. При каждом обращении к ней генерируется новое случайное число (значение равномерно распределенной на отрезке  $[0; 1]$  случайной величины). С помощью данной функции можно осуществить имитацию любой непрерывной или дискретной случайной величины. Каждое обращение к функции СЛЧИС порождает одну реализацию имитационного процесса. На практике ячейка электронной таблицы среды Excel, в которую помещена функция СЛЧИС, копируется нужное число раз.

Найдем с помощью датчика случайных величин в среде Excel  $n = 12$  чисел из интервала  $(0; 1)$ .

В таблице представим результаты имитационного моделирования, полученные в среде Excel.

**Таблица 2.** Результаты имитационного моделирования

	Случайное число (СЛЧИС)
1	0,176607
2	0,839274
3	0,4211
4	0,152135
5	0,188958
6	0,631517
7	0,351152
8	0,485849

9	0,558968
10	0,988085
11	0,225499
12	0,739498
$\sum x_i$	5,758642
$\bar{x}$	0,479887

Получили величину  $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{12} = 0,479887$ .

Обращаясь к результатам распределения интервала (0; 1) на 20 частей, т.е. которое ранее обозначили (1) видим, что в обоих случаях величина  $\bar{x} = 0,479887$  находится в промежутке (0,45; 0,5).

В заключении определим расстояние GP.

$$GP = GN \cdot \bar{x} = 1296 \cdot 0,479887 = 622 \text{ м.}$$

Отсюда следует, что

$$PF = GF - GP = (AF - AG) - GP = (1080 - 432) - 392 = 648 - 622 = 26 \text{ м.}$$

$$PH = PF + GF = 26 + 648 = 674 \text{ м.}$$

Таким образом, с учетом погрешности, снос судна течением составит:

$$AP = AG + GP = 432 + 622 = 1054 \text{ м.}$$

в случае, если в районе, где потерпело аварию судно скорость течения составляло  $W = |\vec{W}| = 1,2 \text{ м/с}$ , а время сноса судна до прибытия спасательного судна в точку нахождения судна потерпевшего аварию составило 10 часов, т.е.  $t = 36000 \text{ с}$ .

**Выводы:** После аварии (с застопоренными машинами) судно под воздействием течения, в пределах допустимой погрешности, с вероятностью  $\gamma = 0,95$ , окажется через 10 часов в т. Р для которой расстояние  $AP = 1054 \text{ м}$ , что является расчетным расстоянием, а расстояние между т. Р и т. F – математическим ожиданием, составляет:  $PF = 26 \text{ м}$ .

Дальнейшая работа будет сводиться к вероятному определению местоположения судна с застопоренными машинами (потерпевшее аварию) при совместном учете воздействия на него ветра и течения.

1. Чувашов В.М. Практическое судовождение. Учеб. пособие. – Севастополь: 2012. – 256 с.
2. Добровольский А.Д., Залогин Б.С. Моря СССР. Учебное пособие. Изд-во МГУ. 1982. – 192 с.
3. Годованюк С.П. Определение местоположения судна с неработающим двигателем при ветровом дрейфе в черном море // Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал. – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2015. – № 1 (12). – С. 17 – 26.
4. Мореходные таблицы (МТ-2000). – С-Пб.: ГУНиО, 2002. – 575 с.
5. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 2003. – 479 с.
6. Таблица значений функции Лапласа. Natalymath.ru/laplas.html.
7. Соболев И.М. Численные методы Монте-Карло. Издат. «Наука», – М.: 1973. – 312 с.
8. Савелова Т.И. Метод Монте-Карло. Учеб. пособ. – М.: 2011. – 150 с.

1. Chuvashov V.M. Practical navigation. Textbook. – Sevastopol: 2012. – 256 p. [in Russian]
2. Dobrovolskiy A.D., Zalugin B.S. Seas of USSR. Textbook. MSU 1982. – 192 p. [in Russian]

- 3 Godovanyuk S.P. Determination of the ship's position with non-worked engine at wind drift in the Black Sea // Scientific proceedings of Kherson state marine academy: Scientific journal. – Kherson : Kherson state marine academy, 2015. – № 1 (12). – P. 17 – 26. [in Russian]
4. Seafaring tables (ST-2000). – S-Pt.: MDNO, 2002. – 575 p. [in Russian]
5. Gmurman V.E. Theory of probability and mathematical statistics. Textbook for universities. – M.: Vysshaya shkola., 2003. – 479 p. [in Russian]
6. Table of the Laplace function values. Natalymath.ru/laplas.html. [in Russian]
7. Sobol I.M. Numerical Monte Carlo methods. Publishing «Nauka», – M.: 1973. – 312 p. [in Russian]
8. Savelova T.I. Monte Carlo methods. Textbook. – M.: 2011. – 150 p. [in Russian]

**С.П. Годованюк, С.Є. Селіванов**

### РОЗРАХУНОК МІСЦЕПОЛОЖЕННЯ СУДНА З ЗАСТОПОРЕНИМИ МАШИНАМИ ПРИ ВПЛИВІ НА НЬОГО ТЕЧІЇ В ЧОРНОМУ МОРІ

*У статті розглянута створена на Україні система морського пошуку та рятування (SAR). Система SAR, як будь-яка інша система, складається з окремих компонентів (структур), які повинні функціонувати у взаємодії з метою забезпечення системи в цілому. Такими структурами є координаційний центр (підцентри) пошуку і рятування (RCC) з відповідним районом пошуку і рятування (SRR). Показано, що від точки розташування судна, під час дрейфу, при аварії з застопореними машинами, залежить ефективність пошуково-рятувальної операції. Розглянуто дрейф судна, тобто дрейф судна внаслідок течії. Поставлено завдання визначення вихідної точки дрейфуючого судна (для прикладу у зоні відповідальності України на Чорному морі) від первісного моменту подачі сигналу лиха «mayday» до точки знаходження судна по закінченню певного часу і повідомлення про неї всім рятувальним службам. Для розрахунку місця розташування судна висунута математична модель. Відомо, що коефіцієнт швидкості дрейфу судна під впливом течії, для більшості судів дорівнює 0,04 - 0,012, цей коефіцієнт використовувався для знаходження швидкості дрейфу судна. Розрахункова точка знаходження судна, через заданий проміжок часу, визначалася з використанням методу Монте-Карло. З урахуванням проведеного аналізу і з надійністю 0,95 знайдено, що судно при дрейфі через 10 годин виявиться на певній розрахунковій відстані.*

**S. Godovanyuk, S. Selivanov**

### CALCULATION OF THE SHIP'S POSITION WITH LOCKED MACHINES AT INFLUENCE OF CURRENTS IN THE BLACK SEA

*The article describes created in the Ukraine system Maritime Search and Rescue (SAR). SAR system, like any other system, is composed of individual components (structures) which must operate in cooperation to ensure the system as single whole. These structures include search and rescue coordination center (sub-centers) (RCC) with appropriate search and rescue regions (SRR). It is shown that, efficiency of search and rescue operation depends on point position of the ship during drift in case of accident with the locked machines. Drift of ship at influence of currents is considered. Key task was to identify start point of ship drifting (for example, in the area of Ukraine responsibility in the Black Sea) from initial moment of distress alarm «mayday» to ship's point after certain time and message about distress to all emergency services. Mathematical model was proposed to calculate the ship's position. It is known that the coefficient of drift velocity for majority of ships under the influence of currents is 0.04 - 0.012, this ratio was used to define speed of ship's drift. Calculated point of ship, after a specified period of time was defined using a Monte Carlo method. Performed analysis was proved that at 10-hours drifting ship will be located at certain calculated distance. Estimation was done with reliability 0,95.*

УДК 551.243.8+551.242(477)

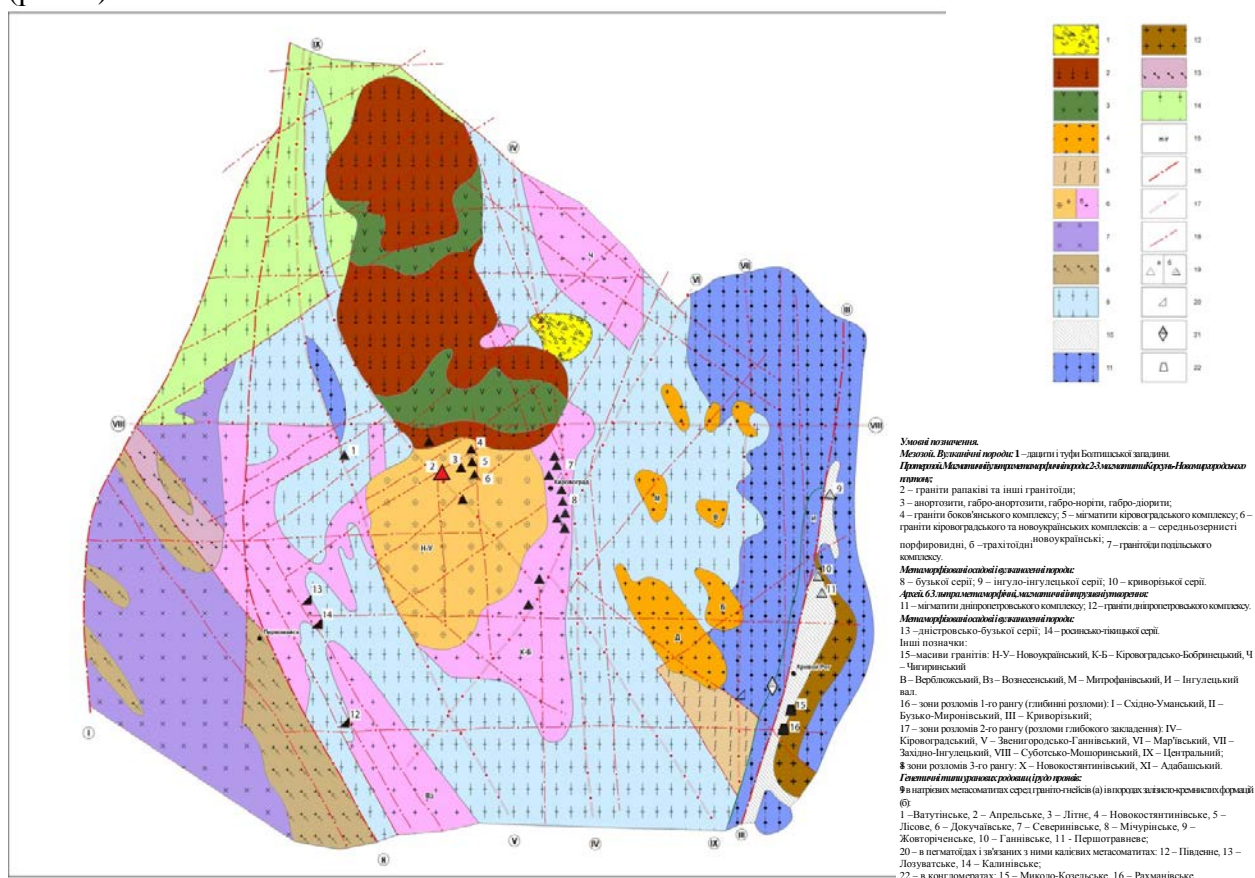
**А.О. СТУДЗІНЬСКА, В.Г. ВЕРХОВЦЕВ, Ю.В. ЮСЬКІВ, О.О. КРАМАР**

ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», м. Київ

**НОВІТНЯ ТЕКТОНІКА ЦЕНТРАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА  
(У ЗВ'ЯЗКУ З УРАНОВИМ ТА ІНШИМ МЕТАЛЕВИМ ЗРУДЕНІННЯМ)**

Наведено результати середньомасштабного картування (1:500 000) новітньої тектоніки в межах центральної частини Українського щита. Яке здійснено на основі морфоструктурних методів дослідження. Виділено та охарактеризовано активні на новітньому етапі розвитку лінійні і кільцеві структури, а також сумарні амплітуди вертикальних рухів в пізньопліоцен-четвертинний час. Проведено співставлення просторового розміщення родовищ та рудопроявів урану та деяких інших металевих корисних копалин з новітньою тектонікою.

Центральна частина Українського щита (УЩ) – район між епіархейськими Білоцерківсько-Середньобузьким та Середньопридніпровським мегаблоками – виділяється унікальною концентрацією різних видів мінеральної сировини. Від іншої частини щита він відділяється шовними зонами Голованівсько-Ядлово-Трактемирівською і Західно-Інгулецько-Криворізькою і складається із власне Інгульського мегаблоку, Голованівського і Західно-Інгулецького блоків другого порядку та частини Середньопридніпровського мегаблоку по Криворізько-Кременчуцьку смугу включно (рис. 1).



**Рис. 1.** Структурно-геологічна карта та розміщення родовищ і рудопроявів ураново-натрової формації в центральній частині УЩ (складена О.О. Крамаром та ін. з використанням матеріалів КП «Кіровгеологія»).

В цьому регіоні локалізовані один із найбільших в Європі залізородний басейн і

такого ж рангу урановорудна провінція, група родовищ літію Шполянсько-Ташлицького району, золотоносні поля – Савранське і Клишівсько-Юрківське, перспективні рудопрояви вольфраму, урану і золота в Західно-Інгулецькій смузі, скандій-ванадієві родовища, асоціюючі в Криворіжжі з урановими, підвищена германієносність окремих стратифікованих залізо-кременистих горизонтів (і, відповідно родовища залізистих кварцитів) у північній частині Західно-Інгулецько-Криворізької смуги, родовищ графіту в західній і східній шовних зонах та інші. Поряд з цим, Західно-Інгулецька смуга багата на доломіти і перспективна на платину, молібден, вольфрам, скандій, цинк та інші метали. Тут відкрито родовище залізного колчедану, а головне, Михайлівське родовище та ряд рудопроявів урану жильно-штокверкового типу, які характеризуються багатостадійністю та полігенністю.

Чим пояснюється така значна скупченість корисних копалин в рамках одного однак і великого (біля 250 км в поперечнику, 60 з яких припадає на Західно-Інгулецьку смугу) регіону. Спроба наукового обґрунтування визначальної ролі геодинамічних обстановок в металогенії докембрію центральної частини УЩ, що базується на аналізі авторами великого обсягу фактичних геологічних матеріалів, викладена Є.Б. Глеваським, О.О. Крамаром [1], а також Є.О. Глеваським і О.О. Крамаром та ін. [2], основні постулати з яких наводимо нижче. Прийнято вважати, що унікальність великих рудних районів визначається довготривалими термінами розвитку рудоносних структур та неодноразовим формуванням і перерозподілом рудних компонентів. Сучасні металогенічні розробки, навіть виділяють три періоди формування родовищ: їх передісторію – довгий початковий період, вміщуючий виникнення порід з підвищеними кларками рудних елементів, аж до формування їх непромислових накопичень, більш короткий основний період формування родовищ і, насамкінець, заключний період їх післяісторії. Важливо, проте, прив'язувати названі періоди до конкретних геологічних обставин. Тому виникає природний інтерес до формування та перерозподілу рудних накопичень на фоні ряду змінюючих одна одну геодинамічних обстановок. В центрі щита вони еволюціонували, головним чином, в проміжку часу між 2,8 та 1,8 млрд. років [3].

Як уже відзначалось, зазначений регіон знаходиться між Середньопридніпровським і Білоцерківсько-Середньобузьким мегаблоками, які закінчили свій розвиток як граніто-зеленокам'яні області до дати 2,8 млрд. років тому. В палеотектонічному плані вони кваліфікуються як протоострівні дуги [3]. Тому виникає питання і про палеотектонічну природу цієї частини щита, тепер представленого граніто-гнейсовою областю. Оскільки головну основу кори в ній складають пара- і ортогнейси переважно більш молодого віку, ніж в оточуючих архейських протоостроводужних геоблоках, а розчленовуються ці породи на декілька значних стратифікованих серій, то можна вважати, що ці товщі накопичувались в міждужному басейні. Можливо також, що кореляція означених серій та їх положення в структурі регіону відзначають особливість накопичення осадків в різних його частинах протягом майже 0,8 млрд. років.

Яке походження має історія розвитку цього басейну. Спробувати відповісти на це запитання можна тільки на основі аналізу складу та будови осадків, що виповнюють ороген, збудований на його місці. Так, виходячи із загально визнаної регіональної структури і стратиграфії центральної частини щита можна припустити, що самими давніми осадками, що відповідають періоду його закладення, були нижні частини розрізу бузької, інгуло-інгулецької та криворізької серій. Ці серії беруть участь в будові симетрично розповсюджених по краях орогену блоків чи зон складчато-надвигової будови, причленованих (акретованих) до граніт-зеленокам'яних мегаблоків.

На заході – в нижній частині розрізу Голованівського блоку – залягає кошаро-олександрівська світа, яка включає великі (потужністю до 100 м) пачки метауламкових кварцитів з заокругленими цирконами, створеними не пізніше 2,6 млрд. років тому [1-3].



Крім кварцитів в складі світи є високоглиноземисті гнейси, лужні грануліти, метаультрабазити та інші менш поширені породи. Не дивлячись на різні погляди в оцінці об'єму і породних співвідношень в бузькій серії навіть в спеціалізованих монографіях [1-3], безперечний їх трансгресивний характер у порівнянні з мілководними осадами кошаро-олександрівської світи та більш глибоководними мармур-залізисто-кременистими розрізами хащувато-завалівської світи, які також асоціюють з лужними гранулітами та метаультрабазитами.

Судячи зі складу нижньої світи бузької серії, цілком можливо, що вона утворилась за рахунок розмиву уже зденудованої до того часу протодуги і накопичувались поблизу схилів на базитовій основі. Склад хащувато-завалівської світи – широке розповсюдження в ній metabазит-метаультрабазитових асоціацій в поєднанні з метаседиментами, дозволило ряду авторів [1-3] порівнювати їх з офіолітами. Ці дані визначають основу розрізу бузької серії як верхню частину архейської чи палеопротерозойської океанічної кори периферійних і центральних частин міждугового басейну.

Віковим еквівалентом порід бузької серії, але накопиченим на континентальному фундаменті Середньопридніпровської протодуги, є розрізи порід нижніх частин інгуло-інгулецької та криворізької серій – до корелюючих між собою, родіонівської і гданцівської світ. Також як і на заході, тут встановлюється трансгресивний характер їх розрізів, але зате широко представлені метаконгломерати (скелеватська світа). Характерно, що товщі залізисто-кременистих порід з глибоководних частин розрізів і на заході, і на сході регіону (хащувато-завалівська та родіонівська світи) подібні і коливаються від перших десятків до багатьох сотень метрів. Значне залізонакопичення, характерне для саксаганської світи, можливо обумовлене формуванням її в прогині лиманного типу за рахунок апвелінга вод із сполученого з ним головного міждугового басейну.

На основі викладеного, можна вважати, що реконструйований Бузько-Криворізький басейн, в якому накопичувались бузька і, частково, інгуло-інгулецька та криворізька серії був, напевне, рифтогенним. Розкриття його, судячи з наявності бузьких офіолітів, досягло рівня будування океанічної кори. Можна представити, що він являв собою складну систему декількох зон розтягування різної потужності, а можливо і віку, розділених «осколками» архейської континентальної кори: від залишкових останцевих ділянок океанічної кори конкського віку (не виключено, що її представляють перероблені metabазит-метаультрабазитові асоціації Липнязького куполу) до початкових етапів розтягнення, фіксованих metabазитами і метаультрабазитами зеленоріченської, новокриворізької і скелеватської світ. Останці порід конкської серії виявлені в межах родовища «Червоний Шахтар» і на Михайлівському рудному полі Західно-Інгулецької смуги. Саме в цьому басейні накопичувались вихідні рудні концентрації широко відомих залізних, а також вольфрамівмісних (зеленоріченська світа), ураноносних (скелеватська світа), германієвмісних (артемівська і саксаганська світи [1]) та можливо інших рудоносних відкладів. Бузько-Криворізький басейн, ймовірно, існував відносно недовго і на зміну йому прийшов новий – Гданцівсько-Чечелівський. Але, відбулося це тільки після закриття першого, що фіксується неузгодженням в основі гданцевської світи, чому передували складчастість і метаморфізм, що видно зі складу гданцівських конгломератів і, напевне, магматизм, що свідчать про умови зіткнення-об'єднання Середньопридніпровської та Білоцерківсько-Середньобузької дуг. Вік цього важливого етапу розвитку регіону ще точно не визначено. На заході і сході центральної частини щита він може фіксуватись або віком орієнтовно 2,6 млрд. років тому – верхньою границею формування бузької серії і віком гранітоїдів (ганнівських, тетіївських [4]), або приблизно 2,4 млрд. років – по віку гранітів савранського типу [4]. Трохи молодший (2,3 млрд. років) вік метаморфізму порід новокриворізької світи [4], встановлений за пойкилітовими цирконами із амфіболітів. Тому не можна виключати і поетапне закриття Бузько-

Саксаганського басейну, послідовно відтворене у наведених датах. В цей етап сформувались родовища залізистих кварцитів саксаганської і артемівської світ (в тому числі і германієносних) і залізородні родовища вапняково-метабазитової залізисто-кременистої формації заходу регіону; стратиформні рудопрояви вольфраму нижнього стратиграфічного рівня Західно-Інгулецької смуги, Ніколо-Козельське родовище ураноносних конгломератів і, ймовірно, поля сподуменових пегматитів [5]. Але найбільш продуктивно рудоутворення проходило пізніше – після наступного розкриття-закриття уже Гданцівсько-Чечеліївського басейну. З геодинамічних позицій цей басейн кваліфікується як дуговий. Адже саме задугові басейни являються найбільш молодими в акреційних системах. Припускається, що вони виникають після зіткнення дуг та континентів в результаті «відступу» дуги від континенту і мають рифтогенну природу. Цьому не суперечить їхня геологічна позиція (вони розташовані в тиловій частині Білоцерківсько-Середньобузької дуги), ні вміст осадків Гданцівсько-Чечеліївського басейну. На першому етапі вони переважно вулканогенні (кам'яно-костуватська і спасівська світи), а потім флішоїдні (рощахівська, чечеліївська світи).

Закриття басейну пройшло приблизно 2,0 млрд. років тому і фіксується віком гранітів кіровоградського і новоукраїнського комплексів. Характерною відмінністю цього етапу було те, що він не виявляє чіткої (вузької) структури. Адже західна і східна шовні зони по краях орогену сформувались в основному в період закриття попереднього Бузько-Криворізького басейну. Напевне, причиною цього були особливості геодинамічних умов його утворення – швидше за все як результат так званого розсіяного рифтогенезу. В таких умовах не утворювались значні ділянки океанічної кори (про що свідчить відсутність офіолітів цього віку). Тому при закритті басейну поглинання океанічної кори було обмеженим, і в орогені добре збереглися його найбільш молоді осадки – формації чечеліївської і рощахівської світ утворюють широкий (~150 км в поперечнику) антиклінорій Інгульського мегаблоку.

В інтервалі ~2,1-2,0 млрд. років в основному завершила своє формування не тільки акреційно-островодужна система цієї частини щита, але і були об'єднані всі його мегаблоки. Іншими словами, тоді на щиті домінували «акретизовані» геодинамічні умови. В цих умовах у даному регіоні утворились родовища залізистих кварцитів гданцівсько-родіонівського рівня і так звані багаті, метаморфічні руди саксаганського типу. Вважається (за Г.В. Тохтуєвим та ін. [6, 7]), що причиною їхнього утворення було горизонтальне стиснення Саксаганської смуги. Це призвело до поперечного розплющування крутопоставлених пластів залізистих кварцитів саксаганської світи та утворенню великих будин. При цьому сутність метаморфогенного рудоутворення полягала у виносі кварцу із міжсудинних пережимів і утворенні реліктово-кульових «стовпів» магнетитових руд. Характеристика рудоутворення цього типу відома з робіт Я.М. Белєвцева. Тут важливо відзначити, що такі руди відомі лише в колізійних зонах, облямовуючи Середньопридніпровський мегаблок – в тому числі і в Білозерській структурі, також прилягаючої до колізійного шва. На заході регіону – через відсутність великих пачок порівняно слабо метаморфізованих залізистих порід кварцито-сланцевого типу – тобто в товщах інших геологічних параметрів – багаті залізні руди розглянутого типу не утворювались.

В цей же період закриття басейну в результаті поглинання його кори під межі рами, в його «бортах» сформувались симетрично розповсюджені золоторудні родовища – Майське (на заході), Клинівське, Східно-Юріївське (на сході) та ряд проявів в породах інгуло-інгулецької серії з вмістом Au до 1-3 г/т. Ймовірно джерелом їх зруденіння була субвулканічна кора, що відзначалась підвищеними кларками низки рудних компонентів (включаючи і золото), які екстрагували із поглинаючої кори дна басейну, що закривався, та переносились разом із флюїдами у знову збудовану або перебудовану континентальну кору.

В цьому сенсі джерела золотого зруденіння цього типу і граніто-зеленокам'яних областей в принципі близькі. Адже в обох випадках склад поглинаючої кори був майже базитовим. Безперечно, також, що «рудну передісторію» регіону визначала і сама рифтогенна природа обох, що послідовно формувались, басейнів, а саме: накопичення в ньому уламкових порід, привнесених з граніто-зеленокам'яних областей, що руйнувались, можлива наявність евапоритів (включаючи і літійвмісних) і, насамкінець, сама субокеанічна кора з ймовірними рудними гідротермалітами за рахунок типових для таких басейнів підводних гідротермальних джерел. Так, аналіз осадконакопичення в сучасних океанічних рифтах корінним чином змінив погляди на роль ендегенної речовини в осадовому процесі. Адже дно цих структур порівнюють з «решетом», крізь котре надходить ендегенна речовина, що розчиняється в водах басейну або осідає на геохімічних бар'єрах порід його дна. Тому не випадково з заключним етапом закриття басейну (2,1-2,0 млрд. років) – пізньоорогенним ультраметаморфізмом і магматизмом – зв'язані поля сподуменових пегматитів і родовища урану калієвої групи як на заході (в Побужжі), так і на сході, в Західно-Інгулецькій смузі (родовище «Червоний Шахтар»), а також проявів вольфраму верхнього стратиграфічного рівня – в чечеліївській та родіонівській світах.

Важливо також відзначити, що основний урановорудний процес пройшов пізніше колізії – біля 1,8-1,7 млрд. років. Він пов'язаний з етапом крихких деформацій в альбітитах і вік його «відірваний» від віку гранітів більш ніж на 200 млн. років, але практично співпадає з віком Корсунь-Новомиргородського плутону. Відомий великий рудопрояв урану – Андріївський – в гранітах рапаківі південно-західного контакту плутону, а найбільше в Україні і Європі за запасами Новокосятинівськєта розташовані поруч Докучаєвське, Літнє, Лісне, Апрельське родовища локалізовані південніше плутону в лічених кілометрах від нього. Тому, не дивлячись на те, що більшість родовищ урану розташовані в об'ямуванні Новоукраїнського масиву чи в ньому самому і звичайно їх утворення прямо чи опосередковано зв'язують з більш пізнішими етапами його становлення, не можна, напевне, недооцінювати у формуванні та перерозподілі зруденіння роль самого Корсунь-Новомиргородського плутону. Тільки ураном, напевне, не обмежується роль цього плутону в реактивації зруденіння. Наприклад, в тому ж південно-західному екзоконтакті плутону рідкіснометалеві пегматити зазнали накладених високотемпературних змін і являються «метапегматитами». За А.Х. Бакаржієвим та ін. [5], такі перетворення призвели до формування після пегматитових петалітових руд. І хоч ізотопний вік цих перетворень пегматитів достеменно не відомий, геологічна позиція пегматитових полів дозволяє пов'язувати їх утворення із впливом плутону.

Не виключено, що вміст у альбітитах урану та інших компонентів – результат екстракції останніх та перерозподілу із вміщуючих порід тріщинними водами, циркулюючими в молодому на той час орогені центральній частині щита. Не зупиняючись на обґрунтуванні цього процесу, розглянутого в роботі [1], важливо відзначити, що нагрівання цих вод, а, можливо, і їхній склад, були пов'язані з етапами становлення магматитів Корсунь-Новомиргородського плутону. З цих позицій задовільно пояснюється залежність складу уранових руд від складу вмісних порід, що промиваються тріщинними водами. А саме: спочатку їхнє збагачення елементами групи заліза порід криворізької серії і, навпаки, практична «стерильність» в цьому відношенні чечеліївських гнейсів, новоукраїнських і кіровоградських гранітів. Інакше як пояснити наявність лише в Криворіжжі скандій-ванадієвих руд, пов'язаних з урановими. Адже в Інгульському мегаблосі такі руди практично «монометалеві». Аналогічні процеси мали місце і в придайкових полях Західно-Інгулецької зони протягом багатократної тектоно-магматичної активізації (ТМА) північно-західних розломів. Період рудоутворення, що розглядається, очевидно, не обмежувався лише формуванням ураноносних альбітитів. В цей же етап утворювались і метасоматичні залізні руди первомайського чи жовторіченського

типів. Від багатих руд згаданого саксаганського типу вони відрізняються високою щільністю і мінеральним складом – широким розвитком силікатів – лужних піроксенів, а також амфіболів. Не виключається, що вони утворились по раніше сформованим залізним рудам саксаганського типу.

Із подальшою неопротерозойською еволюцією ряду геодинамічних обстановок, напевне, пов'язані уже етапи «післяісторії» родовищ регіону, хоча, можливо, поки що не відкриті родовища, утворені і в цей період часу. Так, наприклад, в рифеї в південно-західній частині щита вздовж Подільської зони розломів допускається наявність крупномасштабного здвигу, що змістив південну частину Західноінгулецько-Криворізької смуги в положення Фрунзівсько-Одеських аномалій [1]. Походження цього здвигу пов'язується з континентальним продовженням трансформного розлому, утвореного в неопротерозої при розкритті Прототетіса. Оскільки цей здвиг характеризується очевидною роздвиговою складовою – до нього (в північно-західній частині) приурочені уламкові породи та трапи каменської товщі венду, а його південно-східна частина розміщена як раз «на шляху» зносу в рифеїуранорудного басейну, що розвивається в напрямку базису ерозії того часу – Прототетіса, то можна допустити важливе рудонакопичуюче значення Подільського здвигу для багатих уранових руд так званого типу «неузгодження». Як відомо, такі руди концентруються вздовж поверхні неузгодження в породах обох структурних поверхів і мають вік від 0,8 до 1,4 млрд. років. Саме в ці рамки вміщується вік відомих уранових рудопроявів, що контролюються здвигом в його північно-західній частині [1-3].

Якщо древнє (1,75 млрд. років) високотемпературне уранітове зруденіння Михайлівського родовища приурочене до Західно-Інгулецького здвигу та пов'язане із завершальним процесом формування ультраметаморфічних гранітів, то всі наступні стадії уранової мінералізації приурочені до кількох етапів ТМА та гіпергенезу. В межах Михайлівського рудного поля більшість стадій уранової мінералізації пов'язані в основному з неопротерозойською еволюцією геодинамічних обстановок і являються продуктом «післяісторії» родовищ Західноінгулецької смуги. На цих стадіях важливу роль відіграють уже настуран і уранові черні. Вік наймолодшого зруденіння на Михайлівському родовищі та інших рудопроявах одноіменного рудного поля коливається в межах 5-7 млн. років, що майже відповідає антропогеновому періоду кайнозою, картування активізації геоструктур на якому (а саме у пізньопліоцен-четвертинний час) і є метою даного дослідження.

Вивчення і картографування новітніх рухів земної кори та геоструктур, які створені або активізовані у результаті їхнього прояву, є одним з найважливіших сучасних наукових напрямків структурної геології і геотектоніки, що здобуває усе більш чітку прикладну спрямованість. Теоретичною основою застосування неоструктурних досліджень у пошукових цілях є уявлення про те, що новітній етап зіграв важливу роль у розміщенні і міграції багатьох видів родовищ корисних копалин. Особливе значення при цьому має останній – пізньопліоцен-четвертинний підетап, оскільки саме в цей час остаточно оформилися геоструктури, що спостерігаються зараз, і сучасний рельєф. Основою цих досліджень є встановлена кореляційна залежність розміщення родовищ корисних копалин від режиму новітніх рухів. Особливу важливість набуває застосування структурно-геоморфологічних та аерокосмічних досліджень, оскільки вони здатні швидко (за часом), недорого (за витратами) і ефективно (за кінцевими результатами) відтворити будову різних рівнів земної кори, що переконливо доведено вітчизняним і закордонним досвідом.

При вивченні активних на новітньому етапі розвитку геологічних структур нами застосований такий комплекс методів: 1) морфоструктурний аналіз топооснови, що включає в себе вивчення морфографічних і морфометричних особливостей рельєфу і зіставлення отриманих результатів з апіорними геолого-геофізичними даними; площове

дослідження перших виконане нами за допомогою методу дирекційних напрямків і аномалій, а других – морфометричного методу пошуку геоструктур, основи якого розробив В.П. Філософов [8]; 2) структурно-геологічне дешифрування й інтерпретація великомасштабних і висотних (середньомасштабних) фотографічних і радіолокаційних зйомок; 3) візуально-інструментальне дешифрування і інтерпретація дрібномасштабних оригінальних космоматеріалів і синтезованих зображень, отриманих за допомогою різних оптико-електронних засобів.

Принципи складання карти новітньої тектоніки УЩ масштабу 1:500 000 за морфографічними, морфометричними і аерокосмічними даними (включаючи розкриття основних застосованих понять та термінів, класифікаційні аспекти, методи та методичні прийоми дослідження) нами детально описані в роботі [9].

**Активні на новітньому етапі розвитку геоструктури центральної частини УЩ.** В результаті картування встановлені і вивчені об'єкти двох типів – лінеamenti і кільцеві геоструктури (КС). Детальне вивчення цих структур показало, що перші відображають, головним чином, різного порядку лінійні розривні структури, а другі – об'ємно-площові неоднорідності тектоносфери.

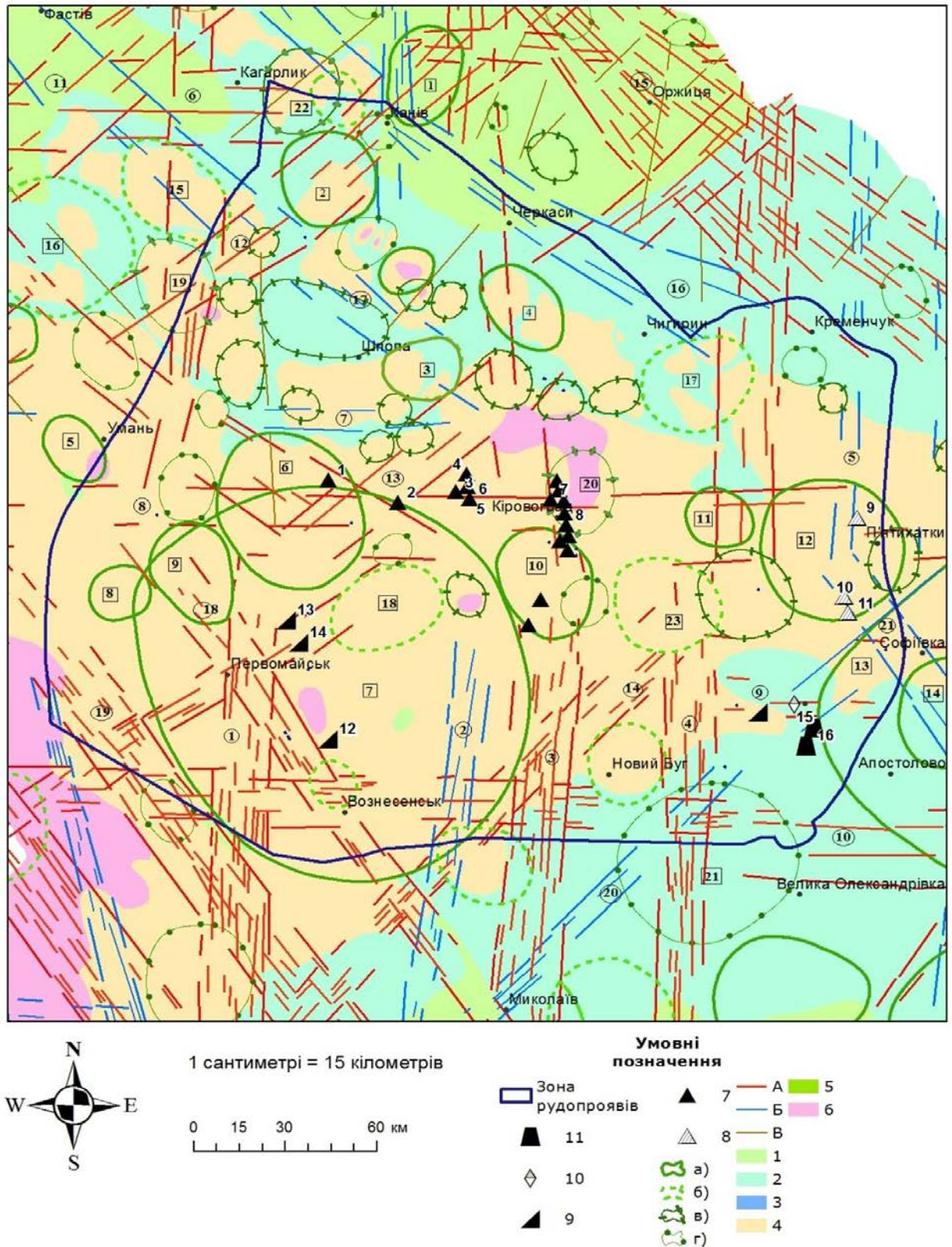
*Лінійні геоструктури.* У межах досліджуваної території лінеamentні зони (ЛЗ) утворюють дві домінуючі (ортогональна  $0^\circ \perp 90^\circ \pm 5^\circ$  і діагональна  $40\text{-}50^\circ \perp 310\text{-}320^\circ$ ) і одну діагональну пригнічену ( $60\text{-}70^\circ \perp 330\text{-}340^\circ$ ) систему, які представлені прямолінійними (або близькими до таких) сполученими і взаємно перпендикулярними ЛЗ відповідно домінуючих і пригнічених напрямків (рис. 2).

Визначення рангу лінійних структур (ЛС) ускладнено в зв'язку з тим, що дослідженнями охоплена відносно невелика за площею територія. Вирішення цього питання можливо лише при постановці дрібномасштабних досліджень з охопленням великих площ (або ж істотному збільшенні району досліджень у використаному нами масштабі 1:500 000). В якості першого кроку у класифікації виявлених активних на новітньому етапі розвитку ЛС, пропонується зроблений нами деякою мірою умовний поділ їх на трансрегіональні, регіональні 1-го і 2-го порядків ЛЗ й одиночні лінеamenti.

ЛЗ домінуючих систем є багатоконпонентними як по кількості лінеamentів, що входять до складу зон, так і по загальній кількості виявлених ЛЗ; вони чітко відображені на топокартах і АКМ і, як правило, знаходять підтвердження при аналізі геолого-геофізичних даних [9, 10 та ін.].

*ЛЗ домінуючої системи  $0^\circ \perp 90^\circ (\pm 5)^\circ$*  представлені п'ятьма субмеридіональними і п'ятьма субширотними ЛЗ (див. рис. 2). Відстань між як субмеридіональними (змінюється від 15 до 70 км, складаючи в більшості випадків 30-35 км), так і субширотними (від 15 до 70 км, у більшості випадків – 20-30 км) зонами досить постійна. Іноді фіксується зближене між собою їх розміщення (до 15-20 км), що дозволяє допустити утворення ними більш великих лінійних структур. Відзначається досить значна близькість субширотних і субмеридіональних ЛЗ за такими характеристиками, як довжина і ширина (потужність). Довжина перших складає 75-490 км (як правило, 400-450 км), а других – 120-720 км, але у більшості випадків також 400-450 км (при цьому усі вони хоча б в одному напрямку виходять за досліджуваний район); а ширина, відповідно, – 3-25 км проти 4-40 км. ЛЗ ортогональної системи чітко витримані за напрямком (усі вони вкладаються в її обмежувальні рамки). У цілому для ЛЗ субмеридіонального напрямку характерна перевага ерозійних ландшафтних індикаторів, а для субширотних – вододільних, унаслідок чого практично всі субмеридіональні зони інтерпретовані нами як скиди (у той же час окремі ділянки однієї з них, – у межах центральної частини УЩ, характеризуються зворотним співвідношенням цих двох основних груп ландшафтних індикаторів – виділена нами як скидо-підкид), а більшість субширотних – як підкиди (три, одна як скидо-підкид, одна – підкидо-здви́г).





**Рис. 2.** Карта новітньої тектоніки Українського щита та його схилів (центральна частина). I – контур центральної частини Українського щита, що розглядається в роботі; сумарні амплітуди пізньопліоцен-четвертинних вертикальних рухів земної кори (за морфометричними даними), мм: 1 – 0-25; 2 – 25-50; 3 – 50-75; 4 – 50-100; 5 – 75-100; 6 – 100-150; лінеаментні зони: А – трансрегіональні і регіональні 1-го порядку; Б – регіональні 2-го порядку; В – одиничні лінеаменти; кільцеві структури : а) – успадкованого; б) – неуспадкованого; в) – проміжного; д) – безкореневогоморфогенетичного типу.

ЛЗ домінуючої системи  $40-50^\circ \perp 310-320^\circ$  представлені чотирма ЛЗ північно-східного напрямку і п'ятьма зонами північно-західного орієнтування. Відстань між ЛЗ північно-східного напрямку змінюється в межах від 15 до 90 км, складаючи в більшості випадків 30-50 км. Відстань між північно-західними зонами на небагато менше (від 15 до 50 км), як правило, 25-40 км, однак сталість «кроку» фіксується також чітко (див. рис. 2). Північно-західні та північно-східні зони близькі між собою за довжиною і шириною: установлена довжина перших складає 80-570 км (як правило, перевищує 250 км) при ширині 3-25 км (у середньому 5-8 км), а других – 110-600 км (у більшості випадків – близько 400 км), при ширині 5-25 км (як правило, до 10 км). Система характеризується недостатньою витриманістю за напрямком. При досить великих її обмежувальних рамках ( $10^\circ$ ) три ЛЗ виходить за них: максимальне відхилення (в усіх випадках тільки у більшу сторону) –  $2^\circ$  для північно-східної зони і  $5^\circ$  – для північно-західних. За своєю морфологією (кінематикою) дві північно-східні ЛЗ віднесені нами до здвигів (тобто вони дешифровані по рівній або приблизно рівній кількості ерозійних і вододільних індикаторів) і одна (Вілківсько-Полтавська) інтерпретована як здвиго-підкид (перевага вододільних індикаторів). Всі північно-західні ЛЗ інтерпретовані як здвиго-скиди.

ЛЗ пригнічених систем утворені сполученими і взаємно перпендикулярними зонами пригнічених напрямків. Головні їх відмінності від домінуючих полягають в істотно меншому кількісному складі (як по кількості виявлених ЛЗ, так і загальній чисельності лінеаментів, а також по кількості елементарних лінеаментів у складі зон), більш часто прослідковується одиночна (а не зональна) форма поширення лінеаментів. Як правило, вони значно рідше знаходять підтвердження геолого-геофізичними даними (часто підтверджуються лише фрагментарно), іноді менш чітко виражені на топокартах і АКМ.

ЛЗ пригніченої системи  $60-70^\circ \perp 330-340^\circ$  представлені всього двома структурами 2-го порядку – по одній у кожному з напрямків. Жовтоводсько-Кирилівська скид виходить за обмежувальні рамки системи (максимальне відхилення у меншу сторону сягає  $4^\circ$ ). За кінематичною характеристикою друга – Ягорлицько-Херсонська зона є здвиго-скидом.

У стислому виді відомості про виділені ЛЗ наведені в табл. 1 (включаючи їх номер на карті, назву, ранг, довжину, ширину, азимут простягання, морфологічний: тип, співпадання з відомими розломами і пошукову перспективність).

**Таблиця 1.** Основні відомості про активні на новітньому етапі розвитку ЛЗ центральної частини УЩ

№	Назва, ранг	Азимут	Д / Ш, км	К / Д <sub>1</sub> - Д <sub>2</sub> , км	К <sub>ер</sub> / К <sub>вод</sub>	Співпадання з відомим розломом	Морфо-тип	Пошукова перспективність
<i>Лінеаментні зони домінуючої ортогональної системи <math>0 \perp 90^\circ (\pm 5^\circ)</math></i>								
1	Брагинсько-Одеська, Т	355-0	490 <sup>x2</sup> /15-20	112/5-45	70/45	++Першотравнево-Трактеміривський	С	Ni, W, U (2, 154)
2	Чернігівсько-Гнилосланецька, 2	359-2	450 <sup>x2</sup> /7-10	42/5-30	28/15	–	С	Au, Ag, U (163-165)
3	Ніжинсько-Миколаївська, 1	359-1	450 <sup>x2</sup> /16-25	92/5-60	40/55	++ Кіровоградський, Миколаївський	С-П	BB, gp, U (44-54, 167)
4	Шосткінсько-Скадовська, 1	359-1	410 <sup>x2</sup> /12-25	88/5-45	58/32	++ Херсонський, Західно-Інгулецький	С	Mo, BB, U (55, 56)
5	Миргородсько-Кременчуцька, 2	0-1	170 <sup>x1</sup> /5-9	18/3-35	12/7	+ Криворізько-Кременчуцький	С	BB, U (61, 62, 65)
6	Львівсько-Миргородська, 1	90-91	680 <sup>x2</sup> /20-35	72/6-70	30/45	++ Андрушівський	П	Cu, Pb, Zn, P, Mo, gp, Pb, Sn, Fe, BB, ПБ, U (96-99, 127-129, 131, 137, 138, 143-145)
7	Тульчинсько-Славянська, 2	89-90	200/4-6	35/5-30	12/25	+	П	TR, Ni, ПБ, BB, U (124, 170-172, 180)
8	Хотинсько-Дніпропетровська, 1	89-90	720 <sup>x1</sup> /7-14	48/10-50	18/32	+ Суботсько-Мошоринський	П	Fe, Ti, gp, Rm, Au, Cu, Pb, Sn, go, Ti, Fe, Ni, BB, U (11-14, 16-40, 45-47, 50-54, 62, 69, 71)
9	Криворізько-Амвросієвська, 1	90-91	480 <sup>x1</sup> /25-27	94/8-20	42/56	++ Девладівський, Бобринецький	П-3	Mo, TR, F, Rm, Fe, Mn, U (57, 58, 60, 63, 65, 168, 176, 181)
10	Котовсько-Тельманівська, 1	88-90	725 <sup>x2</sup> /8-30	122/5-40	70/55	+ Конкський	П-С	Fe, Mo, Ni, gp, gp, cor, TR, F, Rm, Mn, U (142)

№	Назва, ранг	Азимут	Д / Ш, км	К / Д <sub>1</sub> - Д <sub>2</sub> , км	К <sub>ер</sub> / К <sub>вод</sub>	Співпадання зони з відомим розломом	Морфо- тип	Пошуковаперспектив ність
<b>Лінеаментні зони домінуючої діагональної системи 40-50<sup>0</sup> ± 310-320<sup>0</sup></b>								
11	Могильово-Ніжинська, 1	48-52	390 <sup>x1</sup> /5-15	56/9-50	35/24	++Немирівський	3-С	Fe, TR, W, U (1, 123-126, 130, 132-137, 139, 143-145)
12	Крижопільсько-Варшавська, 1	45-50	420 <sup>x2</sup> /18-25	55/6-40	27/29	+ Володарський	3	Rm, Ni
13	Фрунзовсько-Миргородська, Т	45-52	400 <sup>x2</sup> /10-20	52/8-30	26/28	++	3	Mo, BB, ПВ, U (2-6, 8, 11, 13-41, 142, 154, 157, 167)
14	Вілковсько-Полтавська, 1	42-46	600 <sup>x1</sup> /8-25	72/8-50	31/42	++ Алібейський, Чорноморський	3-П	Au, Ag, BB, U (163, 164)
15	Чорнобильська-Маріупольська, Т	300-305	850 <sup>x2</sup> /11-30	350/5-50	205/170	++ Сорочинський, Куйбишевський, Дніпродзержинський	С-3	Rm, TR, F, gp, Al, Cu, Sn, Fe, BB, U (65, 73, 74, 168, 169, 176, 181, 182)
16	Вільчансько-Вишгородська, 2	310-315	80 <sup>x1</sup> /10-11	4/10-60	3/2	+	3-С	Ti, P, Rm, Sn, W
17	Олевсько-Фастівська, 1	310-315	150/16-25	9/6-25	6/4	++ Центральний	3-С	Ti, P, Rm, W, Mo, Au, U (143-145)
18	Сарнинсько-Тетіївська, 1	315-325	425 <sup>x2</sup> /12-18	49/6-47	30/21	++ Сарнинсько-Варварівський, Смільчинський	3-С	Fe, Ti, Ni, Rm, W, Cl, Au, U (11, 13, 14, 16, 22, 23, 25, 26, 28, 116-119, 121, 122, 128-130, 132-136, 140, 152, 154, 157, 158)
19	Шепитівсько-Очаківська, 1	315-325	570 <sup>x2</sup> /5-15	57/7-50	36/24	++ Хмільницький, Бузький, Гвоздівський	3-С	Fe, Ni, W, TR, Rm, U (112, 125, 140, 141, 146-148)
<b>Лінеаментні зони пригніченої діагональної системи 60-70<sup>0</sup> ± 330-340<sup>0</sup></b>								
20	Ягорлицько-Херсонська, 2	60-62	150/7-8	8/12-30	6/4	-	3-С	ПВ
21	Жовтоводсько-Кирилівська, 2	326-330	150 <sup>x2</sup> /10-14	28/4-35	16/14	+	3	Fe, Cu, Au, U, (61, 62, 64, 65)

*Примітка:* ранг ЛЗ: Т – трансрегіональна. 1 – регіональна 1-го порядку, 2 – те ж 2-го порядку; С – скид; П – підкид; 3 – здвиг; Н – надвиг; ++ – ЛЗ повністю співпадає з відомим розломом; + – те ж, але частково (фрагментарно); – – ЛЗ не відображається в показниках, що аналізуються; ВВ – вуглеводні (нафта, газ), ПВ – підземні води тріщинного типу; <sup>x1</sup> – ЛЗ виходить за межі району в одному напрямку; <sup>x2</sup> – те ж, але в обох напрямках. В дужках після U – номери родовищ та рудо проявів з карти в роботі [10]

На закінчення відзначимо кілька обставин, які мають відношення до усіх описаних систем: 1) до складу кожної з виділених систем, крім ЛЗ, природно, входять одиночні (локальні) лінеаменти, частково показані на рис. 2, однак не описані в тексті; 2) настільки чіткий поділ зон по системах ні в якій мірі не можна розуміти однозначно: безсумнівно між ними існують усілякі типи взаємин, зокрема, у генетичному і кінематичному планах. У першу чергу це відноситься до здвигів і близьких до них за механізмом утворення і способом прикладання тектонічних сил (навантаження) розривних порушень, що часто утворюють у плані складні «віруючі» малюнки, які можуть поєднувати кілька сусідніх систем.

**Кільцеві геоструктури.** Активні на новітньому етапі розвитку КС УЩ та його схилів дешифруються на АКМ у виді площових аномалій фототону і структури малюнка. На сучасній поверхні вони виражені в особливостях розподілу абсолютних висот і ступеня розчленування рельєфу, а також закономірним розташуванням (у виді дугових і кільцевих контурів) форм рельєфу різного генезису й інших компонентів ландшафту.

Залучення геолого-геофізичних матеріалів, у тому числі отриманих у результаті перевірки виділених об'єктів, дозволило визначити геологічну природу кільцевих аномалій, класифікуючи їх як склепінчасті підняття, гнейсові овали, гранітогнейсові і мігматитові куполи, гранітоїдні масиви, осередкові структури, ізометричні блоки фундаменту, накладені западини і ін.

Крім того, у залежності від характеру відображення виявлених активних на новітньому етапі розвитку КС у морфометричних показниках відповідно до методики, розробленої В.П. Філософовим [8] і доповненої В.Г. Верховцевим [9, 10 та ін.], вони розділені на декілька морфогенетичних типів: 1) успадковані, 2) неуспадковані, 3) поховані (даний тип структур на даній території встановлюється дуже рідко, що є однією зі специфічних рис), 4) проміжні (виділення цього типу структур уперше зроблено В.Г. Верховцевим), 5) безкореневі.

*Успадковані КС* мають фіксоване в плані положення центральної частини протягом,



як мінімум, пізньопліоцен-четвертинного часу, відображаються на всіх статичних морфометричних картах і характеризуються збігом контурів, виділених на всіх побудованих базисних і вершинних поверхнях (розбіжність не повинна перевищувати 1/3 розміру узагальненого контуру), в більшості випадків вони чітко виражаються в морфографічних даних і сумарних амплітудах новітніх вертикальних рухів земної кори, а також підтверджуються апіорними геолого-геофізичними матеріалами.

*Неуспадковані КС* (з мігруючою в плані центральною частиною) – також знаходять відображення на всіх статичних морфометричних картах (обов'язково на всіх базисних і вершинних поверхнях), але при цьому величина зсуву контурів відносно один одного перевищує 1/3 розміру узагальненого контуру. Це свідчить про зміну напрямку розвитку структури в часі (швидкий підйом, повільний підйом, опускання і т.п.) або ж просторову міграцію, як мінімум, склепінчастої (центральної) її частини.

*Проміжні КС* займають проміжне положення між успадкованими і безкореневими об'ємно-площовими утвореннями (що власне і відображено в їхній назві): вони фіксуються по обох статичних морфометричних картах молодших порядків і однієї з таких поверхонь старшого порядку (у даному районі в більшості випадків це вершинна поверхня 4-го порядку), часто знаходять відображення в сумарних амплітудах пізньопліоцен-четвертинних рухів земної поверхні і практично завжди – у морфографічних показниках. Ці структури характеризуються успадкованим розвитком у простеженому часовому інтервалі, але мають менші розміри і менш глибоке, чим успадковані КС, проникнення (закладення).

*Безкореневі КС* обов'язково простежуються по статичним морфометричним картам молодших порядків і не знаходять відображення на старших, досить чітко фіксуються по морфографічним даним і в сумарних амплітудах новітніх рухів.

Усього виділено (на рівні досліджень масштабу 1:125 00) 23 активних на новітньому етапі КС, з них 14 успадкованого, 4 неуспадкованого, 3 проміжного та 2 безкореневого морфогенетичних типів. Розміри їх змінюються від 20x18 до 150x140 км, а передбачувана (розрахункова) глибина закладення (проникнення) – від 9 до 75 км (рис. 2).

Виявлені 14 активних КС успадкованого типу за генетичними ознаками віднесені до метаморфогенних, магматогенних і тектоногенних і інтерпретовані в структурно-геологічному відношенні як склепінчасто-брилові підняття, гранітогнейсові (гранітомігматитові) куполи, структури осередкового типу, відносно підняті (рідше опущені) ізометричні блоки фундаменту, гранітоїдні масиви.

На жаль, наявного апіорного геолого-геофізичного матеріалу недостатньо для однозначного визначення геологічної природи об'ємно-площових утворень регіону. Реальна оцінка результатів досліджень затримується через істотні тимчасові розриви між дешифруванням топоматеріалів і АКМ і перевіркою вірогідності виявлених об'єктів наземними геолого-геофізичними методами. Тому в значній мірі губляться основні переваги їх застосування – економія часу й витрат.

За латеральними розмірами вони розподіляються у такий спосіб: макроструктури – 2, мезоструктури – 7, мініструктури – 4 (мікроструктури в даній роботі не розглядаються). Розміри їх змінюються від 20x18 до 150x140 км, а передбачувана (розрахункова) глибина закладення (проникнення) – від 9 до 75 км.

Неуспадкованих КС виділено 4. У генетичному відношенні – це метаморфогенні, тектоногенні і рідше магматогенні структури, у структурно-геологічному – ізометричні блоки фундаменту, осередкові структури, гранітоїдні масиви. За латеральними розмірами чотири з них – мезоструктури (регіональні) і одна – мініструктура, інші – мікроструктури. Розміри їх від 10x8 до 42x32 км, а розрахункова глибина закладення (проникнення) – від 4 до 21 км.

КС проміжного типу віднесені до тектоногенного і рідше магматогенного генетичних

типів і в структурно-геологічному відношенні являють собою підняті ізометричні блоки фундаменту, гранітоїдні інтрузії і плікативні структури осадового чохла. Усього таких структур виявлено 3. За латеральними розмірами триз них відносяться до мезо-, всі інші – до мікроструктур. Розміри їх від 8x8 до 58x54 км, а глибина закладення (проникнення) – 4-29 км.

Безкореневі активні на новітньому етапі розвитку КС представлені 2 утвореннями. За латеральними розмірами усі вони є локальними і відносяться до мезо- (дві) і мікроструктур (вісім). Розміри їх змінюються від 8x8 до 32x30 км, а розрахункова глибина закладення (проникнення) від 4 до 16 км. У генетичному відношенні – це тектоногенні кільцеві утворення, у структурно-геологічному – структури осередкового типу і плікативні осадового чохла.

Всі виявлені в межах УЩ та його схилів активні на новітньому етапі розвитку КС похованого морфогенетичного типу мають діаметр менш 10 км і відносяться до мікроструктур, тому при даному дослідженні не розглядаються.

Відомості про виявлені активні на новітньому етапі КС приведені в табл. 2. (включаючи номер структури на рис. 2, її назву, розміри, морфогенетичний тип, особливості відображення в сумарних амплітудах пізньопліоцен-четвертинних вертикальних рухів земної кори, розрахункову глибину закладення (проникнення), характер взаємин з лінеаментами, передбачувану структурно-геологічну інтерпретацію і пошукову перспективність).

**Таблиця 2.** Основні відомості про активні на новітньому етапі розвитку КС центральної частини УЩ

№	Назва, розміри (діаметр), км	Відображення на картах						Розрахункова глибина проникнення, км	Взаємвідношення з лінеаментами	Структурно-геологічна інтерпретація	Пошукова перспективність	
		Базисна 2 порядку	Вершинна 2 порядку	Базисна 4 порядку	Вершинна 4 порядку	Сумарні амплітуди	Морфографічні					Рельєф фундаменту
<b>Успадковані КС</b>												
1	Східно-Канівська, 33x25	++	++	+	++	+↑ 25 А	++	+↑	125-165	О-2, 3, 6, 16+3-12	ПБ+СОЧ	ВВ, Cu
2	Східно-Богуславська, 33x32	++	++	+	++	+↑ 50 А	++	+↑	16-16,5	О-2, 3, 17+3-12	ПБ+СОЧ	Rm, W, Sn, Mo, Cu, Ti, P
3	Приольніанська, 20x18	++	++	+	++	+↑50-100 А	++	-	9-10	О-17, л	СОТ+СОЧ	Rm, W, Sn
4	Тясминська, 33x22	++	++	+	++	+↑ 50 А	+	+↑	11-16,5	О-33, 13, 16	СОТ+СОЧ	Ti, P, U (135, 139)
5	Західно-Уманська, 25x18	++	++	+	++	+↑ 100 А	+	+↑ Уманський тип синюрий	9-12,5	О-1, 7, 8, 18	ПБ+СОТ	Fe
6	Новоархангельська, 57x45	+	++	+	++	-	++	+↑	225-28,5	О-1, 13, 18+В-8, 13, 18	ПБ+СОТ	Fe, Ni, Ti, Rm, P, gp, U (8, 11, 13-15, 153)
7	Першотравнева, 144x126	+	++	+	++	+↑50-100А-Р	++	+↑	63-72	О-3, 8, 14, 19+В-1, 2, 10, 13, 18	СБП	Mo, Au, Ag, TR, Ni, U (2, 14, 16, 19, 20, 22, 23, 25, 26, 28, 35, 151-163, 165)
8	Західно-Голованевська, 20x18	++	++	++	++	-	++	+↑	9-10	3-18	СОТ+СОЧ	Fe, Ni, gp
9	Голованевська, 37x28	++	++	+	++	-	+	+↑	14-18,5	О-1, 8, 18	ПБ+СОТ	Fe, Ni, gp, Cu, Au, U (152)
10	Припершотравнева 3-я, 40x30	+	++	+	+	-	+	+↑	15-20	В-3, 8+3-3	ПБ	Mo, U (163, 164, 166)
11	Південно-Олександрійська, 22x20	++	++	+	++	+↑ 50 Р	++	+↑	10-11	В-4, 8	СОТ+СОЧ	Fe, gp
12	Жовтоводська, 50x48	++	++	+	++	-	+	+↑	24-25	В-5, 8, 21	ПБ+СОТ	Fe, Ni, gp, Mo, Cu, W, U (61, 62, 64)
13	Нікопольська, 150x140	++	+	+	++	+↑50-100А-Р	++	+↑	70-75	О-8, 10, 20, 15+В-9, 21, л	СБП	Fe, Ni, Mo, W, Cu, Au, Ag, U (60, 63, 66-)
14	Чортомлицька, 40x36	+	++	+	++	+↑ 50 Р	++	+↑	18-20	В-9, 21	ПБ+СОТ	Fe, Mo
<b>Неуспадковані КС</b>												
15	Тарашанська, 42x32	+	++	+	++	+↑ 50 А	++	+↑	16-21	О-1, 11, 17	ПБ+СОТ	Rm
16	Східно-Шпільська, 25x22	++	++	+	++	+↑ 50 А	++	+↑ Корсунь-Новомиргородський	11-12,5	О-13, 17, л	ПБ+СОТ	Ti, P, gp
17	Чигиринська, 38x32	++	++	+	++	+↑ 50 А	++	+↑ Ротмістровська	16-19	О-4, 16	ПБ+СОТ	W
18	Новочервона, 40x28	++	++	+	+	-	+	+↑	14-20	О-2, 8, 13	ПБ	Mo, TR
<b>Проміжні КС</b>												
19	Західно-Лисянкінська, 33x26	++	++	-	+	+↑50-100А	+	+↑	13-16,5	В-1, 12	СОТ+СОЧ	Rm

20	Кіровоградська, 30x22	++	++	-	++	+↑ 100 А	++	+↑	11-15	В-3,8	ПБ+СОЧ	Cu, Au, U (44, 45, 47-49, 51, 52, 54)
21	Білокриницька, 58x54	++	+	-	+	-	+	+↑	27-28	В-4, 10, л	СОГ+СОЧ	ВВ
<i>Безкореневі КС</i>												
22	Східно-Кагарликська, 30x25	++	++	-	-	+↑ 50 А	+	+↑	12,5-15	В-6, 16, л+3-6	СОГ+СОЧ	Мо
23	Петрівська, 32x30	+	+	-	-	-	++	+↑	15-16	О-4, 8, 14	СОГ	Мо

*Примітка:* ++ – повне, + – фрагментарне відображення КС у проаналізованих показниках, – – КС не відбивається у відповідних показниках; ↑ – співпадання контуру КС з областю підвищених значень ізобаз, ↓ – те ж відносно знижених, ↓↑ – складне сполучення в межах КС відносно підвищених та знижених значень ізобаз; А – співпадання КС з замкненою аномалією сумарних амплітуд або з згущенням ізобаз найбільш високих значень, які підкреслюють своїм розміщенням контур КС, Р – КС виражається в рисовці розріджених ізобаз (як правило, одна ізолінія); цифри біля стрілок (20-40 тощо) – значення ізобаз (в м), в просторовому розміщенні яких відбивається КС; 0 – КС оконтурена лінеаментами, В – КС знаходиться в вузлі перетину лінеаментів; З – КС розташована в області безпосереднього впливу ЛЗ, л – одиночний лінеамент; СБП – склепінчасто-брилове підняття, СОГ – структура осередкового типу, ГМК – граніто-мігматитовий (граніто-гнейсовий) купол, ГМ – гранітоїдний масив, ПБ – відносно припіднятий ізометричний блок (підняття), ОБ – відносно опущений ізометричний блок (западина), СОЧ – структура осадового чохла; ВВ – вуглеводні (нафта, газ), ПВ – підземні води тріщинного типу.

**Сумарні амплітуди пізньопліоцен-четвертинних вертикальних рухів земної поверхні.** Аналіз складеної карти сумарних амплітуд пізньопліоцен-четвертинних вертикальних рухів земної поверхні показує, що останні в межах досліджуваної території мають різко диференційований по площі характер прояву і досить значну інтенсивність: значення сумарних амплітуд змінюються від +20-25 на північному сході (в районі населених пунктів Канів – Черкаси) та південному сході (м. Новий Буг) до +100-150 м на окремих відносно невеликих за розмірами ділянках північніше міст Кіровоград, Шпола, на захід від Первомайська, на крайньому південному заході території та деяких інших місцях (див рис 2). При цьому найбільш загальні закономірності у площовому розповсюдженні сумарних амплітуд пов'язуються з контурами відомих порівняно великих структурних одиниць, а деталі підкреслюють розломно-мілкоблокову будову земної кори і в значній мірі контролюють розміщення КС.

Викладене вище підтверджує наступне:

1. Досить часто фіксується зв'язок підвищених значень ізобаз і замкнених контурів (аномалій) з ЛЗ. Дана закономірність встановлена вздовж лінеаментів практично усіх напрямків. Численні приклади наведені нами при характеристиці окремих регіонів і еталонних ділянок в ряді статей, а також це підтверджується при аналізі рис. 2 та табл. 2.

2. Чітко слідкується зв'язок між сумарними амплітудами і КС. При цьому контуру КС відповідає контур підвищених значень сумарних амплітуд пізньопліоцен-четвертинних вертикальних рухів земної поверхні. Зокрема, це слушно по відношенню до 20 відображеної у сумарних амплітудах КС (9КС з 11 виявлених не знайшли свого відбиття в амплітудному показникові). У випадку співпадання контуру КС з областю розповсюдження аномально підвищених значень ізобаз чітко розрізняються два варіанти: 1) контуру КС відповідає замкнена аномалія підвищених значень ізобаз (рідше частина цієї аномалії) або ж останні мають характерний малюнок згущених між собою ізоліній (при високих значеннях), які підкреслюють форму кільцевого утворення (такий вид взаємозв'язку встановлений для 5 КС; 2) контур КС підкреслюється характерною розрідженою (як правило, одна ізолінія з відносно низькими значеннями) рисовкою ізобаз у вигляді так званих «структурних носів» (цей вид взаємовідношень встановлений для трьох КС).

Детальніше характер цього взаємозв'язку можна дослідити при співставленні та аналізі наведених в роботі рисунків і таблиць, по окремим регіонам та еталонним ділянкам – в інших наших публікаціях.

Важливою характеристикою є просторова картина розподілу сумарних амплітуд новітніх рухів земної поверхні (в даному випадку пізньопліоцен-четвертинних), особливо в

межах таких складно побудованих територій.

Мінімальні сумарні амплітуди (+20-25 м) встановлені на північному сході (в районі населених пунктів Канів – Черкаси) та південному сході (м. Новий Буг).

Максимальні з зафіксованих значення сумарних амплітуд +150-200 м (на окремих відносно невеликих за розмірами ділянках північніше міст Кіровоград, Шпола, на захід від Первомайська, на крайньому південному заході території).

Більша частина охоплена значеннями ізобаз від +50 до 100 м (див. рис. 2).

**Закономірності просторового зв'язку родовищ урану з новітньою тектонікою та перспективи пошукових робіт.** Абсолютна більшість дослідників відмічає визначальну рудоконцентруючу і рудоконтролюючу роль різних тектонічних елементів в утворенні родовищ урану та виділяє велику кількість (не менш шести) епох уранового рудоутворення, в тому числі неоген-четвертинну, пов'язуючи їх, насамперед, з численними ТМА [1-7, 10 та ін.]. Тому є доцільним, на наш погляд, дослідити, як мінімум, просторовий взаємозв'язок основних неотектонічних параметрів з побудованої нами карти новітньої тектоніки центральної частини УЩ з розміщенням відомих уранових родовищ і рудопроявів. Основні результати цього дослідження графічно відображені на рис. 2 та стислому вигляді наведені в табл. 3. Не бажаючи нав'язувати свою думку читачеві, ми не даємо тут результатів більш детального аналізу, залишаючи фахівцям можливість самим зробити відповідні висновки, констатуємо лише той факт, що більшість відомих родовищ і рудопроявів урану розташована у вузлах перетину активних на новітньому етапі розвитку різноспрямованих ЛЗ і одиночних лінементів та периферійних частинах КС різних морфогенетичних типів.

**Таблиця 3.** Стислі відомості про родовища урану та їх просторове співвідношення з неотектонічними показниками центральної частини УЩ

№п/п	Назва	№ на карті	Просторовеспівпадання з ЛЗ	Просторовеспівпадання з КС	Відображення в сумарних амплітудах
1	Лозуватське	13	вузол перетину субмеридіональної ЛЗ №1 і північно-східної №13	північно-західна частина успадкованої макроКС №7	↑50-100
2	Калинівське	14	вузол перетину субмеридіональної ЛЗ №1 і північно-східної №13	північно-західна частина успадкованої макроКС №7	↑50-100
3	Південне	12	в межах північно-східної ЛЗ №13	в центрі успадкованої макроКС №7	↑100-150 А
4	Ватутинське	1	вузол перетину ЛЗ №8 (субширотна), №13 (північно-східна), №18 (північно-західна)	на обрамленні успадкованої макроКС №7 і одночасно накладеної на неї успадкованої КС №6	↑50-100
5	Апрельське	2	вузол перетину північно-східної ЛЗ №13, північно-західної ЛЗ №18 та субширотної ЛЗ №8	на південно-східному обрамленні успадкованої макроКС №7	↑75-100
6	Літнє	3	вузол перетину північно-східної ЛЗ №13 та субширотної ЛЗ №8	біля обрамлення успадкованої макроКС №7	↑75-100
7	Докучаєвське	6	вузол перетину північно-східної ЛЗ №13, північно-західної ЛЗ №18 та субширотної ЛЗ №8	на південно-східному обрамленні успадкованої макроКС №7	↑75-100
8	Новокостянтинівське	4	біля вузла перетину північно-східної ЛЗ №13 і субширотної ЛЗ №8	біля обрамлення успадкованої макроКС №7	↑75-100
9	Лісне	5	вузол перетину північно-східної ЛЗ №13 та субширотної ЛЗ №8	біля обрамлення успадкованої макроКС №7	↑75-100
10	Северинівське	7	вузол перетину субмеридіональної ЛЗ №3 і субширотної №8	західне обрамлення проміжної КС №20	↑50-100
11	Мічуринське	8	вузол перетину субмеридіональної ЛЗ №3 і субширотної №8	західне обрамлення проміжної КС №20	↑50-100
12	Миколокозельське	15	субширотна ЛЗ №10	біля північно-східного обрамлення проміжної КС №21	↑25-50
13	Ганнівське	10	вузол перетину субмеридіональної ЛЗ №5 і північно-західної №21	в південній частині успадкованої КС №12	↑50-100
14	Жовторіченське	9	поблизу вузла перетину ЛЗ №5 (субмеридіональна), №8 (субширотна), №21 (північно-західна)	в центрі успадкованої КС №12	↑50-100
15	Першотравневе	11	поблизу вузла перетину ЛЗ №9 (субширотна), №20 (північно-східна), №21 (північно-західна)	поблизу південно-східної частини обрамлення успадкованої КС №12	↑50-100

↑25-50 – співпадання родовища з областю підвищених значень сумарних амплітуд пізньопліоцен-четвертинних вертикальних рухів та їх величина (в метрах), ↓25-50 – те ж відносно знижених, але

позитивних; А – співпадання родовища з замкненою аномалією сумарних амплітуд або з згущенням ізобаз найбільш високих значень; – – родовище не знайшли відображення у показнику, що аналізується; н/д – немає даних.

1. Глеваський Є.Б. Геодинамічні обстановки і металогенія урану Центральної частини Українського щита [Текст] / Є.Б. Глеваський, О.О. Крамар // Зб. наук. пр. ІГНС НАН та МНС України. – 2002. – Вип. 5-6. – С. 227-245.
2. Глевасский Е.Б. Эволюция геодинамических обстановок и этапы рудообразования в докембрии Центральной части Украинского щита [Текст] / Е.Б. Глевасский, О.А. Крамар, Е.П. Лашко, О.И. Шестопалов. // Тези доп. І наук.-виробн. наради геологів-зйомщиків України. – Гурзуф, 2001. – С. 147-151.
3. Каляев Г.И. Геодинамические образования и размещения урановых месторождений Украинского щита // Аспекты минерализации Украины: Сб. науч. тр. – Киев, 1998. – С. 157-173.
4. Стратиграфические разрезы докембрия Украинского щита / Н.П. Щербак, К.Е. Есипчук, Б.З. Берзенин и др/ К.: Наук. думка, 1985.
5. Мелкозернистые петалитовые руды – новый вид литий содержащего минерального сырья Украины / А.Х. Бакаржиев., О.Ф. Макивчук, Б.Н. Иванов и др // Мин.ресурсы Украины. – 2000. – № 4. – С.16-19.
6. Тохтуев Г.В.. Структурыбудинаяж и их роль в локализации оруденения / Г.В.Тохтуев/ К.: Наук. думка, 1967. – 215 с.
7. Тохтуев Г.В. Закономерности деформаций в неоднородно-слоистых геологических средах / Г.В.Тохтуев/ К.: Наук. думка, 1972. – 121 с.
8. Философов В.П. Основы морфометрического метода поисков тектонических структур. – Саратов: Изд-воСаратовск. ун-та, 1975. – 232 с.
9. Верховцев В.Г.,Юськів Ю.В. Основні принципи складання карти новітньої тектоніки Українського щита та його схилів масштабу 1:500 000 за морфографічними, морфометричними і аерокосмічними даними: термінологія, методи та методичні прийоми, класифікаційні та інші аспекти дослідження // Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист. – 2011. – Вип. 3. – С. 63-76.
10. Перспективи розвитку уранової сировинної бази ядерної енергетики України / [Верховцев В.Г., Возняк Д.К., Діденко П.І., Забулонов Ю.Л., Коваль В.Б., Крамар О.О., Лисиченко Г.В., Мельниченко Б.Ф., Ноженко О.В., Семенюк М.П., Синіцин В.О., Суцук К.Г., Тищенко Ю.Є., Фомін Ю.О., Швайко В.Г., Юськів Ю.В., Ярощук М.А.]. – Київ: НВП «Видавництво «Наукова думка» НАН України», 2014. – 355 с.

1. Glevasky E.B. Geodynamic situation and metallogeny of uranium on central part of Ukrainian shield [Text]/ E.B. Glevasky, O.O.Kramar. // Coll. Science. IGES of NAS of Ukraine. – 2002. – Vol. 5-6. – P. 227-245. [in Ukrainian]
2. Glevassky E.B.Evolution of geodynamic situation and steps of ore formation in central part of Precambrian Ukrainian shield / E.B.Glevassky., O.A.Kramar.,E.P.Lasko.,O.I Shestopalov // Abstracts of I sciet.-products. meetings of Ukrainian geologist surveyors 2001. – P.147-151. [in Russian]
3. Kalyaev G.I. Geodynamic formation and placement of uranium deposits of Ukrainian shield // Aspects of the mineralization of Ukraine: Coll. of scientific works.– Kyiv, 1998. – P. 157-173. [in Russian]
4. Stratigraphic sections of Precambrian Ukrainian shield / N.P.Shcherbak.,K.E.Esipchuk.,B.Z.Berzenin., and others / К.: Scientific thought,1985. [in Russian]
5. Fine-grained ore petalite– a new type of lithium-contained mineral raw materials of Ukraine / A.H.Bakarzhiev., O.F.Makivchuk.,B.N.Ivanov., and others// Min.res of Ukraine. – 2000. – № 4.–P. 16-19. [in Russian]

6. Tohtuev G.V. Budin structure and their role in mineralization localization/ G.V.Tohtuev / К.: Scientific thought, 1967.– 215 p. [in Russian]
7. Tohtuev G.V. Regularities of deformation in heterogeneously-layered geological environments/ G.V.Tohtuev./ К.: Scientific thought. 1972.– 121 p. [in Russian]
8. Filosofov, V.P. (1960) Basics of tectonic structure searching with Morphometric Method application. – Saratov: Publishing House of Saratov University / Russia, 1975. – 232 p. [in Russian]
9. V.G. Verkhovtsev. Basic principles of newest tectonic maps composition for Ukrainian shield and its slopes in scale 1:500 000 by morphographic, aerospace and morphometric data: terminology, methods and methodical receptions, classificational and other aspects of research/ V.G. Verkhovtsev, Y. Yuskiv // Technogenic and ecological safety and civil protection. – 2011. – Vol. 3. – P. 63-76. [in Ukrainian]
10. Perspectives of uranium raw material resource base of nuclear power of Ukraine development./Verkhovtsev V.G., Lysychenko G.V. et al. – Kyiv, «Scientific thought» NAS of Ukraine, 2014. – 355 p. [in Ukrainian]

**А.О. Студзинская, В.Г. Верховцев, Ю.В. Юськив, О.А. Крамар**

**НОВЕЙШАЯ ТЕКТОНИКА ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ УКРАИНСКОГО ЩИТА (В СВЯЗИ С УРАНОВЫМ ОРУДЕНЕНИЕМ И ДРУГИМ МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ОРУДЕНЕНИЕМ)**

*Приведены результаты среднемасштабного картирования (1: 500 000) новейшей тектоники в пределах центральной части Украинского щита, выполненного на основе морфоструктурных методов исследования. Выделены и охарактеризованы активные на новейшем этапе развития линейные и кольцевые структуры, суммарные амплитуды вертикальных движений в позднеплиоцен-четвертичное время. Выявленные неотектонические параметры сопоставлены с особенностями пространственного размещения месторождений и рудопроявлений урана и других металлических полезных ископаемых.*

**A.O. Studzinska, V.G. Verkhovtsev, Y.V. Yuskiv, O.A. Kramar**

**NEW TECTONIC OF CENTRAL PART OF UKRAINIAN SHIELD (IN CONNECTION WITH URANIUM AND OTHER METAL MINERALIZATIONS)**

*Results of medium scale mapping (1:500 000) of new tectonic in the limits of central part of Ukrainian shield(performed based on morphostructural methods of research) is presented.*

*Active (on the newest stage of development) linear and ring structures, summary amplitudes of vertical movements in Late Pliocene-Quaternary period is determinate and characterized*

*Identified neotectonical parameters is compared with peculiarities of spatial distribution of uranium and other mineral resources deposits and ore occurrences places.*

УДК 504:625.7

**Н.А. БОРОДІНА**

*Державна установа "Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України", м. Київ*

## **ОЦІНЮВАННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ**

*Запропоновано модель оцінки індивідуального ризику травматизму на автомобільних дорогах загального користування. При розробці моделі був використаний метод ризик-аналізу. Запропонована модель дозволяє кількісно оцінити індивідуальний ризик травматизму на автомобільній дорозі, у тому числі двох його складових: індивідуальний ризик травматизму водіїв та пасажирів транспортних засобів; індивідуальний ризик травматизму місцевого населення, яке проживає в населеному пункті, у межах якого проходить траса дороги. Для практичної реалізації запропонованої моделі розроблено класифікацію індивідуального ризику травматизму на дорозі та базовий план з попередження та контролю ризику, який встановлює вимогу щодо необхідності розробки та впровадження системи управління ризиком.*

Україна серед європейських країн має одні із найвищих показників аварійності, травматизму та смертності на автомобільних дорогах [1, 2], що потребує перегляду та удосконалення існуючих в державі підходів із забезпечення безпеки руху транспортних засобів, у тому числі, впровадження інформаційних та аналітичних заходів, які направлені на підвищення свідомості громадян щодо їх безпеки руху. Так, впровадження зазначених заходів суттєво знизило показники аварійності в Сербії [3].

Основною відмінністю України від інших Європейських держав, з якими вона порівнюється за показниками аварійності, травматизму та смертності на автомобільних дорогах, є незадовільний технічний стан доріг. Значна кількість автомобільних доріг загального користування (далі – дороги) в Україні потребує реконструкції або капітального ремонту, у більшості доріг міжремонтні строки експлуатації перевищені у декілька разів. Цілий ряд конструктивних заходів із забезпечення безпеки руху (облаштування переходів, будівництво дворівневих розв'язок, розширення проїзної частини, тощо) впроваджуються саме при реконструкції чи капітальному ремонті дороги. Тому в Україні, поряд з інформаційними та аналітичними заходами забезпечення безпеки руху на дорогах, до пріоритетних заходів необхідно віднести реконструкцію та капітальний ремонт доріг.

Існуючий в Україні досвід із визначення місць концентрацій дорожньо-транспортних пригод (далі - ДТП), оцінки факторів аварійності на дорозі та впровадження заходів щодо їх ліквідації, наглядно демонструє спроможність українських фахівців розробляти комплексні заходи із забезпечення безпеки руху [4-7].

Провідні проектні організації України також мають значні напрацювання в напрямку забезпечення безпеки руху на дорогах. При проектуванні доріг відповідно до вимог нормативних документів України проводиться:

- оцінка соціального ризику впливу планованої діяльності (матеріали розділу проектної документації «Оцінка впливів на навколишнє середовище») [8, 9];
- визначення коефіцієнтів безпеки та аварійності (матеріали розділу проектної документації «Безпека руху») [10, 11].

Ці дві категорії показників у проектній документації на будівництво (реконструкцію, капітальний ремонт) доріг розглядаються відокремлено одна від одної, що значно знижує

вагомість їх значень, оскільки коефіцієнти безпеки та аварійності в певній мірі відображають соціальний ризик впливу планованої діяльності. Також недоліком при оцінці безпеки руху на дорозі є те, що коефіцієнти безпеки та аварійності, не дають можливість кількісно визначити ступінь небезпеки травматизму на дорозі. Тому показник індивідуального ризику травматизму може розглядатись як інструмент для розробки системи управління соціальним ризиком впливу автомобільної дороги.

Попередній аналіз методики оцінки соціального ризику впливу планованої діяльності, яка визначена додатком И ДБН А.2.2-1-2003 [9], показав що ця методика не враховує особливості лінійних транспортних об'єктів, і як наслідок її використання при розробці проектної документації на будівництво (реконструкцію, капітальний ремонт) доріг не є ефективним інструментом у розробці заходів зі сталого розвитку дороги та населених пунктів, в межах яких проходить її траса. Ще одним значним недоліком зазначеної вище методики є те, що залежність, за якою оцінюється соціальний ризик впливу планованої діяльності, поєднує дві несумісні категорії оцінювання, а саме:

а) канцерогенний ризик комбінованої дії декількох канцерогенних речовин, забруднюючих атмосферу;

б) коефіцієнт, що характеризує кількість робочих місць.

Наведені недоліки не дають можливості оцінити на необхідному рівні індивідуальні ризик травматизму на дорозі та впровадити комплекс заходів для їх мінімізації, тому виникла задача переглянути методологічний підхід в оцінюванні соціального ризику впливу будівництва (реконструкції, капітального ремонту) доріг в основу якого буде покладено модель оцінки індивідуального ризику травматизму. При виконанні поставленої задачі були враховані вимоги європейських норм [12], на які переходить Україна.

Найбільш ефективним методом в оцінці ризиків (технічних, екологічних, соціальних та будь-яких інших) є метод ризик-аналізу [13-17], який складається з трьох взаємопов'язаних складових: оцінка загроз виникнення небезпечних подій; визначення ризику виникнення небезпечних подій; розробка та впровадження системи управління ризиками (рис. 1).

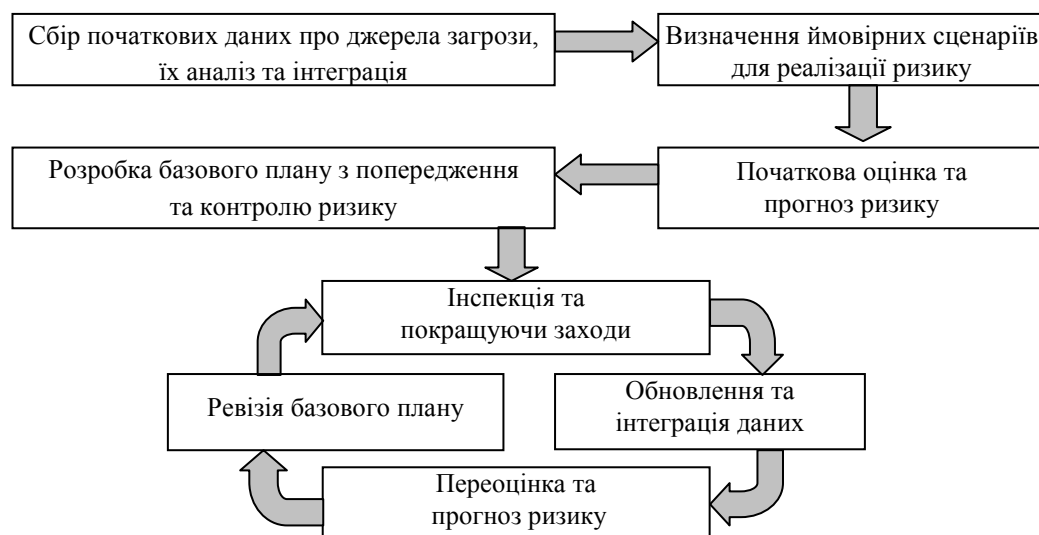


Рис. 1. – Загальна структура ризик-аналізу

Для системи автомобільна дорога ↔ навколишнє середовище у частині безпеки руху відповідно до загальної структури ризик-аналізу був проведений збір початкових даних



про джерела загрози травматизму на дорозі. Аналіз загроз дозволив визначити ймовірні сценарії реалізації індивідуального ризику травматизму, а саме:

- аварії на автомобільній дорозі, які призводять до травмування водіїв та пасажирів транспортних засобів;
- аварії на автомобільній дорозі, які призводять до травмування місцевого населення.

Таким чином індивідуальний ризик травматизму на дорозі  $R_{Ino}^T$  за факторами загроз розподілено на дві складові:

1) Індивідуальний ризик травматизму водіїв та пасажирів транспортних засобів –  $R_{Ino}^{TT3}$ ;

2) Індивідуальний ризик травматизму місцевого населення, яке проживає в населеному пункті у межах якого проходить траса дороги (далі – ризик травматизму місцевого населення) –  $R_{Ino}^{TMH}$  :

$$R_{Ino}^T = R_{Ino}^{TT3} + R_{Ino}^{TMH} . \quad (1)$$

Для формалізації оцінки показників індивідуального ризику травматизму був використаний класичний підхід у визначенні ризику – ризик  $R$  є залежністю, яка пов'язує ймовірність виникнення загрозових ситуацій  $P_i$  та відповідних їм втрат  $W_i$  [16, 17]:

$$R = \sum_i P_i \cdot W_i . \quad (2)$$

Втрати  $W_i$  оцінюються в грошовому еквіваленті (гривні, євро, тощо). При травматизмі водіїв та пасажирів транспортних засобів, а також місцевого населення, втрати  $W_i$  це витрати пов'язані з реабілітацією людини після отримання травми або вартісний еквівалент життя людини (у разі літального випадку). У такій постановці задача була зведена до моделювання ймовірності загроз  $P_i$  – абстрактного ризику травмування водіїв та пасажирів транспортних засобів та абстрактного ризику травмування місцевого населення.

Більшість дослідників для типових об'єктів, які розміщуються та експлуатуються приблизно в однакових умовах, при наявності достатньо представленої статистики, оцінюють ризик по класичній формулі частоти події:

$$R(\Delta t) = \frac{n}{N} , \quad (3)$$

де:  $n$  – кількість аварійних ситуацій в рік;

$N$  – кількість об'єктів, які знаходились в експлуатації в період, що розглядається.

На дорогах загального користування обласні Служби автомобільних доріг України в обов'язковому порядку проводять постійний контроль ДТП, тому вони в достатньому обсязі (для поставленої задачі) володіють статистичною інформацією про кількість аварій та кількість потерпілих. Також на дорогах загального користування визначаються місця концентрацій ДТП.

При оцінці індивідуального ризику травматизму водіїв та пасажирів транспортних засобів:

$n$  – кількість водіїв та пасажирів транспортних засобів, які на протязі року (день, місяць, тощо) отримали травму (загинули) при аваріях на дорозі (ділянці дороги);

$N$  – загальна кількість водіїв та пасажирів транспортних засобів, які на протязі року (день, місяць, тощо) проїжджали по дорозі (ділянці дороги).

У свою чергу при оцінці індивідуального ризику травматизму на дорозі місцевого населення:

$n$  – середньостатистична кількість людей з місцевого населення, які на протязі року (день, місяць, тощо) отримали травму (загинули) при аваріях на ділянці дороги, що оцінюється;

$N$  – загальна кількість населення у населеному пункті у межах якого проходить траса на ділянці, що оцінюється.

Після опрацювання залежність (3) прийняла вигляд:

$$R_{\text{Ind}}^{\text{TTЗУ}} = \sum_{k=1}^k \frac{Z_k^{\text{TTЗ}}}{N_k^{\text{TЗ}} (1+m)} + \frac{Z^{\text{П}}}{N^{\text{П}} (1+m)}, \quad (4)$$

$$R_{\text{Ind}}^{\text{ТМНУ}} = \sum_{j=1}^j \frac{Z_{lj}^{\text{ТМН}}}{Z_j^{\text{МН}} \cdot l}, \quad (5)$$

де  $R_{\text{Ind}}^{\text{TTЗУ}}$  - річний узагальнений індивідуальний ризик травматизму водіїв та пасажирів транспортних засобів на дорозі (ділянці дороги);

$Z_k^{\text{TTЗ}}$  - кількість людей, які отримали травми (загинули) при аваріях на дорозі (ділянці дороги) в  $k$ -му місці концентрацій ДТП, чоловік;

$Z^{\text{П}}$  - кількість людей, які отримали травми (загинули) при аваріях на дорозі (ділянці дороги) за межами місць концентрацій ДТП, чоловік;

$N_k^{\text{TЗ}}$  - річна інтенсивність руху транспортних засобів на дорозі (ділянці дороги) в  $k$ -му місці концентрацій ДТП, авто/рік;

$N^{\text{П}}$  - середньостатистична річна інтенсивність руху транспортних засобів на дорозі (ділянці дороги), що оцінюється, авто/рік;

$m$  - середньостатистична кількість пасажирів в транспортних засобах, чоловік;

$k$  - кількість місць концентрацій ДТП на дорозі (ділянці автомобільної дороги), шт.;

$R_{Ino}^{TMHV}$  - узагальнений індивідуальний ризик травматизму на автомобільній дорозі місцевого населення;

$Z_{ij}^{TMH}$  - кількість людей серед місцевого населення, які на протязі періоду  $l$  отримали травму (загинули) при ДТП на ділянці дороги у  $j$ -му населеному пункті;

$Z_j^{MH}$  - загальна кількість населення у населеному  $j$ -му пункті, у межах якого проходить траса дороги на ділянці, що оцінюється, чоловік;

$l$  - період за який проводиться оцінка, роки (дні, місяці, тощо),

$j$  - кількість населених пунктів за якими проводиться оцінка.

Залежності (4), (5) дозволяють розрахувати річний узагальнений індивідуальний ризик травматизму, тоді як на практиці використовують показники ризику для певної кількості людей – 10 000, 100 000 або 1 000 000, що дає можливість перейти на єдину систему оцінювання відносно певної долі населення. Остаточо індивідуальний ризик травматизму водіїв і пасажирів транспортних засобів на дорозі та індивідуальний ризик травматизму місцевого населення пропонується визначати за наступними залежностями

$$R_{Ino}^{TTZ} = \frac{R_{Ino}^{TTZY} \cdot N^{\Pi} (1 + m)}{Q}, \quad (6)$$

$$R_{Ino}^{TMH} = \frac{R_{Ino}^{TMHV} \cdot \sum_{j=1}^j Z_j^{MH}}{Q}, \quad (7)$$

де  $Q$  - коефіцієнт перерахунку на долю населення.

Виходячи із загальної структури ризик-аналізу наступним кроком після кількісної оцінки ризику є розробка системи управління ризиками, у тому числі базового плану з попередження та контролю ризику. На цьому етапі дослідження було вирішено дві теоретичні задачі, а саме:

- 1) Класифікувати індивідуальний ризик травматизму на дорозі.
- 2) Відповідно до рівня індивідуального ризику травматизму на дорозі визначити базовий план з попередження та контролю ризику.

Класифікація індивідуального ризику травматизму на дорозі (табл. 1) була виконана на основі аналізу та узагальнення існуючих класифікацій ризиків у різних галузях науки та техніки з врахуванням чисельного порядку результатів розрахунку за отриманими залежностями (табл. 2, 3). За базовий план з попередження та контролю ризику пропонується прийняти вимогу щодо необхідності розробки та впровадження системи управління ризиком (табл. 1).

**Таблиця 1.** Класифікація індивідуального ризику травматизму на дорозі

Показник ризику	Рівень ризику	Необхідність розробки та впровадження системи управління ризиком
$R \leq 10^{-6}$	прийнятний	необхідності в розробці та впровадженні системи управління ризиками не має
$10^{-6} < R \leq 10^{-5}$	умовно прийнятний	система управління ризиком розробляється та впроваджується у випадку підвищенні показнику ризику
$10^{-5} < R \leq 10^{-4}$	небезпечний	система управління ризиком розробляється та впроваджується на основі техніко-економічної ефективності охоронних та захисних заходів
$R > 10^{-4}$	неприйнятний	система управління ризиком розробляється та впроваджується на основі найвищого ступеню ефективності охоронних та захисних заходів

**Таблиця 2.** Порівняльна характеристика результатів розрахунку індивідуального ризику травматизму водіїв і пасажирів транспортних засобів на автомобільній дорозі для визначення коефіцієнту перерахунку на долю населення

$k$	Місце концентрації ДТП	$m$	$Z_k^{TT3}$ ( $Z^{III}$ )	$N_k^{T3}$ ( $N^{II}$ )	$R_{Ind}^{TT3V}$	Рівень ризику
Ділянка 1						
3	МК ДТП 1	4	3	15000	0,00004	
	МК ДТП 2	4	4	14000	5,71429E-05	
	МК ДТП 3	4	2	13000	3,07692E-05	
	П	4	6	14000	8,57143E-05	
$\Sigma$				14000	0,000213626	
Коефіцієнту перерахунку на долю населення $Q$				1000	$1,49 \cdot 10^{-2}$	
				10000	$1,49 \cdot 10^{-3}$	
				100000	$1,49 \cdot 10^{-4}$	<b>неприйнятний</b>
				1000000	$1,49 \cdot 10^{-5}$	
Ділянка 2						
3	МК ДТП 1	4	0	15000	0	
	МК ДТП 2	4	0	14000	0	
	МК ДТП 3	4	0	13000	0	

$k$	Місце концентрації ДТП	$m$	$Z_k^{TT3}$ ( $Z^{III}$ )	$N_k^{T3}$ ( $N^{II}$ )	$R_{Ind}^{TT3Y}$	Рівень ризику
	П	4	3	14000	4,28571E-05	
$\Sigma$				14000	4,28571E-05	
Коефіцієнту перерахунку на долю населення $Q$				1000	$0,3 \cdot 10^{-2}$	
				10000	$0,3 \cdot 10^{-3}$	
				100000	$0,3 \cdot 10^{-4}$	<b>небезпечний</b>
				1000000	$0,3 \cdot 10^{-5}$	
Ділянка 3						
3	МК ДТП 1	4	3	5800	0,000103448	
	МК ДТП 2	4	4	6120	0,000130719	
	МК ДТП 3	4	2	5980	6,68896E-05	
	П	4	6	6070	0,000197694	
$\Sigma$				6000	0,00049875	
Коефіцієнту перерахунку на долю населення $Q$				1000	$1,49 \cdot 10^{-2}$	
				10000	$1,49 \cdot 10^{-3}$	
				100000	$1,49 \cdot 10^{-4}$	<b>неприйнятний</b>
				1000000	$1,49 \cdot 10^{-5}$	
Ділянка 4						
3	МК ДТП 1	4	0	5800	0	
	МК ДТП 2	4	0	6120	0	
	МК ДТП 3	4	0	5980	0	
	П	4	1	6070	$3,2 \cdot 10^{-5}$	
$\Sigma$				6000	$3,2 \cdot 10^{-5}$	
Коефіцієнту перерахунку на долю населення $Q$				1000	$9,8 \cdot 10^{-4}$	
				10000	$9,8 \cdot 10^{-5}$	
				100000	$9,8 \cdot 10^{-6}$	<b>умовно прийнятний</b>

$k$	Місце концентрації ДТП	$m$	$Z_k^{TT3}$ ( $Z^{TP}$ )	$N_k^{T3}$ ( $N^H$ )	$R_{Ind}^{TT3Y}$	Рівень ризику
				1000000	$9,8 \cdot 10^{-7}$	
Ділянка 5						
3	МК ДТП 1	4	0	15000	0	
	МК ДТП 2	4	0	14000	0	
	МК ДТП 3	4	0	13000	0	
	П	4	1	14000	$1,4 \cdot 10^{-5}$	
$\Sigma$				6000	$1,4 \cdot 10^{-5}$	
Коефіцієнту перерахунку на долю населення $Q$				1000	$4,28 \cdot 10^{-4}$	
				10000	$4,28 \cdot 10^{-5}$	
				100000	$4,28 \cdot 10^{-6}$	<b>умовно прийнятний</b>
				1000000	$4,28 \cdot 10^{-7}$	

Порівняльна характеристика результатів розрахунку індивідуального ризику травматизму водіїв і пасажирів транспортних засобів дозволила визначити коефіцієнт перерахунку на долю населення  $Q=100000$ .

**Таблиця 3.** Порівняльна характеристика результатів розрахунку індивідуального ризику травматизму місцевого населення для визначення коефіцієнту перерахунку на долю населення

$j$	Населений пункт	$l$	$Z_{lj}^{TMH}$	$Z^{MH}$	$R_{Ind}^{TMHY}$	Рівень ризику
Ділянка 1						
3	НП 1	5	3	325	0,001846154	
	НП 2	5	4	680	0,001176471	
	НП 3	5	2	123	0,003252033	
$\Sigma$				<b>1128</b>	<b>0,006274657</b>	
Коефіцієнту перерахунку на долю населення $Q$				1000	$0,7 \cdot 10^{-2}$	
				10000	$0,7 \cdot 10^{-3}$	
				<b>100000</b>	<b><math>0,7 \cdot 10^{-4}</math></b>	<b>небезпечний</b>

$j$	Населений пункт	$l$	$Z_{lj}^{TMH}$	$Z^{MH}$	$R_{Ind}^{TMHV}$	Рівень ризику
				1000000	$0,7 \cdot 10^{-5}$	
Ділянка 2						
НП 1	1	5	1	325	0,000615385	
НП 2	2	5	0	680	0	
НП 3	3	5	0	123	0	
$\Sigma$				<b>1128</b>	<b>0,000615385</b>	
Коефіцієнту перерахунку на долю населення $Q$				1000	$0,69 \cdot 10^{-3}$	
				10000	$0,69 \cdot 10^{-4}$	
				<b>100000</b>	<b><math>0,69 \cdot 10^{-5}</math></b>	<b>умовно прийнятний</b>
				1000000	$0,69 \cdot 10^{-6}$	
Ділянка 3						
НП 1	1	5	3	650	0,000923077	
НП 2	2	5	4	1360	0,000588235	
НП 3	3	5	2	246	0,001626016	
$\Sigma$				2256	0,003137328	
Коефіцієнту перерахунку на долю населення $Q$				1000	$0,7 \cdot 10^{-2}$	
				10000	$0,7 \cdot 10^{-3}$	
				<b>100000</b>	<b><math>0,7 \cdot 10^{-4}</math></b>	<b>небезпечний</b>
				1000000	$0,7 \cdot 10^{-5}$	
Ділянка 4						
НП 1	1	5	1	650	0,000307692	
НП 2	2	5	0	1360	0	
НП 3	3	5	0	246	0	
$\Sigma$				2256	0,000307692	
Коефіцієнту перерахунку на долю населення $Q$				1000	$0,69 \cdot 10^{-3}$	
				10000	$0,69 \cdot 10^{-4}$	

$j$	Населений пункт	$l$	$Z_{lj}^{TMH}$	$Z^{MH}$	$R_{Ind}^{TMHV}$	Рівень ризику
				<b>100000</b>	<b><math>0,69 \cdot 10^{-5}</math></b>	<b>умовно прийнятний</b>
				1000000	$0,69 \cdot 10^{-6}$	
Ділянка 5						
НП 1	1	5	6	650	0,001846154	
НП 2	2	5	8	1360	0,001176471	
НП 3	3	5	7	246	0,005691057	
$\Sigma$				2256	0,008713681	
Коефіцієнту перерахунку на долю населення $Q$				1000	$1,96 \cdot 10^{-2}$	
				10000	$1,96 \cdot 10^{-3}$	
				<b>100000</b>	<b><math>1,96 \cdot 10^{-4}</math></b>	<b>неприйнятний</b>
				1000000	$1,96 \cdot 10^{-5}$	

Порівняльна характеристика результатів розрахунку індивідуального ризику травматизму місцевого населення дозволила визначити коефіцієнт перерахунку на долю населення  $Q = 100000$ .

Модель оцінки індивідуального ризику травматизму на автомобільних дорогах загального користування була частково апробована на міжнародних науково-практичних конференціях [18, 19].

#### Висновки:

1. Запропонована модель оцінки індивідуального ризику травматизму на автомобільних дорогах загального користування, яка базується на методі ризик-аналізу, дозволяє:

- кількісно оцінити індивідуальний ризик травматизму та його складові;
- визначити базовий план з попередження та контролю ризику (рішення щодо необхідності розробки та впровадження системи управління ризиком).

2. Для кількісного оцінювання індивідуального ризику травматизму можна використовувати статистичні методи аналізу базуючись на класичному підході оцінювання ризиків.

3. Вхідні параметри запропонованих залежностей індивідуального ризику травматизму на дорозі є доступними, оскільки дані про інтенсивність руху транспортних засобів, кількість ДТП, кількість потерпілих та місць концентрацій ДТП накопичуються та зберігаються в обласних Службах автомобільних доріг України.

4. Запропонована класифікація індивідуального ризику травматизму на дорозі може бути рекомендована для подальшого впровадження в нормативних документах.

5. Модель оцінки індивідуального ризику травматизму на автомобільних дорогах загального користування потребує додаткової апробації у дорожніх проектних і наукових установах та організаціях, після чого може бути покладена в основу методики оцінки індивідуального ризику травматизму на автомобільних дорогах загального користування.



1. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 25.05.2011 р. № 480-р «Про схвалення Стратегії підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2015 року».
2. Звіт про результати моніторингу виконання Стратегії з підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2015 року. Харків: Громадська організація «Товариство учасників руху», 2015 р. - с. 55.
3. Boris Antić, Milan Vujanić, Krsto Lipovac, Dalibor Pešić (2011): Estimation of the traffic accidents costs in Serbia by using dominant costs model, *Transport*, 26:4, 433-440 / <http://www.tandfonline.com/loi/tran20#.Vjc4QrfhBkg>
4. Бондар Т.В. Аналіз причин виникнення аварійності – шлях до обґрунтованого планування заходів з підвищення безпеки руху / *Науково-виробничий журнал «Автошляховик України», № 4 (216), 2010 р. – С. 45-46.*
5. Бондар Т.В., Поліщук В.П., Шаповалов А.Л. Аудит дорожньої безпеки та переваги його застосування / *Журнал «Дорожня галузь України», № 1, 2013 р. – С. 33-35.*
6. Дудніков О.М. Формалізація умов ДТП у вигляді побіжного зіткнення призміні смуги руху з правої на ліву у багаторядних щільних транспортних потоках / *Науково-виробничий журнал «Автошляховик України», № 3 (233), 2013 р. – С. 6-10.*
7. Каплуновська А.М., Трушевській В.Е., Науменко В.В. Підвищення безпеки руху на пішохідних переходах / *Науково-виробничий журнал «Автошляховик України», № 1-2 (243-244), 2015 р. – С. 39-41.*
8. ДБН А.2.2-1-2003 Проектування. Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд.
9. ДБН А.2.2-1-2003 Проектування. Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд. Зміна 1.
10. ДБН В.2.3-4:2007 Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво.
11. ГБН В.2.3-218-551:2011 Автомобільні дороги загального користування. Капітальний ремонт. Вимоги проектування.
12. 29.11.2008 EN Official Journal of the European Union L 319/59. Directives. Directive 2008/96/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 «On road infrastructure safety management»
13. Качинський А.Б. Екологічна безпека України: системний аналіз перспектив покращення – К.: НІСД, 2001. – 312 с.
14. Данилишин Б.М. Природно-техногенні катастрофи: проблеми економічного аналізу та управління. – К.: ЗАТ «НІЧЛАВА», 2001. – 260 с.
15. Тихомиров Н.П., Потравный И.М., Тихомирова Т.М. Методы анализа и управления эколого-экономическими рисками. – М.: ЮНИТИ, 2003. – 350 с.
16. Лисиченко Г.В., Забулонов Ю.Л., Хміль Г.А. Природний, техногенний та екологічний ризику: аналіз, оцінка, управління. К.: НВП «Видавництво «Наукова думка» НАН України, 2008. – 543 с.
17. Екогеологія України: навчальний посібник / В.М. Шестопалов, М.М. Коржнев, С.А. Вижва та ін. – К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київській університет». – 2011. – 671 с.
18. Бородіна Н.А. Оцінка соціального ризику впливу будівництва (реконструкції, капітального ремонту) автомобільних доріг загального користування / *Наукові праці міжнародної науково-практичної конференції присвяченої 85-річчю заснування ХНАДУ, 85-річчю заснування автомобільного факультету та з нагоди Дня автомобіліста і*

дорожника «Новітні технології в автомобілебудівництві та транспорті» (15-16 жовтня 2015 р., м. Харків). Харків: ТОВ «Видавництво «Форт», 2015 р. – С. 123-124.

19. Бородіна Н.А. Оцінка індивідуального ризику травматизму водіїв та пасажирів транспортних засобів / Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи» (м. Львів, 4 – 6 листопада 2015 р.) Львів: ЛДУ БЖД, 2015. – С. 258-260.

1. Order of Cabinet of Ministers of Ukraine from 25.05.2011 № 480-p «On approving of Strategy of road safety level increasing in Ukraine on the period till 2015». [*in Ukrainian*]

2. Report on monitoring results of implementation of Strategy to improve road safety level in Ukraine till 2015. Kharkiv: Non-governmental organization «Community of road motion participants», 2015 - P. 55. [*in Ukrainian*]

3. Boris Antić, Milan Vujanić, Krsto Lipovac, Dalibor Pešić (2011): Estimation of the traffic accidents costs in Serbia by using dominant costs model, Transport, 26:4, 433-440 / <http://www.tandfonline.com/loi/tran20#.Vic4QrfhBkg> [*in English*]

4. Bondar T.V. Analysis of accident reasons – is a path to reasonable planning measures to improve road safety / Scientific production journal "Auto road builder of Ukraine", № 4 (216), 2010 p. – С. 45-46. [*in Ukrainian*]

5. Bondar T.V, Polishhuk V.P., Shapovalov A.L. Audit of road safety and the benefits of its use / Journal «Road branch of Ukraine», № 1, 2013 – P. 33-35. [*in Ukrainian*]

6. Dudnikov O.M. Formalization of car crash conditions in a convergent collision during changing lanes from right to left in the multi-dense traffic flows / Scientific production journal "Auto road builder of Ukraine", № 3 (233), 2013 p. – P. 6-10. [*in Ukrainian*]

7. Kaplunovska A.M., Trushevskij V.E., Naumenko V.V. Improving safety at pedestrian crossings / Scientific production journal "Auto road builder of Ukraine", № 1-2 (243-244), 2015 p. – P. 39-41. [*in Ukrainian*]

8. SCN A.2.2-1-2003 Designing. Structure and content of environment impact assessment materials (EIA) during designing and construction of enterprises, houses and buildings. [*in Ukrainian*]

9. SCN A.2.2-1-2003 Designing. Structure and content of environment impact assessment materials (EIA) during designing and construction of enterprises, houses and buildings. Change 1. [*in Ukrainian*]

10. SCN B.2.3-4:2007 Transport buildings. Automobile roads. Part I. Designing. Part II. Construction. [*in Ukrainian*]

11. BCN B.2.3-218-551:2011 Automobile roads of general use. Capital repair. Requirements for design. [*in Ukrainian*]

12. 29.11.2008 EN Official Journal of the European Union L 319/59. Directives. Directive 2008/96/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 «On road infrastructure safety management». [*in English*]

13. Kachynskij A.B. Environmental safety of Ukraine: a systematic analysis of prospects for improvement – K.: NISI, 2001. – 312 p. [*in Ukrainian*]

14. Danylyshyn B.M. Natural and technogenic catastrophes: problems of economic analysis and management. – K.: CJSC “NICH LAVA”, 2001. – 260 p. [*in Ukrainian*]

15. Tihomirov N.P., Potravnyiy I.M., Tihomirova T.M. Methods of analysis and management of environmental and economic risks. – M.: YUNITI, 2003. – 350 p. [*in Russian*]

16. Lysychenko G.V., Zabulonov Yu.L., Khmil G.A. Natural, technogenic and environmental risks analysis, assessment, management. K.: «Publishing house «Naukova dumka» NAS of Ukraine, 2008. – 543 p. [*in Ukrainian*]

17. Ecogeology of Ukraine: textbook / V.M. Shestopalov, M.M. Korzhnev, S.A. Vyzhva та ін. – K.: Publishing center «Kyivskii universytet». – 2011. – 671 p. [*in Ukrainian*]

18. Borodina N.A. Assessment of social risk influence of construction (reconstruction, capital repair) of automobile roads of general use / Scientific papers of International scientific and practical conference dedicated to 85 anniversary of KhNAHU foundation, 85 anniversary of automobile faculty foundation and Day of motorist and road builder «Innovational technologies in automobile construction and transport» (15-16 October 2015, Kharkiv). Kharkiv: «Publishing house «Fort», 2015 – P. 123-124. [in Ukrainian]

19. Borodina N.A. Assessment of individual risk of injury for drivers and passengers of vehicles / Materials of II International scientific and practical conference «Environmental safety as base for sustainable development of society. European experience and perspectives» (Lviv, 4 – 6 November 2015) Lviv: LSU SLA, 2015. – P. 258-260. [in Ukrainian]

**Н.А. Бородіна**

**ОЦЕНИВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ**

*Предложено модель оценки индивидуального риска травматизма на автомобильных дорогах общего пользования. При разработке модели был использован метод риск-анализа. Предложенная модель позволяет количественно оценить индивидуальный риск травматизма на автомобильной дороге, в том числе двух его составляющих: индивидуальный риск травматизма водителей та пассажиров транспортных средств; индивидуальный риск травматизма местного населения, которое проживает в населенном пункте, в границах которого проходит траса дороги. Для практической реализации предложенной модели разработано классификацию индивидуального риска травматизма на дороге та базовый план по предупреждению и контролю риска, который устанавливает требование по необходимости разработки и внедрения системы управления риском.*

**N.A. Borodina**

**ASSESSMENT OF SAFETY MOTION ON AUTOMOBILE ROADS OF GENERAL USE**

*Model for evaluation of individual risk of injury on automobile roads of general use was proposed. Risk analysis method was used to develop the model. The proposed model allows to estimate individual risk of accidents on the road, including two its components: individual risk of injuries of passengers and drivers of vehicles; individual risk of injury of the local population which live in settlements where roads take place. Basic plan was developed for practical realization of proposed model. It includes prevention and risk control which establishes requirements for the need to develop and implement a risk management system.*

УДК 539.16

**В.И. ВИТЬКО, Ю.Н. ЖЕГУЛИНА, Г.Д. КОВАЛЕНКО**

*НИУ «УКРНИИЭП», г. Харьков*

### **ТРАНСГРАНИЧНОЕ ВЛИЯНИЕ ЧЕРНАВОДСКОЙ АЭС НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ТРИТИЕМ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД РЕКИ ДУНАЙ НА ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ**

*В статье рассматривается влияние Чернаводской атомной электростанции на природную водную среду реки Дунай в трансграничном контексте. Приведены данные о сбросах трития, зависимость объемной активности трития в р. Дунай и его притоках от расстояния, среднегодовые объемные активности трития. Дана оценка трансграничного влияния Чернаводской АЭС в условиях, отличных от нормальных.*

На территории бассейна р. Дунай в настоящее время эксплуатируется девять АЭС, включающие 21 блок. В Словакии два блока ВВЭР-440 в Богунице и два блока ВВЭР-440 в Моховце, Чехии четыре блока ВВЭР-440 в Дукованы, Болгарии два блока ВВЭР-1000 в Козлодуй, Венгрии четыре блока ВВЭР-440 в Пакш, Румынии два блока PHWR (CANDU) в Чернавода, в Словении один блок PWR- 700 в Кршко и в Германии два блока Изарской АЭС и два блока Гиндерммингенской АЭС. Общая установленная мощность около 15000 МВт. Планируется строительство еще шести блоков АЭС общей мощностью 3200 МВт.

В результате эксплуатации этих АЭС ежегодно в атмосферу поступает около 1085 ТБк трития и около 700 ТБк трития поступает в реки, расположенные в бассейне Дуная, что в конечном итоге приводит к увеличению объемной активности трития в р. Дунай. Тритий, поступивший в атмосферу, затем в виде атмосферных осадков выпадает на территории бассейна р. Дунай. Часть этих осадков через притоки так же попадает в р. Дунай.

Два блока PHWR (CANDU) (Canadian Deuterium Uranium-Pressurized Heavy Water Reactor (реактор на тяжелой воде под давлением)) Чернаводской АЭС вносят существенный вклад в загрязнение тритием атмосферного воздуха (около 840 ТБк/год) и р. Дунай (около 250 ТБк/год).

В связи с этим, представляется актуальным оценить трансграничное влияние Чернаводской АЭС на загрязнение тритием украинской части р. Дунай.

#### **Основные характеристики Чернаводская АЭС**

Чернаводская АЭС расположенная в 2 км на юго-восток от границы города Чернавода, и 1,5 км на северо-восток от первой плотины канала Дунай – Черное море на сравнительно небольшом расстоянии от реки Дунай, на северной стороне канала Дунай-Черное море.

Начиная от места между Селестрою и Каларашаи, Дунай делится на два рукава: Дунареа Вече (восточный) и Борче (западный), которые объединяются ниже по течению от Харшови.

Расстояние от Чернаводской АЭС к границе с Украиной вдоль течения р. Дунай ~160 км.

На Чернаводській промплощадке с самого начала планировалось размещение 5 энергоблоков PHWR (CANDU) с мощностью каждого реактора 700 МВт.

Здания для 5 реакторов уже сооружены. Также построены некоторые элементы и службы, которые являются общими для всех энергоблоков (рис. 1).



Необходимая для охлаждения энергоблоков вода поступает из Дунареа Вече, через первую очередь канала Дунай-Черное море, затем через открытый специальный канал к водоему для заборной воды Чернаводской АЭС. В холодное время года, для предотвращения замерзания воды (для соблюдения необходимых технологических показателей) предусмотрено разбавления заборной воды сточной с повышенной температурой (то есть частичное использование обратной воды). Использованная вода (около 90 %) возвращается обратно в р. Дунай через отводной канал, либо в канал Дунай – Черное море (около 10 %).



**Рис. 1.** Расположение блоков PHWR (CANDU) на Чернаводской промплощадке

В настоящее время на промплощадке работает два блока PHWR (CANDU) мощностью 700 МВт каждый. Первый энергоблок был введен в эксплуатацию в 2 декабря 1996 году, второй – 5 октября 2007. Работа обоих реакторов единственной в стране АЭС в обычном режиме обеспечивает около 20 % потребностей Румынии в электроэнергии. Третий и четвертый блоки планировалось ввести в эксплуатацию в 2014 г. и в 2015 г. соответственно. Сроки их ввода в эксплуатацию перенесены на 2016-2017 гг.

Среди важных неприятных особенностей PHWR (CANDU) следует отметить положительный паровой эффект реактивности (рост реактивности при потере тяжелой воды в каналах), который трудно устранить, особенно в реакторах с природным топливом, что привело к необходимости создания второй системы быстрого аварийного гашения реактора. К недостаткам данного реактора по сравнению с реакторами ВВЭР, используемые в Украине, также следует отнести существенно большее поступление трития в окружающую природную среду на единицу установленной мощности. Поступление трития в гидросферу из реакторов типа PHWR (CANDU) почти в шесть раз превышает поступление трития из реакторов типа ВВЭР. Поступление трития в атмосферный воздух из реакторов типа PHWR (CANDU) почти в тридцать раз превышает поступление трития из реакторов типа ВВЭР [1].

В среднем для одного блока РНWR (CANDU) необходим объем воды 54 м<sup>3</sup>/с, который состоит из воды для охлаждения конденсаторов и других вспомогательных служб реактора. Сток Дуная в этой части составляет в среднем 2370 м<sup>3</sup>/с.

Среднегодовой сброс трития с одного блока в р. Дунай и канал приведен в табл. 1 [2].

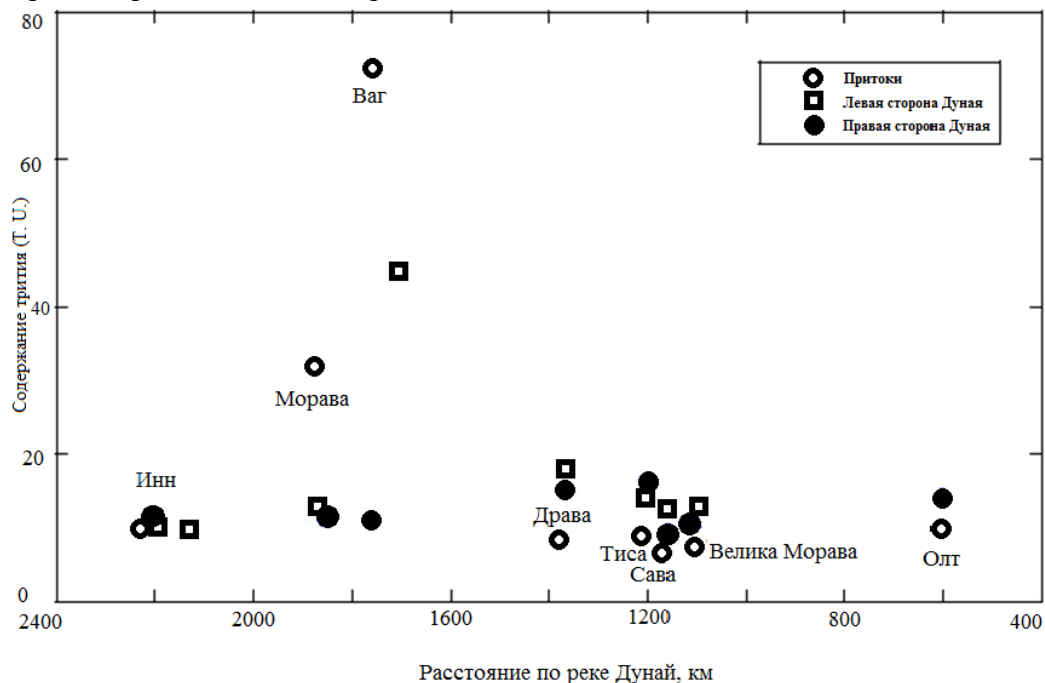
**Таблица 1. Сброс трития в р. Дунай (Д) и канал (К), кБк/год.**

Нуклид		Год					
		1999	2000	2001	2002	2003	2004
H-3	Д	1,40E+10	4,13E+10	5,21E+10	7,05E+10	1,02E+11	1,71E+11
	К	5,29E+09	2,15E+09		1,42E+10	1,23E+10	2,41E+10

Румыния занимает шестое место в мире по эмиссии трития в окружающую природную среду. Среднегодовое значение общего сброса трития Чернаводской АЭС в водные объекты составляет 1082 ТБк. Минимальная величина среднегодового сброса составляет около 35 ТБк, а максимальная – 3424 ТБк [3].

**Содержание трития в р. Дунай**

В августе – сентябре 2007 г. была проведена международная экспедиция по мониторингу качества воды р. Дунай [4]. В рамках этой экспедиции также проводилось измерение содержания трития в р. Дунай и его притоках. Результаты измерений приведены на рис. 2. К сожалению, во время экспедиции не был исследован участок р. Дунай в районе расположения Чернаводской АЭС.



**Рис. 2.** Зависимость объемной активности трития в р. Дунай (в районе левого и правого берега) и его притоках от расстояния

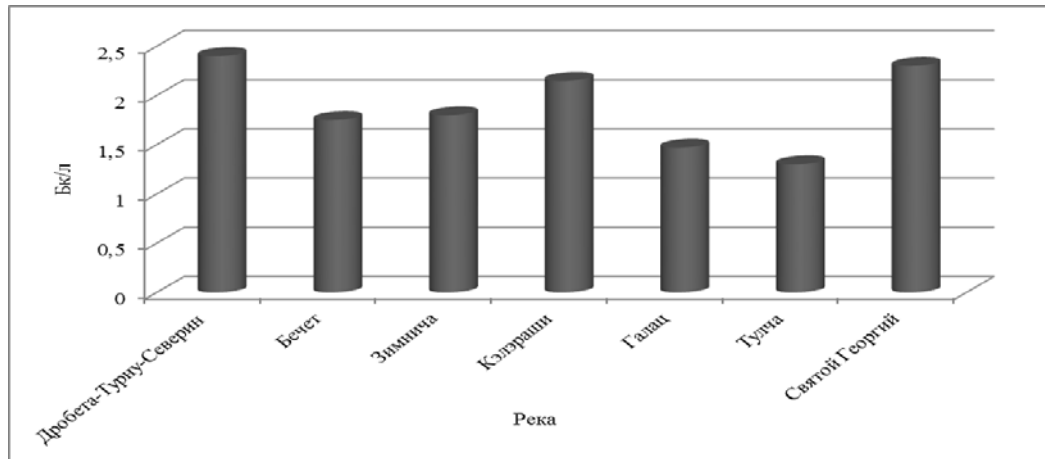
Увеличение объемной активности трития в притоках Морава и Ваг, а также в районе левого берега р. Дунай, по-видимому, обусловлено влиянием АЭС Чехии (Дукованы АЭС) и Словакии (Моховце и Богунце АЭС), которые расположены в бассейнах этих рек. Почти через 600 км объемные активности трития в районе левого и правого берега выровнялись и примерно равны 15 Т.Е. (1. 9 Бк/л).

Среднегодовые концентрации трития в р. Дунай в 2011и 2012 гг. для различных участков приведены на рис. 3 [5, 6]. Среднегодовая объемная активность трития в притоках Дуная Сирет и Прут за 2011г. равна 2,5 Бк/л и 3,5 Бк/л за 2012г. [5, 6].

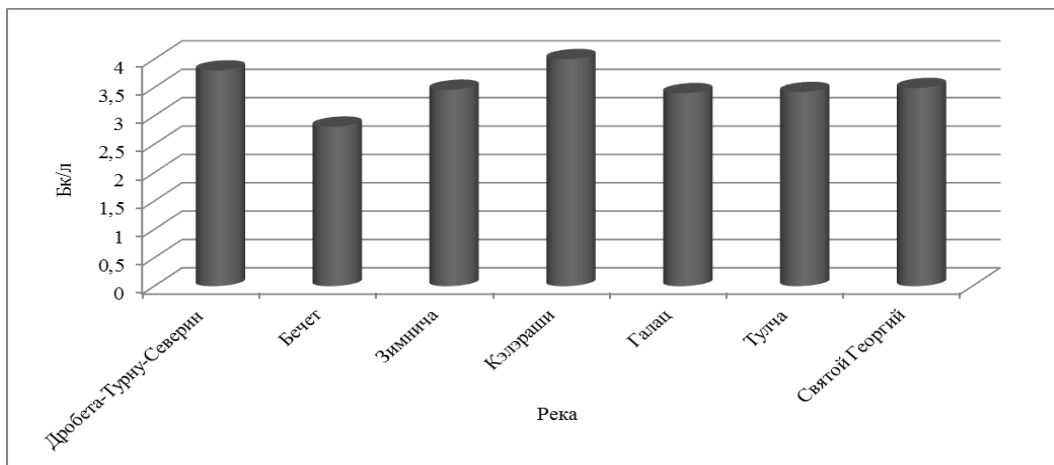
Из сравнения этих результатов вытекает, что в течение 2012 г. объемная активность трития в р. Дунай по сравнению с 2011 г. выросла почти в два раза, а по сравнению с 2007 г. – выросла почти в три раза [4].

Средние активности трития в воде отводного канала по данным экспериментальных исследований в 2004 г. составляли  $65,8 \pm 3,5$  Бк/л ( $9,3 \pm 1,5$  Бк/л –  $297,4 \pm 9,0$  Бк/л), а в воде реки Дунай ниже по течению от Черноводской АЭС (расстояние от устья реки 296 км) активность трития составляла от  $7,2 \pm 1,2$  Бк/л до  $19,0 \pm 2,1$  Бк/л [2].

На рис. 4 приведены результаты среднегодовых концентраций трития в р. Дунай в районе расположения Черноводской АЭС за период с 2005 по 2012 гг.[6].



а) 2011 год



б) 2012 г.

Рис. 3. Среднегодовые объемные активности трития в р. Дунай

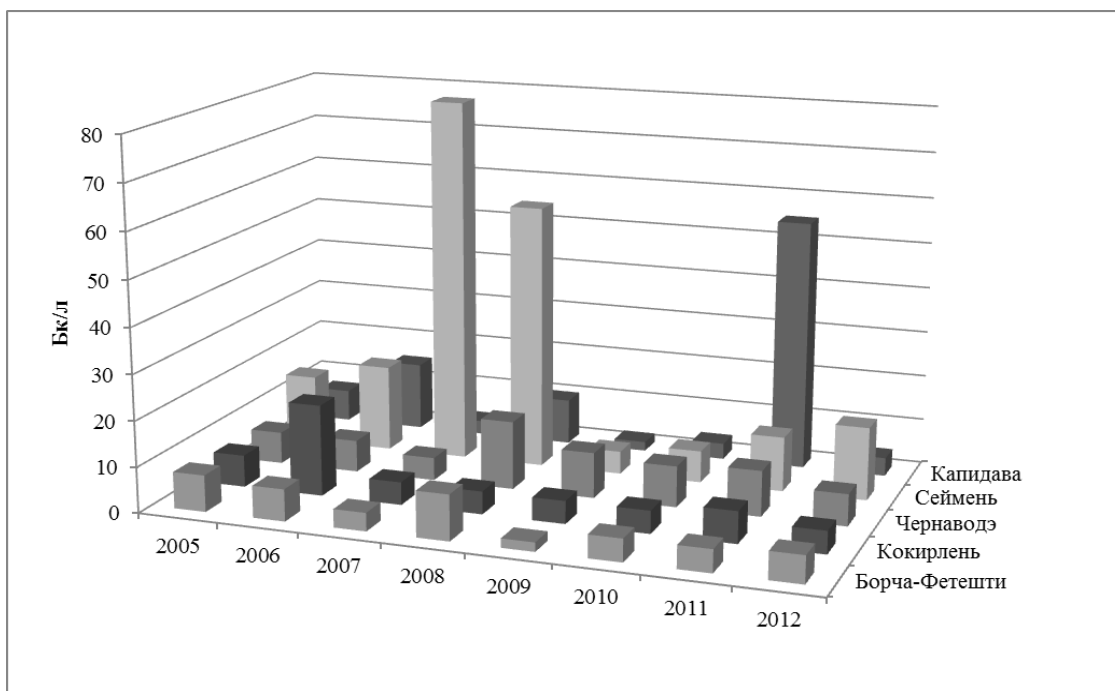
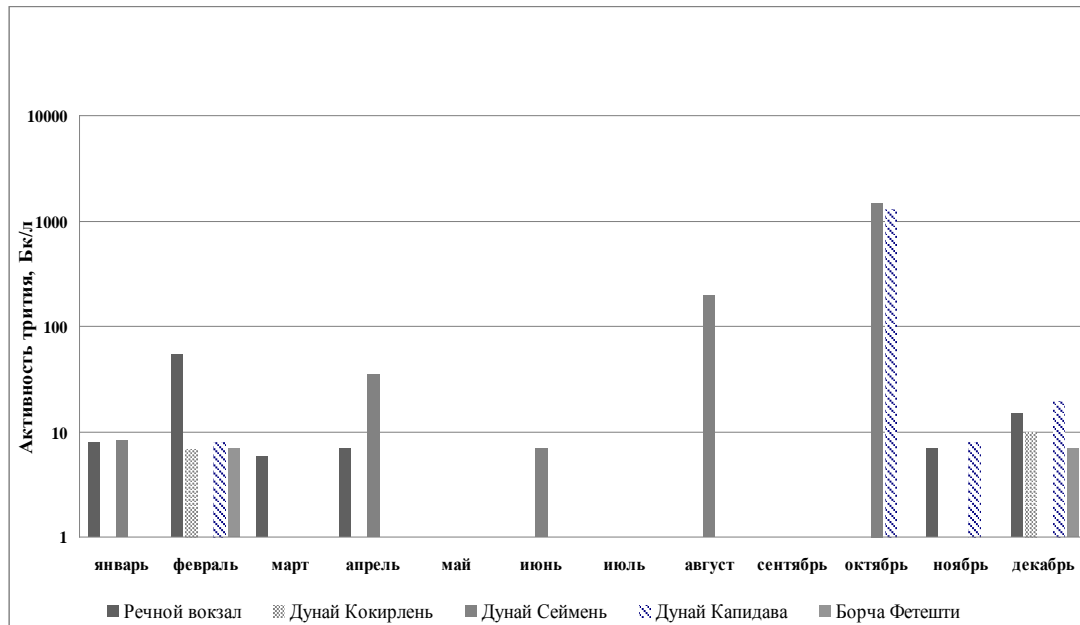


Рис. 4. Среднегодовая активность трития в р. Дунай в районе расположения Чернаводской АЭС

Расстояние от Чернаводской АЭС до Сеймень - 7 км, до Капидава – 20 км, до Кокирлень – 7 км, до Борча-Фетешти – 20 км. Место сброса вод после охлаждения реакторов находится у правого берега реки в четырех километрах ниже г. Чернавода и в трех километрах выше Сеймень. Пункт отбора проб Кокирлень находится до сброса сточных вод, а пункт Борча-Фетешти расположен на другом рукаве р. Дунай, чем Чернаводская АЭС.

Максимальные среднегодовые объемные активности трития в районе Сеймень наблюдались в 2007 г. около 80 Бк/л и в 2008 г. около 55 Бк/л. В 2011 и 2012 гг. среднегодовые объемные активности не превышали 15 Бк/л. На рис. 5 показано распределение объемной активности трития в районе расположения Чернаводской АЭС по месяцам за 2007 г. [7].





**Рис. 5.** Распределение объемной активности трития в р. Дунай в районе расположения Чернаводской АЭС в 2007 г.

Из рисунка видно, что с июня по октябрь объемная активность трития в районе Сеймень увеличилась с 8 почти до 2000 Бк/л. В результате усреднения за год получили около 80 Бк/л.

Для оценки трансграничного влияния Чернаводской АЭС на содержание трития в р. Дунай на территории Украины были отобраны пробы воды в районе городов Рени, Измаил и Вилково.

Отбор проб и подготовка образцов воды для измерения трития проводилась в соответствии с ДСТУ ISO 9698-2001. Содержимое трития было измерено на жидкостинцилляционном  $\alpha$ - $\beta$ -спектрометре Quantulus-1220-003 производства Финляндии. Относительная погрешность измерения  $\pm 5\%$ . Суммарная относительная погрешность с учетом подготовки пробы составляет  $\pm 20\%$ .

Результаты измерений объемной активности трития в р. Дунай за этот период приведены на рис. 6 [8, 9]. Сплошными кривыми на рисунках показаны линейные аппроксимации результатов измерений.

По результатам измерений можно сделать вывод о том, что за период с 1993 по 2004 гг. величина объемной активности трития в р. Дунай в пределах ошибок измерений не изменялась. Начиная с 2004 г. по 2014 г. происходит увеличение объемной активности трития по линейному закону с 2,5 до 15 Бк/л. Величины измеренных объемных активностей трития на р. Дунай на территории Украины в 3 – 5 раз превышают фоновое значение ( $\sim 4$  Бк/л).

Одним из возможных источников, приводящий к изменению объемной активности трития, может быть Чернаводская АЭС, расположенная на территории Румынии в 160 км от границы с Украиной.

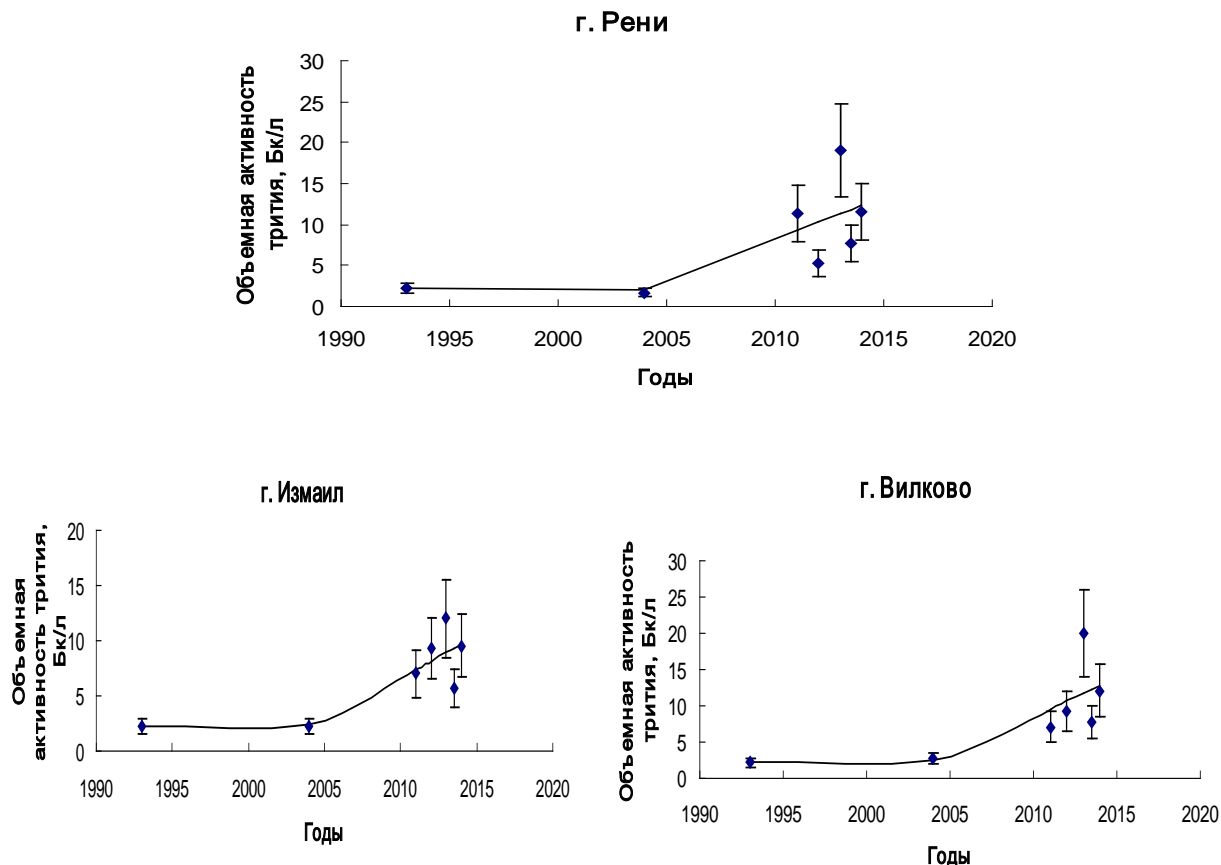


Рис.6. Результаты измерений объемной активности трития в р. Дунай (Украинская часть)

В соответствии с НРБУ-97 объемная активность трития в питьевой воде не должна превышать величины  $3 \cdot 10^4$  Бк/л [10], в России – 7700, в США – 740 Бк/л, в странах ЕС – 100 Бк/л. Установленный норматив в Украине в 4 раза превышает норматив 7610 Бк/л, который рекомендован ВООЗ и EURATOM [3].

#### Трансграничное влияния Черноводской АЭС на содержание трития в р. Дунай, протекающей по территории Украины, при нормальных условиях эксплуатации.

При моделировании распространения трития от Черноводской АЭС до территории Украины использовался программный комплекс PC CREAM [11]. Программная система предназначена для расчета радиационного воздействия продолжительных (не аварийных) выбросов в атмосферу и сбросов в реки и моря радиоактивных веществ.

В расчетах считалось, что два блока АЭС равномерно сбрасывают тритий в реку при суммарном годовом сбросе, равном  $1,08 \cdot 10^{15}$  Бк [3].

При моделировании использовалась "динамическая модель", позволяющая учитывать некоторые гидрологические параметры реки. Весь участок моделирования от Черноводской АЭС до территории Украины был разбит на четыре участка (камеры). На 1-ом участке, длиной 48 км, моделировалось распространение трития от сбросного канала АЭС по правому рукаву р.Дунай до слияния с левым рукавом. Средняя по створу скорость течения для всех участков принималась равной 1,66 м/с. Расход в сбросном канале – 108 м<sup>3</sup>/с. Расход воды в русле – 2300 м<sup>3</sup>/с. На 2-ом участке длиной 93 км рассматривалось распространение трития в реке до впадения крупного притока – р. Сирет. Расход воды на данном участке - 4600 м<sup>3</sup>/с. 3-й участок длиной 23 км описывает р.Дунай между двумя притоками: р. Сирет и р. Прут. Здесь расход воды - 4795 м<sup>3</sup>/с (добавился поток воды из р.

Сирет с расходом  $195 \text{ м}^3/\text{с}$ ). 4-й участок длиной 40 км описывает перемещение трития по украинской территории после впадения р. Прут. Расход воды здесь -  $4900 \text{ м}^3/\text{с}$  [12].

Скорость смыва верхнего слоя донных отложений на всех участках равна  $5 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}$ , что характерно для больших европейских рек. Количество взвесей в воде выбираем равным  $2 \cdot 10^{-4} \text{ т/м}^3$  [13].

Результаты расчетов объемной активности при нормальной работе Чернаводской АЭС приведены на рис. 7 (кривая 1).

Расчеты показывают, что объемная активность в правом рукаве р. Дунай после сброса с АЭС, равная примерно 15 Бк/л после разбавления и взаимодействия с примесями к украинской территории уменьшается до 7 Бк/л. Эти данные не учитывают фоновую объемную активность трития в р. Дунай.

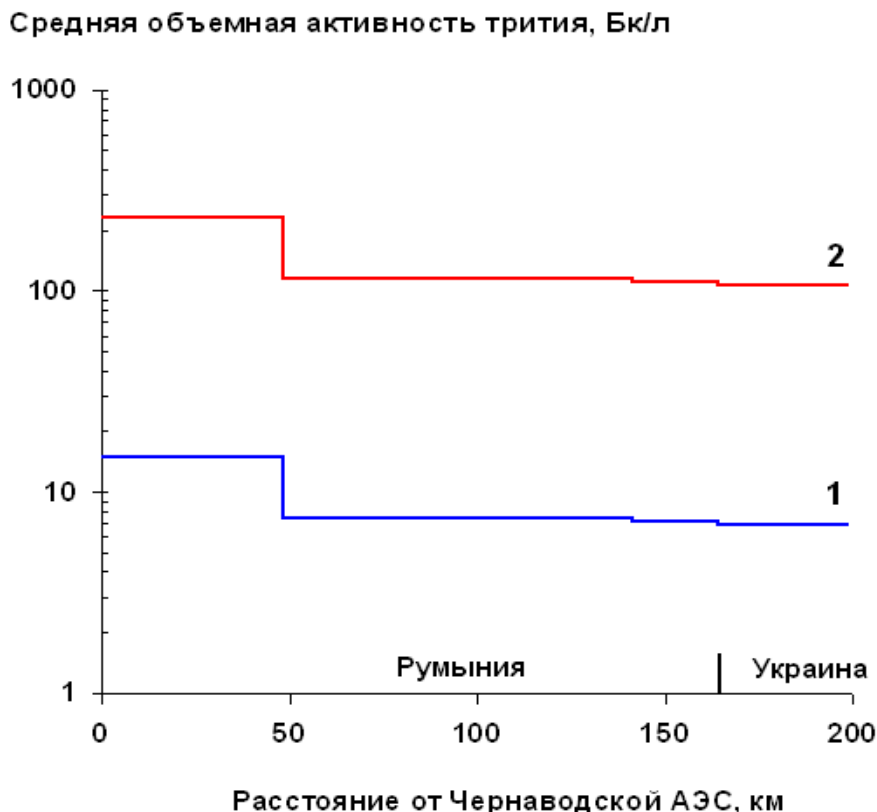
Если учесть фоновую активность трития в р. Дунай, равную 4 Бк/л, то по проведенным расчетам сбросы трития с одного блока Чернаводской АЭС при нормальных условиях увеличивают общую объемную активность трития на украинской территории с 4 до 11 Бк/л, что согласуется с результатами измерений за период с 2011 – 2014 гг.

Таким образом, вследствие работы двух блоков на Чернаводской АЭС, объемная активность трития в украинских водах р. Дунай увеличивается на 7 Бк/л.

**Оценка трансграничного влияния Чернаводской АЭС в условиях, отличных от нормальных.**

На рис. 5 приведены данные по измеренной удельной активности трития на расстоянии 2,5 км ниже выпуска сбросного канала. В октябре месяце наблюдались аномально высокие объемные активности трития, примерно равные 2000 Бк/л.

Согласно подходу МАГАТЭ [13] при моделировании распространения радионуклидов в реках различают три фазы.



**Рис. 8.** Расчет объемной активности трития в р. Дунай от Чернаводской АЭС до территории Украины для двух вариантов сброса

Первая фаза – область первоначального разбавления и перемешивания по глубине русла, распространяется на расстояние примерно в сто раз больше глубины реки. Это фаза начального перемешивания. Применительно к р. Дунай в районе сброса активности из Чернаводской АЭС это расстояние примерно 500 м.

Вторая фаза – фаза полного перемешивания, при которой происходит перемешивание практически по всей ширине реки или, что то же самое, по всему поперечному сечению русла. Этот процесс может происходить на расстояниях примерно до нескольких десятков км. [13,15].

Третья фаза начинается после окончания второй фазы и характеризуется дисперсией на больших расстояниях и взаимодействием радионуклидов с веществом взвешенных частиц или находящихся на дне отложений.

Используя решение двумерного диффузионного уравнения для фазы 2 [16], мы получаем, что после перемешивания на расстоянии 2,5 км (расстояние от точки сброса до точки измерений) объемная активность в сбросном канале превышает объемную активность у берега сброса в 2,46 раз. Т.е. при описанных выше условиях перемешивания на 1-ом участке объемная активность в сбросном канале была 4920 Бк/л. При годовом сбросе  $1,08 \cdot 10^{15}$  Бк и расходе воды в сбросном канале – 108 м<sup>3</sup>/с объемная активность в нем была 317 Бк/л.

При условиях аномального сброса в октябре 2007 г. объемная активность в сбросном канале выросла по сравнению с нормальными условиями в 15,5 раз. В это время объемные активности трития на участках от Чернаводской АЭС до территории Украины описываются ломаной кривой 2 на рис. 8. В украинских водах р. Дунай средняя объемная активность трития равна 108 Бк/л.

Таким образом, на основании приведенных на рис. 4 данных и полученных расчетов можно предположить, что за счет сбросов трития Чернаводской АЭС в украинских водах р. Дунай объемная активность трития может находиться в диапазоне от 7 до 108 Бк/л. Для получения общей объемной активности к приведенным выше цифрам необходимо добавить фоновое значение, равное 4 Бк/л.

### **Заключение**

Из результатов исследований объемной активности трития можно сделать вывод о том, что работа Чернаводской АЭС привела к увеличению объемной активности трития в р. Дунай на территории Украины в 3 – 5 раз по сравнению с фоновым значением. В некоторых случаях объемная активность трития могла увеличиваться до 108 Бк/л. Ввод в эксплуатацию дополнительно еще двух блоков приведет к увеличению объемной активности трития в р. Дунай до 15 – 20 Бк/л, а в некоторых случаях объемная активность трития может превысить 100 Бк/л.

В связи с этим необходимо возобновить регулярный контроль объемной активности трития в р. Дунай в створах городов Рени и Измаил и Вилково.

Авторы выражают благодарность сотрудникам НИУ «УКРНИИЭП» Васенко А.Г., Лунгу М.Л., Старко Н.В. за оказанную помощь при отборе проб воды из р. Дунай и Калиниченко Е.А. – за подготовку проб для измерения объемной активности трития..

1. Ивахнюк Г.К., Ахмад И.К., Михальченко А.Г. «Перспективы увеличения глобальной радиационной нагрузки от техногенного трития». Тезисы докладов науч.-практ.конф. «Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы» Санкт-Петербург 23-24 апреля 2008 г. – СПб: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России. 2008. – с. 232-236.

2. Raport la studiul de evaluare a impactului asupra mediului pentru CNE Cernavodă Unitățile 3 și 4 (în limba engleză) – București: ICIM, 2007. – 834 p.

3. Долін В.В., Пушкарьов О.В., Шраменко І.Ф. та ін. Тритій в біосфері. – К.: Вид-во „Наукова думка” НАН України, 2012. – 223 с.
4. Igor Liška, Franz Wagner, Jaroslav Slobodník. – Joint Danube Survey 2 (JDS2). Final Scientific Report ICPDR / International Commission for the Protection of the Danube River / [www.icpdr.org](http://www.icpdr.org)
5. National Report on the State of Environment in 2011. - Bucharest – 2012
6. National Report on the State of Environment in 2012 - Bucharest – 2013
7. RAPORT ANUAL PRIVIND STAREA MEDIULUI ÎN ROMÂNIA PE ANUL 2007
8. Огляд робіт по вивченню радіоактивного забруднення території України в 1993 р/ За редакцією Косовця О.О./ Центральна геофізична обсерваторія. – К., 1994. – 113 с.
9. Коваленко Г.Д. Радиоекология Украины: Монография. – 3-е изд., перераб. и доп. – :ИД «Инжэк», 2013. – 344 с.
10. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97); Державні гігієнічні нормативи. – Київ: Відділ поліграфії Українського центру Госсанепідназору Міністерства охорони здоров'я України, 1998. – 134 с.
11. PC-CREAM 97. Installing and Using the PC System for Assessing the Radiological Impact of Routine Releases /A. Mayall, T. Cabianca, C. Attwood et al. – NRPB, 1997. – 172 p.
12. Звіт про радіаційне забруднення території України в 2007 році/ Під редакцією Косовця О.О./ Центральна геофізична обсерваторія. – К., 2008. – 123 с.
13. Hydrological Dispersion of Radioactive Material in Relation to Nuclear Power Plant Siting. Safety series 50-SG-S6, IAEA, Vienna, 1985.

1. Ivahnuk G.K., Ahmad I.K., Mihalchenko A.G. “Perspectives of global increasing of radiation loading from man-made tritium” Abstracts of scientific- practical conference. "Security Service in Russia: experience, problems and perspectives" St. Petersburg , April 23-24, 2008 - St. Petersburg State University Fire Service of EMERCOM of Russia. 2008 - p. 232-236. [in Russian]
2. Raport la studiul de evaluare a impactului asupra mediului pentru CNE Cernavodă Unitățile 3 și 4 (în limba engleză) – București: ICIM, 2007. – 834 p.
3. Dolin V.V., Pushkarev O.V., Shramenko I.F. and the others.. Tritium in biosphere. – K: Publication House.: " Scientific thought " National Academy of Sciences of Ukraine , 2012. - 223 p. [in Ukrainian]
4. Igor Liška, Franz Wagner, Jaroslav Slobodník. – Joint Danube Survey 2 (JDS2). Final Scientific Report ICPDR / International Commission for the Protection of the Danube River / [www.icpdr.org](http://www.icpdr.org)
5. National Report on the State of Environment in 2011. - Bucharest – 2012. [in English]
6. National Report on the State of Environment in 2012 - Bucharest – 2013. [in English]
7. ANNUAL REPORT ON STATE OF THE ENVIRONMENT IN ROMANIA 2007. [in English]
8. Review of works from studying of radioactive contamination of Ukraine territory in 1993 / By editorship of Kosovets O.O. / Central Geophysical Observatory. - K., 1994. - 113 p. [in Ukrainian]
9. Kovalenko G.D. Radioecology of Ukraine: Monograph . - 3rd ed . , Rev. and add. - Publication House " Inzhek ", 2013. - 344 p. [in Russian]
10. Radiation Safety Standards of Ukraine ( NRBU -97 ); National/Public/Governmental hygienic standards. - Kyiv: Polygraphy Department of Ukrainian center of SSES of Ministry of Health's of Ukraine, 1998. - 134 p. [in Ukrainian]

11. *PC-CREAM 97. Installing and Using the PC System for Assessing the Radiological Impact of Routine Releases* /A. Mayall, T. Cabianca, C. Attwood et al. – NRPB, 1997. – 172 p. [in English]
12. Report about radioactive contamination of Ukraine territory in 2007 / By edition of Kosovets O.O. / Central Geophysical Observatory. - K., 2008. - 123 p. [in Ukrainian]
13. Hydrological Dispersion of Radioactive Material in Relation to Nuclear Power Plant Siting. Safety series 50-SG-S6, IAEA, Vienna, 1985. [in English]

**В.І. Вітько, Ю.М. Жегуліна, Г.Д. Коваленко**

**ТРАНСКОРДОННИЙ ВПЛИВ ЧЕРНАВОДСЬКОЇ АЕС НА ЗАБРУДНЕННЯ РІКИ ДУНАЙ ТРИТІЄМ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ**

*У статті розглядається вплив Чернаводської атомної електростанції на природне водне середовище ріки Дунай у трансграничному контексті. Наведені дані о скидах тритію, залежність об'ємної активності тритію у р. Дунай та його притоках від відстані, середньорічні об'ємні активності тритію. Надано оцінку трансграничного впливу Чернаводської АЕС в умовах, відмінних від нормальних.*

**V.I. Vit`ko, I.M. Zhegulina, G.D. Kovalenko**

**TRANSBOUNDARY IMPACT OF CHERNAVODSKA NPP ON TRITIUM POLLUTION OF DANUBE RIVER IN UKRAINE TERRITORY**

*In given article, influence of Chernavodska nuclear station on natural aquatic environment of Danube river ( in transboundary context ) is considered. Data about tritium discharges, average annual volume activities of tritium ,dependencies between volume activity of tritium in Danube River and its inflows from the distance ,is presented. Assessment of transboundary impact from Chernavodska NPP (in conditions, that are different from normal)is presented*

УДК 614.838; 623.459.59

**О.М. МИРОШНИК**

*Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України*

## **КОМПЛЕКСНА СИСТЕМА РАНЬОГО ВИЯВЛЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**

*В статті розглянуто новий підхід до раннього виявлення надзвичайних ситуацій з допомогою визначення швидкості нарощення концентрацій небезпечних речовин та врахування впливу різномірних зовнішніх факторів.*

### **Вступ**

Сучасні прилади, системи виявлення надзвичайних ситуацій (НС) працюють на принципі – “факт здійснення”. Зокрема, пожежні сповіщувачі (світлові, димові, теплові) спроможні подати сигнал «Пожежа» вже після виникнення горіння. Водночас на початковій стадії горіння, здебільше при тлінні, виділяється: водень ( $H_2$ ) у невеликих кількостях – 0,001-0,002 %; ароматичні вуглеводні на фоні недоокисленого вуглецю – оксиду вуглецю (CO) – 0,002-0,008%, далі при відкритому горінні різко зростає концентрація діоксиду вуглецю ( $CO_2$ ) – 0,1%. Прилади для виявлення таких малих кількостей продуктів горіння на даний час носять інноваційний характер, вони мають значну вартість та великий час визначення [1,3,4].

Для раннього виявлення НС хімічного характеру використовуються прилади системи «Дозор» виробництва НВП «Оріон» м. Харків [2], але вони мають суттєві недоліки – має місце перехресна чутливість практично для всіх газів. Зокрема при визначенні концентрації однієї речовини наявність 5-8 інших речовин може дати похибку вимірювання 10%, і ще більшу похибку при малих концентраціях визначаємої речовини, що для нас дуже важливо. Для визначення концентрації вибухових газів (прилад «Дозор») використовується один термохімічний датчик, який спрацьовує від 113 інгредієнтів, а налаштування його проводять на одній каліброваній суміші. Селективність також відсутня.

Розроблена «Комплексна система раннього виявлення надзвичайних ситуацій та оповіщення» підприємством «Інтерпом» - 8.0530.000. не може відповідати терміну «раннього» так, як система реагує на ознаки надзвичайної ситуації, яка вже трапилася [6]. Прилади «Дозор» спрацьовують (подають сигнал) на задані пороги концентрацій  $P_1$  та  $P_2$ , але це не вихід із ситуації. Сигнал «Небезпека» розглядається як здійснений факт.

В сучасних публікаціях [4,5] та дисертаційних дослідженнях [3] йдеться мова про розробку напівпровідникових датчиків нових поколінь (з великою селективною чутливістю). Літературні джерела про врахування зовнішніх факторів та стану обладнання при визначенні критичного стану на об'єкті відсутні.

### **Постановка задачі**

Сучасні прилади виявлення НС використовують алгоритми аналізу критичної точки концентрації небезпечних речовин, але не враховують зовнішніх факторів, які впливають на процес вимірювання.

Корекцію точки небезпеки ( $C_{кр}$ ) здійснюють в межах від  $C_{кр.min}$  до  $C_{кр.max}$  без врахування великої кількості діючих факторів. Показник ризику знаходиться у великому діапазоні критичних концентрацій (рис.1):

при  $C_{кр.min}$  – ризик вибуху зменшується, але залишається велика ймовірність подальшого збільшення концентрації небезпечних речовин.

при  $C_{кр.мах}$  – ризик вибуху збільшується і є можливість настання НС раніше досягнення  $C_{П2}$ .

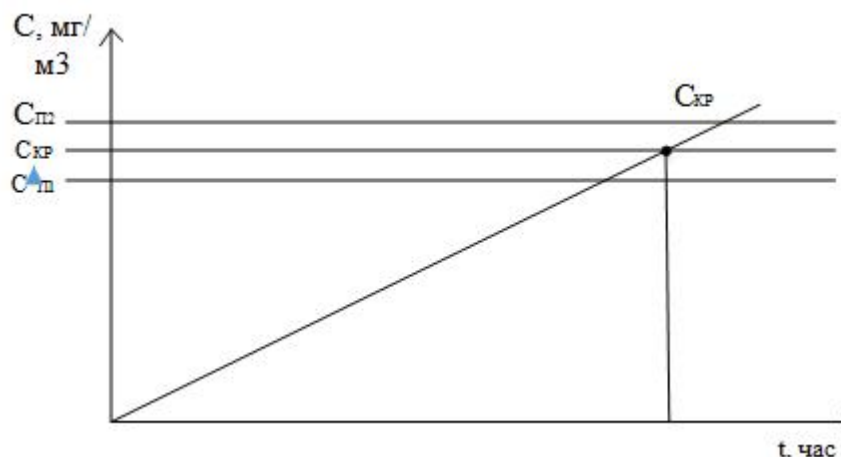


Рис. 1. Корекція точки небезпеки

Крім цього запропонований метод недосконалий так, як він враховує тільки один фактор – сигнал критичної концентрації від датчиків приладів «Дозор». При цьому не враховується значна кількість факторів (внутрішніх, зовнішніх), які в значній мірі впливають на розвиток надзвичайних подій. Схема діючої системи виявлення НС зображена на рис. 2.

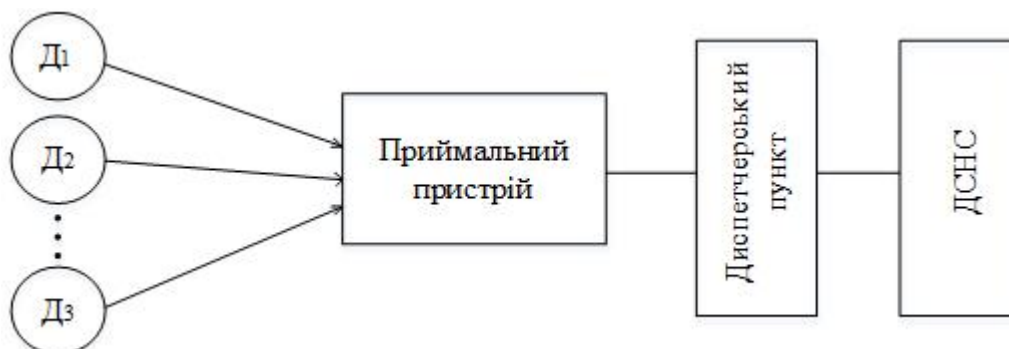


Рис. 2. Схема діючої системи виявлення НС

При вирішенні задач раннього виявлення НС вибухово-пожежного чи хімічного характерів необхідно враховувати зовнішні фактори природного впливу та внутрішньо-технічного стану обладнання, підготовку обслуговуючого персоналу та ін. Іншими словами для раннього визначення критичного стану важливо врахувати реальну обстановку на об'єкті.

### Вирішення задач

Стан навколишнього середовища – це динамічні природні фактори впливу на процес можливого виникнення НС – температура навколишнього середовища більше, або менше 20°C, вологість повітря, наявність туману, дощу, снігу, небезпечний термін дії хімічних реагентів, швидкість та напрям дії вітру, радіаційне сонячне випромінювання, час доби та інші фактори.

Технічні характеристики стану об'єкту – це фактори відносно постійні, але їх необхідно визначити, при необхідності корегувати, та використовувати при визначенні критичних ситуацій. Це такі фактори як: місце розташування об'єкту серед інших



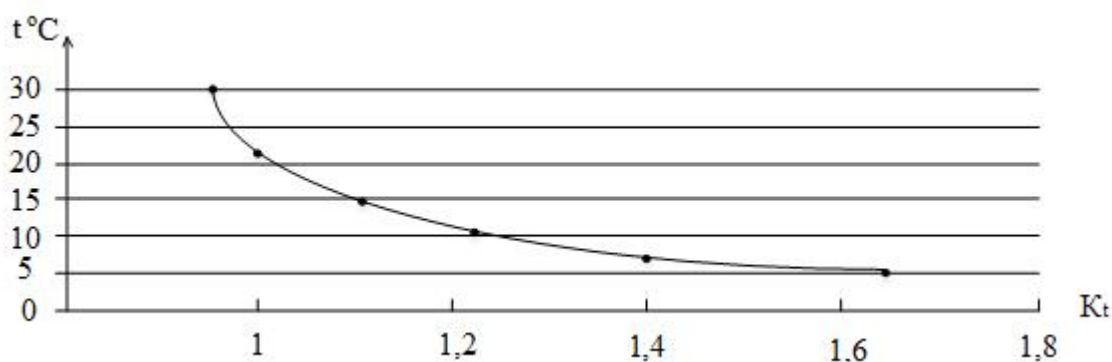
будівель, рельєф місцевості, конфігурація об'єкту, можливість ініціації вибуху, технічний стан об'єкту, технологічність процесів на об'єкті.

**Таблиця 1.** Постійні та динамічні фактори впливу на процес раннього виявлення НС

п/п	Фактор впливу	Величина впливу фактору	Величина коефіцієнту впливу
I Динамічні фактори			
	Температура небезпечної речовини	$X_{1.1}$	$V_{1.1}$
	Температура навколишнього середовища	$X_{1.2}$	$V_{1.2}$
	Вологість повітря	$X_{1.3}$	$V_{1.3}$
	Наявність атмосферних опадів	$X_{1.4}$	$V_{1.4}$
	Швидкість та напрям повітряних потоків	$X_{1.5}$	$V_{1.5}$
II Постійні фактори			
	Технічний стан об'єкту	$X_{2.1}$	$V_{2.1}$
	Технологічність процесів на об'єкті, їх забезпечення	$X_{2.2}$	$V_{2.2}$
	Час дії небезпечної речовини	$X_{2.3}$	$V_{2.3}$
	Розташування об'єкту серед інших споруд	$X_{2.4}$	$V_{2.4}$
	Рельєф місцевості	$X_{2.5}$	$V_{2.5}$

Фактори впливу навколишнього середовища необхідно вводити в систему автоматично в залежності від параметрів стану середовища. Фактори технічного стану об'єкту корегуються постійно. Фактори організаційного стану вводяться періодично при зміні обслуговуючого персоналу.

Проведені дослідження на вуглеводнях нафти показали, що найбільшу похибку в процес вимірювання концентрації вносить температура повітря. Визначена величина коефіцієнту впливу в залежності від температури  $K_t$  відображена на рис.3.



**Рис. 3.** Графік поправочних коефіцієнтів у залежності від температури повітря

Виходячи з вище викладеного запропонована система раннього виявлення повинна включати динамічні фактори та постійні фактори, а також значення коефіцієнту впливу. Схема запропонованої системи зображена на рис. 4

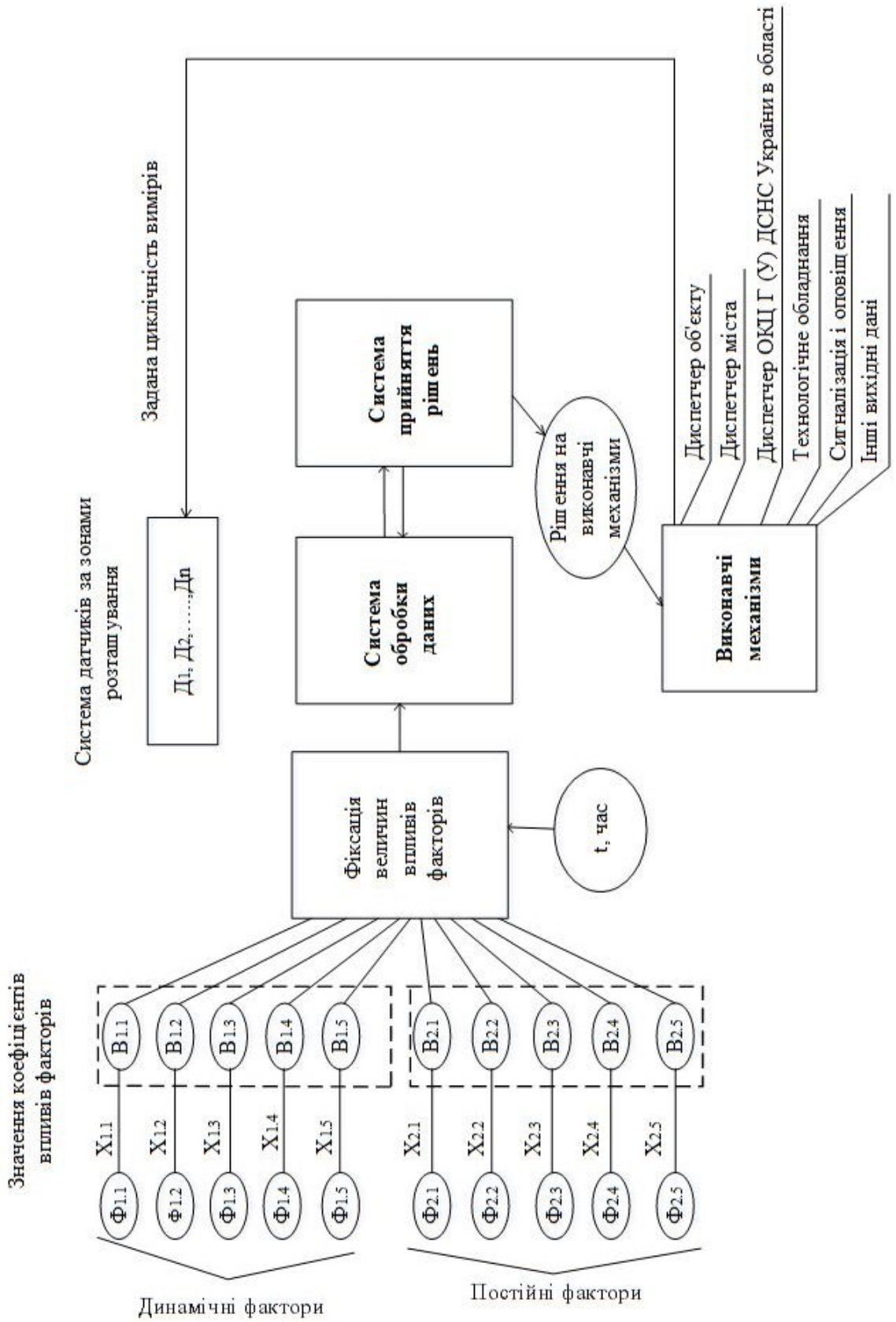


Рис. 4. Схема запропонованої системи раннього виявлення НС

При використанні приладів «Дозор», як первинних датчиків в системі раннього виявлення небезпечних ситуацій недостатньо, як вже зазначалося, вони видають сигнал «Небезпеки» коли вже досягнуто небезпечні параметри, тому потрібно використати (врахувати) швидкість нарощення концентрації:

$$tg\alpha = \frac{\Delta C}{\Delta \tau}$$

Розглянуту залежність швидкості зміни концентрації від часу, що в свою чергу визначає час виникнення небезпечної концентрації, яка враховується системою заздалегідь, представлено на рис.5.

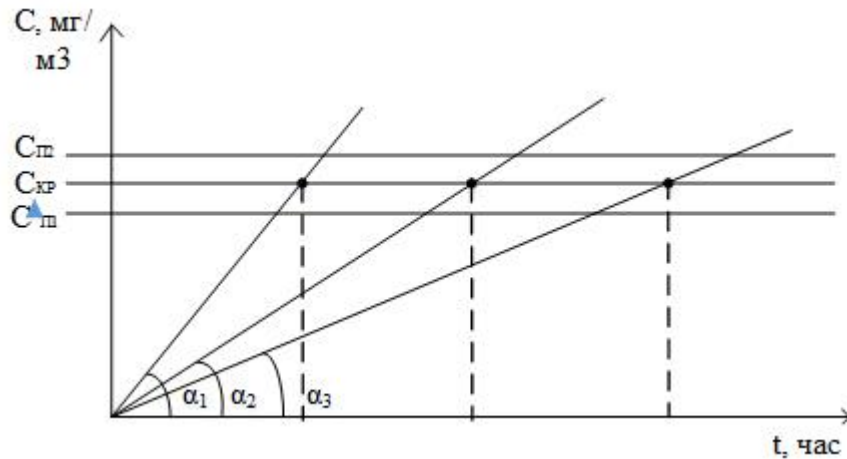


Рис. 5. Графік залежності швидкості нарощування концентрації від часу

Визначення швидкості нарощування концентрації необхідно здійснювати за допомогою пристрою фіксації та обробки інформації, який реєструє та опрацьовує інформацію з датчиків. При цьому визначатиметься коефіцієнт небезпеки ( $K_H$ ), який залежить від зміни швидкості нарощення концентрації ( $tg\alpha$ ), різниці між граничнодопустимим ( $C_{кр}$ ) та останнім вимірним ( $C_n$ ) значеннями концентрації небезпечної речовини. В даному випадку залежність матиме наступний вигляд:

$$K_H = f(C_n, C_{кр}, tg\alpha_1, tg\alpha_2, \dots, tg\alpha_n)$$

де  $n$  – кількість значень вимірів

### Висновки

Запропонована комплексна система раннього виявлення НС в якій враховується вплив зовнішніх факторів, технічний стан об'єкту, а також функціонування системи з алгоритмом роботи, який враховуватиме швидкість нарощення концентрації, дозволить виявити НС на ранній стадії розвитку, і тим самим вчасно вжити заходи із ліквідації і мінімізації її наслідків.

Функціонування комплексних систем раннього виявлення надзвичайних ситуацій, які враховують вплив різних факторів, вимагає опрацювання великої кількості вхідних даних, крім того деякі з них можуть бути представлені у вигляді нечітких величин. Тому, метою подальших досліджень є розробка алгоритмів обробки інформації та побудова структури системи обробки інформації.

1. Современные датчики. Справочник. Дж.Фрайден. Перевод с английского Ю.А. Заболотный. Техносфера. Москва 2005.
2. Сигнализаторы-анализаторы газов Дозор-С-х-хх-х23х-х-х, Дозор-С-х-хх-х36х-х-х.-Руководство по эксплуатации. – АГАТ.468514.004-36 РЭ .НПП «Орион». г.Харьков, 2009р – 52с.

3. А.В. Прусський Розробка газового пожежного сповіщувачі з напівпровідниковим чутливим елементом спіралевидного типу для виявлення первинної стадії горіння целюлозовмісних матеріалів: дис. канд. техн. Наук : 21.06.02 : захищена 28.01.10 / Прусський Андрій Віталійович. — Х., 2010. — 157 с.

4. Раннее обнаружение пожара. Полупроводниковые газовые сенсоры. В. Антоненко, А. Васильев, И. Олихов. Электротехника №4 2001г.

5. Напівпровідникові сенсори теорія, конструкція, застосування. П.Ф. Будьонов, Ю.Г. Данік, О.Ю. Заславська, В.Д. Калугін, А.В. Сергєєв. м. Харків Університет внутрішніх справ. 2001р.

6. Комплексна система раннього виявлення надзвичайних ситуацій та оповіщення. Підприємство «Интерпром» 8.0530.000.

1. Modern sensors. Guide. J. Friden. Translated from English by Y. A. Zabolotniy. Technosphere. Moscow 2005. [in Russian]

2. Detectors-gas analyzers Dozor-C-x-XX-x23x-x-x-Watch-C-x-XX-x36x-x-X.-operating instructions. – AGATE.468514.004-36 re .RPC "Orion". Kharkov, 2009 – 52p. [in Russian]

3. A. V. Prussian, the Development of gas fire detectors with semiconductor sensitive element in a spiral-type to identify the initial stage of combustion celulozowych materials: dis. candidate. tech. Sciences : 21.06.02 : protected 28.01.10 / Prussian Andrey. – H., 2010. – 157 p. [in Ukrainian]

4. Early detection of a fire. Semiconductor gas sensors. V. Antonenko, A. Vasilyev, I. Oligov. Electrical engineering, No. 4, 2001. [in Russian]

5. Semiconductor sensors theory, design, application. P. F. Budionov, Yu. G. Danik, A. Yu. Zaslavsky, V. D. Kalugin, A.V. Sergeev. Kharkiv University of internal Affairs. 2001. [in Ukrainian]

6. The comprehensive system of early detection of emergencies and notification. The Company "Interprom" 8.0530.000. [in Russian]

**О.М. Мирошник**

КОМПЛЕКСНА СИСТЕМА РАННЬОГО ВИЯВЛЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

*В статье рассмотрен новый подход к раннего выявления чрезвычайных ситуаций с помощью определения скорости увеличения концентраций опасных веществ и учета влияния разнородных внешних факторов.*

**O. Miroshnik**

COMPREHENSIVE SYSTEM OF EARLY DETECTION OF EMERGENCY SITUATIONS

*In the article describes a new approach to early detection of emergency situations by determining the rate of increase of concentrations of hazardous substances and taking into account the influence of diverse external factors.*