

МАТЕМАТИЧНИЙ ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ РИЗИКІВ ДЛЯ НАСЕЛЕННЯ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ ВІД ВПЛИВУ ТЕХНОГЕННИХ ОБ'ЄКТІВ

Abstract. This paper reviews the domestic and foreign mathematical models of the technogenic risk evaluation. The classification of models of the risk evaluation of chemically hazardous objects is contained. Done the analysis of each model.

Актуальність

Останніми роками актуальною проблемою став аналіз і прогноз негативних змін якості оточуючого середовища в результаті природних і антропогенних дій. При цьому виникає необхідність, з одного боку, кількісної оцінки ймовірності виникнення процесів і явищ, що знижують якість навколишнього середовища, а з другого боку, кількісної оцінки можливих збитків від їх прояву.

У основі оцінки таких наслідків лежить методологія аналізу, оцінки та управління ризиками впливу різних факторів на біосферу та здоров'я населення в цілях збільшення обґрунтованості прийняття управлінських рішень в області екологічної безпеки.

Постановка задачі

Для забезпечення екологічної безпеки на певній території (район, місто, держава тощо), відповідним управлінським органам на початковому етапі потрібно виконати аналіз та оцінку ризиків для навколишнього середовища та населення, що виникають під впливом природних чи антропогенних факторів.

В статті [6] здійснено аналіз та порівняння основних вітчизняних та закордонних методів аналізу ризиків, які відрізняються методологічним підходом, цілями та завданням аналізу, математичним апаратом тощо.

В даній роботі виконано аналіз найбільш відомих математичних моделей оцінки техногенного ризику.

Вирішення задачі

Для кількісної оцінки ризику запропонована класифікація моделей, яка представлена на рис. 1. Класифікація моделей здійснена за: джерелом виникнення, об'єктом впливу та призначенням [1, 5].

За джерелом виникнення розрізняють об'єктно-залежні моделі, призначені для оцінки ризику техногенних джерел, тобто хімічно небезпечних об'єктів (ХНО), і об'єктно-незалежні від джерела виникнення моделі, призначені для оцінки ризику, викликаного комплексними джерелами небезпеки – природними, техногенними (різними видами небезпечних

виробничих (хімічно небезпечних) об'єктів, транспортом і т.п.), соціальними в різних їх комбінаціях (природно-техногенні, природно-соціально-техногенні) і формах прояву (систематичний вплив, сумісний вплив і т.п.).

За об'єктом впливу розрізняють моделі, направлені на оцінку ризику для окремих реципієнтів: людини, населення (соціальний ризик), навколишнього середовища (екологічний ризик), матеріальних об'єктів (економічний ризик) або на оцінку потенційного територіального ризику для різних реципієнтів (населення, навколишнього середовища, матеріальних об'єктів). Дана група моделей призначена для оцінки індивідуального і колективного ризиків.

За призначенням розрізняють моделі оцінки ризику систематичних негативних впливів на людину і оточуюче середовище, ризику в результаті аварій на ХНО і ризику професійної діяльності, пов'язаного з роботою в шкідливих умовах або з потенційно небезпечними речовинами і матеріалами.

До об'єктно-залежних від джерела виникнення (хімічно небезпечного об'єкту) моделей аналізу і оцінки ризику в результаті аварій відносяться логіко-графічні, логічні і ймовірно-статистичні моделі (теоретико-ймовірнісні, ймовірно-евристичні, статистичні (частотного аналізу аварійних подій)), феноменологічні та емпіричні (напівемпіричні) моделі.

У результаті використання логіко-графічних, логічних і ймовірнісних моделей:

- визначаються сценарії розвитку аварії;
- визначається ризик нанесення збитків різних видів по одному, декільком або за всіма сценаріями;
- проводиться ранжирування сценаріїв за ступенем їх небезпеки та ймовірнісна оцінка ризику аварії при виникненні хоча б однієї аварійної ситуації або хоча б одного фактора ризику;
- визначається ризик нанесення хоча б одного чи всіх видів збитку при реалізації даної аварії.

Феноменологічні моделі використовуються для моделювання ризиків систематичних дій і ризиків сумісної дії декількох факторів, а також ризиків токсичних дій в результаті викидів і скидань отруйних хімічних речовин і при поводженні з небезпечними речовинами і матеріалами.

При оцінці соціального (колективного або групового ризику для виробничого персоналу) і ризику для населення в об'єктно-незалежних від джерела моделях використовуються статистичні дані по щільності розподілу населення на розглянутій території або чисельності персоналу на різних об'єктах з урахуванням графіків роботи, часу доби, для розрахунків методом F/N кривих (частота-тяжкість наслідків). Однак за відсутності статистично значущої інформації для оцінки наслідків аварій на небезпечних виробничих об'єктах у вигляді індивідуального та колективного ризику часто використовуються спрощені напівемпіричні залежності. Крім того, при виборі моделей оцінки ризику слід врахувати, що природні та техногенні небезпеки з точки зору створення загрози для людей діляться на дві групи.

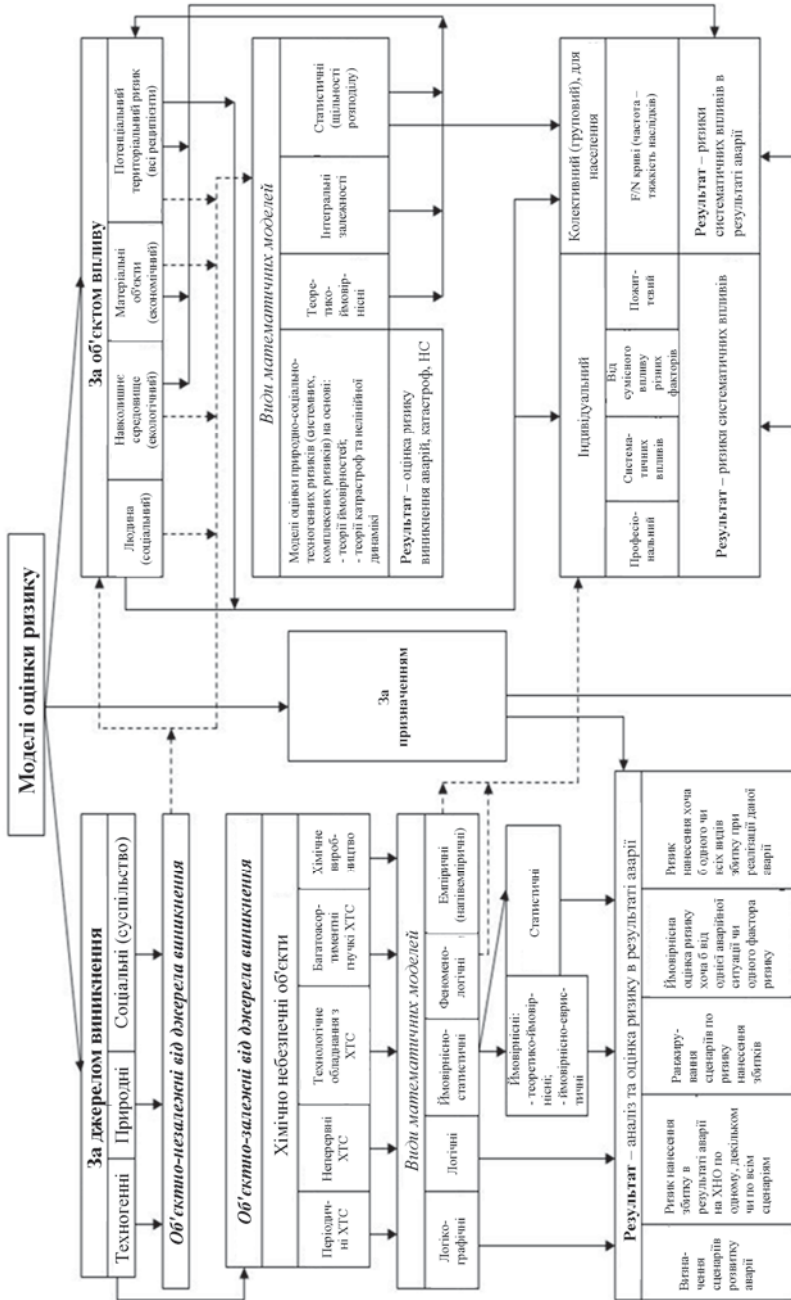


Рис. 1. Класифікація моделей оцінки ризику ХНО

*ХТС – хіміко-технологічні системи

До першої належать небезпечні природні або техногенні явища, які створюють вражаючі фактори (фактори ризику) безпосередньо для людей (тобто люди, які вразливі до первинних вражаючих факторів).

До другої групи належать небезпечні явища, які створюють вражаючі фактори для будівель і споруд. В цьому випадку загрозу для людей представляють вторинні вражаючі фактори, що формуються при руйнуванні будівель і споруд.

Оцінка ризику для людей від небезпек першої групи проводиться як для будь-яких об'єктів. Для небезпек з другої групи загроза для людей має місце за умови їх знаходження в момент небезпечного природного або техногенного явища в будівлях і спорудах. Ступінь загрози в цьому випадку залежить від частки часу, проведеного довільною людиною з деякої групи в будівлях і спорудах уразливих небезпечними вражаючими факторами.

Основні моделі оцінки техногенного ризику наведені в табл. 1 [4, 5, 7].

Розглянемо деякі пояснення до цих моделей. У виразі (1) ймовірності є умовними, і кожна складова потребує розробки або вибору методів і моделей для їх розрахунку. Для визначення ймовірності виникнення події P_1 використовуються методи теорії надійності технічних систем, а також відповідні галузеві банки статистичних даних за характерними відмовами та аваріями. За відсутності статистично значущої інформації визначення ймовірності проводять з використанням причинно-наслідкових закономірностей (логік) виникнення аварійних ситуацій і розвитку аварій як сукупності проміжних подій, тобто на базі розробки відповідних сценаріїв з використанням логіко-ймовірнісних методів аналізу та оцінки ризику [6, 8, 9].

Для визначення значення P_2 необхідно використовувати методи модельного підходу до аналізу та оцінки ризику. Значення умовної ймовірності поразки від рівнів полів і навантажень P_3 визначаються з використанням співвідношень (2)-(4). Ці залежності наводяться в ряді вітчизняних методик оцінки індивідуального і соціального ризиків в результаті аварій у виробничих будівлях і на технологічних установках. Ризики оцінюються при виникненні таких вражаючих факторів, як надлишковий тиск, що розвивається при згорянні газоповітряних сумішей, теплове випромінювання, токсичний вплив. Ці методи базуються на побудові логічних схем виникнення і розвитку аварій для окремих одиниць технологічного обладнання та визначення для кожного з них кількісних величин фізичних вражаючих факторів.

Залежність умовних ймовірностей від цих факторів ураження визначається з використанням емпіричних співвідношень і пробіт-функції (Pr) (3), (4).

Таблиця 1

Моделі оцінки техногенного ризику		Позначення	
1	2	3	4
Призначення	Математичний вираз		
Спрощене узагальнене співвідношення	$R^k = P_1 P_2 P_3,$ $\text{де } P_3 = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-x}^{+x} e^{-\frac{t^2}{2}} dt,$ $Pr = a \pm b \ln(y)^n,$ $y = (\tilde{n}_1 x_1)^{m_1} \pm (\tilde{n}_2 x_2)^{m_2} \pm \dots \pm (\tilde{n}_N x_N)^{m_N},$ $i = \overline{1, N}$	(1) (2) (3) (4)	де R^k – ризик k -го виду (екологічний, економічний, соціальний); P_1 – ймовірність виникнення аварії; P_2 – ймовірність формування певних рівнів фізичних полів; P_3 – ймовірність того, що вказані рівні полів призведуть до певного збитку; Pr – пробіт-функція; $a, b, c_1, c_2, \dots, c_i$ – емпіричні коефіцієнти; $n, n_1, \dots, n_i, m_1, \dots, m_i$ – показники степеня; x_1, x_2, \dots, x_i – змінні величини фізичних вражаючих факторів; y – результуюче поле вражаючих факторів; N – кількість вражаючих факторів; t – час.
Ризик як математичне сподівання збитку ($R_{\text{МО}}$) за всіма видами збитків	$R_{\text{МО}} = \sum_{k=1}^K \sum_{g=1}^G P_{ig}^k Y_g^k$	(5)	де P_{ig} – ймовірність виникнення небезпечної події i -го виду чи реалізації g -го сценарію розвитку аварії; G – кількість сценаріїв; Y_g^k – значення очікуваного збитку k -го виду при g -ому сценарії у вартісному виразі.

1	2	3	4
<p>Середнє значення збитку (\bar{Y}) від небезпечної події за рік чи інший інтервал часу Δt</p>	$R_{\text{МО}} = \sum_{k=1}^k W(Y^k)P(Y^k)$ $\bar{Y} = \sum_{i=0}^I P(H_i)Y_i = P(\Delta t)Y, \Delta t = \overline{1, T}$ <p>при $P(H_1) = P(\Delta t), P(H_0) = 1 - P(\Delta t),$ $Y_1 = Y, Y_0 = 0.$</p>	<p>(6)</p> <p>(7)</p> <p>(8)</p>	<p>де $P(Y^k)$ – ймовірність виникнення збитку k-го виду, $W(Y^k)$ – вагова функція, за допомогою якої наслідки різного виду приводяться до єдиної шкали збитків, визначається експертним шляхом.</p> <p>де $P(\Delta t)$ – ймовірність настання події за час Δt; $P(H_0)$ – ймовірність гіпотези відсутності негативних впливів на інтервалі часу Δt; $P(H_i)$ – ймовірність гіпотези настання i-ої події на інтервалі часу Δt; Y_i – збиток при реалізації i-ої небезпечної події; I – кількість небезпечних подій на розглянутому інтервалі часу Δt.</p>
<p>Соціальний ризик: – за динамікою смертності (на 1000 осіб);</p>	$R_c = \frac{1000(C_2(t) - C_1(t))}{D}, t = \overline{1, T}$	<p>(9)</p>	<p>де R_c – соціальний ризик; $C_1(t), C_2(t)$ – кількість померлих в одиницю часу t (смертність) в досліджуваній групі на початку і в кінці періоду спостереження T; D – загальна чисельність досліджуваної групи.</p>

1	2	3	4
<p>– для одиначної події i</p>	$D_p = P_2(\tau)P_3(\tau) \sum_{s_r=0}^{Gr} P_{0s_r}(\tau)d_{s_r}(\tau)$ $R(d > D_p) = P_1$ $R_i(d > D_p) = \sum_{i=1}^I P_{ii}$	<p>(10)</p> <p>(11)</p> <p>(12)</p>	<p>де D_p – усереднена кількість людей, які піддаються виду збитку, що розглядається; $P_2(\tau)$ – ймовірність формування дозових навантажень певного рівня; $P_3(\tau)$ – ймовірність того, що дозові навантаження викличуть збиток, що розглядається; P_{0s_r} – ймовірність того, що в місці прояву негативного впливу виявиться група людей з однаковими умовами відлугу на даний вплив; τ – розрахунковий момент часу; d_{s_r} – кількість людей в групі; Gr – кількість розрахункових груп, що піддаються впливу; $R(d > D_p)$, $R_i(d > D_p)$ – чисельні значення соціального ризику при одиничній небезпечній події та ряді подій I, що розглядаються; P_i – ймовірність того, що кількість людей, що не менше ніж D_p, може бути піддано збитку; I – кількість врахованих подій.</p>

1	2	3	4
Індивідуальний ризик R_{Σ}	$R_{\Sigma} = \frac{C(t)}{D(F)}$	(13)	де C – кількість потерпілих (загиблих) в одиницю часу t від фактора ризику F ; D – кількість людей підданих до фактору ризику F в одиницю часу t .
Колективний ризик	$R = P(d)D$	(14)	де $P(d)$ – ймовірність ураження окремого індивідуума в результаті впливу факторів небезпеки; D – загальна кількість людей, що піддаються потенційному негативному впливу.
	$R_{Gr} = I_{Gr} / D_{Gr}$	(15)	R_{Gr} – ризик (ймовірність) для індивідуума, що відноситься до групи Gr , стали жертвою нещасного випадку; I_{Gr} – очікувана кількість нещасних випадків на рік для групи Gr ; D_{Gr} – кількість індивідуумів, що відносяться до групи Gr .
Колективний ризик як інтегральна залежність кількості смертей на рік від даного виду	$R = \int_{\Sigma} R_{\Sigma}^*(x, y) D(x, y) dS,$ <p>де $R_{\Sigma}^*(x, y) = \sum_{i=1}^I R_{\Sigma}^i(x, y),$</p> $R_{\Sigma}^i(x, y) = \sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J \lambda_{jg} R_{jg}^i.$	(16) (17) (18)	де $D(x, y)$ – щільність розподілу населення на території S ; $R_{\Sigma}^*(x, y)$ – сумарне поле потенційної небезпеки від усіх i -их джерел негативного впливу з урахуванням їх взаємного розташування; $R_{\Sigma}^i(x, y)$ – сумарне поле потенційної небезпеки від i -го джерела.

Продовження таблиці 1

1	2	3	4
господарської діяльності на даній території			<p>негативного впливу; λ_{jg} – частота (ймовірність) реалізації негативних впливів всіх видів (токсичного, термічного і тиску ударної хвилі) j-ої аварійної ситуації, що розвивається за g-им сценарієм; R_{jg}^i – поле потенційної небезпеки j-ої аварійної ситуації, що розвивається за g-им сценарієм для i-го джерела.</p>
Довічний ризик	$R_q = \int_0^{\infty} H(z) \mu_q(z) dz$	(19)	де R_q – ризик (ймовірність) померти від q -го джерела ризику протягом усього майбутнього життя; $\mu_q(z)$ – повіковий коефіцієнт смертності від q -го джерела ризику; $H(z)$ – функція виживання до віку z ; $\tilde{H}_0(z)$ – модифікована
	$R = \sum_{q=1}^n \int_0^{\infty} \tilde{H}_0 \mu_q(z) dz$	(20)	функція виживання до віку z ; $q = \overline{1, Q}$ – кількість джерел ризику.

Залежно від отриманого значення пробіт-функції визначається умовна ймовірність ураження людини від результуючого поля фізичних факторів. Ця функція для оцінки ризику ураження може бути представлена у вигляді певного інтеграла, відомого під назвою функції Гаусса (функції помилок):

$$R_{\zeta} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\text{Pr}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (21)$$

Верхня межа інтегрування в даному випадку відображає зв'язок між кількісною мірою шкідливого впливу на людину (поглиненої дозою шкідливої речовини, кількістю теплової енергії та ін.) і ймовірністю ураження об'єкта.

Значення емпіричних коефіцієнтів і залежностей умовних ймовірностей ураження від значень пробіт-функцій представлені в методиках [4, 7].

Використання єдиної форми залежності для визначення ризику ураження людей і об'єктів навколишнього середовища обґрунтовано в різних роботах. Поряд із співвідношенням (21) для визначення ризику ураження в зарубіжній літературі часто використовується співвідношення:

$$R_{\zeta} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\text{Pr}-5} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (22)$$

Аналогічні залежності використовуються і при моделюванні несприятливих впливів, які характеризуються детермінованими рівнями впливів (концентраціями шкідливих речовин, потужностями доз випромінювання). Загроза для людей оцінюється в цьому випадку отриманою ними дозою за час перебування у шкідливій зоні. Далі ризик заподіяння шкоди здоров'ю визначається за залежністю «доза-ефект».

Крім ймовірнісної складової ризику існують ще оцінки ризику у вигляді збитків у натуральному вираженні. Це: кількість постраждалих – для оцінки соціального ризику; визначення мас і площ забруднення територій при викидах і скидах небезпечних хімічних речовин – для оцінки екологічного ризику; визначення максимальних розмірів вибухонебезпечних зон та надлишкового тиску в ударній хвилі при вибухах пароповітряної хмари – для економічного та екологічного ризиків і т.д. Для оцінки ризику у вигляді збитків використовуються моделі фізико-хімічних, термодинамічних, теплових явищ і процесів та існуючі методики розрахунку [2, 3].

У табл. 1 наведено два вирази для визначення ризику як математичного очікування збитків за всіма видами збитків (5), (6). За співвідношенням (5) ризик розраховується в грошовому еквіваленті, а за співвідношенням (6) – це ризик безрозмірна величина. Інтерпретація ризику як математичного очікування збитку, розглянутого у вигляді випадкової величини, свідчить про те, що один і той же ризик може бути викликаний або високою ймовірністю відмови з незначними наслідками або обмеженою ймовірністю відмови з високим рівнем збитку. Співвідношення (1)-(6) є спрощеними об'єктно-незалежними моделями оцінки ризику в результаті аварій та систематичних

впливів. У явному вигляді вони не описують реальних механізмів досліджень сценаріїв розвитку аварійних ситуацій.

Найбільш загальним показником ризику є середнє значення збитку (\bar{Y}) від небезпечної події ($i = \bar{1}, \bar{I}$) за рік або інший інтервал часу ($\Delta t = \bar{1}, \bar{T}$) (7).

Якщо протягом року може відбутися більш одного небезпечного явища (події), то показником ризику служить сума збитків по всіх подіях, що мали місце, (7), (8). Однак визначення рівня ризику як ймовірнісної категорії є більш зручним і прийнятним при вирішенні широкого кола завдань наукового і практичного характеру, особливо завдань, що стосуються загальної (комплексної) оцінки рівня безпеки.

Для оцінки ризику використовують кількісні показники індивідуального, колективного, потенційного територіального і соціального ризиків. Запропоновано співвідношення для визначення кількісних показників соціального (9)-(12), індивідуального (13) і колективного (14)-(18) ризиків (табл. 1). В основі розрахунків колективного ризику за співвідношеннями (16)-(18), на відміну від (14), (15), лежить побудова полів потенційного територіального ризику від різних джерел негативних впливів. Співвідношення призначені для розрахунку довічного ((19), (20) табл. 1) і канцерогенного ризику, обумовленого техногенними факторами.

Висновки

Таким чином, з проведеного аналізу основних співвідношень, призначених для кількісної оцінки ризику, виділено 5 груп моделей:

- перша – об'єктно-незалежні від джерела небезпеки співвідношення для оцінки різних видів соціального ризику (колективного, індивідуального), як складової сукупності негативних впливів;

- друга – співвідношення для оцінки інтегрального ризику на розглянутій території (колективного та потенційного територіального індивідуального ризику) з урахуванням всіх потенційно небезпечних об'єктів;

- третя – група напівемпіричних залежностей оцінки наслідків аварій (вражаючих факторів (негативних впливів)) на небезпечних виробничих об'єктах, які використовуються при оцінці ризику в результаті аварій та систематичних впливів;

- четверта група – феноменологічні моделі для розрахунку ризиків систематичних впливів, спільного впливу кількох чинників і ризиків токсичних впливів при поводженні з небезпечними речовинами і матеріалами, а також в результаті викидів і скидів небезпечних хімічних речовин;

- п'ята – група об'єктно-залежних від джерела небезпеки (небезпечного виробничого об'єкта) співвідношень для визначення ризику аварії в термінах теорії ймовірності.

Кожна група моделей враховує одну зі сторін аналізу та/або оцінки

ризиків і не охоплює всього різноманіття процесів виникнення і розвитку аварій на небезпечних виробничих об'єктах.

1. *Альмов В.Т.* Техногенный риск: Анализ и оценка : [учебное пособие для вузов] // В.Т. Альмов, Н.П. Тарасова. – М. : ИКЦ «Академкнига», 2004. – 118 с.
2. *Хміль Г.А.* Концептуально-методичний апарат аналізу й оцінки техногенного та природного ризиків / Г.А. Хміль // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2007. – Вип. 5. – С. 47–55.
3. *Качинський А.Б.* Безпека, загрози і ризик: наукові концепції та математичні методи / А.Б. Качинський. – К. : Поліграфконсалтинг, 2004. – 472 с.
4. *Лисиченко Г.В.* Методологія оцінювання екологічних ризиків / Г.В. Лисиченко, Г.А. Хміль, С.В. Барбашев. – О. : Астропринт, 2011. – 368 с.
5. *Попов О.О.* Математичні моделі оцінки техногенного ризику / О.О. Попов // Электронное моделирование. – 2015. – Т. 37. – № 5. – С. 49–60.
6. *Попов О.О.* Методи аналізу ризиків в екології / О.О. Попов // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України. – 2013. – Вип. 69. – С. 19–28.
7. *Ковач В.О.* Сучасні методи аналізу ризиків в задачах управління екологічною безпекою на техногенно забруднених територіях / В.О. Ковач, В.О. Артемчук, В.О. Куценко // Техногенна безпека та цивільний захист. – 2016. – № 10. – С. 56–64.
8. *Яцишин А.В.* Методы и технологии анализа рисков для здоровья на основе данных мониторинга / А.В. Яцишин, І.П. Каменева, О.О. Попов, В.О. Артемчук // Материали IV Международной научно-технической конференции «МОДЕЛИРОВАНИЕ-2012», (г. Киев, 16-18 мая 2012 г.). – К. : ИПМЭ НАН Украины, 2012. – С. 469–473.
9. *Попов О.О.* Прогнозування аварійного ризику / О.О. Попов // Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист. – 2013. – № 6. – С. 28–33.

Поступила 13.04.2017р.

УДК 621.56 : 629.7

А.А.Чирва, Київ

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СОВРЕМЕННОГО КРАНА-РЕГУЛЯТОРА ВОЗДУШНЫХ СИСТЕМ САМОЛЕТА

Abstract. The article presents mathematical model for the regulator, which can be used for transient simulation of hydraulic and thermal processes in the regulator what is mounted in plane pneumatic system.

Введение. В пневматических системах самолета краны-регуляторы обеспечивают поддержание в определенном месте трубопровода требуемого давления воздуха. Ввиду того, что процессы в самолетных системах протекают с большой скоростью, применяют пневматические краны-