

Оценка экологической эффективности территориальной системы техногенной безопасности

В. М. Попов^{1*}, О.В. Миргород¹, Н.С. Цапко²

¹Национальный университет гражданской защиты Украины, г. Харьков, Украина

²Харьковский национальный экономический университет имени Семена Кузнеця, г. Харьков, Украина

*Corresponding author. E-mail: igorchub1959@gmail.com

Paper received 12.11.15; Accepted for publication 27.11.15.

Аннотация. Проведен анализ показателя экологической эффективности территориальной системы техногенной безопасности в контексте решения динамической многокритериальной задачи определения оптимального состава системы. Проведена декомпозиция оптимизационной задачи в соответствии с режимами функционирования территориальной системы техногенной безопасности – повседневный и режим чрезвычайной ситуации, что позволяет упростить как вид целевого функционала, так и систему ограничений задачи.

Ключевые слова. Экологическая эффективность, система техногенной безопасности, многокритериальная оптимизация, загрязнение окружающей среды, устойчивость системы

Введение. Категория техногенной безопасности характеризует состояние защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций техногенного характера [1]. Функции обеспечения техногенной безопасности в Украине возложены на Государственную службу Украины по чрезвычайным ситуациям (ГСЧС Украины), структура которой представляет собой иерархически упорядоченное множество функциональных и территориальных подсистем и их звеньев.

Проблема обеспечения приемлемого уровня техногенной безопасности территорий требует учета большого количества факторов объективного и субъективного характера, среди которых техническое состояние оборудования (основных фондов) потенциально опасных объектов (ПОО), нарушения технологической дисциплины, отказы и неработоспособность технических средств автоматических систем безопасности ПОО, ограниченность ресурсной базы ГСЧС Украины. При этом важно принимать во внимание характер техногенных угроз, часть из которых носит национальный характер (например, состояние техногенной безопасности на транспорте, на водных объектах или пожарная безопасность), а часть имеет место для определенных территорий Украины. Так, для Харьковской области Украины наиболее актуальными видами техногенных угроз наряду с пожаро и взрывоопасностью являются: химическая опасность – область входит в тройку территорий – лидеров по размещению химически опасных объектов в целом по стране, а также состояние инженерной инфраструктуры территории [2].

С учетом вышесказанного, уровень $\mathfrak{Z}_{\text{ТСТБ}}$ техногенной безопасности территории является функционалом вида $\mathfrak{Z}_{\text{ТСТБ}} = \mathfrak{Z}(\mathfrak{R}(t), P, \omega(t))$, где \mathfrak{R} – многомерная динамическая оценка технического состояния множества ПОО, размещенных на территории, P – множество функциональных свойств ТСТБ [3], $\omega(t)$ – природно-географические и экономические особенности региона, причем последние формируются под влиянием внешней среды – системы более высокого уровня иерархии.

Таким образом, повышение эффективности как систем техногенной безопасности ПОО, так и системы техногенной безопасности территории в целом оказывает непосредственное влияние на уровень защиты здоровья и жизни населения и окружающей среды. Одним из условий является соответствие междуна-

родным стандартам качества в данном виде деятельности, в частности, наличие комплекса инвестиционных альтернатив (на объектовом и региональном уровнях) и сценариев развития внешней среды, а также формальных средств оценки эффективности территориальной системы гражданской защиты как целенаправленной системы [4].

Целью данной статьи является построение показателя экологической эффективности деятельности ТСТБ как подсистемы территориальной социально-экономической системы с учетом ее состава и структуры.

Анализ предыдущих исследований. Задачи оценки эффективности деятельности ТСТБ различных уровней – государственного, регионального, объектового – рассматриваются многими отечественными и зарубежными авторами [5-11]. Традиционная система оценки [2] носит констатирующий характер, опираясь на отчетные данные о количестве чрезвычайных ситуаций (ЧС), аварий и событий техногенного и природного характера, о величине прямого ущерба и количестве пострадавших.

Такой подход не дает возможности оценить эффективность деятельности подсистем ТСТБ в различных режимах ее функционирования в контексте характеристик региональной социально-экономической системы, динамики изменения ее состояния, в том числе состояния ресурсного потенциала собственно ТСТБ.

Техногенная ситуация продуцируется социально-экономической региональной системой, при этом, как показывает анализ [2], основной причиной техногенных аварий и катастроф наряду с человеческим фактором, является состояние основных фондов мегаполиса.

Теоретические и методические аспекты эффективности деятельности ТСТБ как сложной организационно-технической системы рассмотрены в работах [3,4,6].

В работе [5] предлагается количественная оценка эффективности комплекса средств подсистемы профилактики системы обеспечения пожарной безопасности (СОПБ) в виде интегрального критерия, позволяющего также оценить общий уровень пожарной опасности ПОО.

В работе [9] построена и реализована математическая модель оценки размеров зоны загрязнения продуктами горения возможного пожара в зависимости природно-географических особенностей территории:

рельефа территории и преобладающего направления ветра.

В статье [12] рассмотрена трехэтапная технология анализа устойчивости инженерной инфраструктуры города при наличии различных видов случайных отказов, а также с учетом вероятностного влияния такого вида природной катастрофы как ураган.

В монографии [13] обобщен опыт американских специалистов в области оценки эффективности систем безопасности различных объектов. Рассматриваются такие методы оценки эффективности систем безопасности и риска их функционирования, как метод деревьев отказов (FTA); метод деревьев событий (ETA); метод анализа опасности и работоспособности (HAZOR); метод проверочного листа (Check-list); топологические методы; GO – технологии и другие.

В работе [14] для решения задач оценки эффективности систем безопасности предлагается использовать логико-вероятностное моделирование.

В этих и других работах достаточно полно разработаны несколько частных критериев, позволяющих так или иначе оценить экономическую эффективность функционирования различных систем техногенной, в том числе и пожарной, безопасности.

С показателями, характеризующими экономическую эффективность систем безопасности, тесно связана проблема их оптимизации по критерию „эффективность-стоимость“. В общей форме задача синтеза сложных систем, оптимальных по указанному критерию, изложена в [15]. При формировании обобщенного показателя, отражающего эффективность функционирования системы в целом часто используют аддитивный и мультипликативный виды свертки.

В статье [6] рассмотрены два аспекта понятия эффективности региональной системы техногенной безопасности – абсолютная эффективность как степень соответствия параметров ТСТБ требованиям территориальной социально-экономической системы и относительная эффективность как средство повышения текущего уровня развития территории. В соответствии с этим предложены две постановки многокритериальных оптимизационных задач повышения эффективности системы. Выделены и формализованы частные критерии эффективности функционирования региональной системы техногенной безопасности, включающие критерии экономической, бюджетной, социальной, экологической эффективности, а также критерий инвестиционной привлекательности.

В настоящей работе предлагается развитие методологической базы инструментальных средств моделирования состава ТСТБ с целью оценки экологической эффективности системы.

Изложение основного материала.

ТСТБ как сложная целенаправленная организационно-техническая система направлена на предоставление предприятиям и населению региона определенного набора уникальных услуг (предоставляемых только государством и подлежащих лицензированию), которые характеризуются следующими свойствами:

- 1) необходимость работы в нескольких режимах – повседневного (максимум услуг) и режима ЧС (минимум убытков);
- 2) смешанный характер финансирования на регио-

нальном и объектовом уровнях (предприятия могут отнести затраты на себестоимость продукции);

- 3) зависимость характера услуги от состояния основных фондов и вида деятельности ПОО, а также от состояния инженерной инфраструктуры;
- 4) вероятностный характер момента наступления предоставления услуги в режиме ЧС.

В соответствии с первым свойством некоторый вариант состава элементов ТСТБ может быть определен вектором

$$s = \{s_1^{повс}, s_2^{повс}, \dots, s_k^{повс}, s_{k+1}^{уч}, \dots, s_K^{уч}\} = s^{повс} * s^{уч} = s^{повс} \& s^{уч},$$

& – операция конкатенации.

Смешанный характер функционирования ТСТБ вызывает необходимость учета возможности использования одного и того же элемента в повседневном режиме и режиме ЧС. Выделим множество $s^{повс \cap уч}$ таких элементов следующим образом

$$s = \{s_1^{повс}, s_2^{повс}, \dots, s_u^{повс}, s_{u+1}^{повс \cap уч}, \dots, s_k^{повс \cap уч}, \dots, s_{u+U}^{повс \cap уч}, s_{U+1}^{уч}, \dots, s_K^{уч}\} = s^{повс} * s^{уч}$$

Компоненты вектора s заданы на структуре $W^{ТСТБ} = (M^{ТСТБ} \times R^{ТСТБ})$, где $M^{ТСТБ}$ – упорядоченное в соответствии с индексацией независимых переменных s_k дискретное множество всех возможных элементов системы, $card(M^{ТСТБ})=K$, на котором задано множество отношений $R^{ТСТБ}$ [4,5].

Замечание 1. Принимая во внимание сложившуюся практику функционирования ГСЧС Украины, положим в качестве основы дальнейшего исследования, что решение проблемы повышения эффективности действующей ТСТБ осуществляется в рамках проведения целевых государственных программ. При этом обозначим через $t_{п}$ проектную оценку времени выполнения программы.

Анализ актуальных программ развития ТСТБ показывает, что $t_{п}$ может меняться системой более высокого уровня иерархии (заказчиком программы) причем без согласования с непосредственными исполнителями, что является характеристикой турбулентности внешней среды программы. Поэтому положим $t_{п} \in \omega$.

Используя рассмотренную в [6] постановку многокритериальной оптимизационной задачи повышения эффективности ТСТБ, в рамках которой было выделено множество частных критериев экономической эффективности $E_p(s, t, \omega)$, бюджетной эффективности $E_b(s, t, \omega)$, экологической эффективности $E_e(s, t, \omega)$, социальной эффективности $E_s(s, t, \omega)$, а также критерия инвестиционной привлекательности $E_{ин}(s, t, \omega)$, для формирования вида функционала качества применим принцип главного критерия [3].

Выделим здесь в качестве главного критерия частных критерий $E_e(s, t_{п})$ экологической эффективности ТСТБ. Остальные частные критерии формируют ограничения задачи.

Под экологической эффективностью РСТБ понимают минимизацию негативного влияния системы ПОО на природную среду и население территории. Экологическое благополучие региона – один из важнейших показателей качества жизни населения данной территории, непосредственно связанный с уровнем техногенной безопасности.

Будем далее считать обозначения частных критериев $E_{(\bullet)}(s, t, \varpi)$ и $E_{(\bullet)}$ эквивалентными, где (\bullet) определяет тип критерия.

В общем виде частные критерии экологической составляющей E_s могут быть представлены как

$$E_s \in \{ E_s^{\Pi}, E_s^{\Phi}, E_s^B \} = \{ (E_{s1}^{\Pi}, E_{s2}^{\Pi}, \dots, E_{m_{11}}^{\Pi}), (E_{s1}^{\Phi}, \dots, E_{s4}^{\Phi}), (E_{s1}^B, E_{s2}^B, E_{s3}^B) \}, \quad (1)$$

где вектор $E_s^{\Pi} = (E_{s1}^{\Pi}, E_{s2}^{\Pi}, \dots, E_{m_{11}}^{\Pi})$ характеризует уровень токсичных примесей в атмосфере, причем компоненты $E_{s1}^{\Pi}, E_{s2}^{\Pi}, E_{s3}^{\Pi}, \dots, E_{m_{11}}^{\Pi}$ – определяют уровень CO, SO₂, NO и т.п.;

вектор $E_s^{\Phi} = (E_{s1}^{\Phi}, \dots, E_{s4}^{\Phi})$ характеризует уровень различных типов физического загрязнения: E_{s1}^{Φ} – шумового загрязнения, E_{s2}^{Φ} – тепловое загрязнение, E_{s3}^{Φ} – световое загрязнения, E_{s4}^{Φ} – радиационное загрязнение;

вектор $E_s^B \in (E_{s1}^B, E_{s2}^B, E_{s3}^B)$ задает уровень различных типов биологического загрязнения.

Замечание 2. Критерий (1) имеет иерархическую структуру.

Замечание 3. В контексте решения более общей задачи оптимизации уровня $\mathfrak{Z}_{\text{ТСТБ}}$ техногенной безопасности территории экологическая составляющая E_s является дестимулятором, т.е. рост значения критериев ведет к уменьшению уровня $\mathfrak{Z}_{\text{ТСТБ}}$.

Замечание 4. Обозначим множество основных типов техногенной опасности, характерных для некоторой территории через $R^{\text{Realm}} = \{r_1^{\text{realm}}, \dots, r_M^{\text{realm}}\}$.

Для каждого компонента s_k введем вектор $\bar{\Omega}_k = (e_{1k}, e_{2k}, \dots, e_{Mk})$, определяющий степень эффективности влияния компонента s_k на дискретное множество R^{Realm} . Например, это может быть вектор оценок влияния элементов s_k на время реакции ТСТБ в целом как в повседневном режиме, так и в случае ЧС.

Отметим, что критерии $E_p(s,t)$, $E_b(s,t)$, $E_c(s,t)$, $E_{un}(s,t)$ эффективности ТСТБ в свою очередь также являются векторными. Для каждого частного критерия указанных множеств формируется вектор $E_p^{\text{lim}} (E_b^{\text{lim}}, E_c^{\text{lim}}, E_{un}^{\text{lim}})$ предельных (маржинальных) значений, которые определены бюджетом (и возможностями предприятий) и ограничивают текущие значения критериев. При формировании ограничений необходимо учитывать, что часть частых критериев может быть отнесена к классу так называемых «стимуляторов», т.е. подчиняться ограничению вида «... $\geq E_{\bullet}^{\text{lim}}$ », а другая часть – к классу «дестимуляторов», т.е. формировать ограничение вида «... $\leq E_{\bullet}^{\text{lim}}$ ».

В таком случае необходимо предусмотреть процедуру приведения ограничений к единому виду, например к виду «... $\leq E_{\bullet}^{\text{lim}}$ ».

Тогда задача определения структуры и состава ТСТБ, доставляющих оптимальное значение критерию экологической эффективности функционирования ТСТБ имеет вид:

$$(s^*, t) = \arg \underset{s \in G \subset W}{\text{extr}} \Delta E_s(\mathfrak{R}, \Omega, s, t, \varpi), \quad (2)$$

где дискретное множество \bar{G} допустимых решений формируется системой

$$\begin{cases} E_{\mu}(s, t, \varpi) \leq E_{\mu}^{\text{lim}}, \\ E_{\eta}(\mathfrak{R}, s, t, \varpi) \leq E_{\eta}^{\text{lim}}, \mu \in \{ " \sigma ", " p " \}, \eta = \{ " c ", " un " \}, \\ s_k^{\lambda} \in \{ 0, 1 \}, k = 1, 2, \dots, K, \end{cases} \quad (3)$$

λ – режим функционирования элементов ТСТБ.

Очевидно, такое представление значительно увеличит количество ограничений на дискретное множество \bar{G} . Более того, функции ограничений-неравенств могут быть линейными, нелинейными (например, если используется некоторый удельный показатель, такой как, например, удельные затраты ресурсов в общей структуре затрат на производство той или иной услуги). Поэтому необходимо дальнейшее исследование структуры математической модели с целью построения ее возможной декомпозиции.

Осуществим иерархическую декомпозицию задачи (2-3) на основе использования концепции устойчивости производственной территориальной системы (ПТС), с которой, как показано в [11], тесно связано понятие уровня техногенной безопасности территории $\mathfrak{Z}_{\text{ТСТБ}}$.

При системном подходе к обеспечению устойчивости регионального производственного комплекса необходимо учитывать, что функции сопротивления (предотвращения и противостояния) негативным экологическим воздействиям возможной техногенной аварии зависят от режима функционирования ТСТБ.

Следовательно, задачу (2-3) повышения экологической эффективности ТСТБ можно представить в виде двух подзадач в соответствии с двумя режимами функционирования: $F_{\text{повс}}$ – повседневный режим и $F_{\text{чс}}$ – режим чрезвычайной ситуации.

Замечание 5. В качестве оценки $\mathfrak{R}(t)$ технического состояния множества ПОО, размещенных на территории можно рассматривать оценку $S_{\text{ПФ}}(t)$ состояния производственных фондов ПОО.

Оценка $S_{\text{ПФ}}$, определяемая, как показано в [11], надежностью производственных фондов ПОО, есть вероятностная функция времени. Положим, что при наличии на предприятии нескольких элементов производственной базы, подлежащих классификации в качестве потенциально опасных объектов, интегральная оценка техногенной опасности принимается равной максимальной оценке возможной техногенной опасности на множестве таких объектов.

Длительность t_0 первого периода функционирования ТСТБ территории в повседневном режиме прямо пропорционально зависит от эффективности $F_{\text{повс}}$ (профилактика, проведение проектных экспертиз объектов) ТСТБ и оценки $S_{\text{ПФ}}$ (рис. 1).

На этом этапе уровни $E_s^{\Pi}, E_s^{\Phi}, E_s^B$ загрязнения природной среды задаются как фоновые величины, не превышающие нормативный уровень соответствующих предельно допустимых концентраций (ПДК): $E_s^h(t) \leq \text{ПДК}^h, h \in \{ \Pi, \Phi, B \}$.

Следовательно, в качестве функции цели Этапа 1 можно рассматривать величину t_0 – длительность пе-

риода безотказной работы производственной системы территории.

Длительность $(t_1(S_{ПФ}, r_i, F_{чс}) - t_0(S_{ПФ}, F_{повс}))$ второго периода (распространение опасности) прямо пропорционально зависит от вида r_i реализованной опас-

ности и оценки $S_{ПФ}$. В то же время длительность распространения опасности r_i обратно пропорциональна эффективности $F_{чс}$ выполнения системой техногенной безопасности региона функций режима чрезвычайной ситуации.

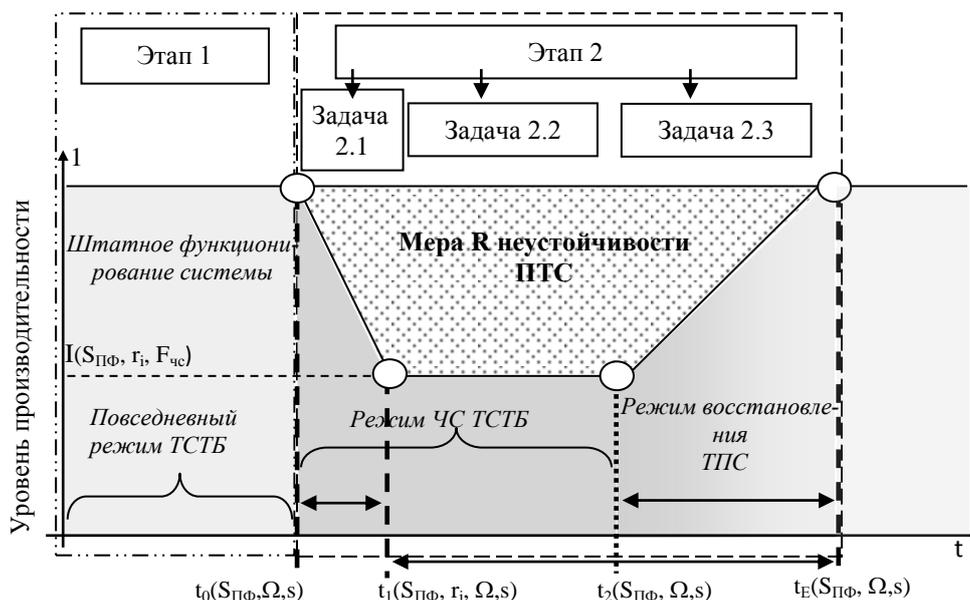


Рис. 1. Декомпозиция задачи (2-3) в соответствии с режимами функционирования ТСТБ

Отметим, что на данном этапе интерес представляет величина $\sigma = 1 - I(S_{ПФ}, r_i, F_{чс})$, точнее величина $(t_1 - t_0)\sigma$, характеризующая экологический ущерб от аварии.

Длительность $(t_2 - t_1)$ третьего этапа есть период купирования масштабов и последствий аварии. Другими словами, в данном периоде целью функционирования ТСТБ является прекращение развития аварии. Длительность $(t_E - t_2)$ четвертого периода соответствует времени восстановления производительности ПТС до предаварийного уровня. Данный период также характеризуется участием сил и средств ТСТБ региона, участвующих в работах по ликвидации в соответствии с регламентом.

Для последних двух периодов критерием экологической эффективности функционирования ТСТБ также можно положить время $(t_2 - t_1)$ $\{(t_E - t_2)\}$. Отметим, что данные временные интервалы могут быть введены в рассмотрение как в абсолютной, так и в относительной форме.

Очевидно, при такой декомпозиции упрощается вид системы ограничений (3).

Рассмотрим, например, критерий $E_p(s,t)$ экономической эффективности. Используем в качестве базовой результативную модель управления бюджетными средствами. Тогда критерий $E_p(s,t)$ экономической эффективности содержит два множества частных критериев, используемых в зависимости от режима функционирования РСТБ вида

$$E_p = \{ E_p^{новс}, E_p^{чс} \}, \quad (4)$$

где $E_p^{новс} \in \{ E_{p1}^{новс}, \dots, E_{pN}^{новс} \}$, $E_p^{чс}$ – конечные множества критериев экономической эффективности в повседневном режиме функционирования ТСТБ и в режиме ЧС соответственно.

Таким образом, при достаточно общих предполо-

жениях задачу (2-3) можно представить в виде декомпозиции следующих подзадач

Этап 1 (Задача 1):

$$(s^*, t) = \arg \max_{s \in G \subset W} t_0(S_{ПФ}, \Omega, s), \quad (5)$$

$$\begin{cases} E_{\sigma_{vp}}(s, t, \varpi) \leq E_{\sigma_{vp}}^{\lim_{новс}}, \\ E_{c_{vun}}(\mathfrak{R}, s, t, \varpi) \leq E_{c_{vun}}^{\lim_{новс}}, \\ E_s^h(t) \leq ПДК^h, h \in \{П, Ф, Б\}, \\ t \leq t_0, \\ s_k \in \{0, 1\}, k = 1, 2, \dots, U. \end{cases} \quad (6)$$

Этап 2 (Задача 2.1):

$$(s^*, t) = \arg \min_{s \in G \subset W} (t_1(S_{ПФ}, \Omega, s) - t_0(S_{ПФ}, \Omega, s))\sigma, \quad (7)$$

$$\begin{cases} E_{\sigma_{vp}}(s, t, \varpi) \leq E_{\sigma_{vp}}^{\lim_{чс}}, \\ E_{c_{vun}}(\mathfrak{R}, s, t, \varpi) \leq E_{c_{vun}}^{\lim_{чс}}, \\ s_k \in \{0, 1\}, k = (u + 1), \dots, K. \end{cases} \quad (8)$$

Этап 2 (Задачи 2.3; 2.4):

$$(s^*, t) = \arg \min_{s \in G \subset W} (t_E(S_{ПФ}, \Omega, s) - t_1(S_{ПФ}, \Omega, s)) \quad (9)$$

$$\begin{cases} E_{\sigma}(s, t, \varpi) \leq E_{\sigma}^{\lim_{чс}}, \\ E_p(s, t, \varpi) \leq E_p^{\lim_{чс}}, \\ s_k \in \{0, 1\}, k = (u + 1), 2, \dots, K. \end{cases} \quad (10)$$

Сформулированные задачи (5-6), (7-8), (9-10) являются задачами дискретной (дискретно-непрерывной) стохастической оптимизации в силу дискретности состава СТСБ и множества негативных влияний возмущения техногенной аварии на окружающую среду и население территории, и для их решения применяется технология, основанная на использовании метода последовательного анализа вариантов.

Заключення. Критерій екологічної ефективності ТСТБ об'єктивно являється одним з основних критеріїв якості діяльності системи. По тому в даній роботі екологічна ефективність ТСТБ розглядається в якості головного критерія, що дозволило здійснити формалізацію взаємозв'язку між рівнем техногенної безпеки території і відповідно категорією екологічної ефективності.

Многомірність і многи критеріальність дискретної задачі оптимізації параметрів ТСТБ обумовлює необхідність здійснення декомпозиції задачі, що проведено в роботі в відповідності з режимами функціонування ТСТБ. В результаті для кожної часткової задачі упрощається як вид цільової функції (в якості функції цілі розглядається час реакції системи), так і система обмежень задачі.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кодекс цивільного захисту України / Урядовий кур'єр від 29.11.2012 — № 220.
2. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2014 році / URL: http://www.mns.gov.ua/files/prognoz/report/2014/ND_2014.pdf
3. Попов В.М. Модель адаптивної системи техногенної безпеки регіону / І.А. Чуб, М.В. Новожилова, В.М. Попов // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2013. – вип. 2(26). – С. 156-159.
4. Чуб І.А. Концептуальне представлення системи техногенної безпеки регіону / І.А. Чуб, М.В. Новожилова, В.М. Попов // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2012. – вип. 3(23). – С. 206-209.
5. Чуб І.А. Учет изменения экзогенных характеристик при моделировании оптимальной структуры системы безопасности предприятия на этапе реконструкции / І.А. Чуб, М.П. Федоренко // Проблемы пожарной безопасности. – 2006. – Вып. 20. – С. 249-253.
6. Попов В.М. Показатели эффективности региональной системы техногенной безопасности / В.М. Попов, І.А. Чуб, М.В. Новожилова // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2014. – № 2(20). – С. 32-41.
7. Порфирьев Б.Н. Совершенствование управления региональной безопасностью в природно-техногенной сфере / Б.Н. Порфирьев // ВИНТИ. Пробл. безоп. при ЧС. – 2004. – № 3. – С. 3-30.
8. Бурков В.Н. Задачи оптимального управления промышленной безопасностью / В.Н. Бурков, А.Ф. Грищенко, О.С. Кулик // М.: ИПУ РАН. – 2000. – 70 с.
9. Чуб І.А. Формалізація системи обмежень задачі розміщення пожегоопасних об'єктів з урахування рельєфу місцевості / І.А. Чуб // Збірник наукових праць Харківського університету повітряних сил. – 2010 – Вип. 3(54). – С. 122-127.
10. Попов В.М. Оцінка впливів можливої надзвичайної ситуації на етапі формування місії програми розвитку територіальних систем техногенної безпеки / В.М. Попов, І.А. Чуб // Науковий вісник НЛТУ України. – 2015. – вип. 25.8. – С. 215-220.
11. Попов В.М. Моделирование состояния устойчивости производственной системы / В.М. Попов // Системи обробки інформації. – 2015. – вип. 3(128). – С. 147-151
12. Ouyang, Min. A three-stage resilience analysis framework for urban infrastructure systems / Min Ouyang L. Duecas-Osorio, Xing Min // Structural Safety, 2012. – N 36–37. – p. 23-31.
13. Гарсия М. Проектирование и оценка систем физической защиты – М.: Мир, 2003. – 369с.
14. Иванов В.С. Оценка эффективности технических решений по обеспечению безопасности промышленных объектов / В.С. Иванов // БДИ. – 2005. – № 4. – С. 22-28.
15. Петров Е.Г., Новожилова М.В., Гребенник І.В. Методи та засоби прийняття рішень у соціально-економічних системах – Київ: Техніка. – 2003. – 240 с.

REFERENCES

1. Codex of Civil Defense of Ukraine / Governmental Courier from 29.11.2012 – № 220.
2. National Report on the Techno and Natural Safety State in Ukraine in 2014 / URL: http://www.mns.gov.ua/files/prognoz/report/2014/ND_2014.pdf
3. Popov, V.M. Conceptual vision of region technogenic safety / V.M. Popov, I.A. Chub, M.V. Novozhylova // Systems of control, navigation and communication. – 2012. – Vol. 3(23). – С. 206-209.
4. Popov, V.M. Model of the adaptive system of the region caused safety / V.M. Popov, I.A. Chub, M.V. Novozhylova // Systems of control, navigation and communication. – 2013. – Vol. 2(26). – P. 156-159.
5. Chub, I.A. Accounting for changes in exogenous characteristics for modeling the optimal structure of the security system on a reconstruction phase / I.A. Chub, M.P. Fedorenko // Problems of Fire Safety. – 2006 – Vol. 20. – P. 249-253.
6. Popov, V.M. Performance indicators for a regional technological safety system / V.M. Popov, I.A. Chub, M.V. Novozhylova // Bulletin of the institute for Command Engineers of the Ministry of Emergencies of the Republic of Belarus. – 2014. – № 2 (20). – 3. 32-41.
7. Porfiriev, B.N. Developing the management of regional security in the natural and man-made sphere / B.N. Porfiriev // VINITI. Problems. bezop. at exceedingly. situations. 2004. № 3. P. 3-30.
8. Burkov, V.N. The problem of optimal control of industrial safety / V.N. Burkov, A.F. Grishchenko O. Kulik // M.: IPU RAS. – 2000 – 70p.
9. Chub, I.A. Restriction system formalization for placement problem of fire danger objects depending ground / I.A. Chub // Proceedings of Kharkiv Air Force University. – 2010 – Vol. 3(54). – P. 122-127.
10. Popov, V.M. Evaluation of the impact of any emergency at the stage of formation of the mission of the program of development of territorial systems of technogenic safety. / V.M. Popov, I.A. Chub // Scientific Bulletin of NLTU, Ukraine. – 2015. – Vol. 25.8. – P. 215-220.
11. Popov, V.M. Resiliency state modeling of production system / V.M. Popov // Sistemi obrobki informacii. – 2015. – Vol. 3(128). – P. 147-151.
12. Ouyang, Min A three-stage resilience analysis framework for urban infrastructure systems / Min Ouyang L. Duecas-Osorio, Xing Min // Structural Safety, 2012. – N 36–37. – P. 23-31.
13. Garsia, Mary Lynn. Design and Evaluation of Physical Protection Systems / Mary Lynn Garsia // – М.: Mir, 2003. – 369 p.
14. Ivanov VS Evaluating the effectiveness of technical solutions to ensure the safety of industrial facilities / VS Ivanov // BDI. – 2005. – № 4. – P. 22-28.
15. Petrov, E.G., Novozhylova, M.V., Grebennik, I.V. Methods and tools for decision making in social and economic systems – Kyiv: Technika. – 2003. – 240 p.

Environmental efficiency evaluation of a territorial technological safety system

V.M. Popov, O.V. Mirgorod, N.S. Tsapko

Abstract. Given is an analysis of environmental efficiency of a territorial technological safety system in the context of solving the dynamic multicriteria problem concerning optimal composition of the system. We consider two technological safety system modes – everyday and state of emergency. Based on the system mode differences we prove the possibility to decompose the optimization problem being considered. Due to such decomposition one can simplify the statements of particular problems.

Keywords: Eco-efficiency, technological safety system, multi-criteria optimization, environmental pollution, system stability