

УДК 614.843.4

**И.В. Севриков, доцент, канд. техн. наук,
Ю.А. Хашин, профессор, канд. техн. наук,
Е.К. Паньков, студент,
А.И. Севриков, студент**

*Севастопольский национальный технический университет,
Университетская 33, г. Севастополь, 99053, Украина,
E-mail: peot@sevgtu14.sebastopol.ua*

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУР ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Приведён обобщенный методологический подход к оценке предотвращенного ущерба при наличии автоматизированных систем контроля и защиты объектов.

Имеются объёмные перечни веществ, материалов, работ и в целом объектов повышенной опасности, которые отражены в нормативных документах [1]. Кроме этого имеются объекты, представляющие культурно-историческую ценность, объекты специального и оборонного назначения, предотвращение аварий на которых и обеспечение их сохранности крайне необходимо. Актуальной остается задача предотвращения загрязнения и защиты окружающей природной среды.

Эффективной мерой предотвращения аварий и загрязнения природной среды является своевременный активный контроль объектов, который осуществляется с помощью автоматизированных систем повышенной надёжности. Перспективу представляют системы контроля и защиты объектов. Они включают в себя подсистему контроля и подсистему защиты. По выходной информации (сигналам) подсистемы контроля включается в действие подсистема защиты, которая изменяет режимы функционирования объектов, и включает в действия исполнительные устройства предупреждения, локализации или активного устранения опасности. В этих системах с точки зрения их надёжности, существенную роль играет действие человека, оцениваемое вероятностью безотказной работы человека-оператора. Отметим, что даже в автоматических системах в явном или опосредованном виде роль человека велика, а иногда и решающая.

Автоматизированные системы контроля и защиты объектов в безопасности жизнедеятельности, охране труда, в экологии и другой контрольно-охранной деятельности называются информационно-эргатическими. Эффективность разных типов этих систем даже в условиях одного и того же объекта различна. Различна эффективность системы и одного типа, но с разными структурами (элементами). Поэтому возникает необходимость оптимизации структур информационно-эргатических систем и оптимального выбора средств контроля. *Актуальность* этого вопроса особенно возрастает как для объектов повышенной опасности, в первую очередь взрывоопасных, так и для охраны окружающей природной среды.

Постановка исследования. Исследованиями в области оптимизации информационно-эргатических систем занимается научная школа профессора В.В. Севрикова, к которой принадлежат и авторы данной работы. Предложен информативный критерий оптимизации в виде целевой интегральной функции [1], одной из составляющих которой является экономическая эффективность, представленная относительным показателем вида

$$P_{\text{ЭФ}} = \frac{\Delta Y_{\text{д}}}{Z_{\text{д}}} = \frac{\Delta Y \cdot 1,1^{T_n - 1}}{\sum_{i=1}^{T_n} (K_i + C_{\text{Э}i}) \cdot 1,1^{T_n - 1}}, \quad (1)$$

где $\Delta Y_{\text{д}}$ – дисконтированный предотвращенный ущерб, грн.; $Z_{\text{д}}$ – дисконтированные общие затраты на создание, изготовление и оснащение объекта системой, грн.; i – порядковый номер рассматриваемого года; K_i – затраты на создание, изготовление и оснащение объекта системой в i -ом году, грн.; $C_{\text{Э}i}$ – эксплуатационные затраты по системе в i -ом году, грн.; T_n – нормативный срок службы системы.

Ранее в различных задачах оптимизации использовались экономические показатели в качестве критериев. Однако эти показатели представляли собой частные критерии оптимизации, не позволяющие учесть в достаточной мере свойства технической части системы и действия человека-оператора. Предложенный в [2] интегральный критерий в виде целевой функции оптимизации структур эргатических систем и оптимизации выбора средств контроля учитывает упомянутые выше составляющие. С этой целью в выражение целевой функции введены комплексные показатели надежности в виде вероятностей безотказной работы.

Оценка (расчет) предотвращенного ущерба ΔV , входящего в (1) представляет некоторую сложность, что вызывает необходимость совершенствования методологического подхода к его определению.

Целью работы является совершенствование методологии оценки предотвращенного ущерба в случае наличия на объекте информационно-энергетической системы и усовершенствование расчетного выражения этого ущерба с учетом экономических характеристик защищаемого объекта и самой системы.

Предлагается определять предотвращенный ущерб через возможный ущерб, который возникает в случае отсутствия на объекте системы контроля и защиты и непредотвращенный ущерб, который будет иметь место при возникновении опасного события и при наличии в результате ее разной эффективности действия и инерционности срабатывания.

Выражение предотвращенного ущерба имеет вид

$$\Delta V = V_{\text{в}} - V_{\text{н}}, \quad (2)$$

где $V_{\text{в}}$ – возможный ущерб при условии отсутствия контроля и защиты объекта, грн.; $V_{\text{н}}$ – непредотвращенный ущерб при оборудовании объекта системой защиты.

Возможный ущерб определяется по формуле

$$V_{\text{в}} = C_{\text{в}} - C_{\text{л}} + Z_{\Sigma}, \quad (3)$$

где $C_{\text{в}}, C_{\text{л}}$ – соответственно восстановительная и ликвидационная стоимость объекта (его части) не подлежащего восстановлению в результате проявления опасного, грн.; Z_{Σ} – суммарные затраты, потери, ущербы и штрафы в результате проявления опасного события, грн.

Величина Z_{Σ} может быть представлена выражением

$$Z_{\Sigma} = Z_{\text{в}} + Z_{\text{л}} + Z_{\text{пр}} + Z_{\text{ос}} + V_{\text{люд}} + V_{\text{о.ср}} + \Pi_{\text{люд}} + \Pi_{\text{о.ср}}, \quad (4)$$

где $Z_{\text{в}}$ – затраты по восстановлению подлежащих ремонту основных фондов в результате опасного события, грн.; $Z_{\text{л}}$ – затраты по ликвидации последствий опасного события, грн.; $Z_{\text{пр}}$ – потери из-за недовыпуска продукции и невыполнения договорных обязательств с другими предприятиями, грн.; $Z_{\text{ос}}$ – потери оборотных средств в части производственных запасов незавершенного производства, готовой продукции в результате опасного события (определяется стоимостью этих средств за вычетом их ликвидационной стоимости), грн.; $V_{\text{люд}}$ – ущерб людским ресурсам в результате опасного события, грн.; $V_{\text{о.ср}}$ – ущерб окружающей среде в результате опасного события, грн.; $\Pi_{\text{люд}}$ – штрафы, выплаты, компенсации и другие затраты по людским ресурсам в результате опасного события, грн.; $\Pi_{\text{о.ср}}$ – экологические штрафы, выплаты и компенсации за сверхнормативное загрязнение окружающей среды (воздуха, воды, почвы) в результате опасного события в соответствии с законодательными и нормативными актами, грн.;

Для расчета непредотвращенного ущерба $V_{\text{н}}$, если имеет место постепенное развитие последствий опасного события, можно использовать метод вероятностного снижения материального ущерба [3]. Исходя из условия

$$\frac{V_{\text{в}}}{V_{\text{н1}}} = \frac{t_{\Sigma}^2}{t_1^2}, \quad (5)$$

где $V_{\text{н1}}$ – непредотвращенный ущерб за время t_1 (мин.) наступления опасного события до срабатывания системы контроля и защиты, грн.; t_{Σ} – время от момента наступления опасного события до окончательного безвозвратного выхода из строя защищаемого объекта при отсутствии системы, мин.

Из выражения (5) определим непредотвращенный ущерб $V_{\text{н1}}$ для времени t_1 по выражению

$$V_{\text{н1}} = \frac{V_{\text{в}} \cdot t_1^2}{t_{\Sigma}^2}. \quad (6)$$

Непредотвращенный ущерб при срабатывании и действии системы контроля и защиты до ликвидации опасного события $V_{\text{н2}}$, по аналогии можно представить зависимостью

$$V_{\text{н2}} = E \left[\frac{V_{\text{в}} (t_1 + t_2)^2}{t_{\Sigma}^2} - V_{\text{н1}} \right], \quad (7)$$

где E – степень снижения ущерба при функционировании системы на объекте при ликвидации опасности (значение $E \leq 1$; определяется на основании практических данных в конкретных условиях; t_2 – время от срабатывания (включения) системы до ликвидации опасного события, мин.

С учетом (6) и (7)

$$Y_n = Y_{n1} + Y_{n2} = \frac{Y_{\Sigma} \cdot t_1^2}{t_{\Sigma}^2} + E \left[\frac{Y_{\Sigma} (t_1 + t_2)^2}{t_{\Sigma}^2} - \frac{Y_{\Sigma} \cdot t_1^2}{t_{\Sigma}^2} \right] = \frac{Y_{\Sigma}}{t_{\Sigma}^2} \{ t_1^2 + E[(t_1 + t_2)^2 - t_1^2] \}. \quad (8)$$

Выражение непредотвращенного ущерба в полной форме с учетом (3) и (4) имеет вид

$$Y_n = \left(\frac{C_{\Sigma} - C_{\Sigma} + \sum_{i=1}^N 3_{\Sigma i}}{t_{\Sigma}^2} \right) \cdot \{ t_1^2 + E[(t_1 + t_2)^2 - t_1^2] \}. \quad (9)$$

Выражение предотвращенного ущерба (2) в случае оснащения объектов системами контроля и защиты при постепенном развитии опасного события с учетом (3) и (8) ΔY_n после соответствующих преобразований, имеет вид

$$\Delta Y_n = \left(C_{\Sigma} - C_{\Sigma} + \sum_{i=1}^N 3_{\Sigma i} \right) \left\{ 1 - \frac{1}{t_{\Sigma}^2} [t_1^2 + E(2t_1 t_2 + t_2^2)] \right\}. \quad (10)$$

Если же имеет место мгновенное развитие опасного события (например, взрыв газа при разрыве газопровода или взрыв газа метана в угольной шахте), то система контроля и защиты должна обладать малой инерционностью (быстродействием), и в этом случае Y_n приближается к нулю, либо будет столь мал, что им можно пренебречь.

В этом случае

$$\Delta Y_M = C_{\Sigma} - C_{\Sigma} + 3_{\Sigma}. \quad (11)$$

Численный пример. Резервуар с бензином емкостью $V_p = 5000 \text{ м}^3$, диаметром 28,84 м защищается автоматической системой (пенного) пожаротушения (автоматическая установка АУПП), Исходные данные (денежное исчисление 1990 года): стоимость объекта с бензином $C_{об} = 893000$ руб; время от загорания до срабатывания системы $t_1 = 2$ мин.; время от срабатывания (включения) системы до ликвидации горения (нормативное) $t_2 = 15$ мин.; время от момента загорания до окончательного безвозвратного выхода из строя объекта (время горения) без наличия системы $t_{\Sigma} = 60$ мин.; степень снижения ущерба ориентировочно принимается $E = 1$.

Первая ситуация. Резервуар защищен установкой АУПП и происходит постепенное развитие пожара. В этом случае используется выражение (10). Принимается, что восстановительная стоимость резервуара с бензином, если он не был защищен системой, примерно равна стоимости объекта, т.е. $C_{\Sigma} = C_{об}$. Ликвидационная стоимость $C_{л}$ равна стоимости черного металлолома резервуара, так как весь объект сгорел, восстановлению не подлежит и оставшаяся часть бензина не может быть реализована из-за его загрязнения и невозможности сбора.

Вычисляем количество металлолома. Для этого определяем: площадь резервуара $F = \pi R^2 = 3,14 \cdot 14,42^2 = 652,9 \text{ м}^2$; высоту резервуара $H = V_p : F = 5000 : 652,9 = 7,66 \text{ м}$; длину окружности резервуара $l = 2\pi r = 2 \cdot 3,14 \cdot 14,42 = 90,55 \text{ м}$; объем металла цилиндрической части $V_{ц} = H \cdot l \cdot h = 7,66 \cdot 90,55 \cdot 0,015 = 10,4 \text{ м}^3$ (где h – толщина листа в м); массу металла цилиндра $M_{ц} = V_{ц} \cdot \rho = 10,4 \cdot 7750 = 80600 \text{ кг} = 80,6 \text{ т}$ (где ρ – плотность стали); две площади (дно и крышка) $F_{\Sigma} = 2F = 2 \cdot 652,9 = 1304,4 \text{ м}^2$; объем металла крышек $V_{кр} = F_{\Sigma} \cdot h = 1304,4 \cdot 0,015 = 19,56 \text{ м}^3$; массу металла крышек $M_{кр} = V_{кр} \cdot \rho = 19,56 \cdot 7750 = 151636,5 \text{ кг} = 151,6 \text{ т}$; общую массу металла $M = M_{ц} + M_{кр} = 80,6 + 151,6 = 232,2 \text{ т}$.

Принимаем стоимость черного металлолома в 1990 году 15 коп. за 1 кг, получаем ликвидационную стоимость $C_{л} = 232200 \cdot 0,15 = 34830$ руб.

Анализируя выражение затрат (4), приходим к выводу с определенными допущениями, что составляющие: 3_{Σ} , $3_{пр}$, $3_{ос}$, $U_{люд}$, $U_{о.ср}$, $III_{люд}$, $III_{о.ср}$ приближаются к нулю по причине их незначительной величины. При уточненном расчете эти составляющие определяются по известным экономическим методикам.

Из суммарных затрат Z_{Σ} оцениваем затраты по ликвидации последствий опасного события (зачистка) $Z_{\text{л}}$; принимаем ликвидационную бригаду из 6 человек, работающих 5 дней при среднемесячной заработной плате 300руб.; имеем $Z_{\text{л.зн}} = 6 \cdot 300 / 4 = 450$ руб.

Стоимость техники (бульдозер, подъемный кран, горючее, расходные материалы), принимаем в размере заработной платы, т.е. $Z_{\text{л.т.}} = 450$ руб. Общие затраты по ликвидации последствий аварий $Z_{\text{л}} = Z_{\text{л.зн}} + Z_{\text{л.т.}} = 450 + 450 = 900$ руб. В этом случае $Z_{\Sigma} = Z_{\text{л}} = 900$ руб.

Производим расчет предотвращенного ущерба при постепенном развитии аварии:

$$\Delta U = (893000 - 34830 + 900) \left\{ 1 - \frac{1}{60^2} \left[2^2 + (2 \cdot 2 \cdot 15 + 15^2) \right] \right\} = 859070 \cdot 0,92 = 790344,4 \text{ руб.}$$

Вторая ситуация. Происходит мгновенный взрыв резервуара (паров бензина с воздухом) и объект защищен автоматической быстродействующей системой (установкой).

В этом случае предотвращенный ущерб $\Delta U_{\text{м}}$ рассчитывается по выражению (11). Он составит $\Delta U = (893000 - 34830 + 900) = 859070$ руб.

Приведенная методология оценки предотвращенного ущерба в случае оборудования объекта информационно-эргатической системой, имеет общий характер. Для конкретных условий и реальных объектов различного вида и направленности, необходимо учитывать их особенности, что представляет собой определенные трудности. Эти трудности заключаются в первую очередь в отсутствии практических методик оценки предотвращенного ущерба, разработка которых, в свою очередь, затруднена отсутствием единого методологического подхода. Авторы данной работы занимаются исследованиями в этом направлении.

Выводы

1. Предложен в общем виде методологический подход к оценке предотвращенного ущерба при наступлении опасного события в случае оснащения объекта автоматизированной системой контроля и защиты.
2. Для практического использования данного подхода необходима его конкретизация с учетом реальных особенностей объектов оснащенных информационно-эргатическими системами.
3. Открывается реальная перспектива в оценках предотвращенных ущербов при наличии автоматизированных систем контроля и защиты объектов, как по актуальности, так и по возможности с учетом имеющихся (хотя и несовершенных) практических методик оценок ущербов загрязнения окружающей природной среды.

Библиографический список

1. Севриков И.В. Экономическая составляющая критерия эффективности вариантов систем защиты объектов повышенной опасности / И.В. Севриков, Л.В. Квасова // Вестник СевГТУ. Сер. Механика, энергетика, экология: сб. науч. тр. — Севастополь, 2006. — Вып. 75. — С. 118–122.
2. Нормативи порогових небезпечних речовин для ідентифікації та обліку об'єктів підвищеної небезпеки. ДНАОП 0.00.–3.08–02. Порядок ідентифікації та обліку об'єктів підвищеної небезпеки. ДНАОП 0.00.–8.21–02. Порядок декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки. ДНАОП 0.00.–8.22–02. — Харьков: Вид-во "Форт", 2003. — 40 с.
3. Хачатуров Т.С. Эффективность природоохранных мероприятий / Т.С. Хачатуров. — М.: Наука, 1990. — 222 с.

Поступила в редакцию 11.02.2009 г.