

ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

А.В.Чубенко, А.А.Топоров,
Донецкий национальный технический университет

Проведен анализ методов оценки техногенной безопасности урбанизированных территорий, предложена новая математическая модель на основе вероятностного подхода, которая может быть использована при оценке безопасности территорий промышленных мегаполисов.

Основные техногенные аспекты Донецкого региона включают: появление принципиально новых технологий; концентрацию энергоносителей и сложность технологических процессов на объектах техносферы; процессы модернизации и возрастания интенсивности использования существующей техники; территориальное и технологическое сближение техносферы и социальной инфраструктуры.

В этих условиях проблемным вопросом является обеспечение техногенной и экологической безопасности техносферы, особенно для крупных технологических комплексов (ТК) и в целом урбанизированных территорий.

Принято, что при оценке и прогнозе кризисных явлений и катастроф в техносфере базовыми являются техногенная и экономическая концепции риска [1,2]. В их основу заложен анализ относительных частот возникновения негативных событий (как способа задания их вероятностей) и возможного социального и материального ущерба при условии реализации техногенных рисков (ТР).

Сегодня за рубежом известно более 150 методов проведения анализа рисков. Среди них наиболее распространены следующие: ПАО (потенциальный анализ опасностей), What if, Checklist, Failure Mode and Effects Analysis, Fault Tree Analysis, метод TNO, метод Dow Chemical, IRRAS, “HAZOR-анализ” и др. [1,2,3]. Вышеуказанные методы не получили должного распространения в отечественной практике, поскольку требуют существенной адаптации и верификации к условиям Украины.

“Методика...” и “Наставление”... [2], введенные в действие с 2000г. в Украине, имеют целью определение рисков и их приемлемых уровней для декларирования безопасности объектов повышенной опасности (ОПО). В них основное внимание сосредоточивается на технологической среде и наличии в ней опасных веществ [2 – С. 149, 151]. Однако, вопросы оценки риска и безопасности для территорий в ней изложены в общем виде. Они

сводятся к установлению количественных параметров территориального риска для людей, проживающих за пределами санитарно-защитной зоны ОПО в регионе. Вместе с тем, уязвимость территории характеризуется не только вероятностью риска для людей, но и другими рисками и связанными с ними ущербами. Такими могут быть ущербы от пожара, от взрыва, от токсических веществ и др. Кроме того, есть проблемы в оценке безопасности территории из-за сложности и неопределённости в воздействии синергетических эффектов. Так, техногенные воздействия ТК могут вызвать синергетические эффекты, проявляющиеся либо в усилении (как правило), либо в ослаблении действия различных факторов или развития техногенных и природных процессов. Когда ОПО на территории больше одного, на практике встают вопросы: Какой из них наиболее опасен? С какого из ОПО начать управление риском, чтобы иметь наиболее безопасное и рациональное построение структуры территории?

Безопасность территории характеризуется, в первую очередь, вероятностью безопасной работы ОПО. Как правило, такими являются ТК (ими будут и полигоны различных отходов, отстойники, накопители и т. п.) с теми техногенными и экологическими рисками, которые характеризуют их функционирование. Потенциально опасными для людей, территории и среды обитания от ОПО являются, в основном, выбросы сильно действующих ядовитых веществ (СДЯВ), взрывы и пожары. Большинство вопросов безопасности и оценки риска технических систем изложены в различных работах, например, [1,3]. Некоторые аспекты оценки ТР ТК рассмотрены в [5].

Перейдём к определению техногено экологической безопасности территории. За основу возьмём метод аналитического прогнозирования. При этом будем исходить из следующих предпосылок: рассматривается сложная стохастическая система, в которой отказы объектов статистически независимы. Для прогнозирования внезапных потенциальных аварий принимаются противоположные события. Для определения вероятностей аварийных отказов при назначении уровня ТР для ТК применим основные методы теории вероятностей [6].

События A (выброс СДЯВ), B (взрыв), C (пожар) есть совместные независимые события. На основании сведений содержащихся в декларации безопасности ОПО и сценария возможной аварии проанализируем основные риски, характерные для ТК. Такими могут быть: вероятность аварии соответственно $R(A)$ - по выбросу сильнодействующих ядовитых веществ (СДЯВ), $R(B)$ - по взрыву, $R(C)$ - по пожару. События A и A' , B и B' , C и C' попарно образуют полную группу несовместных событий. Если считать, что безопасность ТК по выбросу СДЯВ - $R(A)$ должна быть равна 0,99, по взрывобезопасности $R(B)$ 0,95 и по пожаробезопасности

$R(C)$ также равна $0,95^*$, то безопасность, как вероятность безаварийного функционирования ТК в начальный момент времени равна:

$$R(A+B=C) = 1 - [R(A') + R(B') + R(C') - R(A')R(B') - R(B')R(C') - R(A')R(C') + R(A')R(B')R(C')] \quad (1)$$

где $R(A') = 1 - R(A)$, $R(B') = 1 - R(B)$, $R(C') = 1 - R(C)$, а $R(A), R(B), R(C)$ - соответственно вероятности удовлетворения требованиям по выбросу СДЯВ, по взрывобезопасности и по пожаробезопасности.

Экономический показатель безопасности ТК представляется как минимум математического ожидания затрат (Z), связанных с возведением сооружений ТК и возможными их повреждениями в течение заданного срока службы. Он находится как минимум функции:

$$Z = C + VxY, \quad (2)$$

где C – первоначальная стоимость возведённых сооружений; Y – ущерб, вызываемый повреждением и включающий стоимость восстановления и убыток, нанесённый в результате нарушения процесса эксплуатации ТК. Другим компонентом в рассматриваемом вопросе является безопасность территории.

Под безопасностью территории понимают такое её состояние, при котором с определённой вероятностью исключается реализация хотя бы одного из возможных вариантов (сценариев) появления ЧС и образование совокупного ущерба от деятельности ТК. Появление и объём ущерба зависят от степени и характера устойчивости территории к риску, а также вида и характера техногенной опасности.

подчёркнём, что безопасность урбанизированной территории характеризуется безаварийной работой ТК $R(F_0)$. Условием безопасности будет:

$$R(F_0) = R(P > F) \geq R_T, \quad (3)$$

где P, F_0 - соответственно величина действительного и расчётного значения параметра ТК; R_T - требуемый уровень безопасности для территории.

В соответствии с [2,4] требуемый уровень безопасности устанавливается местными органами исполнительной власти по значению верхнего и нижнего уровня риска. Так, территориальный риск аварий на ОПО для населения рекомендуется считать абсолютно приемлемым при уровне $R \leq 10^{-7}$; при $R > 10^{-5}$ - неприемлемым для риска за пределами санитарно – защитной зоны предприятия, имеющего хотя бы один ОПО[4].

Расчитаем ТР для территории, где $x_i (i=1,2,3)$ возможные сценарии развития ущерба (U_c) от находящихся на ней ОПО. Он определится по вероятности аварий на объектах P_1, P_2, P_3 [7]:

$$U_c = 1 - (P_1P_2 + P_1U_2P_3 - U_1P_2P_3) = U_1U_2 + U_1P_2U_3 + P_1U_2U_3.$$

В случаях, когда ТК с ОПО на анализируемой территории больше одного применим специальные количественные показатели [7]: “весомость”, “значимость” и “вклад”. Они обеспечат выявление “слабых” мест в территории и в последующем покажут пути для оптимального резервирования и рационального управления её безопасностью.

“Весомость” ТК (g_{xi}) в системе из n элементов определяется как [3,7]:

$$g_{xi} = \frac{G \Delta x_i y \{ (x_1, \dots, x_n) \}}{2^n} = \sum_{j=1}^l 2^{-(r_j-1)} - \sum_{f=1}^k 2^{-(r_f-1)}. \quad (4)$$

“Значимостью” оценивается влияние объектов на безопасность территории при наличии информации о безопасности ОПО для данной территории. “Значимость” (ζ_{x_i}) объекта x_i в системе $f(x_1, \dots, x_n)$ есть частная производная от вероятности безаварийной работы системы R_c по вероятности безаварийной работы объекта R_i , т. е.:

$$\zeta_{x_i} = \frac{dP\{Y(x_1, \dots, x_n) = 1\}}{dP\{x_i = 1\}} = \frac{dR_c}{dR_i} \quad (5)$$

Если на территории функционируют однотипные ТК, то рассчитывается частный случай для одного такого объекта при одинаковой безопасности всех ОПО. Эта вероятность работы, обычно, принимается равной 0,5 [6, 7].

$$\zeta_{x_i} = \frac{dR_c}{dR_i} = R_{C_1}^{(i)} - R_{C_o}^{(i)}, \quad (6)$$

$$R_{C_1}^{(i)} = P\{Y_1^{(i)}(x_1, \dots, x_n) = 1\}, \quad (7)$$

$$R_{C_o}^{(i)} = P\{Y_o^{(i)}(x_1, \dots, x_n) = 1\}. \quad (8)$$

Положим, что члены $R_{C_1}^{(i)}$ и $R_{C_o}^{(i)}$ в выражениях (6), (7), (8) – соответственно вероятности “безаварийности” для территории при “абсолютной” надёжности и “абсолютном” отказе объекта x_i .

Для рассматриваемой территории “значимость” объектов x_i , $i = 1, 2, 3$ будет:

$$R_c = 1 - (P_1 P_2 + P_1 R_2 P_3 + R_1 P_2 P_3) \quad (9)$$

Видно, что характеристика “значимость” показывает: во - первых, зависимость от вероятностей безаварийной работы всех других объектов территории кроме самого i -го объекта; во- вторых, характеризует скорость изменения безопасности территории. Наконец, в - третьих, позволяет определять объекты, обеспечивающие максимальное приращение безопасности для всей территории.

“Вклад” (B) объекта x_i в систему $f(x_1, \dots, x_n)$ есть произведение вероятности безаварийной работы объекта R_i на его “значимость” [6,7,8], то есть:

$$B_{x_i} = R_i \frac{dR_c}{dR_i} = R_i \frac{R_c - R_{C_o}^{(i)}}{R_i} = R_c - R_{C_o}^{(i)}. \quad (10)$$

Он характеризует “приращение” безопасности ($R_{C,q}$) территории после восстановления объекта x_i из нерабочего состояния в рабочее. При этом, фактическая вероятность его безаварийной работы равна R_i . Вычисляется как [7]:

$$\Delta R_{C,q} = \sum_{i=1}^n C_n^j \frac{d^j R_C}{dR_j} (\Delta R_j)^j, \quad (11)$$

где n – количество объектов на данной территории.

“Нормированный” или удельный (ϵ_{x_i}) вклад объекта x_i в территории $f(x_1, \dots, x_n)$:

$$\epsilon_{x_i} = \frac{B_{x_i}}{\sum_{i=1}^n B_{x_i}} \quad (12)$$

Начальную безопасность территории ($R_{C,нач.}$) определим в виде вероятностной функции:

$$R_{C,нач} = R_C = 1 - (P_1 P_2 + P_1 R_2 P_3 + R_1 P_2 P_3) = R_1 R_2 + R_1 P_2 R_3 + P_1 R_2 R_3 \quad (13)$$

Таким образом, безопасность территорий можно представить в виде суммы начальной безопасности и её приращения. Анализ по приведенной выше методике показывает, что при рациональном выборе мер защиты можно добиться заданной безопасности на территории. Это приведёт к экономии материальных ресурсов, минимизирует соответствующие риски. Отметим, что безопасность территории увеличивается не пропорционально увеличению безопасности объектов. Кроме того, начальный уровень безопасности определяется внутренними параметрами ОПО. Среди таких будут осуществление плано-предупредительных мер по уменьшению риска. Важной будет эффективная система контроля параметров технологических процессов и др. Изменения безопасности территории можно добиться, например, качеством проектирования, уровнем технологии, созданием необходимых резервов, материальных и финансовых ресурсов для ликвидации чрезвычайных ситуаций и т.п.

Существующие на данном этапе трудности в оценке уязвимости территорий проблематичны, как было отмечено, из-за синергетического воздействия в сложных системах. Но ясно, что учёт взаимоусиления негативных факторов важен при оценке безопасности и управлении ТР, а также и при определении степени безопасности и комфортности проживания населения на данной урбанизированной территории.

В целом, предложенная методология на основе аналитического прогнозирования, понятийный аппарат, возможности предоставления результатов оценки в сопоставимых величинах, позволяют комплексно оценивать общий уровень техногенной и экологической безопасности, формируя систему не только отраслевой, но и региональной безопасности.

Кроме того, обеспечивается возможность для отыскания скрытых резервов по материалу- и энергоёмкости, как при проектировании, так и

непосредственно при строительстве и эксплуатации урбанизированных территорий и градообразующих комплексов.

Литература

1. Бегун В. В., Горбунов О. В., Каденко І. М. та інші. Імовірнісний аналіз безпеки атомних станцій (ІАБ). – К.: 2000. – 586 с. – Рос. мовою.
2. Методика определения рисков и их приемлемых уровней для декларирования безопасности объектов повышенной опасности // Приказ Министра труда и социальной политики 04. 12. 2002г., № 637. – К.: Основа, 2003. – 192 с..
3. Э. Дж. Хенли, Х. Кумамото Надёжность технических систем и оценка риска: Пер. с англ. В. С. Сыромятникова, Г. С. Деминой. – М.: Машиностроение, 1984. – 528 с., ил.
4. Про об'єкти підвищеної небезпеки. – Закон України // Відомості Верховної Ради (ВВР), 2001, № 15, С. 73
5. Чубенко А. В., Топоров А. А., Алексеева О. А. Оценка техногенного риска технологического комплекса. Машиностроение и техносфера XXI века // Сб, труд. международной научно – технической конференции. – Донецк: ДонНТУ, 2003. – Т.3.- 322 с.
6. ВентцельЕ. С.,Овчаров Л. А. Теория вероятностей и её инженерные приложения. – М.: Наука, 1998.
7. Тамразян А.Г. Анализ и оценка уязвимости объектов урбанизированных территорий от техногенных опасностей. // Сб. материалов Всероссийского совещания завкафедрами вузов по вопросам образования в области безопасности жизнедеятельности. (Часть 1). – М.: МГТУ им. Н. Е. Баумана, 2001. – 152с.
8. Белов П. Г. Теоретические основы системной инженерии безопасности / М.: ГНТП “Безопасность”, МИБ СТС. – 1996. - 424 с.

Поступила в редакцию 13.05.04