

## О ПРОБЛЕМАХ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА УКРАИНЫ

А.П. Ковалев

Донецкий национальный технический университет

*The directions in field of guaranteeing of safety and estimation of risk of the technological object are considered. The qualitative level of safety of enterprises of Ukraine is defined. Two directions of guaranteeing of safety the technological object are analyzed. The decision of general problem – almost completely exclude the damage on the industrial enterprises.*

**Актуальность проблемы.** Экономические преобразования в Украине и других странах бывшего СССР привели к серьезным проблемам в области обеспечения безопасности технологических объектов, опасных в отношении взрыва и пожара. В 90-е годы разрыв экономических связей между поставщиками комплектующих и изготовителями оборудования, а также предприятиями, которые его эксплуатируют, отток квалифицированных специалистов с промышленных предприятий, ухудшение производственной дисциплины привели к росту числа промышленных аварий и катастроф. Ежегодно в среднем по странам СНГ в результате аварий и катастроф погибает более 330 тыс. чел., что в 4,7 раза больше, чем это было в бывшем СССР [1]. Износ оборудования многих промышленных предприятий и основных фондов сегодня по Украине колеблется в пределах 60%, что считается критической точкой, после которой число аварий и катастроф может возрасти лавинообразно.

Под безопасностью будем понимать свойства объекта не допускать ситуаций, опасных для людей и окружающей среды [2]. Безопасность на промышленных предприятиях обеспечивается надежной работой автоматических средств защиты, реагирующих на недопустимое изменение контролируемых параметров (величину электрического тока, напряжения, температуру, давление, концентрацию взрывоопасного газа, скорость проветривания и т.д.).

За надежную работу автоматических средств защиты отвечают фирмы, изготавливающие и поставляющие их на предприятие, а также обслуживающий это оборудование персонал. Следовательно, под обеспечением безопасности промышленного объекта будем понимать техническую возможность автоматических средств защиты и обслуживающего их персонала не допускать ситуаций, приводящих к авариям (катастрофам).

Под опасным состоянием средств защиты будем понимать такое их состояние, когда при случайном выходе контролируемых параметров за допустимый уровень, происходит их отказ в срабатывании. Опасные состояния средств защиты обнаруживаются либо с помощью автоматической системы диагностики, либо в результате профилактического осмотра.

Под технологическим объектом будем понимать промышленное предприятие, на котором при его эксплуатации возможен взрыв, пожар, выброс вредных и опасных для человека и окружающей среды веществ: шахты, химические предприятия, газопроводы, атомные электростанции, морские суда, склады боеприпасов и т.д.

Под ситуацией будем понимать совпадение в пространстве и времени ряда случайных независимых событий, имеющих различную частоту появления и длительность существования. Определенная ситуация на объекте может привести к: взрыву, пожару, выбросу радиоактивных веществ в атмосферу и т.д.

Под аварией на объекте будем понимать случайное появление взрывов, пожаров, выбросов радиоактивных веществ в атмосферу и т.д., сопровождающихся материальными убытками за счет порчи оборудования, загрязнения окружающей среды и прекращения технологического цикла. Под катастрофой будем понимать аварию, при которой гибнут люди.

Под риском будем понимать меру опасности при эксплуатации технологического объекта. Риск может быть измерен числом аварий (катастроф) в единицу времени. Индивидуальный риск – мера опасности для человека, измеряемая числом погибших в единицу времени от данного вида деятельности.

В СССР существовали нормативные документы [4] и [5], регламентирующие вероятность возникновения взрывов и пожаров на технологических объектах. Производственные процессы должны были разрабатываться так, чтобы вероятность возникновения взрывов на любом взрывоопасном участке в течение года не превышало величину  $1 \cdot 10^{-6}$ . Вероятность возникновения пожаров в электротехническом и другом единичном изделии не должна превышать  $1 \cdot 10^{-6}$  в течение года.

Специалисты США, Японии и др. принимают интенсивность появления аварий (катастроф)  $H = 1 \cdot 10^{-6}$  год<sup>-1</sup> как тот уровень риска, к которому следует стремиться на промышленных предприятиях. Объясняется это тем, что частота аварий (катастроф) на конкретном промышленном объекте, равная  $1 \cdot 10^{-6}$  год<sup>-1</sup>, настолько мала, что ради выгоды, получаемой от эксплуатации объекта, общество (люди) готовы пойти на такой риск [6].

Проведенный нами анализ показал, что интервалы времени между смежными авариями (катастрофами) в различных отраслях промышленности и по различным причинам не противоречат экспоненциальным функциям распределения вероятностей по критерию согласия Бартлетта.

Физический смысл величины  $H = 1 \cdot 10^{-6}$  1/год можно объяснить следующим образом. Если под наблюдением в течение времени  $T=1$  год будет находиться  $N=1000000$  однотипных технологических объектов, то статистически допускается одна авария (катастрофа)  $n=1$  в течение года на одном из этих объектов [7]:

$$H = \frac{n}{N \cdot T} = \frac{1}{1000000 \cdot 1} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}. \quad (1)$$

Вероятность появления аварий (катастроф) в течение времени  $t$  может быть определена следующим образом:

$$F(t) = 1 - e^{-H \cdot t}. \quad (2)$$

В том случае, если  $H \cdot t < 0,1$ , то  $F(t) \cong H \cdot t$ . При  $t=1$  год  $F(1) \cong H$ .

Статистический анализ данных об авариях, произошедших за 5 лет по различным отраслям промышленности России и Украины показал, что степень риска появления аварий (катастроф) в этих странах равна  $H \cong 1 \cdot 10^{-3}$  год<sup>-1</sup>, т.е. на три порядка больше нормируемой величины [8].

Борьба с авариями и катастрофами на технологических объектах может вестись по двум направлениям:

а) прогнозирование катастроф, разработка технических и организационных мероприятий, позволяющих их не допускать;

б) использование существующих способов и средств и разработка новых, позволяющих ликвидировать последствия катастрофы в кратчайшие сроки и с минимальными затратами.

Оценка этих двух направлений показала, что экономические затраты по первому направлению, обозначим их  $Z_1$ , и второму  $Z_2$ , для крупных технологических объектов находятся в следующем соотношении:

$$Z_1 < 1000 Z_2. \quad (3)$$

Это соотношение означает, что затраты на то, чтобы не допустить катастрофу в 1000 и более раз меньше, чем затраты на ее ликвидацию и восстановление технологического цикла. Поэтому, в дальнейшем будем рассматривать первое направление обеспечения безопасности технологического объекта.

Основную задачу по обеспечению безопасности топливно-энергетического комплекса Украины можно сформулировать следующим образом: разработать организационные и технические рекомендации с минимальными экономическими затратами для осуществления перехода от реального уровня безопасности ( $1 \cdot 10^{-3}$  год<sup>-1</sup>) к нормируемому ( $1 \cdot 10^{-6}$  год<sup>-1</sup>), т.е. почти полностью исключить появление аварий и катастроф на промышленных предприятиях при эксплуатации энергетических установок.

На сегодняшний день в топливно-энергетической отрасли Украины не существует приемлемых для практического применения методик, которые позволили бы для конкретного предприятия оценить уровень его безопасности, обосновать с экономической точки зрения рекомендации, которые позволили бы осуществить переход от реального (в большинстве случаев низкого) уровня безопасности к нормируемому.

В первую очередь необходимо определить, на каком же уровне безопасности находится каждое конкретное предприятие Украины, опасное в отношении взрыва и пожара. Используя существующие нормы по допустимому риску, задачу по обеспечению безопасности любого объекта, опасного в отношении взрыва и пожара, можно сформулировать следующим образом.

Определить, какую статистическую информацию о технологическом объекте необходимо получить в течение времени  $T$ , чтобы оценить уровень его безопасности (степень риска) и если он окажется больше допустимого  $H_1 > 1 \cdot 10^{-6}$  год<sup>-1</sup>, то какие организационные и технические мероприятия необходимо использовать, чтобы вывести его на допустимый уровень риска, т.е. почти полностью исключить аварии (катастрофы) на данном объекте [7].

Для решения поставленной задачи необходимо разработать математическую модель процесса формирования возможных аварий (катастроф) на технологическом объекте, опасном в отношении взрыва и пожара, при его эксплуатации и получить следующие зависимости:

- среднее время до первой аварии (катастрофы);
- вероятность появления аварии (катастрофы) в течение года от состояния оборудования, окружающей его среды, надежности средств защиты и сроков их профилактики;
- дисперсию времени до аварии (катастрофы);
- экономическую оценку от нахождения системы обеспечения безопасности в каждом из возможных состояний.

Используя полученные зависимости, представляется возможным разрабатывать организационные и технические мероприятия, которые позволят выводить «опасные» технологические объекты на допустимый уровень с минимальными экономическими затратами.



$$P_k^1 = \begin{pmatrix} \Delta_{k-1} & \begin{matrix} \lambda_k & & & & 0 \\ & \lambda_k & & & & 0 \\ & & \ddots & & & \\ & & & \ddots & & \\ & & & & \lambda_k & \\ & 0 & & & & \lambda_{k-1} \end{matrix} & \begin{matrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \lambda_2 \\ \lambda_1 \\ \lambda_3 \\ \vdots \\ 0 \\ \lambda_{k-1} \\ 0 \end{matrix} & \begin{matrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{matrix} \\ \begin{matrix} \mu_k & & & & & & 0 \\ & \mu_k & & & & & \\ & & \ddots & & & & \\ & & & \ddots & & & \\ 0 & & & & \mu_k & & \\ & & & & & \ddots & \\ & & & & & & \mu_k \end{matrix} & \Delta_{k-1}^1 & \begin{matrix} 0 \\ \vdots \\ \vdots \\ \lambda_2 \\ \lambda_1 \\ \lambda_3 \\ \vdots \\ 0 \\ \lambda_{k-1} \\ 0 \end{matrix} & \begin{matrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ 0 \\ \lambda_{k-1} \\ 0 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 0 & \dots & 0 & \mu_2 & \mu_1 & \mu_3 & \dots & \mu_{k-1} \end{matrix} & \begin{matrix} 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \end{matrix} & \begin{matrix} 1-\alpha_r^{(k)} \\ \lambda_k \end{matrix} \\ \begin{matrix} 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \end{matrix} & \begin{matrix} 0 & \dots & 0 & \mu_2 & \mu_1 & \mu_3 & \dots & \mu_{k-1} \end{matrix} & \begin{matrix} \mu_k \\ 1-\alpha_{r+1}^{(k)} \end{matrix} \end{pmatrix} \quad (5)$$

В матрицах (4) и (5)  $r = 2^k - 1$ ;  $k \geq 3$ . При  $k = 2$ :

$$\Delta_2 = \begin{pmatrix} 1-\alpha_1^{(2)} & \lambda_1 & \lambda_2 \\ \mu_1 & 1-\alpha_2^{(2)} & 0 \\ \mu_2 & 0 & 1-\alpha_3^{(2)} \end{pmatrix}, \quad \begin{matrix} \beta_1 = 1 - (\lambda_1 + \lambda_2); \\ \beta_2 = 1 - (\mu_1 + \lambda_2); \\ \beta_3 = 1 - (\lambda_1 + \mu_2). \end{matrix}$$

Матрицы  $\Delta_{k-1}$  и  $\Delta_{k-1}^1$  отличаются между собой только диагональными элементами, которые определяются следующим образом:  $\beta_i^{(k)} = 1 - \alpha_i^{(k)}$ ,  $i = 1, 2, \dots, 2^k$ , где  $\alpha_i^{(k)}$  определяется из матрицы (5) как сумма элементов соответствующей строки.

Используя полученные матрицы (4) и (5) определим основные характеристики безопасности технологического объекта, опасного в отношении взрыва или пожара из следующих систем уравнений, записанных в матричной форме:

$$\tau = N \cdot \xi, \quad (6)$$

$$\dot{P}(t) = P(t) \cdot A, \quad (7)$$

$$D = (2N - I)\tau - C, \quad (8)$$

$$\dot{V}(t) = q + BV(t), \quad (9)$$

где  $\tau = [\tau_i]_{i=1}^{2^k-1}$  - вектор-столбец;

$N = (I - Q)^{-1}$  - фундаментальная матрица;  $Q$  - получается из матрицы (4) интенсивностей переходов  $P_k$  с помощью исключения поглощающего состояния (последней строки и последнего столбца);  $k$  - число элементов, участвующих в формировании аварий (катастроф);

(единица)  $\xi$  – вектор-столбец, у которого все элементы равны 1;

$$\dot{P}(t) = [\dot{P}_i(t)]_{i=1}^{2^k} \text{ - вектор-строка;}$$

$$P(t) = [P_i(t)]_{i=1}^{2^k} \text{ - вектор-строка;}$$

$$A = (P_k - I); I \text{ - единичная матрица;}$$

$$D = [\sigma_i^2]_{i=1}^{2^k-1} \text{ - вектор-столбец;}$$

$$C = [\tau_i]_{i=1}^{2^k-1} \text{ - вектор-столбец;}$$

$$B = P_k^1 \text{ - матрица вероятностей переходов (5), у которой все состояния возвратные;}$$

$$q = [q_i]_{i=1}^{2^k} \text{ - экономический эффект в единицу времени от пребывания системы в каждом из } i \text{ состояний (вектор-столбец);}$$

$$V(t) = [V_i(t)]_{i=1}^{2^k} \text{ - полный ожидаемый экономический эффект, приносимый технологическим объектом в течение времени } t, \text{ если в начальный момент времени система находилась в состоянии } i \text{ (вектор-столбец).}$$

$\lambda_i, \mu_i$  – скорость переходов  $i$ -того элемента из безопасного состояния в опасное, соответственно ( $i = 1, 2, \dots, k$ ).

Система уравнений (7) решается при условии, что  $P_1(0) = 1, P_2(0) = P_3(0) = \dots = P_{2^k}(0) = 0$ . Система уравнений (9) – при условии  $V_1(0) = V_2(0) = \dots = V_{2^k}(0) = 0$ .

Решение поставленной на кафедре электроснабжения промышленных предприятий и городов научной задачи легло в основу создания с рядом ведущих организаций в соответствующих отраслях промышленности методик расчетов [9-17].

В частном случае при выполнении следующих условий  $\lambda_i \leq 100\mu_i, \lambda_i \Theta_i < 0,1$ , пользуясь матрицей переходов (4) и системой уравнений (6), находим  $\tau_1$  – среднее время до первой катастрофы, при условии, что в начальный момент времени все элементы, участвующие в формировании катастрофы, находились в исправном (безотказном) состоянии:

$$\tau_1 \cong \frac{\prod_{i=1}^k \frac{2}{\lambda_i \Theta_i^2}}{\prod_{i=1}^k \lambda_i \left( \sum_{i=1}^k \frac{2}{\lambda_i \Theta_i^2} \right)} \quad (10)$$

Вероятность появления аварии (катастрофы) в течение времени  $t$  можно определить из решения системы линейных дифференциальных уравнений (7).

$$F_1(t) = P_r(t), \quad (11)$$

где  $r = 2^k$ .

Пользуясь системой уравнений (8) и матрицей вероятностей переходов (4), определяется дисперсия времени до первой катастрофы  $D_1$  при условии, что в начальный момент времени все элементы системы находились в безопасном состоянии. В том случае, если получится, что  $\tau_1 \cong \sqrt{D_1}$ , тогда вероятность появления катастрофы в течение времени  $t$  можно определить следующим образом:

$$F_1(t) = 1 - \exp\left[-\frac{t}{\tau_1}\right]. \quad (12)$$

Из всего топливно-энергетического комплекса Украины людей нашей страны и стран ближайшего окружения больше всего волнует вопрос о степени опасности эксплуатации атомных электрических станций (АЭС).

В Украине в настоящее время эксплуатируется 13 энергоблоков с реакторами типа ВВЭР установленной мощностью 11,8 ГВт

Большинство блоков ВВЭР находятся в эксплуатации более 15 лет (проектный срок службы 30 лет).

Значительная часть электротехнического и теплотехнического оборудования АЭС (2000-5000 единиц) требует замены вследствие того, что истек срок их эксплуатации [18].

Четвертый блок Чернобыльской АЭС был введен в строй в 1983 г., а катастрофа на ней произошла в 1986 г., т.е. практически на новой станции.

Возникает закономерный вопрос, а возможен ли аналогичный взрыв и на других АЭС Украины, проработавших более половины своего проектного срока? Какова вероятность появления крупных аварий (плавление активной зоны реактора) в течение года на действующих АЭС? Какова вероятность того, что произойдет авария на АЭС и радиоактивное облако пройдет, например, над Европой? На все эти вопросы пока нет ответов. Известные нам в настоящее время методики [19-21] не позволяют с достаточной для практических целей степенью точности оценивать вероятность появления катастроф на АЭС. Это, в свою очередь, не дает возможности обоснованно использовать существующие и разрабатывать новые технические и организационные мероприятия, позволяющие снижать частоту появления аварий до нормируемого уровня.

Известно, что безопасность АЭС должна обеспечиваться за счет последовательной реализации принципа глубоко эшелонированной защиты, основанного на применении системы барьеров на пути распространения ионизирующих излучений и радиоактивных веществ в окружающую среду, системе технических и организационных мер по защите барьеров и сохранению их эффективности и непосредственно по защите населения [21,22].

При эксплуатации ядерного энергоблока, когда не нарушен ни один из первых трех «барьеров» безопасности (рис.1), его режим работы контролируется управляющими системами [23]. Основная задача управляющих систем – это поддержание заданного режима работы ядерного энергоблока или переход его на другой режим работы.

При нарушении целостности одного из первых трех «барьеров» безопасности (рис.1), срабатывает система аварийного останова ядерного реактора и включается система аварийного расхолаживания.

В случае прорыва ионизирующих излучений и радиоактивных веществ в реакторный зал, в действие вступает локализирующая система безопасности (спринклерная). Основная задача локализирующей системы безопасности – удержать внутри защитной оболочки большую часть радиоактивных веществ, вышедших из реактора в результате повреждения трех первых «барьеров» безопасности. При повреждении герметической оболочки четвертого контура (реакторный зал) ионизирующие излучения и радиоактивные вещества вырвутся в окружающую среду.

Роль человека в обеспечении безопасности АЭС заключается в следующем [23,24]:

- контроль за состоянием всех систем обеспечения безопасности;
- своевременное выявление и устранение повреждений в системах, отвечающих за безопасность АЭС;
- точное выполнение персоналом АЭС должностных инструкций и предписаний;
- в случае отклонения режима работы АЭС от заданного не дать возможности перерасти аварийной ситуации в катастрофу;
- участие персонала АЭС в ликвидации последствий аварии.

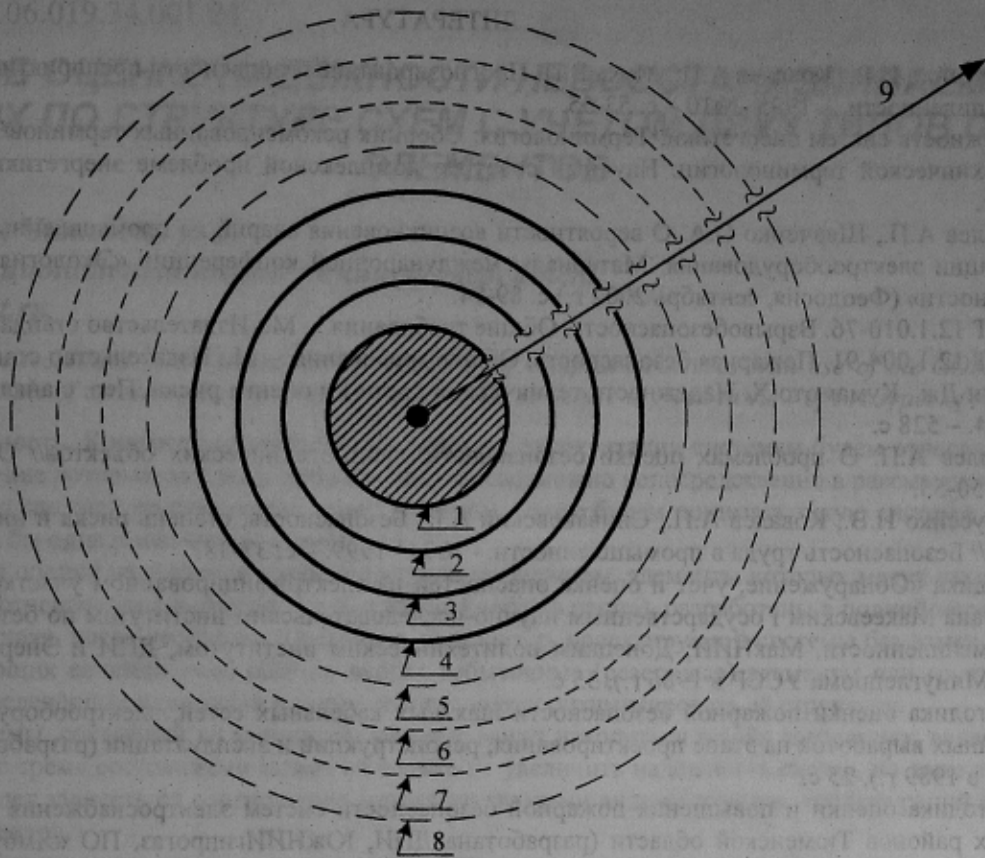
Основную роль в обеспечении безопасности АЭС играет четыре «барьера» безопасности – топливная матрица; оболочка топливного элемента; стенки первого контура; защитная герметическая оболочка, стоящие на пути возможного распространения ионизирующих излучений и потока радиоактивных веществ. Что же касается «барьеров» с 5-го по 7-й (рис.1), то они не предотвращают аварию, а лишь ограничивают возможный выброс ионизирующих излучений и радиоактивных веществ в атмосферу до минимально возможного значения.

Одной из основных задач по обеспечению безопасности АЭС является задание и обеспечение научно обоснованных норм надежности на каждую из систем защиты и на сроки их профилактических осмотров, при которых вероятность появления запроектной аварии (катастрофы) в течение года будет  $F(8760) \leq 1 \cdot 10^{-7}$ .

Используя матрицы переходов (4), (5), системы уравнений (6)-(9) представляется возможным определить, при какой надежности средств защиты и сроков их профилактики вероятность запроектной аварии на АЭС будет событие маловероятное ( $F(8760) \leq 1 \cdot 10^{-7}$ ). Кроме этого, можно определить: среднее время до первой (запроектной) аварии; вероятность появления запроектной аварии в течение года; дисперсию времени до запроектной аварии, а также экономический эффект от пребывания системы обеспечения безопасности в каждом из возможных состояний в течение времени.

От норм надежности на каждый вид защиты известными методами можно перейти к заданию норм надежности на каждый элемент, из которого она состоит, а это, в свою очередь, позволит требовать от проектировщиков изделий, а также заводов-изготовителей поставлять на АЭС продукцию требуемого качества и надежности.

Обеспечение с минимальными затратами разработанных научно обоснованных норм надежности на каждый вид защиты и сроки их контроля, а также надежное обеспечение выполнения персоналом АЭС своих должностных обязанностей позволит обеспечить необходимый уровень безопасности или доказать, что такой уровень ( $F(8760) \leq 1 \cdot 10^{-7}$ ) уже достигнут на АЭС Украины и, тем самым, успокоить общественность Украины, стран СНГ и Европы.



1. Топливная матрица. 2. Оболочка топливного элемента.
3. Стенки первого контура. 4. Защитная герметичная оболочка.
5. Система аварийной остановки ядерного реактора.
6. Система аварийного расхолаживания
7. Спринклерная орошающая система.
8. Персонал, участвующий в обеспечении безопасности.
9. Выброс ионизирующих излучений и радиоактивных веществ в окружающую среду.

Рисунок 1 - Схема барьеров безопасности ядерного реактора

#### Выводы.

1. Создать Центр по прогнозированию техногенных аварий и катастроф в топливно-энергетическом комплексе Украины для контроля за состоянием безопасности технологических объектов, опасных в отношении взрыва и пожара при их эксплуатации.

2. Основные задачи «Цentra...» - сбор и обработка информации о наиболее крупных авариях (катастрофах), происходящих на предприятиях Украины:

а) математическое моделирование процессов формирования аварий (катастроф) для конкретных предприятий;

б) получение зависимостей вероятности аварий (катастроф) в течение времени от состояния оборудования, средств защиты и окружающей среды.

3. Используя ежегодные статистические данные об авариях (катастрофах) на технологических объектах, опасных в отношении взрыва и пожара, в топливно-энергетическом комплексе Украины «Цentra...» представляет информацию о их прогнозе на последующие годы. Эта информация позволит обосновать необходимый резерв средств предприятий для реализации разработанных рекомендаций по предотвращению аварий. В противном случае, обосновать резерв средств из бюджета Украины, необходимых для ликвидации последствий техногенных аварий на государственных предприятиях.

4. Экономический эффект от деятельности «Цentra...» будет зависеть от оперативности и точности исполнения предприятиями разработанных научно-обоснованных рекомендаций по прогнозированию и предотвращению аварий (катастроф) на подконтрольных ему технологических объектах Минтопэнерго. Ежегодное снижение числа аварий (катастроф) на предприятиях Минтопэнерго, подконтрольных «Центру...», будет говорить о его полезности и эффективности.

1. Белоусенко И.В., Ковалев А.П., Муха В.П. Прогнозирование безопасности предприятий// Безопасность труда в промышленности. – 1995 -№10 – с. 53-55.
2. Надежность систем энергетики. Терминология: Сборник рекомендованных терминов/АН СССР, комитет научно-технической терминологии. Научный совет по комплексной проблеме энергетики. – М., 1980. – Вып.95. – 44 с.
3. Ковалев А.П., Шевченко О.А. О вероятности возникновения аварий на промышленных предприятиях при эксплуатации электрооборудования. Материалы международной конференции «Экология и безопасность жизнедеятельности» (Феодосия, сентябрь 2002 г.) с. 89-94.
4. ГОСТ 12.1.010-76. Взрывобезопасность. Общие требования. – М.: Издательство стандартов, 1976.
5. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования. – М.: Издательство стандартов, 1976.
6. Хейли Дж., Кумamoto Х. Надежность технических систем и оценка риска. Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1984. – 528 с.
7. Ковалев А.П. О проблемах оценки безопасности электротехнических объектов// Электричество. – 1991-№7. – с. 50-55.
8. Белоусенко И.В., Ковалев А.П., Спиваковский А.В. Безопасность, степень риска и инвестиции в промышленность// Безопасность труда в промышленности. - №7. – 1999. – с. 37-38.
9. Методика «Обнаружение, учет и оценка опасностей на электрифицированном участке угольной шахты» (Разработана Макеевским Государственным научно-исследовательским институтом по безопасности работ в горной промышленности, МакНИИ; Донецким политехническим институтом, ДПИ и Энергомеханическим управлением Минуглепрома УССР в 1986 г.), 35 с.
10. Методика оценки пожарной безопасности шахтных кабельных сетей, электрооборудования и электрифицированных выработок на этапе проектирования, реконструкции и эксплуатации (разработана ДПИ, НПО «Респиратор» в 1989 г.), 25 с.
11. Методика оценки и повышения пожарной безопасности систем электроснабжения газовых промыслов северных районов Тюменской области (разработана ДПИ, ЮжНИИгазпрогаз, ПО «Ямбурггаздобыча» в 1990 г.), 31 с.
12. Методика обнаружения, учета и оценки вероятных опасностей в системах электроснабжения газовых промыслов северных районов Тюменской области (разработана ДПИ, ЮжНИИгазпрогаз, ПО «Ямбурггаздобыча» в 1990 г.), 23 с.
13. Методика оценки и повышения электробезопасности при эксплуатации электрооборудования пожаро- и взрывоопасных цехов газовых промыслов северных районов Тюменской области (разработана ДПИ, Государственной академией нефти и газа им. И.М. Губкина, ПО «Ямбурггаздобыча» в 1993 г.), 20 с.
14. Методика оценки вероятности возникновения взрывопожарных ситуаций в системах электроснабжения газовых промыслов, на технологических установках и помещениях; в которых они эксплуатируются (разработана Государственной академией нефти и газа им. И.М. Губкина, Донецким государственным техническим университетом и РАО «Газпром» в 1995 г.), 33 с.
15. Методика оценки взрывобезопасности тупиковых выработок угольных шахт при эксплуатации в них электрооборудования (Первая редакция. Разработана Государственным Макеевским научно-исследовательским институтом по безопасности работ в горной промышленности, Донецким государственным техническим университетом в 1999 г.), 31 с.
16. Методика оценки уровня безопасности систем электроснабжения газовых промыслов, технологических установок, электрооборудования и средств защиты при их эксплуатации (разработана Российским государственным университетом нефти и газа им. И.М. Губкина, РАО «Газпром», Донецким государственным техническим университетом в 2000 г.), 66 с.
17. Методика оценки электробезопасности электрооборудования на участках угольных шахт. (Первая редакция. Разработана Государственным Макеевским научно-исследовательским институтом по безопасности работ в горной промышленности, Донецким государственным техническим университетом в 2002 г.), 40 с.
18. Концепція державної енергетичної політики України на період до 2020 року. Центр Разумкова. Національна безпека і оборона, 2001. - №2, с. 2-23.
19. Швыряев Ю.В. и др.. Вероятностный анализ безопасности атомных станций. Методика выполнения. – М.: ИАЭ им. Курчатова, 1992.
20. МАГАТЭ. Руководство по проведению вероятностного анализа безопасности атомных станций: Отчет. – М., 1990.
21. Вероятностный анализ безопасности атомных станций: Учебное пособие/ В.В. Бегун, О.В. Горбунов, И.Н. Каденко и др. – К., 2000. – 568 с.
22. Справочник по ядерной энергетике: Пер. с англ./ Ф.Ран, А. Адамаитиades, Дж. Кентон, Ч. Браун/ Под ред. В.А. Легасова – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 752 с.
23. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций (ОПБ-88). ПНАЭГ-1-01 1089, 1989.
24. Рагожин Ю.А. Измерить аварию. Безопасность труда в промышленности, 1993.-№6, с. 41-48.

Рекомендована до друку проф., д.т.н. Рогозіним Г.Г.