

ПРОБЛЕМЫ ПРЕВЕНТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ЗАКОНА БОЛЬШИХ ЧИСЕЛ



А.Г. Давыдовский

Доцент кафедры инженер-
ной психологии и эргономики
БГУИР, кандидат
биологических наук, доцент

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Республика Беларусь
E-mail: agd2011@list.ru

Abstract. This article focuses on the criteria for integrated safety of hazardous industrial plants on the basis of the "law of large numbers" were considered. The stages of the preventive management in complex problem technosphere situations. The role of personnel errors in the development of the technosphere complex problematic situations were marked in the operation of hazardous industrial plants. New information technology of risk analysis of technological development of problem situations in a preventive integrated management safety hazardous industries was substantiated.

Анализ техногенных аварий и катастроф на опасных производственных объектах (ОПО) в энергетической, нефтегазохимической и транспортных отраслях экономики свидетельствует о возникновении и развитии проблемных социотехнических ситуаций, приводящих к инцидентам с тяжелыми последствиями. При разработке мероприятий обеспечения комплексной безопасной (КБ) ОПО необходимо учитывать не только техническое состояние, но и нестационарный характер эксплуатации и эксплуатационных параметров технологических процессов и технологического оборудования.

Цель работы – анализ проблем информационно-технологического обеспечения превентивного управления комплексной безопасностью опасных производственных объектов на основе неравенств и теорем «закона больших чисел».

Критерии комплексной безопасности опасных производственных объектов на основе «закона больших чисел». Информационное обеспечение превентивного управления КБ ОПО целесообразно лишь на основе системной оценки структурных, функциональных, коммуникационных и технологических (СФКТ-) характеристик ОПО, каждая из которых может характеризоваться набором случайных величин, как дискретных, так и непрерывных. Подобная оценка

возможна с использованием сравнительно универсальных и простых критериев, таких как:

- математическое ожидание СФКТ-характеристик ОПО и вероятность достижения ими заданных пределов;
- количество структурных и функциональных компонентов (технологических процессов, блоков, подсистем);
- математические ожидания параметров производственно-технологических подсистем и процессов;
- дисперсия показателей СФКТ-характеристик;
- исследования и испытания надежности подсистем, компонентов и процессов ОПО.

Превентивное управление КБ ОПО осуществляется в зависимости от имеющейся исходной информации о СФКТ-характеристиках ОПО, исследуемых с использованием статистических, теоретико-вероятностных или когнитивно-эвристических методов.

Исходной информацией для статистических методов являются статистические данные о проблемных социотехнических ситуациях, сопровождающихся авариями, катастрофами, травматизмом и гибелью людей на аналогичных ОПО и/или в сходных условиях. Эти методы требуют наличия больших массивов данных, что значительно усложняет его применимость. Так, основу когнитивно-эвристических методов, применяемых для описания сложноформализуемых задач в превентивного управления КБ ОПО условиях с высокой степенью информационной неопределенности, связанных с управлением проблемными социотехническими ситуациями при эксплуатации ОПО, составляют оценки экспертов в области промышленной безопасности. В таблице 1 представлены этапы превентивного управления проблемными социотехническими ситуациями с использованием «закона больших чисел» для обеспечения КБ ОПО.

Для практики превентивного управления проблемными социотехническими ситуациями важным является знание условий, при которых совокупное действие очень многих случайных и сложных причин приводит к закономерному результату, почти не зависящему от случая и позволяющему предвидеть развитие ситуации в будущем. Такие условия обсуждаются в теоремах, получивших название «закон больших чисел». В частности, это неравенства Маркова, теоремы Чебышева, Бернулли и Пуассона [1].

Если любая случайная величина X_i имеет дискретный или непрерывный параметр имеет только неотрицательные значения, то для любого предельного значения параметра $\alpha > 0$ справедливо неравенство Маркова (1):

$$P(X \geq \alpha) \leq \frac{M(X)}{\alpha}, \quad (1)$$

или (2)

$$P(X < \alpha) > 1 - \frac{M(X)}{\alpha}. \quad (2)$$

Таблица 1. Этапы превентивного управления проблемными социотехническими ситуациями для превентивного управления КБ ОПО на основе «закона больших чисел»

Этапы	Содержание этапов алгоритма превентивного управления КБ ОПО на основе «закона больших чисел»	
Этап 1 – Сбор информации о предыдущем и текущем состоянии КБ ОПО		
Этап 2 – Идентификация факторов риска, опасности, «окна уязвимости», предельных условий для аварийного или катастрофического исхода проблемных социотехнических ситуаций		
Этап 3 – Анализ параметров проблемных социотехнических ситуаций с учетом человеческого фактора с помощью «закона больших чисел»	Неравенство Маркова	– анализ математического ожидания и вероятности достижения параметров СФКТ-характеристик ОПО определенных заданных пределов;
	Неравенство Чебышева	– оценка статистического отклонения и допустимых диапазонов для каждой из СФКТ-характеристик ОПО при условии, что характеристики близки как статистически, так и качественно;
	Теорема Чебышева (общий случай)	– анализ вероятности отклонения СФКТ-характеристик ОПО от заданных значений; – определение математического ожидания и ограниченных дисперсий величин СФКТ-характеристик ОПО;
	Теорема Чебышева (частный случай)	– оценка количества и частоты необходимых исследований (испытаний) СФКТ-характеристик ОПО; – анализ статистических отклонений СФКТ-характеристик ОПО;
	Неравенство Бернулли	– оценка частотности и вероятности отклонения в каждом отдельном исследовании (испытании) сходных СФКТ-характеристик ОПО по схеме Бернулли; – оценка статистических отклонений показателей СФКТ-характеристик ОПО;
	Теорема (неравенство) Пуассона	– оценка частотности в каждом отдельном исследовании (испытании) сходных СФКТ-характеристик ОПО по схеме Бернулли; – оценка статистических отклонений и количества необходимых исследований (испытаний) отдельных СФКТ-характеристик ОПО при условии, что вероятность изменяется от испытания к испытанию по схеме Бернулли
Этап 4 – Определение вероятностей развития проблемных социотехнических ситуаций по оптимистическому, пессимистическому и сбалансированному сценариям		
Этап 5 – Анализ результатов оценок вероятностей развития проблемных социотехнических ситуаций по трем сценариям		
Этап 6 – Разработка и информационное обоснование различных сценариев превентивного управления развитием проблемных социотехнических ситуаций в КБ ОПО		
Этап 7 – Системный анализ и вероятностный анализ сценариев превентивного управления развитием проблемных социотехнических ситуаций с учетом информации о текущем состоянии КБ ОПО		
Этап 8 – Выбор оптимальных сценариев превентивного управления КБ ОПО		

Для любого значения случайно выбранного параметра КБ ОПО

выполняется неравенство Чебышева (3):

$$P(|X - a| \geq \varepsilon) \leq \frac{D(X)}{\varepsilon^2}, \quad (3)$$

где $a = M(X)$, или (4)

$$P(|X - a| < \varepsilon) > 1 - \frac{D(X)}{\varepsilon^2}. \quad (4)$$

Если X_1, X_2, \dots, X_i – независимые случайные величины, имеющие математические ожидания a_1, a_2, \dots, a_i и ограниченные дисперсии $D(X_i) \leq C$, где $C = \text{const}$. Исследуемые параметры X_1, X_2, \dots, X_i должны соответствовать требованиям: 1) они попарно независимы; 2) имеют одно и то же математическое ожидание; 3) дисперсии их ограничены. Тогда выполняется соотношение теоремы Чебышева в общем случае (5):

$$P\left(\left|\frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} - \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n}\right| < \varepsilon\right) > 1 - \frac{C}{n \cdot \varepsilon^2}. \quad (5)$$

На основе теоремы Чебышева устанавливается вероятность отклонения величины вектора X , характеризующего состояние проблемной социотехнической ситуации в многомерном факторном пространстве, от ее математического ожидания. При достаточно большом $n \rightarrow \infty$ вероятность сколь угодно малого отклонения средней арифметической случайных величин от средней арифметической их математических ожиданий сколь угодно близка к единице.

Если X_1, X_2, \dots, X_i имеют равные математические ожидания и дисперсии, тогда выполняется соотношение частного случая теоремы Чебышева (6):

$$P\left(\left|\frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} - a\right| < \varepsilon\right) > 1 - \frac{D(X)}{n \cdot \varepsilon^2}. \quad (6)$$

Если производится n испытаний по Бернулли, а m – число появлений события A при n испытаниях, то целесообразно использовать неравенство Бернулли (7):

$$P\left(\left|\frac{m}{n} - P\right| < \varepsilon\right) > 1 - \frac{P \cdot D}{n \cdot \varepsilon^2}, \quad (7)$$

где $M(X_i) = P$; $D(X) = P \cdot Q$.

Если производится N независимых исследований (испытаний) КБ ОПО в каждом из которых вероятность возникновения проблемных социотехнических ситуаций, сопровождающихся техногенными авариями или катастрофами, равна ξ , то можно ли предвидеть относительную частоту появлений таких событий? Ответ можно получить с помощью неравенства Бернулли. Для практического же использования достаточно удобна теорема Пуассона, которая может быть

выражена неравенством (8):

$$P\left(\left|\frac{m}{n} - \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}\right| < \varepsilon\right) > 1 - \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot Q_i}{n^2 \cdot \varepsilon^2}. \quad (8)$$

Если теорема Чебышева является наиболее общим законом больших чисел, то теорема Бернулли – простейшим.

Например, если производственный комплекс состоит из $N=1000$ технологических компонентов, которые рассматриваются как условно независимые, средняя вероятность отказа каждого из которых составляет $P=0,05$ (следовательно, надежность функционирования каждого компонента составляет $0,95$), то можно оценить вероятность того, что абсолютная величина разности между величиной вектора X математическим ожиданием потери надежности (отказа) производственного комплекса окажется: а) не меньше 7; б) меньше 7. Обозначив через X количество отказавших компонентов за период времени, можно получить математическое ожидание количества функционально несостоятельных технологических компонентов ОПО (отказавших, вышедших из строя): $M[X] = NP = 1000 \cdot 0,05 = 50$. Вместе с тем, дисперсия $D[X] = NPQ = 1000 \cdot 0,05 \cdot 0,95 = 47,5$. Для решения задачи полезно воспользоваться неравенством Чебышева. Подставив $M[X] = 50$ и $D[X] = 47,5$, $\xi=2$ можно получить: $P\{|X - 50| < 7\} \geq 1 - \frac{47,5}{49} = 0,031$. События $|X - 50| < 7$ и $|X - 50| \geq 7$ противоположны, поэтому сумма их вероятностей равна единице. Следовательно: $P\{|X - 50| \geq 7\} \leq 1 - 0,031 = 0,969$.

Можно ли оценить вероятность возникновения проблемной социотехнической ситуации с катастрофическими последствиями в КБ ОПО: $|X - M(X)| < 3\sigma$, где σ – среднее квадратичное отклонение случайной величины X , характеризующей КБ ОПО? Полагая $\xi=3\sigma$, получим в правой части неравенства число $1 - \frac{D[X]}{9\sigma^2}, \dots, \frac{8}{9}$. Таким образом, вероятность события $M[X] - 3\sigma < X < M[X] + 3\sigma$ не меньше, чем $\frac{8}{9}$. В действительности для подавляющего большинства встречающихся на практике случайных величин эта вероятность значительно ближе к единице, чем $\frac{8}{9}$.

В теореме Чебышева, которая справедлива как для дискретных, так и для непрерывных случайных величин, утверждается, что если рассматривается достаточно большое число независимых случайных величин (например, проблемных социотехнических ситуаций, возникающих в условиях управления безопасностью производственного комплекса), имеющих ограниченные дисперсии, то почти достоверным можно считать событие, состоящее в том, что отклонение среднего арифметического случайных величин от среднего арифметического их математических ожиданий будет по абсолютной величине сколь угодно малым.

Обычно для измерения каждого некоторого параметра КБ ОПО как некоторой физической величины необходимо произвести несколько измерений

и их среднее арифметическое принимается в качестве искомого размера. При каких условиях этот способ измерения можно считать правильным? Очевидно, при выполнении следующих условий:

1 если результат каждого измерения независим от результатов других измерений;

2 если измерения могут быть проведены без систематических (одного знака) ошибок, а математические ожидания случайных величин одинаковы и равны истинному;

3 если используемый метод обеспечивает заданную точность измерений и оценки параметров КБ ОПО, причем их рассеяние должно всегда ограничено.

Если все указанные требования выполнены, мы вправе применить к результатам измерений теорему Чебышева: при достаточно большом N вероятность неравенства (9):

$$\left| \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_N}{N} - a \right| < \xi \rightarrow 1. \quad (9)$$

Анализ ошибочных действий персонала в проблемных социотехнических ситуациях при эксплуатации опасных производственных объектов. Под человеческим фактором при исследовании вопросов обеспечения промышленной безопасности понимается комплекс индивидуальных и групповых психологических и психофизиологических качеств работников, проявляющихся при выполнении своих трудовых обязанностей и способных оказать влияние на формирование и развитие проблемных социотехнических ситуаций. Каждое ошибочное действие персонала обусловлено отклонением мотивационного, ориентировочного и исполнительного компонентов от требуемого нормального стандарта [2]. Например, высокие показатели аварийности и травматизма на предприятиях нефтегазовой отрасли в 77% случаев обусловлены ошибочными действиями обслуживающего персонала [3]. Анализ показывает, что ошибочные действия обслуживающего персонала обусловлены психофизиологическими предпосылками, которые связаны с неспособностью оценить и спрогнозировать возможные последствия развивающихся событий; ошибками памяти; ошибками мышления; ошибками внимания. К основным причинам ошибок обслуживающего персонала при возникновении и развитии аварийных ситуаций отнесены:

– неспособность адекватной оценки зарождающихся и развивающихся опасных ситуаций;

– неверная интерпретация и, как следствие, принятие ошибочных, субъективных решений по устранению или ликвидации опасной ситуации.

Ошибки обслуживающего персонала могут выражаться следующими ситуациями:

– невыполнение предписанных операций;

– выполнение операций, не предусмотренных при проведении работ;

– ошибочная последовательность выполнения операции;

– неверное исполнение предписанных операций.

При наличии большого количества СФКТ-факторов, определяющих состояние КБ ОПО и влияющих на вероятность ошибочных действий обслуживающего персонала, целесообразно использовать формулу (10):

$$P_{\text{ОДП}} = 1 - \prod_{i=1}^k (1 - P_i \cdot P_{\text{ОД}i}), \quad (10)$$

где $P_{\text{ОДП}}$ – вероятность ошибочных действий персонала, снижающих уровень КБ ОПО;

P_i – вероятность возникновения i -го фактора, обуславливающего ошибочное действие производственного персонала;

$P_{\text{ОД}i}$ – вероятность возникновения ошибочного действия производственного персонала после возникновения i -го фактора.

Но возникновение внешних и внутренних факторов не всегда приводит к ошибочным действиям обслуживающего персонала. В этом случае формула (10) принимает вид (11):

$$P_{\text{ОДП}} = \frac{1 - \prod_{i=1}^k (1 - P_i \cdot P_{\text{ОД}i})}{1 - \prod_{i=1}^k (1 - P_i)}. \quad (11)$$

Информационная технология анализа рисков развития проблемных технологических ситуаций. Анализ аварий и катастроф в эксплуатации ОПО свидетельствует о важнейшей роли влияния академических (образовательных), социально-личностных и профессиональных компетенций, личностных и психофизиологических качеств административного и оперативного персонала, т.е. роли человеческого фактора. Далее влияние на качество и безопасность эксплуатации ОПО оценивается как высокое, то проводятся мероприятия, направленные на повышение профессионализма работников. При это наиболее целесообразно рассматривать человеческий фактор, описываемый набором психофизиологических характеристик, как составляющую более сложного антропосоциального фактора (АСФ), включающего не только физиологические, психофизиологические, психологические, но также и образовательные, профессионально-деятельностные, коммуникативные (в частности, принадлежность к онлайн-сетевым сообществам) и социокультурные характеристики. Таким образом, АСФ включает как собственно человеческий фактор, так и образовательный, профессионально-деятельностный, социокультурный, коммуникативный компоненты [4].

Для оценки влияния СФКТ-факторов и человеческого фактора в структуре АСФ на формирование социотехнических рисков (СТР) разработана концепция информационной технологии (ИТ) когнитивно-вероятностного анализа рисков техногенных аварий «КВАРТА» на основе положений нечеткой логики [5]. ИТ «КВАРТА» может быть сравнительно просто и эффективно реализована на основе пакета Simulink программного комплекса MATLAB. При этом ИТ

«КВАРТА» позволяет:

- анализировать структуру системы «технологический процесс-персонал-внешняя и внутренняя среда» в развитии проблемных социотехнических ситуаций, приводящих к авариям и катастрофам в эксплуатации ОПО;
- использовать большие массивы статистических данных для текущего анализа и прогнозирования возможных сценариев ее развития проблемных социотехнических ситуаций;
- учитывать различные аспекты человеческого фактора и АСФ, представляя их в виде вектора в многомерном Гильбертовом или Евклидовом пространстве множества факторов;
- осуществлять разработку и анализ статического характера когнитивно-вероятностных и вероятностно-энтропийных моделей для прогнозирования развития проблемных социотехнических ситуаций для превентивного управления КБ ОПО на основе «закона больших чисел».

Данная технология может быть адаптирована для превентивного управления СТР в обеспечении КБ ОПО в энергетической, нефтехимической и транспортной отраслях экономики.

Заключение. Предложенная ИТ «КВАРТА» позволяет оценить диапазоны СТР и определить мероприятия по превентивному управлению КБ ОПО на основе системного анализа СФКТ-факторов и АСФ. При минимальных значениях влияния СФКТ-факторов на формирование СТР, только благодаря АСФ интегральный уровень СТР может возрасти до уровня, превышающего 0,67 и даже более. Эффективная модернизация ИТ «КВАРТА» возможна на основе нечеткой логики, что предоставляет новые возможности:

- описание сложных динамически развивающихся технических подсистем, блоков, производственно-технологических процессов, функционирование которых невозможно описать традиционными математическими методами и моделями;
- одновременный учет как количественных, так и качественных параметров на основе лингвистических переменных для анализа развития проблемных социотехнических ситуаций при эксплуатации ОПО;
- описание нелинейной зависимости опасности эксплуатации ОПО от множества низкоинтенсивных, но взаимосвязанных факторов;
- количественная оценка рисков эксплуатации ОПО на основе множества нечетких входных данных.

Использование теории нечетких множеств позволит использовать ИТ «КВАРТА» в качестве инструмента для решения задач превентивного управления КБ ОПО.

Литература

[1]. Ниворожкина, Л.И. Математическая статистика с элементами теории вероятностей в задачах с решениями: Учебное пособие для бакалавров / Л.И. Ниворожкина, З.А. Морозова, И.Э. Гурьянова; под ред. проф. Л.И. Ниворожкиной. – 2-е изд. перераб. и доп. . – М.: ИТК «Дашков и

Ко», 2015. – 2015. – 480 с.

[2]. Венда, В. Ф. Системный подход в инженерной психологии труда / В.Ф. Венда, В.А. Бодров. – М.: Наука, 1992. – 153 с.

[3]. Переездчиков, И.В. Анализ опасностей промышленных систем человек – машина – среда и основы защиты: учебное пособие / И.В. Переездчиков. – М. : КНОРУС, 2016. – 782 с.

[4]. Костерев, В. В. Надежность технических систем и управление риском /В.В. Костерев. - М.: МИФИ, 2008. – 280 с.

[5]. Козлитин, П. А. Методы нечеткого анализа риска аварий в системах теплоснабжения / П.А. Козлитин // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2010, № 44. – С. 175 – 183.

Библиотека БГУИР