

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Красик Я.Л., Андриевская Н.К.

ОАО «Автоматгормаш им Антипова», г. Донецк
Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
кафедра автоматизированных систем управления

Abstract

Krasik Y.L., Andrievskaya N.K. Safety of technological processes of coal mines. Mining has the highest rate of occupational fatalities among all Ukrainian industries. In this article the problems of safety are discussed. The developing of complex safety system is proposed. The principles of 'risk assessment' are described. The using of safety system is possible minimize an acceptable and reasonable level of risk.

Общая постановка проблемы. В начале XX века ускорение роста технического прогресса и активное использование природных ресурсов рассматривались как положительные тенденции в развитии производства. Поэтому к концу XX века резко увеличилось количество аварий и катастроф. Как отмечается в отчете европейской экономической комиссии (при ООН) по технологическим и естественным опасностям, технологические аварии по-прежнему происходят в Европе, однако количество аварий, связанных с большим числом жертв, за последнее десятилетие сократилось, за исключением аварий на шахтах Украины. В настоящее время изменяется отношение общества к проблемам промышленной безопасности.

Угольная шахта — уникальная и сложная производственная система с опасными условиями производства, когда не только непредвиденные и чрезвычайные изменения горно-геологических условий, но и невыполнение правил безопасности, или неверное действие одного рабочего может привести к катастрофическим последствиям.

Риск возникновения аварий является неизбежным, сопутствующим фактором промышленной деятельности. Риск объективен, для него характерны неожиданность, внезапность наступления, что предполагает прогноз риска, его анализ, оценку и управление — ряд действий по недопущению факторов риска или ослаблению воздействия опасности.

Согласно данным, приведенным в концепции повышения уровня охраны труда, состояние большинства угольных шахт характеризуется сложными горно-геологическими условиями разработки пластов, устаревшим шахтным фондом с отработавшим нормативные сроки стационарным горношахтным оборудованием. Угольные шахты, особенно в Донбассе, разрабатывают, в основном, тонкие пласты с большим количеством тектонических нарушений и слабыми боковыми породами. Около 90% шахт — опасны по газу, 60% — опасны по взрывам угольной пыли, 45% — склонны к газодинамическим явлениям, а 25% — опасны по самовозгоранию угля. На шахтах отрасли слабо используется положительный зарубежный опыт по охране труда, такой, как оценка и нейтрализация риска на рабочем месте и применение комплексных систем противоаварийной защиты. В числе прочих мероприятий по предотвращению аварий и травматизма, в концепции предлагается внедрить методы и способы определения риска человека на рабочем месте в системе «человек-машина-среда»[1].

Таким образом, возникает необходимость создания комплексной системы, которая реализует концепцию безопасности не как самостоятельного, отделенного от технологии горных работ рода деятельности, а как качественного, надежно функционирующего технологического цикла всей шахты.

Результаты исследований по проблемному вопросу.

В странах США, Канаде, Японии, Австралии ведутся научные исследования по обеспечению промышленной безопасности и анализу аварийного риска в горнодобывающей промышленности. Более подробная информация приведена в отчетах научных организаций [2–3].

Основы безопасности и анализа аварийного риска промышленных объектов изложены на русском языке в ряде переводных и отечественных изданий [4,5]. Кроме того, существует много статей российских авторов, содержащих концептуальные и важные положения теории аварийного риска и безопасности сложных технических систем, но для других отраслей промышленности. Укажем лишь некоторые из них [6].

Отличительной чертой проведенных ранее исследований по обеспечению безопасности подземных работ является отсутствие системного подхода, который позволяет однозначно определить опасности и опасные состояния системы. Он обеспечивается декомпозицией, последующим исследованием частей независимо друг от друга и координацией локальных решений. Наиболее благоприятные условия для исследования и анализа безопасности шахт создаются в случае представления объекта в виде триединой системы «Человек-машина-среда» [1]. Обязательной составной частью обеспечения безопасности добычи угля является прогноз факторов опасностей и оценка аварийного риска, который характеризует уровень аварийности данного производственного объекта

Одним из перспективных направлений повышения безопасности таких систем и смягчения последствий или предотвращения аварий является создание и внедрение информационных систем поддержки принятия решений в человеко-машинных системах управления производствами повышенного риска. Результатом формирования «безопасного» мышления стало возникновение и быстрое развитие новой области — системы управления промышленной безопасностью и охраной труда, и как основной ее составляющей — системы управления риском.

Система анализа аварийного риска (СААР) — специализированная система информационной поддержки, предназначенная для решения задач анализа надежности и безопасности сложных технологических комплексов, оценки возможных последствий аварий и опасных ситуаций. Система анализа аварийных рисков является одной из функциональных подсистем автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) горнодобывающего предприятия.

Основной задачей управления СААР является обеспечение такого режима эксплуатации, который позволил бы минимизировать вероятность возникновения аварии вследствие отказов оборудования и ошибок обслуживающего персонала, а также выдать рекомендации по снижению масштабов и/или ликвидации последствий аварии при ее возникновении.

Система обеспечения безопасности технологических процессов шахты предназначена:

- для распознавания аварийных (внештатных) ситуаций на начальных стадиях с помощью технических и организационных мероприятий с целью принятия решений по предотвращению дальнейшего развития аварий;
- для своевременного доведения информации до руководства;
- для обработки информации о состоянии элементов, узлов, окружающей среды, горного массива и других составных звеньев технологического цикла шахты, моделирования и прогноза с целью поиска оптимальных руководящих решений;
- для оснащения шахт разработанными техническими и программными средствами диагностики, автоматизации сбора и обработки информации;

Основу автоматизированной системы должны составлять:

- диагностическая система состояния отдельных элементов технологического цикла шахты;
- надежный многоуровневый прогноз состояния всего технологического процесса в целом;
- своевременная профилактика (недопущение аварийного состояния) составных элементов на основе данных прогноза;
- дублирование функций отдельных составных элементов в случаях, когда время их восстановления превышает безопасное время пребывания в состоянии отказа;
- принятие правильных технологических и управляющих решений в оптимальном для каждой конкретной ситуации режиме на основе компьютерного анализа постоянно обновляемой базы данных о состоянии технологического цикла;

Анализ аварийных рисков может быть реализован только при выполнении следующих требований:

- наличие подробной информации по пространственному расположению объектов и взаимосвязях между ними;
- наличие подробной информации по техническим характеристикам всего оборудования;
- наличие сведений о потенциально опасных факторах, их влиянии на оборудование и персонал, возможных последствиях их проявления;
- наличие комплекса моделей, позволяющих оценивать влияние опасных факторов на оборудование и персонал, оценивать масштабы возможного ущерба;
- наличие моделей развития опасных ситуаций (аварий) и критериев принятия решений по управлению риском.

Для решения задачи обеспечения безопасности предлагается создать комплексную систему оценки состояния безопасности технологических процессов шахты, обеспечивающую раннее выявление аварийных ситуаций и контроль потенциальных видов опасности.

Структура системы может быть представлена в виде ряда взаимосвязанных подсистем, которые изображены на рис. 1. Связь подсистем изображена двойными стрелками, чтобы подчеркнуть их взаимодействие.

Подсистема №4 имеет сложную структуру и предназначена для контроля различных параметров технологической среды, отклонения в работе которых может привести к аварийным ситуациям. Подсистема №3 контролирует надежность как основного горношахтного оборудования, так и систем противоаварийной защиты. Подсистема №5и №6 обеспечивают безопасность людей или необходимые действия в предаварийных, аварийных либо послеаварийных ситуациях.

В качестве особых подсистем выделены две подсистемы: анализа аварийного риска и подсистема управления аварийными ситуациями. Подсистема №1 (анализа аварийного риска) предназначена для того, чтобы концентрировать информацию об объекте в целом, о системе его безопасности и об окружающей обстановке и прогнозировать возможные аварии и их последствия. Но главная ее активная функция — разработка рекомендаций по корректирующим воздействиям на объект в целом, на остальные подсистемы с тем, чтобы обеспечить снижение величины риска и поддержание его на приемлемом уровне. Подсистема №2 (управление аварийными ситуациями) является координатором подсистем №5 и №6, а также взаимодействует с другими подсистемами.

Реализация мероприятий, предусмотренных подсистемами №2, №5, №6, производится в соответствии с планом предупреждения аварий.

Процесс анализа риска предполагает оценку и анализ потенциальных опасностей, а также поиск мер, позволяющих снизить риски до приемлемого уровня.

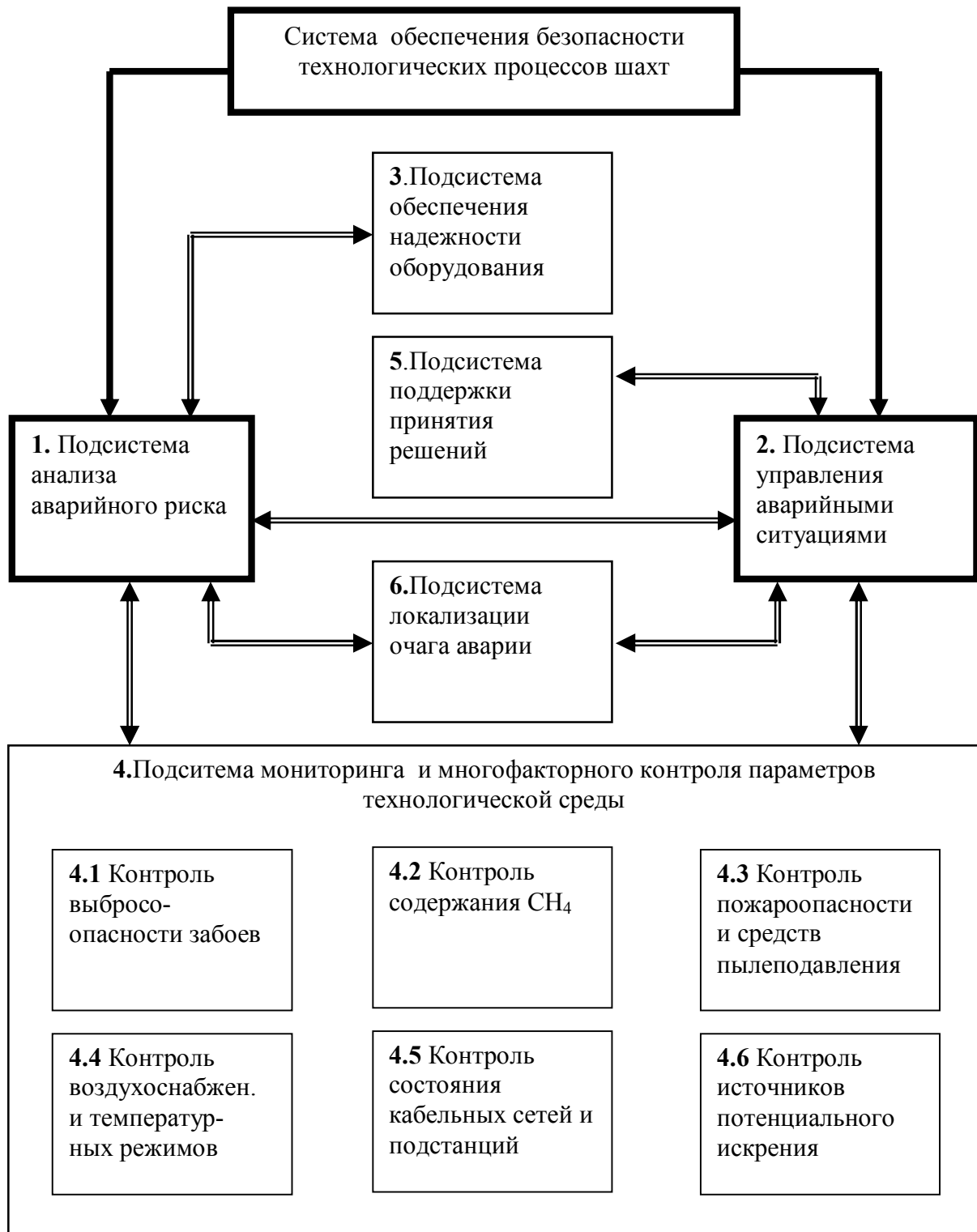


Рисунок 1 — Структура системы безопасности горных работ шахт

Основная цель системы обеспечения промышленной безопасности — минимизация издержек от возможности проявления аварийности и травматизма:

$$\begin{cases} M_{\tau} = [Z + Y] \rightarrow \min \\ RE_{\tau} = f(\dots, M_{\tau} = [Z + Y], \dots) \geq RE_{\tau}^{\text{lim}} \end{cases} \quad (1)$$

где: $M_\tau = [Z + Y]$ — математическое ожидание суммы ущербов Y от аварийных происшествий на участках и затрат на обеспечение безопасности Z за определенный период τ ;

$RE_\tau, RE_\tau^{\text{lim}}$ — достигнутая и приемлемая рентабельность процесса добычи угля за этот же период времени.

Для реализации поставленной цели могут быть выбраны два варианта, которые непосредственно связаны с оптимизационным выбором и ранжированием мер предупреждения и ликвидации последствий происшествий (аварий, несчастных случаев, пожаров, выбросов, обвалов):

Вариант 1. При фиксированных ресурсах Z_τ^{lim} выбрать и реализовать такой набор мер безопасности $\{Z_i\}$ из m возможных $\{Z_m\}$, внедрение которых максимально снижает риск аварийного происшествия: $R_\tau = M_\tau[Y]$

$$\begin{cases} \Delta R_\tau = f(\dots, \{Z_i\}, \dots) \rightarrow \max_m, \\ Z_i \leq Z_\tau^{\text{lim}} \\ \{Z_i\} \in \{Z_m\} \end{cases} \quad (2)$$

где: ΔR_τ — снижение риска аварийного происшествия при внедрении набора мер безопасности $\{Z_i\}$ на участках повышенной опасности;

Z_i — совокупная стоимость внедрения i -ого комплекса мероприятий по обеспечению безопасности;

Вариант 2. Минимизировав затратные ресурсы, выбрать такой набор мер безопасности $\{Z_i\}$ из m возможных, внедрение которого снижает риск аварийного происшествия ΔR_τ до допустимого (приемлемого) уровня R_τ^{max} :

$$\begin{cases} Z_i \rightarrow \min_m \\ \Delta R_\tau = f(\dots, \{Z_i\}, \dots) \leq R_\tau^{\text{max}} \\ \{Z_i\} \in \{Z_m\} \end{cases} \quad (3)$$

где: обозначения аналогичны формуле 2 [12].

Таким образом, при решении последней задачи возникает необходимость нормирования предельно-допустимого аварийного риска. В отечественных нормативных документах можно найти отдельные примеры установления требований и рекомендаций допустимости риска пожаров и аварий. Например, согласно ГОСТ 12.1.010–76 вероятность возникновения взрыва на любом взрывоопасном участке в течение года не должна превышать 10^{-6} [7].

Процесс анализа аварийного риска основан на использовании комплекса моделей, включает в себя несколько этапов и, в общем случае, является итерационной процедурой, для которой на каждом этапе анализа учитываются результаты, полученные на каждом из предыдущих этапов. Реализация мероприятий по управлению риском приводит к изменению структуры и характеристик основного оборудования и систем защиты. Рассмотрим содержание основных этапов анализа риска [6].

1 этап — предполагает обследование и создание системы моделей, описывающих функционирование технологического оборудования. Источником данных для разработки моделей являются: описание технологического процесса и сведения о надежностных характеристиках оборудования. Целью этапа является анализ надежности технологического оборудования, направленный на выявление «слабых» мест и оценку вероятности возникновения опасных ситуаций вследствие отказов оборудования.

Функции управления заключаются в организации технического обслуживания и ремонта, позволяющего исключить отказы оборудования в период между регламентными работами и повысить надежность оборудования.

2 этап — анализ надежности системы противоаварийной защиты. Общая методология и цели анализа надежности систем аварийной защиты в целом аналогичны методологии анализа основного оборудования. Существенной особенностью является то, что основой для анализа надежности систем защиты являются результаты анализа потенциально опасных ситуаций.

Входной информацией являются показатели надежности и технического состояния устройств защиты. Выходной информацией являются вероятности безотказной работы или вероятности отказа устройств защиты, а также вероятность возникновения опасной ситуации как следствие неспособности системы защиты исключить развитие опасных факторов.

3 этап — анализ сценариев развития аварии. Данный этап предполагает исследование всех возможных вариантов развития аварии, определение факторов, способствующих или препятствующих развитию аварии, и создание комплекса моделей описывающих сценарии развития аварий.

Функция управления заключается в организации инженерно-технических мероприятий, направленных на исключение факторов, способствующих развитию аварии и по предотвращению каскадного развития аварии.

Для анализа сценариев развития аварии необходимо:

- выделить все потенциально опасные факторы, способные привести к опасным ситуациям и, в дальнейшем, к авариям. Под опасным фактором понимается выход параметров технологического процесса за допустимые пределы, приводящие к возможности возникновения опасных ситуаций;
- для каждого опасного фактора определить возможные опасные ситуации. Под опасной ситуацией понимается состояние оборудования, блока, при котором имеется потенциальная возможность возникновения аварии;
- для каждой опасной ситуации определить перечень факторов, которые способствуют или препятствуют возникновению аварии;

Для анализа сценариев развития аварий необходимо использовать банк данных, содержащий сведения по надежности, защищенности и другим характеристикам оборудования и устройствам защиты, а также разработать модели, описывающие развитие опасных ситуаций и влияние способствующих развитию аварий факторов.

Входной информацией являются вероятности безотказной работы оборудования и устройств защиты. Выходной информацией являются вероятности возникновения различных аварийных ситуаций.

4 этап — оценка последствий аварии. Данный этап предполагает исследование всех возможных вариантов развития и оценку возможных последствий аварии. Целью этапа является определение возможного ущерба от аварии.

Функциями управления являются: оповещение персонала, введение в действие планов эвакуации и ликвидации аварийных ситуаций. Оценка последствий основывается на комплексе аналитических моделей, описывающих все потенциально возможные для объекта виды аварий.

При анализе последствий аварий необходимо рассматривать все возможные опасности с учетом факторов, способствующих реализации различных сценариев аварии. Процесс создания модели аварии основывается на анализе особенностей технологического процесса и функционирования систем защиты и включает три шага. На первом шаге определяются потенциально опасные ситуации и их возможные последствия. На втором шаге определяются факторы, способствующие возникновению и развитию аварии. На

третьем шаге определяются сценарии развития аварии, и формируется модель развития аварии.

5этап — определение риска. Риск аварии R определяется по следующей формуле:

$$R = p_f \times C, \quad (4)$$

где p_f — вероятность появления потенциально опасных факторов, следствием которых может быть авария;

C — ожидаемый ущерб от воздействия рассматриваемых опасных факторов в случае возникновения аварии.

Вероятность p_f является функцией от надежности различных групп оборудования, эффективности функционирования персонала, условий способствующих развитию аварий и вычисляется с использованием моделей надежности и безопасности:

$$p_f = f(H_o, H_c, H_p) \quad (5)$$

где H_o — надежность горношахтного оборудования;

H_p — надежность деятельности рабочего персонала;

H_c — надежность технологической среды и прогноза ее состояния.

Ожидаемый ущерб C определяется с использованием моделей оценки последствий аварий. Ожидаемый ущерб определяется в форме материального ущерба от аварии (прямого и косвенного).

Выводы:

Проведенные исследования показали необходимость создания комплексной системы обеспечения безопасности работы шахты, а также разработки алгоритмов прогностической оценки опасности технологических процессов и методологии оценка риска опасных производств. При разработке структуры системы учитывались современные технологии анализа надежности и оценки аварийного риска. Предполагается, что создание такой системы существенно повысит безопасность и эффективность добычных технологических процессов шахт.

Литература

1. Курносков В.Г., Красик Я.Л., Синенко В.В. Безопасность работы шахт в XXI веке — технические средства, контроль, прогноз и управление. Наукові праці Донецького Національного Технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. Випуск 48. — Донецьк-2002. — 372 с.
2. Inertisation strategies and practices in underground coal mines , J J L du Plessis and D v Niekerk Agency: CSIRO: Division of Mining Technology, Report Date: January 2002.
3. GUIDANCE FOR CARRYING OUT RISK ASSESSMENT AT SURFACE MINING OPERATIONS. Commission for the mining and other extractive industries Doc. No 5995/2/98.
4. Хенли Э., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска: Пер. с англ. В.С.Сыромятникова, Г.С.Деминой. — М.: Машиностроение, 1984. — 528 с.
5. Рябинин И.А. Надежность и безопасность сложных систем. \СПб.: Политехника, 2000. — 248 с.
6. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ НОРМИРОВАНИЯ ДОПУСТИМОГО ТЕХНОГЕННОГО РИСКА., А.И. Гражданкин и др. " Материалы X Международной научно-практической конференции по проблемам защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций. Москва, ЦСИ МЧС России, 19–21 апреля 2005 г/ МЧС России. М.: Триада, Лтд, 2003. — 400 с.
7. ГОСТ 12.1.010–76. Взрывобезопасность. Общие требования. — М.: Издательство стандартов, 1976.