

Выводы. Результаты анализа запыленности воздуха в очистной тупиковой горной выработке при комбайновой добыче марганцевой руды подтвердили, что формула для определения концентрации пыли В.В.Дьякова требует уточнения. Из вышеизложенного следует, что для существенного снижения запыленности воздуха на рабочем месте машиниста комбайна (при расходе воздуха $1,5 \text{ м}^3/\text{с}$ и более) существующего общего вида формулы недостаточно. Предложенные решения позволяют путем уточнения исходного дифференциального уравнения (3) учитывать стабилизацию запыленности воздуха в непроветриваемой выработке на определенном уровне, зависящем от технологии выемки полезного ископаемого и свойств пыли, которые выражаются в процессах коагуляции частиц и их выпадении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьминов К.В. Исследование запыленности воздуха в очистных забоях марганцевых шахт / Кузьминов К.В., Лебедев Я.Я., Клочков В.Г. // Сб. научных тр. НГУ. – Днепропетровск: НГУ. – 2002. – № 15. – С.236-242.
2. Кузьминов К.В. Нагнетательное проветривание тупиковых заходок при комбайновой выемке марганцевых руд / Кузьминов К.В., Лебедев Я.Я., Колесник В.Е. // Науковий Вісник НГУ. – Днепропетровск: НГУ. – 2004. – №4. – С.86-87.

Поступила в редколлегию 30.03.2012.

УДК 65.011.3:004.413.4

ДРАНИШНИКОВ Л.В., д.т.н., профессор
КРАВЧЕНКО Д.О., магистр

Днепродзержинский государственный технический университет

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ, БЕЗОПАСНОСТИ И РИСКА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Введение. Существующая методическая база [1, 2] позволяет прогнозировать последствия аварийных ситуаций, возникающих на объектах повышенной опасности (ОПО). Возможные последствия аварийных ситуаций определяются такими поражающими факторами, как тепловое излучение (пожар, огневой шар), избыточное давление, токсическое воздействие при выбросе химических веществ в атмосферу, воздействие открытого пламени и т.п.

Развитие техногенной сферы приводит к появлению большого количества объектов потенциальной опасности, которые могут привести к возникновению аварий и катастроф. Так как нельзя создать абсолютно безопасные технологии и обеспечить абсолютную безопасность, следует стремиться к достижению приемлемого уровня риска. Для этого используются различные методы анализа риска, которые включают идентификацию опасностей, оценку их возникновения и разработку рекомендаций по снижению уровня риска. Наибольшее распространение получили методы деревьев отказов, логико-графические методы, логико-вероятностные методы, топологические и др. Все эти методы являются вариациями логико-вероятностных методов (ЛВМ) анализа систем и имеют общую методологическую основу:

- для представления элементов в моделях надежности, безопасности и риска (НБР) систем используют бинарные случайные события с двумя несовместными исходами;
- основным способом постановки задач является построение структурной модели (схемы);

- математической базой моделирования выступает алгебра логики;
- основной формой представления детерминированной модели НБР системы является логическая функция;
- на основе логической модели определяются различные виды расчетных вероятностных (аналитических, статистических, марковских) или других моделей количественной оценки различных свойств НБР исследуемой системы;
- на основе логических и расчетных вероятностных моделей определяются значения показателей свойств НБР функционирования системы и реализуются различные методики выработки и обоснования управленческих решений;
- все наиболее громоздкие и трудоемкие этапы структурно-логического моделирования могут быть автоматизированы и реализованы на ЭВМ.

Постановка задачи. Используя методы и модели, перечисленные выше, разработать комплекс программных средств для анализа и оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей и количественной оценки последствий химической аварии на промышленном объекте с выбросом опасных химических веществ в атмосферу. Последствия выброса опасных веществ определяются в три этапа: определение мощности и скорости выброса; определение распространения загрязняющего вещества после выброса и определение его воздействия на исследуемые объекты.

Результаты работы. Для анализа последствий необходимо иметь модели для расчета: выбросов вредных веществ; нарушений герметичности резервуара давления; утечки из трубопровода; выбросов со взрывом и без взрыва; испарения с поверхности жидкости и т.д.; рассеяния вредных веществ; загрязнения воздуха на малых и больших расстояниях; загрязнения воды; загрязнения почвы и продовольствия; теплового излучения; взрывов; выпадения примесей; химических реакций; долгосрочной и кратковременной токсичности (для факторов с пороговым и беспороговым действием, учет аддитивности, синергизма, фармакокинетики); ущерба для здоровья населения и другие. Последствия выброса опасных веществ определяются в три этапа: определение мощности и скорости выброса; определение распространения загрязняющего вещества после выброса и определение его воздействия на исследуемые объекты.

Математические основы оценки последствий выбросов ОВ, последствий взрывов топливно-воздушных смесей, количественные методы оценки последствий аварий представлены в [1-3] и были использованы в качестве методической основы разработанного программного продукта.

Для объектов повышенной опасности предлагается в составе АСУ использовать методическое и программное обеспечение, входными данными которого являются: параметры технологических процессов; информация о сокращенном и полном наименовании контролируемых параметров, минимуме и максимуме аварийных допусков, типах; информация, вводимая пользователем в интерактивном режиме.

Объект может функционировать в следующих режимах: нормальный режим работы (все контролируемые параметры находятся в заданном диапазоне значений); режим работы с повышенной опасностью (некоторые из контролируемых параметров вышли за заданный диапазон значений); функционирование в предаварийном и аварийном режиме (некоторые из параметров вышли за диапазон допустимых значений, но объект не может мгновенно остановить работу, т.е. он какое-то время функционирует в предаварийном режиме, если же авария произошла, то в этом случае объект в течение некоторого промежутка времени продолжает свое функционирование); функционирование объекта в поставарийном режиме. Во всех режимах функционирования объект может оказывать воздействие на персонал, местное население, проживающее вблизи расположения объекта, окружающую среду, здания и сооружения. Риск подобного негативного воздействия необходимо оценивать с двух позиций: периодическая оценка

систематического риска, возникающего в результате длительного или периодического воздействия токсичных химических веществ и других потенциально опасных веществ, обращающихся на объекте; анализ аварийного риска. Исходя из вышесказанного, может быть сформирован алгоритм управления технологической безопасностью объекта повышенной опасности, состоящий из трех частей: анализа надежности оборудования; оценки и прогнозирования опасности (риска); анализа и управления документацией, имеющей отношение к обеспечению технической безопасности на объекте.

Для расчета величины индивидуального, территориального и социального рисков необходимо: определить вероятности возникновения инициирующих событий для возможных основных сценариев аварии; построить логические деревья событий при возникновении основных инициирующих аварийных ситуаций; определить статистические вероятности перехода аварии на различные ветви деревьев событий; определить условные вероятности поражения при реализации различных ветвей дерева событий. Вероятности разгерметизации оборудования и вероятности перехода аварии на различные ветви дерева события можно определить по статистическим данным или в результате экспертной оценки, условные вероятности поражения человека – по значениям пробит-функции.

Комплекс программных средств предназначен для анализа производственных опасностей, оценки риска в случае аварии на ОПО и управления безопасностью, использует методики автоматизированного построения деревьев развития аварий и вероятности оценки индивидуального, территориального и социального рисков. Использование программного комплекса позволяет повысить обоснованность принимаемых решений в различных сферах безопасности ОПО и снизить тяжести последствий аварий. Программный продукт включает программную оболочку, реализующую общий графический интерфейс с набором подключаемых расчетных методик, базу данных по веществам, а также программные модули. Визуализация результатов осуществляется на ситуационном плане опасного производственного объекта.

Представителем класса логико-вероятностных методов анализа систем является общий логико-вероятностный метод (ОЛВМ) [4] и реализованная на его основе технология автоматизированного структурно-логического моделирования (АСМ) [5].

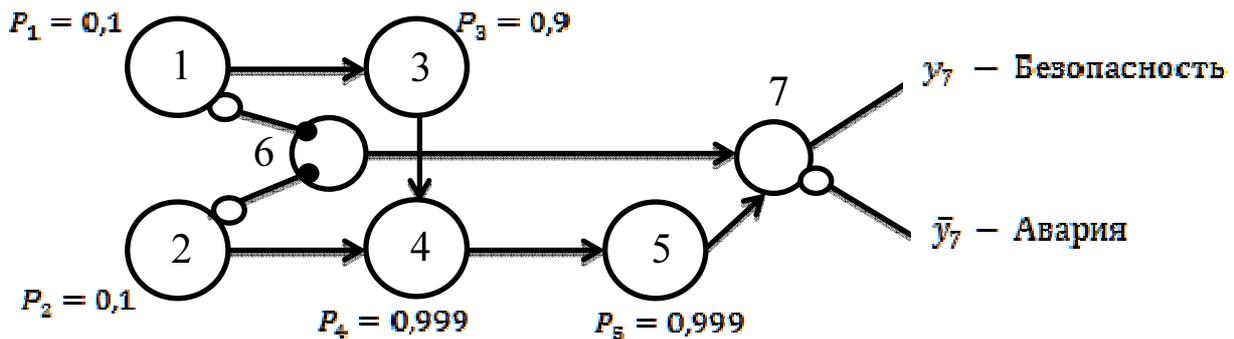


Рисунок 1 – СФЦ модели безопасности участка

В ОЛВМ в качестве исходной структурной схемы системы применяется новый универсальный графический аппарат схем функциональной целостности (СФЦ) (рис.1), с помощью которого могут быть представлены все виды структурных схем, а также строятся принципиально новые немонотонные и комбинаторно-последовательные структурные модели. Разработка СФЦ при проведении структурного анализа системы означает графическое представление логических условий реализации собственных функций элементами и подсистемами. СФЦ аналитически эквивалентна системе логи-

ческих уравнений, составленной по прямым y_i и инверсным \bar{y}_i выходам всех функциональных, фиктивных и размноженных вершин:

$$\left\{ \begin{array}{l} y_1 = x_1; \quad \bar{y}_1 = \bar{x}_1 \\ y_2 = x_2; \quad \bar{y}_2 = \bar{x}_2 \\ y_3 = x_3 \cdot y_1; \quad \bar{y}_3 = \bar{x}_3 \vee \bar{y}_1 \\ y_4 = x_4 \cdot (y_2 \vee y_3); \quad \bar{y}_4 = \bar{x}_4 \vee \bar{y}_2 \\ y_5 = x_5 \cdot y_4; \quad \bar{y}_5 = \bar{x}_5 \vee \bar{y}_4 \\ y_6 = \bar{y}_1 \cdot \bar{y}_2; \quad \bar{y}_6 = y_1 \vee y_2 \\ y_7 = y_6 \vee y_5; \quad \bar{y}_7 = \bar{y}_6 \vee \bar{y}_5 \end{array} \right. \quad (1)$$

При построении и для дальнейшего использования СФЦ важно определить логические условия реализации системного свойства (безопасности или отказа).

Далее происходит решение системы логических уравнений (1) по заданному логическому критерию функционирования, т.е. нахождение логической функции работоспособности системы (ФРС).

Логический критерий успешного функционирования: $Y_{c1} = y_7$. После решения системы логических уравнений любым из известных методов (метод прямой подстановки, универсальный графоаналитический метод и т.д.) получаем логическую функцию работоспособности системы:

$$Y_{c1} = y_7 = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \vee x_1 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 \vee x_2 \cdot x_4 \cdot x_5. \quad (2)$$

Все конъюнкции в выражении (2) для Y_{c1} представляют собой кратчайшие пути успешного функционирования, поскольку из любой конъюнкции нельзя удалить ни одной переменной, не нарушив условия реализации критерия Y_{c1} . Условие неработоспособности – $Y_{c2} = \bar{y}_7$. После решения системы логических уравнений получаем функцию неработоспособности системы:

$$y_7 = x_1 \cdot \bar{x}_3 \cdot \bar{x}_2 \vee x_1 \cdot x_3 \cdot \bar{x}_4 \vee x_2 \cdot \bar{x}_4 \vee x_2 \cdot x_4 \cdot \bar{x}_5 \vee x_1 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot \bar{x}_5. \quad (3)$$

Все конъюнкции в выражении (3) для Y_{c2} представляют собой минимальные сечения отказов, поскольку удаление любой конъюнкции нарушает условие отказа системы. В качестве расчетной вероятностной модели надежности системы используется многочлен вероятностной функции, преобразованный из логической ФРС. Для решения этой задачи используется комбинированный метод и производятся два вида преобразований исходной ФРС. Сначала осуществляется квазиортогонализация по одной логической переменной, а затем выполняется символьный переход к многочлену искомой ВФ. Многочлены ВФ сами по себе являются алгоритмами вычисления общих системных вероятностных характеристик.

Ортогонализирующее преобразование не увеличивает общего числа конъюнкций исходной ФРС. Выполнив преобразования над функциями (2) и (3), получаем:

$$y_7 = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \vee x_1 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 \vee x_2 \cdot x_4 \cdot x_5 = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \vee x_1 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 \cdot \bar{x}_2 \vee x_2 \cdot x_4 \cdot x_5; \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \bar{y}_7 &= x_1 \cdot \bar{x}_3 \cdot \bar{x}_2 \vee x_1 \cdot x_3 \cdot \bar{x}_4 \vee x_2 \cdot \bar{x}_4 \vee x_2 \cdot x_4 \cdot \bar{x}_5 \vee x_1 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot \bar{x}_5 = \\ &= x_1 \cdot \bar{x}_3 \cdot \bar{x}_2 \vee x_1 \cdot x_3 \cdot \bar{x}_4 \cdot \bar{x}_2 \vee x_2 \cdot \bar{x}_4 \vee x_2 \cdot x_4 \cdot \bar{x}_5 \vee x_1 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot \bar{x}_5 \cdot \bar{x}_2. \end{aligned} \quad (5)$$

Правила символьного перехода к многочлену вероятностной функции предусматривают, что логическая ФРС рассматривается как строгая аналитическая форма определения того сложного случайного события, вероятность которого надо правильно рассчитать с помощью искомой ВФ. В указанном смысле операция конъюнкции представляет произведение, дизъюнкция – сумму, а инверсия – дополнения простых случайных событий, вероятностные параметры которых известны. Поэтому для получения многочлена ВФ достаточно выполнить символьные преобразования обозначений логических переменных и операций в обозначения вероятностных переменных и арифметических операций в точном соответствии с законами теории вероятностей. Преобразуя ФРС (4) и (5) в многочлены ВФ и подставляя значения вероятностных параметров элементов, получаем:

вероятность безопасности:

$$\begin{aligned} P\{y_7\} &= Q_1Q_2 + P_1P_3P_4P_5Q_2 + P_2P_4P_5 = \\ &= 0,9 \cdot 0,9 + 0,1 \cdot 0,9 \cdot 0,999 \cdot 0,999 \cdot 0,9 + 0,1 \cdot 0,999 \cdot 0,999 = 0,99064; \end{aligned}$$

вероятность аварии:

$$\begin{aligned} P\{\bar{y}_7\} &= P_1Q_3Q_2 + P_1P_3Q_4Q_2 + P_2Q_4 + P_2P_4Q_5 + P_1P_3P_4Q_5Q_2 = \\ &= 0,1 \cdot 0,1 \cdot 0,9 + 0,1 \cdot 0,9 \cdot 0,001 \cdot 0,9 + 0,1 \cdot 0,001 + 0,1 \cdot 0,999 \cdot 0,001 + \\ &\quad + 0,1 \cdot 0,9 \cdot 0,999 \cdot 0,001 \cdot 0,9 = 0,00936. \end{aligned}$$

На рис.2 представлены результаты автоматизированного построения СФЦ, на основе которой в автоматизированной системе производится расчет показателей аварийности системы.

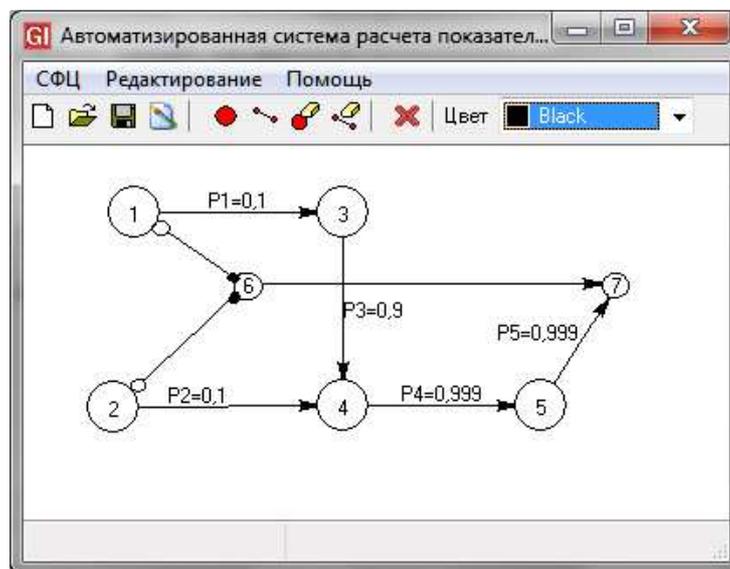


Рисунок 2 – Автоматизированная система расчета показателей аварийности на объектах повышенной опасности

Программный комплекс RiskCad реализован на языке С# (платформа .NET Framework)) и состоит из следующих модулей: базы данных; математической библиотеки; методик оценки последствий аварий; применяется при разработке декларации

безопасности промышленного объекта, при проведении анализа опасностей и рисков промышленных объектов, при разработке планов локализации и ликвидации аварийных ситуаций и аварий.

Модуль оценки последствий аварий состоит из классов, предназначенных для реализации методик комплекса, и классов, реализующих взаимодействие с пользователем:

1. Класс `ConnectionData` – инкапсулирует текущее подключение к базе данных.
2. Класс `Tvs` наследуется от класса `ConnectionData` – предназначен для выборки данных из базы, которые в дальнейшем будут использоваться для расчета взрывов топливно-воздушных смесей.
3. Класс `Result` и его производные классы – основные вычислительные классы для методик. Содержат методы, реализующие вычисление шагов методик.
4. Класс `TvsForm` – форма ввода параметров для расчета взрывов топливно-воздушных смесей (рис.3).

Рисунок 3 – Форма для ввода данных (расчет взрывов топливно-воздушных смесей)

5. Класс `ComputeAndShowResult` – непосредственно выполняет шаги методики и выводит результаты в основное окно программы.

`TvsForm` использует класс `Tvs` для выборки данных из базы и отображения их пользователю. После ввода параметров данные передаются классу `Result` (или производному) для дальнейших вычислений. Далее используются методы класса `ComputeAndShowResult`.

Выводы. Созданное программное обеспечение применяется при разработке декларации безопасности промышленного объекта, при проведении анализа опасностей и рисков промышленных объектов, на которых производятся, используются, транспортируются, хранятся топливо или ОХВ, при разработке планов локализации и ликвидации аварийных ситуаций и аварий; при разработке иных мероприятий по предупреждению техногенных чрезвычайных ситуаций, защите персонала и населения.

Успешное решение основных проблем обеспечения технологической безопасности объекта повышенной опасности предполагает улучшение существующей системы информации по безопасности, призванной повысить обоснованность принимаемых решений в различных сферах безопасности объектов повышенной опасности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методики оценки последствий химических аварий на опасных производственных объектах: сборник документов. – Изд. 2-е, испр. и доп. – М.: НТЦ по безопасности в промышленности и Госгортехнадзора России, 2002. – 206с.
2. Моделирование аварийных ситуаций на опасных производственных объектах: сборник документов. – М.: ОАО НТЦ Промышленная безопасность, 2006. – 250с.
3. Управление техногенной безопасностью объектов повышенной опасности / [Стоецкий В.Ф., Дранишников Л.В., Есипенко А.Д. и др.]. – Тернополь: Изд-во Астон, 2006. – 424с.
4. Соложенцев Е.Д. Сценарное логико-вероятностное управление риском в бизнесе и технике: бизнес-пресса / Соложенцев Е.Д. – Санкт-Петербург, 2004. – 415с.
5. Можаяев А.С. Технология и программный комплекс автоматизированного моделирования и оценки надежности, безопасности и риска опасных производственных объектов / Можаяев А.С. // Пятый тематический семинар: тезисы докл. – НТЦ Промышленная безопасность, 2004. – С.50-58.

Поступила в редколлегию 29.06.2012.

УДК 314.48:614.86

ЛЕВЧУК К.О., к.е.н., доцент

Дніпродзержинський державний технічний університет

АНАЛІЗ ПРИЧИН СМЕРТНОСТІ ВІД ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД В ДНІПРОПЕТРОВСЬКІЙ ОБЛАСТІ

Вступ. Останнім часом проблема смертності та травматизму внаслідок дорожньо-транспортних пригод набула особливої актуальності в Україні. Про це свідчить невтішна статистика ДАІ МВС України, згідно з якою за останні 4 роки внаслідок ДТП в Україні загинуло 27371 особа [1].

Автомобільний транспорт є найнебезпечнішим з усіх доступних людині. Кількість загиблих і постраждалих внаслідок ДТП перевищує аналогічну кількість постраждалих на залізничному, авіаційному і водному транспорті.

В результаті дорожньо-транспортних пригод кожні 2 години в Україні помирає доросла людина, щодоби – дитина. За офіційною статистикою ДАІ кількість загиблих щороку зменшується, однак за кількістю жертв ДТП Україна на сьогодні займає п'яте місце в Європі після Росії, Італії, Франції та Німеччини [1].

Постановка задачі. Дорожньо-транспортні пригоди є основною причиною загибелі людей. Вони відбуваються з багатьох причин, серед яких є як технологічні, так і людські чинники. Аварія може трапитися з вини втомленого водія, із-за обмерзання дорожнього покриття або несправності гальмівної системи. Проте на ризик потрапити в ДТП часто впливають сторонні чинники: день тижня, погодні умови, якість дорожнього покриття та інші.

Виявлення чинників, що впливають на ризик дорожньо-транспортної пригоди при вирішенні задачі підвищення безпеки на дорогах повинно розглядатися як пріори-