Записки Ленинградского ордена Ленина,
ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени
горного института им.Г.В.Плеханова,т.(У1,вып.3, 1975 г.

КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРИ ВВОДЕ В ДЕЙСТВИЕ ПЛАНА ЛИКВИДАЦИИ АВАРИИ

Л.М.СОСИНСКИЙ
А.И.ГЕЙШЕС

При возникновении на шахте аварии в действие вводятся первоначальные меры борьбы, которые определены заранее разработанным планом ликвидаций аварий (ПЛА), содержащим перечень мероприятий по обеспечению безопасного выхода людей из шахты и скорейшей ликвидации аварии.

Оперативное управление при реализации мероприятий ПЛА осуществляет горный диспетчер. Основным критерием оперативной деятельности диспетчера является вероятность безошибочного и своевременного выполнения работы P [1], которая определяется следующим образом:

$$P = pF(T_0).$$

где p – вероятность безошибочного выполнения работы, $F(t)$ – функция распределения времени выполнения работы; T_0 – предельно допустимое время, при котором не возникает отказ вследствие дефицита времени.

Работа диспетчера состоит в выполнении последовательности мероприятий, для каждого из которых методом математического моделирования могут быть определены вероятность p_i и функция распределения $F_i(t)$ (здесь i – номер мероприятия) [2]. В данном случае метод математического моделирования состоит в многократной реализации на ЭВМ действий диспетчера по выполнению мероприятия. Алгоритм действий диспетчера представляется в виде ориентированного графа, вершины которого соответствуют некоторым элементарным операциям с известными [3] временными и надежностными характеристиками.

Если в некоторой позиции диспетчер должен выполнить последовательность из n мероприятий, то вероятность безошибочного и своевременого выполнения работы

$$P = p_1 p_2 \dots p_n \int F_1'(t_1) F_2'(t_2) \dots F_n'(t_n)\, dt_1 dt_2 \dots dt_n , \qquad (1)$$
$$\Sigma t_i \leqslant T_0 .$$

Но мероприятия, выполняемые диспетчером, нельзя считать равнозначными по важности. Невыполнение некоторых из них, например, установления требуемого вентиляционного режима, отключения с аварийных участков электроэнергии и других может привести к тяжелым последствиям, поэтому к надежности их выполнения предъявляются чрезвычайно высокие требования. К другим мероприятиям, в частности организационного характера, в принципе, могут и не предъявляться такие высокие требования.

В связи с этим оценка работы диспетчера с помощью вероятности P, вычисляемой по формуле (1), малоубедительна. Можно было бы, зная надежностные характеристики выполнения каждого из мероприятий P_i, определить P как линейную комбинацию чисел P_i, т.е.

$$P = \sum_{i=1}^{n} c_i P_i ,$$

где $\sum_{i=1}^{n} c_i = 1, \quad c_i \geqslant 0.$

Значение c_i тем выше, чем важнее данное мероприятие. Путей объективного определения c_i пока нет. С нашей точки зрения, наиболее приемлемой оценкой работы диспетчера может служить векторный критерий, который описывается следующим образом.

Пусть в некоторой позиции диспетчер должен выполнить n мероприятий, для которых известны p_i и $F_i(t)$. Разобьем все множество мероприятий на k групп так, чтобы для каждой из них можно было одним числом задавать нормативную надежность, полностью характеризующую технологические требования, которые предъявляются к надежности выполнения всего комплекса мероприятий, входящих в данную группу.

В этих условиях требования к надежности диспетчера можно характеризовать двумя векторами

$$(T_0^1, T_0^2 \dots T_0^k), \qquad (2)$$

$$(P_0^1, P_0^2 \dots P_0^k), \qquad (3)$$

где T_0^i – предельно допустимое время; P_0^i – нормативная надежность выполнения i-ой группы мероприятий.

Надежность работы диспетчера оценивается вектором

$$(P^1, P^2, \dots P^k), \qquad (4)$$

где P^i – вероятность безошибочного и своевременного выполнения диспетчером i-ой группы мероприятий, вычисляемая по формуле (1).

Работа диспетчера считается удовлетворительной, если $P^i \geqslant P_0^i$. Однако в настоящее время отсутствуют нормативы предельно допустимого времени T_0^i, т.е. не накладываются ограничения на временные характеристики работы диспетчера, за исключением того, что время выполнения

каждого мероприятия должно быть конечным. Если обозначить через $P^i(T)$ вероятность правильного выполнения i-ой группы мероприятий, как функцию выделенного времени T, то работу диспетчера можно считать удовлетворительной, если для каждого i ($i = 1,2,\ldots,k$) найдется такое T^i, что при $T \geq T^i$ будет $P^i(T) \geq P_0^i$. В этом случае наиболее наглядной оценкой деятельности диспетчера будет вектор, состоящий из чисел T^i, т.е.

$$(T^1, T^2, \ldots T^k); \qquad (5)$$

T^i находится из уравнений

$$P_0^i = p^i F^i(T^i), \quad i = 1,2,\ldots,k, \qquad (6)$$

где p^i – вероятность безошибочного выполнения i-ой группы мероприятий,

$$p^i = p_{l_1} p_{l_2} \cdots p_{l_i};$$

$F^i(t)$ – функция распределения времени,

$$F^i(t) = \int F'_{l_1}(t_{l_1}) F'_{l_2}(t_{l_2}) \ldots F'_{l_i}(t_{l_i})\, dt_{l_1} dt_{l_2} \ldots dt_{l_i}$$
$$\Sigma t_{l_s} \leq t$$

$l_1, l_2 \ldots l_i$ – номера мероприятий, входящих в i-ую группу.

Если уравнение (6) не имеет решения, т.е. $p^i < P_0^i$, то принимаем $T^i = \infty$. Это означает, что для исследуемой группы мероприятий алгоритмы действий диспетчера не отвечают надежностным нормативам.

Перейдем теперь к определению P_0^i. Оперативное управление, направленное на реализацию мероприятий ПЛА, осуществляется диспетчером, при взаимодействии его с совокупностью технических средств централизованного управления и связи. Таким образом, диспетчер и указанная совокупность технических средств объединены в систему "человек-техника" (СЧТ). Эффективность таких систем обуславливается как свойствами технических средств, так и эффективностью оперативной деятельности человека.

Вероятность нормального функционирования системы

$$P_{нф}^i = P^i P_{нфа}^i,$$

где $P_{нфа}^i$ – вероятность нормального функционирования аппаратуры (технической части системы); P^i – вероятность безошибочного и своевременного выполнения работы диспетчером.

Отсюда

$$P^i = \frac{P_{нф}^i}{P_{нфа}^i}.$$

Если задан норматив на надежность системы, т.е. $\overline{P_{нф}}$, то очевидно, $P_0^i = \frac{\overline{P_{нф}}}{P_{нфа}^i}$. Нормативы $\overline{P_{нф}}$ не разработаны. Требования к аппаратуре разрабатывались в предположении, что человек, использующий ее не ошибается, поэтому можно считать, что к системе необходимо предъявить те же требования, что и к аппаратуре. Принимаем $\overline{P_{нф}} =$

$= \overline{P_{нфа}}$. Окончательно получим

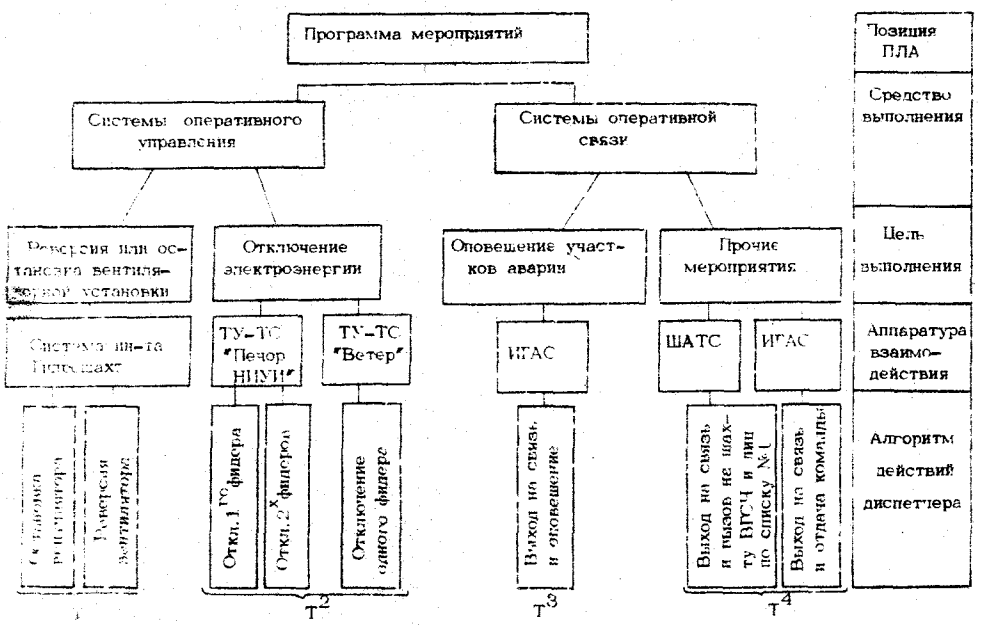
$$P_0^i = \frac{\overline{P_{нфа}}}{P_{нфа}^i}. \qquad (7)$$

В соответствии с существующими методиками [4,5] для систем I класса надежности, обеспечивающих безопасность труда, нормативное значение $\overline{P_{нфа}} = 0{,}9$. Ввиду отсутствия данных о надежности аппаратуры, используемой диспетчером, примем $P_{нфа}^i = 1$.

Таким образом, нормативная надежность по i-му компоненту вектора (5) $P_0^i = 0{,}9$.

Если учитывать реальную надежность аппаратуры, то к алгоритмам действий диспетчера должны быть предъявлены более жесткие требования, чем следует из принятого допущения.

Рассмотрим применение разработанных методов на примере ПЛА шахты "Промышленная" комбината "Воркутауголь". Мероприятия, выполняемые диспетчером, разделены в зависимости от средств и целей выполнения на четыре группы (см. рисунок): 1) управление вентиляторами главного проветривания; 2) отключение электроэнергии; 3) вывод людей из шахты; 4) прочие мероприятия.



В данном случае ПЛА содержит 79 позиций. Можно было бы построить вектор (T^1, T^2, T^3, T^4) для всех позиций ПЛА, но для оценки эффективности работы диспетчера достаточно рассмотреть лишь наиболее сложные и наиболее простые позиции, которые определяются с помощью специальной методики.

Ниже приведены значения векторов $(T^1, \ldots, T^4)$ для отобранных позиций, мин:

Позиция	1	56	5	8	58	28	13	57	23	65	2	11
T^1	0,45	0,45	0,45	0,45	-	-	-	-	-	-	-	-
T^2	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	1,25	1,25	∞	∞	∞
T^3	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	1,75	∞
T^4	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞

Из приведенных данных видно, что вероятность безошибочного и своевременного выполнения диспетчером работы по вводу в действие первоочередных мероприятий ПЛА с помощью существующих технических средств оперативно-диспетчерского управления и связи не удовлетворяет заданным требованиям, поскольку алгоритмы взаимодействия диспетчера не могут быть реализованы с надежностью, соответствующей нормативной вероятности нормального функционирования $\overline{P_{нф}}$.

Требованиям по надежности отвечают только алгоритмы управления вентиляторами главного проветривания; отключения электроэнергии с помощью системы ТУ-ТС "ПечорНИУИ" (один фидер); оповещения одного участка.

Существенно повысить эффективность ввода в действие ПЛА можно за счет создания специализированной системы оперативного управления ликвидацией аварии, включающей автоматизированное диспетчерское устройство (АДУ) и комплекс технических средств, обеспечивающих автоматическое выполнение значительной части мероприятий ПЛА.

Функции диспетчера при этом ограничиваются вводом в АДУ данных о характере и месте аварии.

Такая система успешно прошла промышленные испытания на шахте "Промышленная" комбината "Воркутауголь".

Нормативную надежность работы диспетчера $P_0^{АДУ}$ определим по формуле (7). Вероятность нормального функционирования технических средств $P_{нфа}^{АДУ} = 0,977$. Подставляя значения $\overline{P_{нфа}}$ и $P_{нфа}^{АДУ}$ в формулу (7) получаем $P_0^{АДУ} = 0,921$.

Вероятность безошибочного выполнения работы $P_0^{АДУ}$ и функция распределения времени выполнения определены методом математического моделирования для всей совокупности мероприятий. Оказалось, что $P^{АДУ} = 0,923 > P_0^{АДУ}$. Это означает, что вероятность безошибочного и своевременного выполнения работы диспетчером, при взаимодействии его с техническими средствами АДУ, удовлетворяет требованиям, предъявляемым к надежности систем 1 класса.

Время, которое должно быть выделено диспетчеру на выполнение необходимых операций в начальный период ликвидации аварии, определяется из уравнения (6), составленного для случая использования АДУ, и равно 2,1 мин., что вполне удовлетворяет технологическим требованиям.

Внедрение на шахтах АДУ повышает эффективность оперативного управления в начальный период развития аварии и позволяет сократить число несчастных случаев, являющихся следствием ошибок в оперативном управлении.

Использование АДУ и комплекса технических средств системы дает

значительный экономический эффект. В качестве критерия эффективности принимается величина относительного уменьшения убытков от аварии при использовании АДУ.

$$\Delta У_{отн} = \frac{У - У'}{У} = 1 - \frac{У'}{У},$$

где $У', У$ – средние убытки от аварии, ликвидируемой соответственно с использованием и без использования диспетчером АДУ.

Введем следующие обозначения (штрих означает, что величина относится к случаю использования АДУ): $Q_1(Q_1')$ – доля осложненных аварий; $Q_2(Q_2')$ – доля аварий, осложненных по вине диспетчера (по вине системы "диспетчер–АДУ"); $Q_3(Q_3')$ – доля аварий, осложненных по другим причинам.

$$\alpha = \frac{Q_2}{Q_1}.$$

Так как основная доля убытков от аварий приходится на осложненные случаи, то можно считать, что

$$\frac{У'}{У} = \frac{Q_1'}{Q_1}$$

Для величин Q_i и Q_i' выполняются, очевидно, следующие соотношения

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \qquad (8)$$

$$Q_1' = Q_2' + Q_3' \qquad (9)$$

Положим, например, $Q_1 = 0{,}7$ и $\alpha = 0{,}3$, $Q_2' = 1 - P = 0{,}1$. Кроме того, очевидно, что $Q_3 = Q_3'$.

Из равенства (8)

$$Q_3' = Q_3 = Q_1 - Q_2 = Q_1 - \alpha Q_1 = Q_1(1-\alpha).$$

Тогда

$$\frac{Q_1'}{Q_1} = \frac{Q_2' + Q_3'}{Q_1} = \frac{Q_2 + Q_1(1-\alpha)}{Q_1} = 1 - \alpha + \frac{Q_2'}{Q_1}.$$

Окончательно

$$\Delta У_{отн} = \alpha - \frac{Q_2'}{Q_1}.$$

Подставляя значения $Q_1 Q_2$ и α, получим $\Delta У_{отн} = 0{,}157$, т.е. в приведенном примере убытки от аварий после внедрения АДУ уменьшаются в размере 157 тыс.руб. на каждый миллион рублей убытков, т.е. примерно на 16%.

Литература

1. Основные понятия и методы количественной оценки систем "человек–техника". ВВИОЛУ им. Ф.Э.Дзержинского, 1968.

2. Школьников А.Д., Сосняский Л.М., Гейшес А.И. Эффективность системы управления ликвидацией аварии на шахте. Изв. вузов. Горн.журн.,1973,№ 3.

3. Надежность комплексных систем "человек–техника". Матер. ко П Всесоюзн. симпозиуму Дом научно–техн. пропаганды, 1969.

4. Методика оценки надежности устройств и систем эпизодического действия. Гипроуглеавтоматизация, 1969.

5. Методика расчета надежности аппаратуры горной автоматики. Руководящие технические материалы. Гипроуглеавтоматизация, 1968.