

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АВАРИЙНО - СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ

к.т.н. В.М. Стрелец, В.Г. Аветисян
(представил д.т.н., проф. Ю.А. Абрамов)

Приведен алгоритм проведения аварийно – спасательных работ по извлечению из-под завалов пострадавшего и некоторые средневзвешенные экспертные оценки, которые использовались в процессе имитационного моделирования. Оценено влияние компетентности руководителя работ на конечный результат.

При авариях, последствиями которых являются разрушения зданий и сооружений, образуются завалы, состоящие из обломков конструкций, разрушенных коммуникаций, домашней утвари. Под обломками могут находиться как живые, так и погибшие люди. Как одних, так и других в ходе проведения аварийно - спасательных работ (АСР) необходимо извлечь из-под завалов. В процессе проведения этих работ пострадавших не всегда удастся обнаружить в течении короткого времени, доступ к ним, как правило, затруднен, извлечение достаточно часто должно производиться в условиях ограниченного пространства, что препятствует широкомасштабному использованию существующих средств механизации аварийно - спасательных работ. Необходимо учитывать и то, что обломки, придавившие пострадавших, зачастую очень тяжелые, а их воздействие на протяжении более четырех часов может привести к смерти от синдрома сдавливания [1].

Для разработки комплекса организационно - технических мероприятий, реализация которых должна существенно сократить время выполнения всех работ, связанных с извлечением пострадавшего, необходимо иметь научно - методический аппарат оценки того, насколько эффективными являются внесенные предложения по совершенствованию деятельности личного состава. Использование чисто математических методов ограничено свободой выбора (который достаточно часто осуществляется на интуитивном уровне) конкретного набора операций в зависимости от сложившихся условий. Натурные же эксперименты сопряжены как с большими расходами, так и с угрозой здоровью испытуемых, которые выступают в роли пострадавших. Исходя из этого, в основу оценки эффективности реализации возможных вариантов предлагается положить имитационное моделирование. Для этого необходимо иметь алгоритм

выполнения боевым расчетом всех возможных операций, от прибытия до оказания неотложной медицинской помощи и непосредственного извлечения пострадавшего.

Анализ всего комплекса возможных работ позволил предложить такой алгоритм (рис.1), который отражает выполнение следующих действий как личного состава боевого расчета (выполнение конкретных операций), так и руководителя работ (выбор такого сочетания операций, который необходим для достижения поставленной цели):

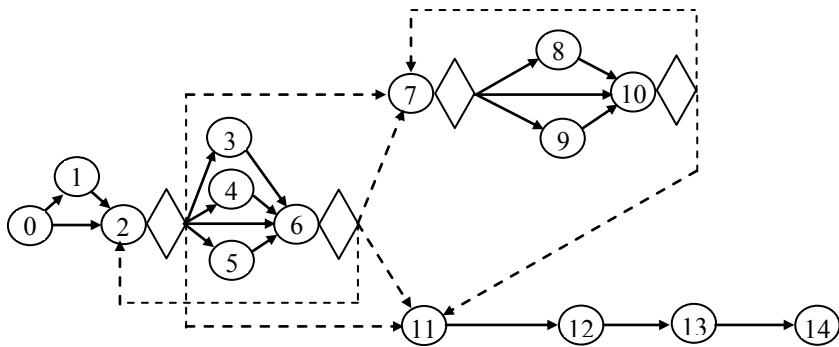


Рис. 1. Алгоритм выполнения работ по извлечению пострадавшего

- 0-1 – разведка и поиск пострадавшего в зоне чрезвычайной ситуации;
- 1-2 – анализ ситуации после обнаружения пострадавшего;
- 0-2 – приведение средств механизации в готовность к работе;
- 2 – событие, которое отражает обнаружение пострадавшего и выбор руководителем работ (РР) способа доступа к пострадавшему и, соответственно, необходимых средств механизации;
- 2-3 – подготовка места для использования подъемного крана;
- 3-6 – устройство доступа при помощи подъемного крана;
- 2-4 – подготовка места для использования пневмоподъемника;
- 4-6 – устройство доступа при помощи пневмоподъемника;
- 2-5 – подготовка места для использования других средств механизации;
- 5-6 – устройство доступа при помощи других средств механизации;
- 2-6 – разборка завала вручную;
- 2-7 – фиктивная [2] работа, которая отражает ситуацию, когда доступ к пострадавшему свободен, но он заблокирован, например, завалом конструкции;
- 2-11 – фиктивная работа, которая отражает ситуацию, когда доступ к пострадавшему свободен и он не заблокирован;
- 6 – событие, которое отражает ситуацию, когда доступ к пострадавшему осуществлен и РР оценивает сложившуюся ситуацию;

- 6-2 – фиктивная работа, которая отражает переход к возобновлению работ по доступу, когда их выполнение на предыдущем этапе завершилось неудачно;
- 6-7 – фиктивная работа, которая отражает переход к деблокированию;
- 6-11 – фиктивная работа, которая отражает переход к завершающим операциям;
- 7 – событие, которое отражает выбор РР способа деблокирования и соответствующих средств механизации;
- 7-8 – подготовка места для деблокирования при помощи пневмоподъемника;
- 8-10 – деблокирование при помощи пневмоподъемника;
- 7-9 – подготовка места для деблокирования при помощи других средств механизации;
- 9-10 – деблокирование при помощи других средств механизации;
- 7-10 – деблокирование вручную;
- 10 – событие, которое отражает оценку РР качества деблокирования пострадавшего;
- 10-7 – фиктивная работа, которая отражает переход к возобновлению работ по деблокированию;
- 10-11 – фиктивная работа, которая отражает переход к завершающим операциям;
- 11-12 – оказание неотложной медицинской помощи;
- 12-13 – извлечение пострадавшего;
- 13-14 – транспортировка пострадавшего в медицинский пункт.

Для получения исходных данных, необходимых в процессе имитационного моделирования, использовались экспертные оценки специалистов в проведении аварийно - спасательных работ, которые оценивали как временные характеристики каждой работы (исключая, естественно, фиктивные), так и оценки того, насколько часто необходимо использовать те или иные способы проведения работ. Были получены соответствующие средневзвешенные оценки [3] минимального $\hat{t}_{j\min}$, максимального $\hat{t}_{j\max}$ и наиболее вероятного \hat{t}_j времени выполнения каждой работы, а также частоты необходимого использования соответствующих способов. Анализ полученных результатов показал, что в 65-70% при проведении работ целесообразно использовать средства малой механизации. При этом в 45-50% наиболее эффективным является использование пневмоподъемников.

Учитывая то, что выполняемые работы характеризуются тем, что время выполнения каждой из них, во-первых, ограничено как сверху, так и снизу, во-вторых, может принять любое значение в интервале $[t_{\min}, t_{\max}]$ и, в-третьих, среди работ всегда встречаются такие, время выполнения которых зависит от большого числа малозначительных случайных факторов, а также работы, на время выполнения которых оказывает влияние неболь-

шое число важных факторов, можно считать, что время выполнения работ, которые необходимо осуществить для извлечения пострадавшего, описывается β -распределением ($\alpha \geq 1, \beta \geq 1$):

$$f(t) = \begin{cases} \frac{(t - t_{\min})^{\alpha-1} \cdot (t_{\max} - t)^{\beta-1}}{(t_{\max} - t_{\min})^{\alpha+\beta+1} \cdot B(\alpha, \beta)} & \text{при } t_{\min} \leq t \leq t_{\max}; \\ 0 & \text{при } t < t_{\min}, t > t_{\max}, \end{cases} \quad (1)$$

где $B(\alpha, \beta)$ – бета - функция; $t_{\min}, t_{\max}, \alpha, \beta$ – параметры β - распределения.

Это позволяет [4] найти, используя полученные средневзвешенные оценки $\hat{t}_{j\min}, \hat{t}_{j\max}$ и \hat{t}_j , параметры α_j и β_j каждой j - й операции.

Если бы РР выбирал способы осуществления доступа и деблокирования безошибочно (фиктивные работы 6 - 2 и 10 - 7 в этом случае отсутствуют), то, во-первых, не было бы случаев возобновления работ по доступу (деблокированию), но уже с привлечением более мощных средств механизации, что в подавляющем большинстве случаев требует и значительно большей продолжительности выполнения операций, и, во-вторых, сразу бы использовались соответствующие характеру разрушений средства проведения работ. Однако, в связи с тем, что многие оценки, в частности, массы обломков, характера разрушений, возможностей специального оборудования при работе в условиях, которые не рассматриваются в технической документации, РР дают интуитивно, основываясь только на свой опыт, то даже самые лучшие из них все равно ошибаются. Экспертные средневзвешенные оценки вероятности правильного выбора способов осуществления доступа и деблокирования опытными РР приближается к 90%. В то же время, у неопытных руководителей проведения АСР, а такими является большинство начальников караулов подразделений пожарной охраны, которые первыми прибывают к месту работ, экспертная средневзвешенная оценка вероятности правильного выбора способов не превышает 40%.

Проведенные имитационные эксперименты показали, что в случае правильного выбора способов работы математическое ожидание времени выполнения всего комплекса рассматриваемых работ будет равно порядка 256 минут. Когда АСР проводит опытный руководитель, можно ожидать 279 минут, а когда неопытный – 336 минут. Видно, что неправильный выбор способов работы приводит к существенному увеличению времени выполнения всего комплекса работ, связанных с извлечением пострадавших из-под завалов.

Учитывая то, что в случае пребывания пострадавшего под воздействием значительной тяжести в течении времени, превышающем четыре часа, наступает смерть, можно оценить вероятность того, что спасенный постра-

давший будет живым, рассматривая ее как вероятность извлечения пострадавшего за время, не превышающее 4 часа (240 минут) как

$$\hat{P} = P(t \leq 240) = \Phi \left(\frac{240 - \bar{t}_{\text{аср}}}{G} \right). \quad (2)$$

Пользуясь полученными имитационными оценками и выражением (2), можно предполагать, что у опытных РР рассматриваемая вероятность будет равняться 0,52, а у неопытных – 0,35.

Опыт проведения АСР свидетельствует о том, что для повышения эффективности такой работы у неопытного личного состава должны быть разработаны формализованные рекомендации, например, в виде зависимости

$$h = f(m, a, p), \quad (3)$$

где **h** – высота подъема конструкции, см (в процессе работ РР учитывает, что пострадавшего можно извлекать когда **h** ≥ 25см; в том случае, когда 25см > **h** ≥ 5см – необходимо использовать комбинированные способы, например, «пневморезервуар - лебедка»; если **h** < 5см – необходимо рассматривать возможность использования подъемных кранов);

m – масса конструкции, обломка и т.д., кг;

a – типоразмер пневмоподъемника, см;

p – подаваемое давление, МПа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михно Е.П. Ликвидация последствий аварий и стихийных бедствий. – М.: Атомиздат, 1979. – 288 с.
2. Сыроежин И.М. Математика сетевых планов. – М.: Экономика, 1967. – 240 с.
3. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико - статистические методы экспертных оценок. – М.: Статистика, 1974. – 264 с.
4. Стрелец В.М. Экспертная оценка операций разворачивания специальных автомобилей // Вестник Харьковского автомобильно - дорожного технического университета. Сб. научн. тр. Вып. 9. – Х.: ХГАДТУ, 1999. – С. 39 - 41.