

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ОБЗОР ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА ПРИ РИСК-АНАЛИЗЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Рюмин Ю.А., Михайловский С.В.  
(МГУИЭ, Москва, Россия)

*Статья содержит краткое изложение и результаты анализа эффективности комплекса современных методов качественной и количественной оценки влияния человеческого фактора на величину показателей риска эксплуатации машин и агрегатов химических производств.*

Методы исследования человеческой надежности (HumanReliabilityAnalysis - HRA) используются для оценки воздействия ошибок обслуживающего персонала на работоспособность и безопасность оборудования [1-3]. Данные методы являются одними из ключевых при анализе риска в связи с тем, что причиной более 70% отказов служат различные нарушения регламентируемых норм эксплуатации и ремонта. Многие технологические процессы содержат потенциальные возможности для человеческих ошибок. Иногда возможности персонала ограничиваются его действиями по предотвращению начальной неисправности, прогрессирующей в направлении аварии.

При помощи HRA идентифицируются разнообразные типы ошибочных действий, в том числе: ошибки по оплошности, недосмотр, выразившийся в невыполнении требуемого действия; ошибки несоответствия, которая может заключаться в следующем: выполнение требуемого действия несоответствующим образом; выполнение требуемого действия с неоправданно большим или слишком малым усилием либо без необходимой точности; выполнение требуемого действия в неподходящее для него время; неправильная очередность выполнения требуемых действий; выполнение лишнего или ненужного действия вместо требуемого действия или в дополнение к нему.

HRA может включать в себя следующие этапы [4]:

- определение задачи, подлежащей анализу (TaskAnalysis - TA);
- выявление ошибки персонала (HumanErrorandInteractions - HEI), предполагающее идентификацию и описание возможных ошибочных действий при исполнении задачи (последствия и причины), предложение мер по снижению вероятности ошибки, совершенствованию перспектив исправления и/или уменьшения последствий ошибочных действий. Результаты HEI обеспечивают ценный вклад в управление риском даже в том случае, если не проводится никакая оценка ошибочных человеческих действий.
- количественное определение влияния на надежность человеческого фактора (HumanReliabilityQuantification - HRQ). Целью HRQ является оценка вероятности правильного выполнения задачи или вероятности ошибочных действий, вероятности или частоты определенных последовательностей нежелательных событий или исходов, связанных с человеческим фактором.

Существует достаточно широкая номенклатура методов анализа ошибок персонала, оказывающих негативное влияние на надежность промышленного оборудования, сравнительный анализ эффективности некоторых из которых представлен в табл. 1.

Критерии (вес)	APJ	PC	THERP	HEART	SLIM	HCR
точность (0,3)	3	3	3	3	3	1
соответствие действительности (0,22)	4	3	3	3	3	1
полезность (0,15)	4	2	3	5	2	2
ресурсы (0,15)	3	2	2	5	5	3
приемлемость (0,11)	3	4	5	3	4	2
длительность применения (0,07)	5	3	5	2	4	1
индекс предпочтения	3,51	2,81	3,21	3,53	3,33	1,56

В табл. 1: *APJ-AbsoluteProbabilityJudgment* (метод оценок абсолютной вероятности); *PC-PairedComparisons* (метод парных сопоставлений); *THERP-TechniqueforHumanErrorRatePrediction* (техника прогнозирования интенсивности человеческих ошибок); *HEART-HumanErrorAssessmentandReductionTechnique* (техника оценка и сокращения человеческих ошибок); *SLIM-SuccessLikelihoodIndexMethodology* (методология последовательного приближения индекса); *HCR-HumanCognitiveReliability* (метод познания человеческой надежности).

■ Экспертные подходы к оценке человеческого фактора

*Метод оценок абсолютной вероятности (APJ)* предполагает наличие группы экспертов, каждый из которых должен непосредственно оценить вероятность возникновения человеческой ошибки при выполнении конкретной задачи (желательный стаж работы экспертов в соответствующей области - 10 и более лет) [13].

Статистический анализ полученной информации выполняется в несколько этапов:

1. проверка согласованности мнений экспертов;
2. оценка относительной компетентности каждого эксперта;
3. построение единого группового мнения.

Поскольку выборки мнений экспертов можно легко трансформировать в ранжировки в качестве меры их согласованности (однородности) часто рассматривают коэффициент конкордации Кендалла, близость величины которого к единице свидетельствует о высокой степени согласованности анализируемых мнений (при  $W(m) = 1$  все мнения просто совпадают) [6]. Малые значения  $W(m)$  говорят об отсутствии какой бы то ни было согласованности. В подобных случаях результаты доводят до экспертов и проводят второй тур оценивания. Основная идея подхода к определению относительной компетентности экспертов заключается во введении весовых коэффициентов их мнений - чем «дальше» оценка  $j$ -го эксперта отстоит от среднего значения для группы, тем ниже уровень его относительной компетентности и весовой коэффициент. Сумма весовых коэффициентов равна единице. Применение данной процедуры позволяет исключить неоднородность выборок, имеющую место после первого или второго тура оценивания. В качестве оценок единого группового мнения рассматривают средние значения, скорректированные с учетом весовых коэффициентов мнений специалистов.

Применение *техники парных сопоставлений (PC)* предполагает наличие группы экспертов, каждый из которых должен определить какой из двух возможных вариантов ошибочного действия является более вероятным. В результате последующих комбинаторных операций с полученной информацией оценивают вероятность ошибки в относительном масштабе, после чего переходят к ее абсолютной величине.

Подход SLIM предполагает наличие группы экспертов, каждый из которых должен сформулировать группу факторов, способствующих возникновению человеческой ошибки при выполнении конкретной задачи. Далее определяют веса или рейтинги относительной значимости каждого фактора. Оценка SLI, представляющая собой сумму рейтингов или весов, конвертируется в значение вероятности человеческой ошибки.

■ Техника прогнозирования интенсивности человеческих ошибок (THERP)

Указанный метод может быть использован в качестве инструмента анализа возможных ошибочных действий персонала при выполнении достаточно широкой номенклатуры задач, например, при определении условной вероятности событий, связанных с локализацией или ликвидацией негативных последствий аварийной ситуации (на рис. 1 - это события  $P(I1|A)$ ,  $P(I6|A)$ ,  $P(18A)$  и  $P(I12|A)$ ) [7].

Исходной информацией в данном случае будет оперативная часть плана локализации и ликвидации аварийных ситуаций производства метанола уровня «А» и «Б».

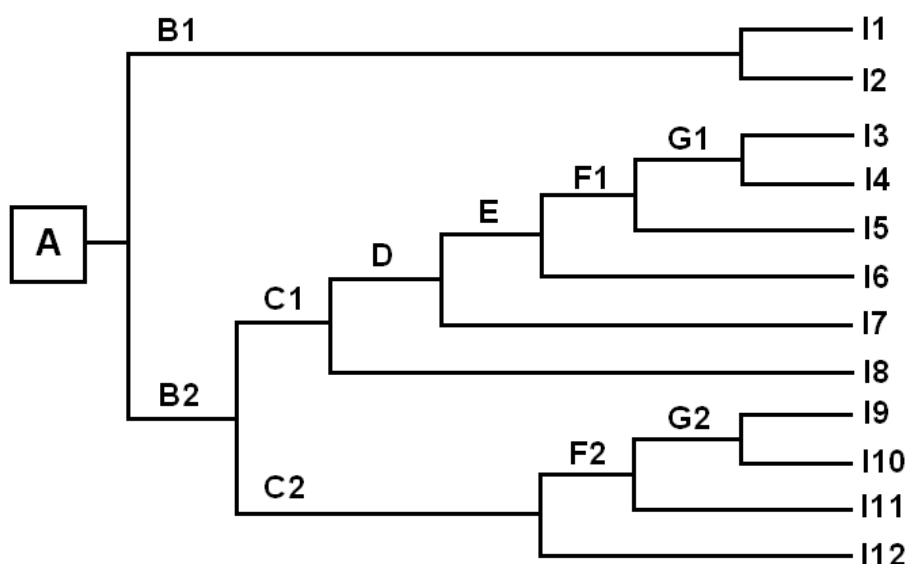


Рис. 1. Дерево событий аварийной ситуации, связанной с разгерметизацией оборудования и истечением жидкого метанола

*B1 - истечение метанола с мгновенным воспламенением; B2 - истечение метанола без мгновенного воспламенения; C1 - образование пролива; C2 - образование первичного паровоздушного облака; D - распространение пролива; E - испарение и образование вторичного паровоздушного облака; F1 - перенос вторичного концентрационного облака в атмосфере; F2 - перенос первичного концентрационного облака в атмосфере; G1 - воспламенение вторичного паровоздушного облака; G2 - воспламенение первичного паровоздушного облака; I1 - локализация и ликвидация факельного горения струи; I2 - тепловое воздействие на соседнее оборудование при факельном горении струи; I3 - локальное горение вторичного паровоздушного облака; I4 - взрывное превращение вторичного паровоздушного облака; I5 - отравление атмосферы при распространении вторичного паровоздушного облака; I6 - локализация и ликвидация вторичного паровоздушного облака; I7 - пожар пролива; I8 - локализация и ликвидация пролива; I9 - локальное горение первичного парогазового облака; I10 - взрывное превращение первичного парогазового облака; I11 - отравление атмосферы при распространении первичного паровоздушного облака; I12 - локализация и ликвидация первичного паровоздушного облака*

*THERP* предусматривает пять уровней корреляции между двумя последовательными задачами, при выполнении которых возможны ошибочные действия (рекомендации по выбору см. табл. 2):

1. отсутствие зависимости (ZD) –  $P(Z_i) | P(Z_{i-1}) | ZD = P(Z_i)$ ;
2. низкая зависимость (LD) –  $P(Z_i) | P(Z_{i-1}) | LD = \frac{1+19P(Z_i)}{20}$ ;
3. средняя зависимость (MD) –  $P(Z_i) | P(Z_{i-1}) | MD = \frac{1+6P(Z_i)}{7}$ ;
4. сильная зависимость (HD) –  $P(Z_i) | P(Z_{i-1}) | HD = \frac{1+P(Z_i)}{2}$ ;
5. полная зависимость (CD) –  $P(Z_i) | P(Z_{i-1}) | CD = 1$ .

В качестве количественных оценок вероятности ошибочного выполнения некоторых функциональных действий среднестатистическим работником могут служить данные МЧС РФ и Ростехнадзора. Номинальные значения вероятности корректируются с учетом коэффициентов, учитывающих вариацию квалификации персонала.

Таблица 2. Примерные уровни зависимости между двумя последовательными задачами  
в рамках методологии *THERP*

Время выполнения	Адекватные ресурсы	Уровень стресса	Корреляция
Мгновенно	Нет	Высокий	CD
		Низкий	
	Да	Высокий	CD
		Низкий	HD
0-15 минут	Да	Высокий	CD
		Низкий	HD
15-30 минут	Да	Высокий	HD
		Низкий	MD
30-60 минут	Да	Высокий	MD
		Низкий	LD
>60 минут	Да	Высокий	LD
		Низкий	ZD

■ Техника оценки и сокращения человеческих ошибок (*HEART*)

Метод предназначен для количественной оценки вероятности ошибки оператора (*HumanErrorProbability*- *HEP*) при выполнении различных задач с учетом негативного влияния ряда специфических факторов (эргономика, условия окружающей среды т.д.). Уровни влияния факторов рассчитываются независимо друг от друга, а вероятность ошибки определяется как функция их произведения применительно к каждой конкретной задаче.

Достоинства метода:

- гибкость;
- возможность интеграции в дерево отказов;
- многогранность.

Метод основывается на следующих допущениях:

1. базовый уровень человеческой надежности зависит от существа выполняемой задачи;
2. в случае идеальных условий этот уровень надежности может быть оценен в некоторых вероятностных пределах.
3. прогнозируемое значение вероятности человеческой ошибки необходимо корректировать в зависимости от условий ее возникновения.

Процедура *HEART* включает в себя нижеперечисленные шаги [5, 8]:

1. *Классификация общей совокупности задач* (как правило, аналитик оперирует 7-9 типами задач, различающихся друг от друга характеристиками или атрибутами, например: *A*- хорошо всем знакомое действие, выполняемое с высокой скоростью без раздумий о возможных последствиях; *B*- перемещение системы на новый уровень или удержание на существующем с одной попытки без постороннего наблюдения или вмешательства; *C*- комплексная задача, для выполнения которой требуются понимание ее существа и высокая квалификация; *D*- регламентированное действие, выполняемое быстро или без особого внимания; *E*- рутинная задача, для реализации которой не требуется высокий уровень квалификации; *F*- перемещение системы на новый уровень или удержание на существующем под посторонним наблюдением или с возможностью постороннего вмешательства; *G*- хорошо

всем знакомое, рутинное действие, осуществляемое несколько раз в час; *H*- действие, требующее корректного отклика системы; *M*- ни одна из вышеперечисленных задач).

2. Определение номинального значения вероятности человеческой ошибки *HER*, при реализации каждой задачи (или, другими словами, вероятности ее невыполнения).

3. *Идентификация условий возникновения возможной ошибки* (каждому условию соответствует определенный эффект, способствующий росту *HER*, скажем: 1 - незнание; 2 - нехватка времени; 3 - слабый сигнал/шум; 4 - простота блокирования информационного канала; 5 - легкость в усвоении информации; 6 - несогласованность действий (оператор/конструктор); 7 - обратные непреднамеренные действия; 8 - перегрузка информационного канала; 9 - потеря квалификации; 10 - передача знаний; 11 - двусмысленность стандартов; 12 - несоответствие между воспринимаемой и реальной опасностью).

4. Оценка доли и уровня влияния каждого эффекта на величину вероятности человеческой ошибки (например: 1 -  $x17$ ; 2 -  $x11$ ; 3 -  $x10$ ; ...; 12 -  $x4$ ).

5. *Расчет итогового значения HER* (часто выполняется в 5-95% доверительных пределах):

$$HER = HER_r * (\prod_i (f_i - 1) + 1).$$

где:

$p_i$ - доля  $i$ -го эффекта;

$f_i$ - значение негативного влияния  $i$ -го эффекта на величину *HER*.

б. Выработка мер, направленных на снижение вероятности ошибок персонала.

Применение при проведении риск-анализа крупнотоннажного производства метанола алгоритмов *THERP* и *HEART* позволило эффективно идентифицировать и оценить последствия опасных событий, связанных с неправильной организацией и несанкционированными действиями исполнителей работ, внести необходимые изменения и дополнения в план локализации и ликвидации аварийных ситуаций объекта [7].

Список литературы:

1. Kirwan B. The validation of three human reliability quantification techniques - THERP, HEART and JHEDI: Part I - technique descriptions and validation issues, Applied Ergonomics, Vol. 27, №6, pp. 359-373, 1996.

2. Kirwan B., Kennedy R., Taylor-Adams S., Lambert B., The validation of three human reliability quantification techniques - THERP, HEART and JHEDI: Part II - Results of validation exercise, Applied Ergonomics, Vol. 28, №1, pp. 17-25, 1997.

3. Kirwan B. The validation of three human reliability quantification techniques - THERP, HEART and JHEDI: Part III - Practical aspects of the usage of the techniques, Applied Ergonomics, Vol. 28, №1, pp. 27-39, 1997.

4. Шубин В.С., Рюмин Ю.А. Надежность оборудования химических и нефтеперерабатывающих производств. М.: Химия, КолосС, 2006. - 359 с.

5. FAA/EUROCONTROL ATM Safety Techniques and Toolbox, 2007. - 167 p.

6. Закс Л. Статистическое оценивание. М.: Статистика, 1976. - 598 с.

7. Толстикова А.В. Надежность оборудования производства метанола. Автореферат дис. ... канд. техн. наук. М.: МГУИЭ, 2005. - 16 с.

■ Risk Assessment and Management Handbook: For Enviromental Health and Safety Professional Eds. R. Kolluru, S. Bartell, P. Pitblade, S. Stricoff. N.Y.: Me Graw-Hill, 1995.