

ОПТИМАЛЬНОЕ РЕЗЕРВИРОВАНИЕ РЕСУРСОВ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИИ

© Николай Викторович Катаргин

Финансовая академия при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия

nnnkkk@yandex.ru

***Аннотация.** Опробованы различные методы оценки приоритетов мероприятий по подготовке к ликвидации радиационной аварии. Результаты, наиболее близкие к результатам теории игр, получены методом $Mult = \prod R_i * p_i$, т.е. произведение произведений возможных потерь на их вероятности, при условии проведения подготовительных мероприятий. Отработана методика расчета оптимальных затрат на мероприятия с использованием различных целевых функций и сервиса “Поиск решения” Excel.*

Optimum Resources Reservation for Preparing of the Rehabilitation after Accident

© N.V.Katargin

***Abstract.** Different methods have been investigated for the evaluation of priorities of preparing actions for the rehabilitation after radiation accident. Results of the method $Mult = \prod R_i * p_i$ i.e. multiplication of multiplications of possible losts to their probabilities in condition of holding of rehabilitation actions are most close to ones evaluated by the method based on the theory of games. Method have been developed for the evaluation of optimum expenses for the preparing of rehabilitation measures using different target functions and the Excel Service Solver.*

Аварии и катастрофы на транспорте, в промышленности, в ЖКХ и в Вооруженных силах были всегда, а в связи с износом оборудования и “человеческим фактором” в России их вероятность возрастает. К возможным авариям надо быть готовым, т.е. резервировать материальные, кадровые и финансовые ресурсы. Но выделяемые на это средства, как правило, ограничены, и требуется их использовать рационально, чтобы получить максимальный эффект. Математический аппарат для проведения соответствующих расчетов – теория игр и математическое программирование, а исходные данные могут быть получены из статистики аварий и экспертных оценок вероятностей аварий, возможного ущерба и ресурсов, необходимых для проведения работ в период и сразу после аварии.

В качестве конкретного примера мы использовали результаты работы М.И.Рылова и др. [1], в которой проведен анализ сценариев крупных радиационных аварий при выгрузке отработанного ядерного топлива (ОЯТ) из утилизируемой атомной подводной лодки (АПЛ), и Л.Г.Лабскера [2], в которой проведена оценка приоритетов мероприятий (стратегий) по ликвидации последствий этих аварий с использованием теории игр с природой.

Авторы работы [1] ограничились тремя сценариями развития возможных аварий, представляющими по результатам исследования наибольшую опасность:

П₁-возникновение самоподдерживающейся цепной реакции;

П₂ - падение гражданского самолета на станцию выгрузки ОЯТ;

П₃ - падение гражданского самолета на площадку для хранения контейнеров с ОЯТ.

Сценарии П₂ и П₃ включены в рассмотрение в связи с участвовавшими в последнее время проявлениями актов терроризма.

Экономический ущерб и вероятности состояний на этапе выгрузки ОЯТ из АПЛ, определенные в [1], приведены в таблице 1.

Таблица 1

Сценарии аварий	Экономический ущерб, тыс. руб.	Вероятность
П ₁	3380,3	1×10^{-7}
П ₂	812,1	$1,6 \times 10^{-5}$
П ₃	737,8	$1,6 \times 10^{-5}$

В работах [1] и [2] рассмотрены пять мероприятий по снижению риска при утилизации АПЛ (чистых стратегий):

А₁- оперативное использование передвижных установок экстренного подавления огня, включая постоянное дежурство пожарной службы в течение всего периода утилизации АПЛ;

А₂ - организация обучения технического персонала действиям при возникновении пожаров;

А₃ - разработка инструкции по дезактивации поверхностей помещений и оборудования в аварийных условиях;

А₄ - разработка мер по ограничению доступа и времени пребывания персонала и населения на территории вдоль оси факела выброса (в течение 5-10 суток после аварии) для выявления и оконтуривания пятен загрязнения на местности после аварии;

А₅ - разработка превентивных мер по ограничению пребывания персонала в опасной зоне при проведении операций по выгрузке ОЯТ из АПЛ в зависимости от времени проведения операций и складывающихся при этом метеоусловий (направления и силы ветра, интенсивности осадков и т.д.).

В Таблице 2 приведены потери при различных авариях и проведении различных мероприятий по их ликвидации, а также потери с учетом вероятностей аварий.

Таблица 2

Мероприятия	Потери			Потери с учетом вероятностей		
	П ₁	П ₂	П ₃	П ₁	П ₂	П ₃
А ₁	3380	543	498	3,38	86,88	79,68
А ₂	3380	721	665	3,38	115,36	106,4
А ₃	2445	530	437	2,445	84,8	69,92
А ₄	3288	776	733	3,288	124,16	117,28
А ₅	3242	710	660	3,242	113,6	105,6

Л.Г.Лабскер, используя теорию игр с природой, оценил приоритеты различных мероприятий по снижению риска при утилизации АПЛ. Результаты представлены в Таблицах 3, 4 в столбце “Игры”, наиболее важное мероприятие А₃ имеет наименьшее численное значение приоритета. Мы также попытались оценить приоритеты мероприятий, исходя из возможных потерь и выигрышей при различных авариях и проведении мероприятий. Опробованы три метода оценки приоритета каждого мероприятия:

1. Сумма произведений ущербов R_i на их вероятности p_i

$$Sum = \sum R_i * p_i \quad i = 1, 2, 3$$

2. Произведение произведений ущербов на их вероятности

$$Mult = \prod R_i * p_i \quad i = 1, 2, 3$$

3. Сумма произведений предотвращенных потерь (выигрышей) V_i на их вероятности p_i

$$SumV = \sum V_i * p_i \quad i = 1, 2, 3$$

Для удобства сопоставления с [2] вычисленные значения приоритетов были нормированы таким образом, чтобы приоритет мероприятия А₃ был равен 10. Для Метода 3 нормирована величина $1/SumV$, т.к. значение $SumV$ убывает с убыванием значимости мероприятия.

Результаты расчетов представлены в Таблицах 3, 4 и на Рисунке 1.

Таблица 3

	Приоритет		Нормир.приоритет		Игры
	sum	mult	sum	mult	
A ₁	17	23	11	17	20,5
A ₂	23	41	14	30	42,5
A ₃	16	14	10	10	10
A ₄	24	48	15	34	47,5
A ₅	22	39	14	28	29,5

Таблица 4

Меропри- ятия	Выигрыши			Выигрыши с учетом вероятностей			SumV	Нормир. SumV	Игры
A ₁	0	269	240	0	43	38,4	81	12	20,5
A ₂	0	91	73	0	14,6	11,68	26	36	42,5
A ₃	935	282	301	0,94	45,1	48,16	94	10	10
A ₄	92	36	5	0,09	5,76	0,8	7	142	47,5
A ₅	138	102	78	0,14	16,3	12,48	29	33	29,5

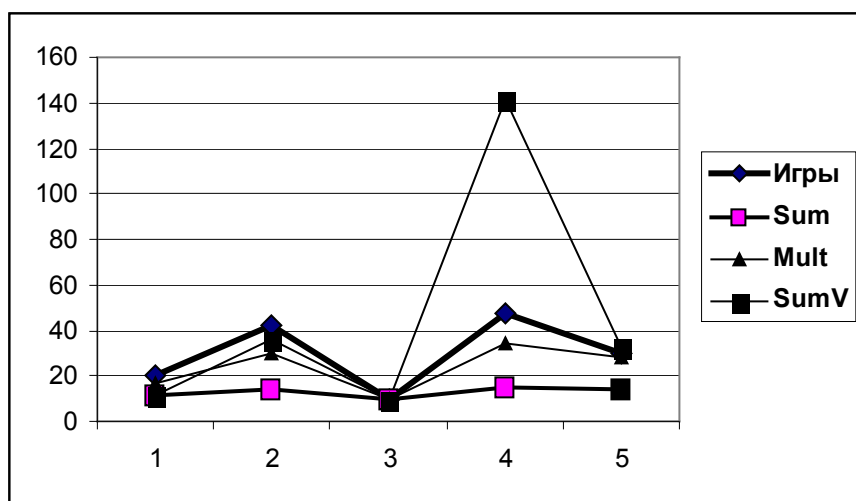


Рис. 1. Приоритеты мероприятий, рассчитанные по разным методикам.

Лучше всего с [2] совпали результаты расчета по методу 2 (Mult), хуже всего – по методу 1 (Sum). Возможно, это следствие “толстого хвоста” в распределении вероятностей аварий в зависимости от ущерба, и в моделях надо использовать не величины потерь, а их логарифмы, или же произведения вместо сумм.

Основная цель данной работы – расчет оптимального распределения ограниченных средств на проведение указанных мероприятий.

При этом предполагается:

1. При ликвидации последствий аварии должны быть проведены все мероприятия.
2. Затраты на аварийные мероприятия зависят от возможных потерь при их невыполнении, т.е. приоритета, а также от их стоимости.
3. Эффективность каждого мероприятия представляет собой логистическую зависимость от затрат и может быть в первом приближении представлена линейной функцией (Рисунок 2), но существует пороговое значение затрат P_{min} . Такой подход дает возможность

учесть в модели стоимость мероприятий, личный опыт экспертов и разработчиков мероприятий.

4. В качестве критериев эффективности распределения затрат использованы максимумы целевых функций

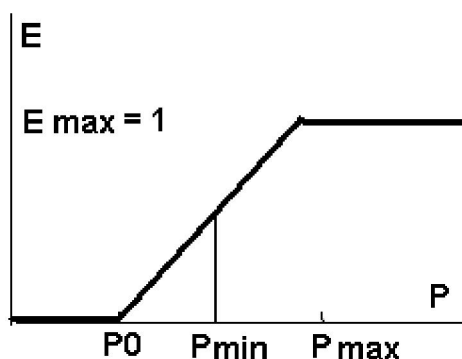


Рис.2. Зависимость эффективности мероприятия E от затрат P .

$$S_1 = \prod P_i^{a_i} \quad (1)$$

где P_i – затраты на мероприятия;

$a_i = 1/r_i$ – величина, обратная приоритету i -го мероприятия, т.к. в работе [2] значение приоритета убывает с ростом значимости мероприятия;

b_i – эффективность затрат на мероприятия, нормированная на 1 :

$$b_i = (P - P_0)/(P_{max} - P_0) \quad (2)$$

Формулы 1 и 2 аналогичны известным формулам Кобба-Дугласа и Стоуна.

В Таблице 5 показана технология оптимизации затрат с использованием Сервиса “Поиск решения” Excel. В столбец “Приоритет” поочередно помещались приоритеты, вычисленные по методам Sum, Mult, SumV и по теории игр, изменяемые ячейки – “Затраты”, максимизируемые целевые функции S_1 и S_2 вычислены по формулам (1) и (2), b_i – по формуле (3). Значения P_{min} , P_{max} и сумма затрат задаются в настройке “Поиска решения” как ограничения. В данном случае они взяты произвольно, так же как суммарные затраты. Сомножитель 10 введен в формулы для удобства представления значений в таблицах.

Таблица 5. Расчет затрат с использованием целевой функции S_1 .

	Приоритет r_i	Затраты P_i	$P_i^{(10/r_i)}$
A_1	21	214,65	13,26
A_2	43	103,53	3,48
A_3	10	440,02	200,00
A_4	48	92,63	3,05
A_5	30	149,16	6,03
		Сум.затраты	Целевая $S_1 = \prod P_i^{(10/r_i)}$
		1000	169566

Таблица 6. Расчет затрат с использованием целевой функции S_2

	Приоритет r_i	Затраты P_i	$b_i^{(10/r_i)}$	b_i	P_0	P_{min}	P_{max}
A_1	20,5	159	0,51	0,505	0	100	300
A_2	42,5	172	0,22	0,038	100	100	2000
A_3	10	413	0,03	0,163	100	100	2000
A_4	47,5	89,	0,71	0,444	20	20	200
A_5	29,5	165	0,33	0,194	60	100	600
			Целевая II $b_i^{(10/r_i)}$				
Сум. затраты		1000	0,00069279				
Макс. затраты		1000					

Результаты расчетов с использованием приоритетов Sum, Mult и “Игры” представлены в Таблице 7 и на Рисунках 3 и 4.

Таблица 7. Оптимальные затраты, рассчитанные по разным методам.

	Целевая S_1				Целевая S_2			
	Sum	Mult	SumV	Игры	Sum	Mult	SumV	Игры
A_1	311	268	335	233	141	164	241	159
A_2	117	75,	111	56	224	194	180	172
A_3	449	577	402	638	247	378	389	413
A_4	50	30	28	23	179	102	40	89,
A_5	71	48	121	48	207	160	147	165

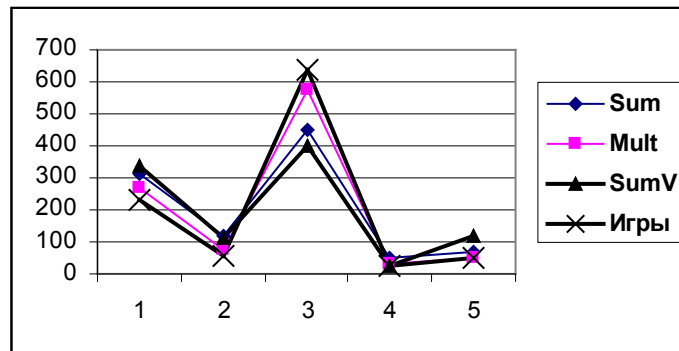


Рис.3. Распределение затрат с целевой функцией S_1

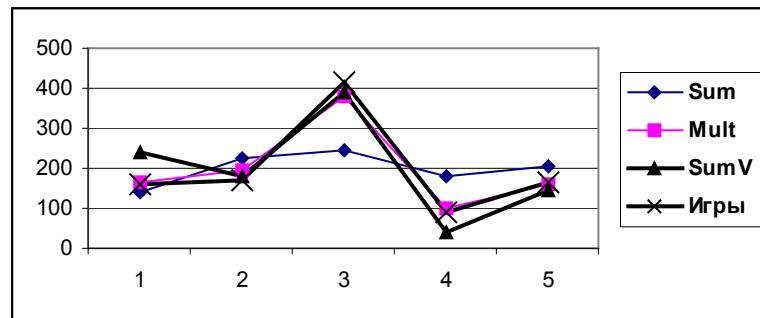


Рис.4. Распределение затрат с целевой функцией S_2

Заключение. Опробованы различные методы оценки приоритетов мероприятий по подготовке к ликвидации радиационной аварии. Результаты, наиболее близкие к результатам теории игр, получены методом $Mult = \prod R_i * p_i$, т.е. произведение произведений возможных потерь на их вероятности, при условии проведения мероприятий. Отработана методика расчета оптимальных затрат на мероприятия с использованием различных целевых функций и сервиса “Поиск решения” Excel.

Литература

1. Рылов М.И., Камынов Ш.В., Анисимов Н.А., Можяев А.С., Никитин В.С. Оптимизация риска при утилизации АПЛ // Управление риском, 2003, № 3, с. 25-32.
2. Лабскер Л.Г. Анализ задачи оптимизации рисков при утилизации атомных подводных лодок (АПЛ) с применением критериев оптимальности относительно рисков // Управление риском, 2007, № 3 (43), с. 11-20.

Поступила: 22.12.11.