

ИГРОВЫЕ МЕТОДЫ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНА ПРОВЕДЕНИЯ ПОИСКОВО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ

А.С. Перевалов;

**В.П. Сугак, кандидат технических наук, доктор военных наук, профессор.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Показана актуальность и основные методы выбора плана проведения поисково-спасательных работ при ликвидации чрезвычайной ситуации (ЧС) на акватории внутренних водоемов. Отмечены возможные варианты действий природы и поисково-спасательных формирований. Приведены методы принятия решений в играх с природой, зависящие от характера неопределенности – принятие решений в условиях риска, принятие решений в условиях полной неопределенности. Определены возможные варианты составления матрицы выигрышей.

Ключевые слова: теория игр, выигрыш, решение

GAME METHODS FOR CHOICE OPTIMAL PLAN OF SEARCH AND RESCUE OPERATIONS

A.S. Perevalov; V.P. Sugak.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The urgency and the basic methods of choosing a plan of search and rescue operations during emergency response efforts in the waters of inland waters. Marked the choices for the nature and search-and-rescue teams. The methods of decision-making in games with the nature of which depend on the nature of uncertainty: decision making under risk, decision-making under conditions of complete uncertainty. The possible options for making the payoff matrix.

Keywords: game theory, win, solution

В докладе Министра Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий МЧС России В.А. Пучкова «О подведении итогов деятельности ведомства за 2012 год и постановке задач на 2013 год» отмечается, что «необходимо выполнить комплекс мер по повышению готовности и эффективности применения сил и средств (СиС)» [1].

Как известно, эффективность применения СиС напрямую зависит от качественно обоснованного и выбранного руководителем ликвидации ЧС решения (плана) по их использованию [2, 3].

Для успешного выполнения целевой задачи в k поисково-спасательных формированиях (ПСФ) разрабатываются и принимаются планы проведения поисково-спасательных работ (ПСР) X_k , которые подразделяются на:

– долгосрочные: сезонные X_{kc} , ежедневные X_{ke} ;

– оперативные X_k^{ij} по проведению ПСР при возникновении ЧС, где i – вид происшествия; j – вариант действий сил и средств (СиС).

План проведения ПСР – порядок проведения силами и средствами поисково-спасательного формирования действий при возникновении ЧС, направленных на достижение

целевой задачи (ЦЗ) в каждой из возможных ситуаций. При реализации составленного плана возникают трудности, обусловленные недостаточной осведомленностью об условиях, в которых будут действовать спасатели. Так, например, заранее могут быть не известны погода в защищаемом районе, маршруты и график грузоперевозок, количество пострадавших и т.д. Следует заметить, что во всех случаях условия выполнения ПСР зависят не от сознательно противодействующего противника, а от объективной действительности, которую в теории решений принято называть «природой». Задачей принятия решений (разработка и выбор плана проведения ПСР) в условиях неопределенности, где в качестве противоборствующих сторон выступают природа и ПСФ, занимается теория игр. Отличительная особенность игры с природой состоит в том, что в ней сознательно действует только один из участников – в нашем случае это ПСФ (игрок 1). «Природа» (игрок 2) в теории статистических решений рассматривается как некая незаинтересованная сторона, поведение которой неизвестно и не содержит элемента сознательного противодействия планам проведения ПСР. Поэтому термин «природа» не следует понимать буквально.

Для дальнейшего рассуждения и постановки задачи выбора плана проведения ПСР следует остановиться на последствиях, которые возникают в результате действий природы, и перечне необходимых работ для их ликвидации (табл. 1) [4].

Из таблицы видно, что последствия ЧС, к которым приводит совокупность действий сил и средств при выполнении составленного плана, являются гарантированным результатом деятельности ПСФ. На первый взгляд отсутствие обдуманного противодействия со стороны природы упрощает руководителю ликвидации ЧС задачу выбора плана проведения ПСР. Однако выбор будет затруднен неопределенностью гарантированного результата.

Для выбора плана проведения ПСР рассмотрим организацию и аналитическое представление игры с природой.

Пусть ПСФ имеет m планов проведения ПСР: A_1, A_2, \dots, A_m , а у природы имеется n возможных происшествий: $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n$, тогда условия игры с природой задаются матрицей A выигрышей игрока 1:

$$A = \left(\begin{array}{c|cccc} & \Pi_1 & \Pi_2 & \dots & \Pi_n \\ \hline A_1 & a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ A_2 & a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_m & a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{array} \right).$$

В данной матрице элементы a_{ij} – значения выигрышей ПСФ (математическое ожидание предотвращенного ущерба, вероятность успешной ликвидации ЧС, время прибытия к месту происшествия и др.). Возможен и другой способ задания матрицы игры с природой: не в виде матрицы выигрышей, а в виде матрицы рисков $R = ||r_{ij}||_{m,n}$ или матрицы упущенных возможностей. Величина риска – это размер платы за отсутствие информации о состоянии среды. Матрица R может быть построена непосредственно из условий задачи или на основе матрицы выигрышей A .

Методы принятия решений в играх с природой зависят от характера неопределенности, точнее от того, известны или нет вероятности состояний природы, то есть имеет ли место ситуация риска или неопределенности [5]. Ниже описаны методы, применяемые в обоих случаях.

Таблица 1. Основные виды, причины и последствия ЧС

Виды ЧС	Причины	Последствия	ПСР
Человек тонет	При купании, падении за борт, несоблюдении мер безопасности	Утонул человек	Поиск и спасение утопающего. Подводно-технические (водолазные) работы
Травмы у пассажиров, заболевания	Сильный удар волны, столкновение с другим объектом, обострение болезни	Травмы у пассажиров, осложнение здоровья, летальный исход	Оказание медицинской помощи пострадавшим (в объеме первой медицинской помощи). Эвакуация пострадавших
Загрязнение или угроза загрязнения	От перевозимого груза либо собственными горюче-смазочными материалами (ГСМ)	Потеря груза, загрязнение или угроза загрязнения	Работы по инженерной и организационной подготовке участков спасательных работ и рабочих мест в зоне ЧС (установка техники, боновых заграждений, освещение рабочих мест). Работы по подъему затонувших объектов, техники и имущества
Наводнение, подтопление	Подъем уровня воды (из-за дождей, таяния снегов)	Урон здоровью людей или их гибель, материальный ущерб	Эвакуация людей
Пожар на судне	Перегрев двигателя (машинное отделение), короткое замыкание (грузовой отсек), неосторожное обращение с огнем (каюта), от молнии	Человек за бортом, человек утонул, погиб при пожаре. Потеря устойчивости судна, затопление судна	Проведение работ, связанных с тушением пожаров. Эвакуация пострадавших и материальных ценностей
Затопление судна	Корпус судна дал течь, потеря устойчивости при смещении груза, высокая волна, нарушение норм пассажировместимости, умышленно экипажем	Человек за бортом, человек утонул. Потеря груза, загрязнение или угроза загрязнения	Поддержание на плаву аварийных объектов. Аварийные судоподъемные работы и работы по подъему затонувших объектов, техники и имущества. Подводно-технические работы. Оказание медицинской помощи пострадавшим
Столкновение судна	Большая скорость, плохая видимость	Травмы у пассажиров, человек за бортом, человек утонул. Пробой корпуса судна, затопление судна, потеря груза, загрязнение или угроза загрязнения	Оказание медицинской помощи пострадавшим. Подводно-технические работы. Поддержание судна на плаву, передача на них коммуникаций и грузов. Буксировка
Посадка на мель	Незнание рельефа дна, снос при сильном ветре, выход на берег при большой скорости	Пробой корпуса судна, затопление судна, загрязнение или угроза загрязнения. Простой судна	Подводно-технические работы. Передача на судно коммуникаций и грузов. Снятие с мели или берега плавсредств. Буксировка
Человек на льдине	Нарушение мер безопасности на льду	Человек утонул	Снятие людей с льдин. Подводно-технические (водолазные) работы
Потеря груза	Неправильное маневрирование, высокая волна, груз не закреплен	Загрязнение или угроза загрязнения	Работы по подъему затонувших объектов, техники и имущества. Подводно-технические работы
Потеря хода судном	Поломка двигателя, поломка рулевого устройства, закончились ГСМ	Простой судна, затрудняет движение остальным судам	Передача на судно коммуникаций и грузов. Буксировка

Принятие решений в условиях риска

Методы принятия решений в условиях риска разрабатываются и обосновываются в рамках теории статистических решений. При этом в случае стохастической неопределенности, когда состояниям природы поставлены в соответствие вероятности, решение принимается на основе критерия максимума ожидаемого среднего выигрыша или минимума ожидаемого среднего риска.

Если для некоторой игры с природой, задаваемой платежной матрицей $A = \|a_{ij}\|_{m,n}$, стратегиям природы P_j соответствуют вероятности p_j , то лучшей стратегией ПСФ будет та, которая обеспечивает ему максимальный выигрыш, то есть:

$$\max_{1 \leq i \leq m} \sum_{j=1}^n p_j \cdot a_{ij}.$$

Применительно к матрице рисков лучшей будет тот план проведения ПСР, который обеспечивает минимальный средний риск невыполнения ЦЗ (неуспешная ликвидация ЧС, не спасение утопающего):

$$\min_{1 \leq i \leq m} \sum_{j=1}^n p_j \cdot r_{ij}.$$

Целесообразность предпочтения матрицы выигрышей или матрицы рисков зависит от того, какая из них определяется с большей достоверностью.

Принятие решений в условиях полной неопределенности

Неопределенность, связанную с отсутствием информации о вероятностях состояний природы, называют «безнадежной» или «дурной». В таких случаях для определения наилучших решений используются следующие критерии: максимакса, Вальда, Сэвиджа, Гурвица [6].

Критерий максимакса. С его помощью определяется план проведения ПСР, максимизирующий максимальные выигрыши для каждого состояния природы. Это критерий крайнего оптимизма. Наилучшим признается план, при котором достигается максимальный выигрыш, равный:

$$M = \max_{1 \leq i \leq m} \max_{1 \leq j \leq n} a_{ij}.$$

Критерий Вальда. С позиций данного критерия природа рассматривается как агрессивно настроенный и сознательно действующий противник. Выбирается решение, для которого достигается значение:

$$W = \max_{1 \leq i \leq m} \min_{1 \leq j \leq n} a_{ij}.$$

В соответствии с критерием Вальда из всех самых неудачных результатов выбирается лучший. Это перестраховочная позиция крайнего пессимизма, рассчитанная на худший случай.

Критерий Сэвиджа (минимаксного риска). Выбор стратегии аналогичен выбору стратегии по принципу Вальда с тем отличием, что игрок руководствуется не матрицей выигрышей A , а матрицей рисков R :

$$S = \min_{1 \leq i \leq m} \max_{1 \leq j \leq n} r_{ij}$$

Критерий Гурвица (пессимизма-оптимизма). Этот критерий при выборе плана проведения ПСР рекомендует руководствоваться некоторым средним результатом, характеризующим состояние между крайним пессимизмом и безудержным оптимизмом. Согласно этому критерию стратегия в матрице A выбирается в соответствии со значением:

$$H_A = \max_{1 \leq i \leq m} \left\{ p \min_{1 \leq j \leq n} a_{ij} + (1-p) \max_{1 \leq j \leq n} a_{ij} \right\}.$$

При $p=0$ критерий Гурвица совпадает с максимаксным критерием, а при $p=1$ – с критерием Вальда.

Применительно к матрице рисков R критерий пессимизма-оптимизма Гурвица имеет вид:

$$H_R = \min_{1 \leq i \leq m} \left\{ p \max_{1 \leq j \leq n} r_{ij} + (1-p) \min_{1 \leq j \leq n} r_{ij} \right\}.$$

При $p=0$ выбор плана проведения ПСР осуществляется по условию наименьшего из всех возможных рисков; при $p=1$ – по критерию минимаксного риска Сэвиджа.

Следует отметить, что основополагающим фактором при определении наилучшего плана проведения ПСР являются ожидаемый предотвращенный ущерб и время прибытия к месту происшествия и ликвидации ЧС. Следовательно, в качестве элементов матрицы выигрышей возможно принять ожидаемое время ликвидации ЧС, что позволит сократить время проводимых расчетов.

Литература

1. О проведении итогов деятельности ведомства за 2012 год и постановке задач на 2013 год: Доклад Министра МЧС России В.А. Пучкова // Вестн. МЧС России. 2013. № 1 (59).
2. Анфилатов В.С. Системный анализ в управлении. М.: Финансы и статистика, 2007.
3. Исаков С.Л. Математические модели информационного обеспечения систем управления ГПС МЧС России: монография. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2008.
4. Перевалов А.С., Попов В.В., Сугак В.П. Обоснование направлений обеспечения безопасности при чрезвычайной ситуации на акватории внутренних водоемов // Проблемы упр. рисками в техносфере. 2011. № 4 (20). С. 66–73.
5. Вентцель Е.С. Исследование операций. М.: Советское радио, 1972. 552 с.
6. Дубров А.М., Лагоша Б.А., Хрусталева Е.Ю. Моделирование рискованных ситуаций в экономике и бизнесе: учеб. М.: Финансы и статистика, 2000.