

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНЖЕНЕРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЕЙСТВИЙ СПАСАТЕЛЬНЫХ ФОРМИРОВАНИЙ

Доктор техн. наук *В.А. Седнев*,  
Академия государственной противопожарной службы МЧС России

*А.В. Седнев*

Московский государственный технический университет  
им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)

*Рассмотрены основные положения исследования операций и системного подхода применительно к действиям спасательных формирований, системного анализа их инженерного обеспечения, особенности выбора и обоснования критериев эффективности инженерного обеспечения действий спасательных формирований, влияющего на эффективность выполнения ими задач, а также основные показатели, характеризующие процессы выполнения задач инженерного обеспечения.*

**Ключевые слова:** спасательные формирования, инженерное обеспечение, управление, критерии эффективности, обобщенный критерий эффективности, оптимизационные задачи, критерий оптимизации, поддержка принятия решений.

## ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF ENGINEERING SUPPORT FOR RESCUE TEAMS

Dr (Tech) *V.A. Sednev*  
Academy of state fire service of EMERCOM of Russia

*A.V. Sednev*

Moscow state technical University them. N.E. Bauman (national research University)

*The basic principles of operations research and system approach applied to the actions of rescue groups, a systematic analysis of their engineering, especially the selection and justification of criteria of efficiency of the engineering operations of the rescue units that affect the efficiency performance of their tasks, as well as the main indicators characterizing the process of task execution engineering support.*

**Keywords:** rescue formations, engineering support, management, performance criteria, generalized efficiency criterion of the optimization problem, the optimization criterion, the decision support.

Системный анализ инженерного обеспечения действий спасательных формирований включает [1-3]:

- определение понятия системы инженерного обеспечения;
- обоснование целей и критериев эффективности функционирования системы инженерного обеспечения;
- построение математических моделей для обоснования решений.

Инженерные подразделения, как правило, являются элементом различных спасательных сил, которые являются сложными системами с управлением, состоящими из ряда подсистем и имеющими иерархическую структуру.

Для дальнейшего рассмотрения примем группировку спасательных сил. Обозначим эту систему  $C_o$ . Выделение инженерных подразделений в качестве самостоятельной системы  $C_{oi}$  обусловлено спецификой выполняемых задач и ролью в общей системе  $C_o$ .

Под инженерной системой группировки спасательных сил  $C_{oi}$  будем понимать совокупность органов управления, штатных и приданных инженерных подразделений, взаимосвязанных и взаимодействующих между собой и с другими объектами группировки спасательных сил.

Структура, критерии функционирования системы инженерного обеспечения действий группировки спасательных сил (СИОДГСС), в первую очередь, должны обуславливаться целями инженерного обеспечения, а также силами и средствами, используемыми для достижения этих целей.

Система инженерного обеспечения действий группировки спасательных сил рассматривается как совокупность трех подсистем [1-3]:

$$C_{иодгсс} = C_u + C_{рвс} + C_{об}, \quad (1)$$

где  $C_u$  – инженерная подсистема группировки спасательных сил;  $C_{рвс}$  – подсистема других формирований, привлекаемых для выполнения задач инженерного обеспечения;  $C_{об}$  – подсистема объектов, используемых в интересах инженерного обеспечения действий спасательных формирований.

*Инженерное обеспечение спасательных формирований охватывает разноплановые задачи, решаемые ими при ведении различных действий, при совершении маневра, передвижений, расположении на месте, такие как:*

инженерная разведка зоны чрезвычайной ситуации, возможных путей выдвижения в неё, местности и объектов;

фортификационное и инженерное оборудование районов развертывания пунктов управления, районов размещения спасательных формирований, пострадавшего населения, устройство инженерных сооружений для жилья и быта;

производство разрушений, устройство проездов и проходов в завалах и разрушениях, преодоление разрушений, ликвидация последствий разрушений;

устройство переходов через препятствия;

проверка на минирование участков местности и объектов, где спасательные формирования планируют выполнять задачи, уничтожение (обезвреживание) взрывоопасных предметов;

подготовка и содержание путей движения, маневра и эвакуации;

обеспечение преодоления затоплений, оборудование и содержание переправ через водные преграды;

оборудование и содержание пунктов добычи и очистки воды;

полевое электроснабжение;

эксплуатация и ремонт инженерно-технических средств;

проведение инженерных мероприятий по тушению пожаров и др.

Влияние функционирования подсистемы инженерного обеспечения на повышение эффективности функционирования системы (спасательного формирования) можно оценить приращением показателя, характеризующего ход и исход функционирования системы  $C_o$ , который будем обозначать через  $W$ .

Критерий эффективности  $K_{ЭИО}$  системы инженерного обеспечения действий группировки спасательных сил  $C_{Иодгсс}$  можно определить по формуле [4]

$$K_{ЭИО} = \frac{W(C_o, C_{Иодгсс}) - W(C_o, \bar{C}_{Иодгсс})}{W(C_o, C_{Иодгсс})}, \quad (2)$$

где:  $W(C_o, C_{Иодгсс})$  – показатель функционирования системы  $C_o$  при наличии в ней подсистемы  $C_{Иодгсс}$ ;  $W(C_o, \bar{C}_{Иодгсс})$  – показатель функционирования системы  $C_o$  в предположении, что подсистема  $C_{Иодгсс}$  не функционирует.

Для оценки эффективности инженерного обеспечения спасательных формирований в целом и отдельных его задач должен быть определен, и обоснован критерий эффективности функционирования рассматриваемой системы [5, 6].

При исследовании спасательных формирований может быть использовано понятие «критерий боевой эффективности», который определяется как показатель, по численному значению которого можно оценивать эффективность их техники и действий.

Любые системы создаются для достижения определенных целей. При этом важным является оценка степени достижения поставленной цели системой, то есть эффективности ее функционирования. Поэтому *говоря об эффективности инженерного обеспечения, понимаем под этим степень его влияния на выполнение спасательными формированиями задач в условиях конкретной обстановки.*

Что касается каждой отдельной задачи инженерного обеспечения, то, наряду с оценкой степени ее влияния на выполнение спасательными формированиями задач, правомерно оценивать эффективность ее выполнения только по степени соответствия выполненного объема задачи требуемому.

Поэтому целесообразно использовать такие понятия как [1, 4]:

внешние критерии эффективности инженерного обеспечения, к которым можно отнести «критерий эффективности инженерного обеспечения» и «критерий эффективности задачи инженерного обеспечения»;

внутренние критерии эффективности инженерного обеспечения, к которым можно отнести «критерии эффективности выполнения задачи инженерного обеспечения».

Для оценки эффективности систем (действий, операций), имеющих несколько целей, при обосновании решений используется [4, 6] система критериев, характеризующих различные факторы, определяющие ход и исход действий. На основе анализа целей операции из системы критериев выбирается один критерий, который определяется как главный, основной или общий.

В качестве главного критерия может приниматься и критерий, который получают различными способами на основе системы критериев, каждый из которых определяется как частный показатель эффективности. Такой критерий, получаемый на основе частных, называется обобщенным критерием эффективности. Количественное выражение критерия эффективности является показателем эффективности.

Наряду с понятием «критерий эффективности» важным является понятие «критерий оптимальности» [1], который можно определить как значение показателя эффективности, достигаемое при наиболее целесообразном, оптимальном решении или действии.

В общем случае показатели, характеризующие ход или исход операции или функционирования системы, обозначаются через  $W$  или  $V$ , которые являются функцией двух групп величин

$$W = F(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m), \quad (3)$$

где  $\alpha_i$  – параметры, на которые лицо, принимающее решение, оказывать влияние не может;  $\beta_j$  – параметры, характеризующие принимаемое решение (способ действий) и зависящие от лица, принимающего решение.

В качестве показателей могут выступать: объемы задач инженерного обеспечения, выполняемых за определенное время, темп выполнения задачи, достигаемая очередь инженерного оборудования, живучесть – сохраненный потенциал, и др.

Значение показателя  $W$ , вычисленное для наиболее рационального (оптимального) решения, дает численное значение критерия оптимальности  $W_{opt}$ .

В ряде случаев определение показателя  $W_{opt}$  является затруднительным и вместо этого значения принимается значение  $W_{mp}$ , т.е. значение, которое необходимо достичь. С учетом этого, критерии эффективности операций строятся, как правило, на основе соотношений [1]:

$$K_{\text{Э}} = \frac{W}{W_{opt}} ; \quad (4)$$

$$K_{\text{Э}} = \frac{W}{W_{mp}} , \quad (5)$$

где  $W$  - показатель эффективности операции, соответствующий любому оцениваемому решению  $\beta_j$ ;  $W_{mp}$  – требуемое значение показателя эффективности.

Критерии вида (4-5) носят сравнительный характер и их значения лежат, как правило, в пределах от 0 до 1. Сравнение расчетного показателя с оптимальным или требуемым позволяет оценить любое принимаемое решение, достигаемый при этом результат.

Эффективность функционирования некоторой подсистемы инженерного обеспечения  $C_1$  на уровне системы  $C_0$  (спасательного формирования) оценивается приращением показателя  $W$ , то есть «вкладом» ее в общий показатель эффективности функционирования системы  $C_0$ .

Аналогично (2) критерий эффективности функционирования подсистемы  $C_1$  в системе  $C_0$  определится из выражения

$$K_{\text{Э}} = \frac{W(C_0, C_1) - W(C_0, \bar{C}_1)}{W(C_0, C_1)} , \quad (6)$$

где  $W(C_0, C_1)$  - показатель функционирования системы  $C_0$  при наличии в ней подсистемы  $C_1$ ;  $W(C_0, \bar{C}_1)$  - то же в предположении, что подсистема  $C_1$  не функционирует.

При оптимальном функционировании подсистемы  $C_1$  соотношение показывает ее максимальный вклад в функционирование системы  $C_0$ , что характеризуется значением  $K_{\text{Э}}^{opt}$ . Зная величину  $K_{\text{Э}}^{opt}$ , можно оценить степень использования потенциальных возможностей подсистемы  $C_1$  для любого оцениваемого варианта, приняв в качестве такого показателя отношение  $K_{\text{Э}}/K_{\text{Э}}^{opt}$ .

Для обоснования  $K_{\text{Э}}$  важно правильно определить содержание величин  $W$ , характеризующих ход операции или ее конечную цель. Например, при инженерном оборудовании пункта временного размещения, безопасного района, этими параметрами могут быть: достигаемые объемы инженерного оборудования за имеющееся время, живучесть и др.

*Пример.* Инженерное обеспечение переправы через водную преграду в зоне катастрофического затопления.

В ходе наводнения возникает необходимость преодоления спасательными силами водных преград, как естественных, так и образованных в результате подъема воды и затопления оврагов, других низменных мест.

В зависимости от обстановки, характера водной преграды, наличия переправочных средств и конструкций различают следующие виды переправ [7]: десантные (на самоходных переправочно-десантных средствах, на судах речного флота и др.); паромные; мостовые (по постоянным мостам, наплавным, низководным, высоководным и механизированным мостам); вброд, по дну и по глубоким бродам и т.д.

Для устройства десантных переправ используются гусеничные плавающие транспортеры (ПТС), десантные и надувные лодки, другие средства.

Для устройства паромных переправ используются гусеничные самоходные паромы (ГСП), паромно-мостовые машины (ПММ) и паромы, буксируемые катером. Для устройства мостовых переправ могут применяться танковые механизированные мосты (МТУ-20, -72), понтонно-мостовой парк (ПМП), тяжелый механизированный мост (ТММ) и другие.

Успешное решение рассматриваемой задачи возможно при наличии заблаговременной подготовки органов управления и привлекаемых сил. Основной целью инженерного обеспечения будем считать обеспечение переправы через водную преграду спасательным подразделением (элементом группировки спасательных сил) в заданном темпе  $V_{mp}$ . Величина  $V_{mp}$  может рассматриваться как оптимальный, требуемый темп переправы через водную преграду.

В качестве показателя, характеризующего основное содержание инженерного обеспечения переправы, следует принять расчетный темп переправы через водную преграду. В соответствии с (3) запишем это в виде модели

$$V_0^{uof} = V_0 (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m), \quad (7)$$

позволяющей для конкретных условий (силы, средства, способ переправы, данные о водной преграде и др.) рассчитать темп переправы через водную преграду спасательным подразделением.

В соответствии с (5) в качестве критерия эффективности инженерного обеспечения переправы через водную преграду следует принять

$$K_{\text{Э}}^{\text{НОФ}} = \frac{V_0^{uof}}{V_{mp}}. \quad (8)$$

Если в результате моделирования  $V_0^{uof}$  окажется больше  $V_{mp}$ , то это свидетельствует о том, что возможности по переправе через водную преграду выше, чем требуется.

Рассмотрим этот же пример по выбору показателя эффективности с позиций системного подхода. В качестве системы  $C_0$  примем спасательное подразделение (элемент группировки спасательных сил), а цель его функционирования - переправа через водную преграду.

Подсистемой является система инженерного обеспечения переправы  $C_1$ , то есть соответствующие силы и средства. Тогда в соответствии с (6)

$$K_{\text{Э}}^{\text{НОФ}} = \frac{V(C_0, C_1) - V(C_0, \bar{C}_1)}{V_{mp}}, \quad (9)$$

где  $V(C_0, C_1)$  - темп переправы через водную преграду при инженерном обеспечении действий спасательного подразделения, реализующего возможный вид переправы;  $V(C_0, \bar{C}_1)$  - то же при отсутствии инженерного обеспечения действий. Если переправа без инженерного обеспечения невозможна, то величина  $V(C_0, C_1)$  равна нулю и выражения (8) и (9) будут совпадать.

Инженерное обеспечение не является самоцелью, и его эффективность должна оцениваться по влиянию на выполнение задач спасательными формированиями, то есть по конечному результату функционирования более общей системы. По содержанию показатели эффективности инженерного обеспечения должны соответствовать целям инженерного обеспечения, отражать параметры, характеризующие процесс подготовки и ведения действий, выполнения задач.

*Критерии эффективности инженерного обеспечения должны характеризовать успех задачи (задач), как степень обеспечения выполнения задач спасательными формированиями (системой более высокого уровня). Такого рода критерии называются критериями эффективности задач  $K_z$  и для системы инженерного обеспечения эти критерии являются внешними.*

Рассматривая эффективность инженерного обеспечения, правомерной является задача обоснования критериев оценки эффективности выполнения как отдельных задач инженерного обеспечения, так и комплекса задач, то есть критериев функционирования системы инженерного обеспечения как самостоятельной системы. При этом, критерии эффективности инженерного обеспечения должны характеризовать успех выполнения каждой задачи (комплекса задач), как степень достижения определенной цели, состоящей в выполнении задачи (задач) в заданные сроки и в полном объеме  $K_{BЗ}$ , например, отношение достигаемой живучести спасательных формирований к требуемой, отношение подготавливаемого количества (протяженности) путей к требуемому, и др. *Для системы инженерного обеспечения эти критерии являются внутренними.*

Различие в понятиях «эффективность выполнения задач» и «эффективность задач» применительно к основным задачам инженерного обеспечения показано на примере содержания табл.1, - третья колонка отражает понятие показателей эффективности выполнения задач инженерного обеспечения, а четвертая – показателей эффективности этих задач, как результата их влияния (вклада) на выполнение задач спасательными формированиями.

Один и тот же успех выполнения задачи (задач) инженерного обеспечения может оказывать различное влияние на действия спасательных формирований, следовательно, эффективность задачи (задач) зависит от увязки ее с характером действий спасательных формирований, временем, местом и другими условиями выполнения задач и их комплекса в интересах обеспечиваемой системы.

Объем задачи и время, которые обуславливаются обстановкой, называются требуемыми или заданными величинами и обозначаются, соответственно,  $Q_{mp}$  и  $T_{mp}$ . Тогда средний темп (скорость) выполнения задачи определяется из соотношения

$$V_{TP} = \frac{Q_{mp}}{T_{mp}}. \quad (10)$$

Величина  $V_{TP}$  отражает требуемый темп выполнения задачи, то есть такой, при котором обеспечивается выполнение задачи в требуемом объеме за заданное время. Понятие «темп выполнения задачи» наиболее применимо к таким задачам, как подготовка и содержание путей, оборудование и содержание переправ, однако его можно применить и для задачи проделывания проходов в разрушениях. Выполняемый объем задачи или достигаемый темп ее выполнения в условиях данной обстановки принято называть расчетным, так как обычно он определяется расчетным путем, и его принято обозначать  $Q_{pc}$ ,  $V_{pc}$ .

Объем задачи  $Q_{pc}$ , который может быть выполнен имеющимися силами ( $C$ ) за заданное время  $T_{mp}$  в данных условиях, может быть определен с помощью выражения

$$Q_{pc} = f(C, T_{mp}, q, K_y, K_c), \quad (11)$$

где  $q$  – единичный или тактический норматив выполнения задачи одним расчетом или спасательным подразделением;  $K_y$  – коэффициент условий выполнения задачи;  $K_c$  – коэффициент, учитывающий способ выполнения задачи.

**Внутренние и внешние критерии эффективности выполнения отдельных задач инженерного обеспечения**

№ пп	Задачи инженерного обеспечения	Критерии (показатели)	
		Эффективность выполнения задачи	Эффективность задачи (комплекса задач)
1.	Инженерная разведка	Отношение количества разведанных (ой) объектов площади к требуемому (ой)	Влияние на темп движения, выполнения задач
2.	Инженерное или фортификационное оборудование	Отношение достигаемой живучести населения, личного состава к требуемой	Влияние на живучесть населения, личного состава (сохранение потенциала)
3.	Производство разрушений	Отношение проделываемой площади (количества) разрушений к требуемой (требуемому)	Влияние на темп продвижения, ввода сил в зону чрезвычайной ситуации
4.	Продельывание проходов при поиске взрывоопасных предметов или при разминировании местности	Отношение количества проделываемых проходов к требуемому	Влияние на достижение требуемого темпа разминирования местности
5.	Выполнение задач скрытия и имитации	Снижение вероятности обнаружения объектов	Влияние на живучесть населения, личного состава (сохранение потенциала)
6.	Подготовка и содержание путей	Отношение подготавливаемого (ой) количества (протяженности) путей или темпа подготовки путей к требуемому	Влияние на достижение требуемого темпа подготовки путей
7.	Оборудование и содержание переправ через водные преграды	Отношение подготавливаемого количества переправ к требуемому для переправы в установленные сроки	Степень достигаемого темпа переправы к требуемому

Расчетный средний темп выполнения задачи за время  $T_{mp}$  определяется по формуле

$$V_{PC} = \frac{Q_{PC}}{T_{mp}} \quad (12)$$

Для пояснения сущности расчета рассмотрим пример, связанный с подготовкой путей: требуется подготовить путь протяженностью 80 км в течение двух суток. Для выполнения задачи назначены два инженерно-дорожных спасательных подразделения. Норматив для средних условий одним подразделением равен  $q = 40$  км/сут. По формуле (10) определяем

$$V_{mp} = \frac{Q_{mp}}{T_{mp}} = \frac{80}{2} = 40 \text{ км/сут.} \quad (13)$$

Тогда:

$$Q_{PC} = f(C, q, T_{mp}, K_y, K_c). \quad (14)$$

При  $C=2$ ,  $T_{mp} = 2$  сут.,  $q = 40$  км/сут и условиях выполнения задачи, которые характеризуются коэффициентами  $K_y = 0,5$ ,  $K_c = 0,8$

$$Q_{pc} = 2 \cdot 40 \cdot 2 \cdot 0,5 \cdot 0,8 = 64 \text{ км.} \quad (15)$$

Расчетный темп выполнения задачи, в соответствии с (12),

$$V_{pc} = \frac{64}{2} = 32 \text{ км / сут.} \quad (16)$$

Величины  $Q_{pc}$  и  $V_{pc}$  следует рассматривать как математические ожидания соответствующих случайных величин, так как точное определение их не представляется возможным.

Под эффективностью выполнения рассматриваемой задачи будем понимать степень соответствия достигаемого темпа требуемому темпу подготовки пути в условиях конкретной обстановки. В соответствии с этим показатель эффективности может быть вычислен по формуле вида

$$K_{B3} = \frac{Q_{PC}}{Q_{TP}} = \frac{V_{PC}}{V_{TP}}. \quad (17)$$

При значениях показателя, близких к единице, можно считать, что задача в полном (требуемом) объеме (по математическому ожиданию) будет выполнена в заданное время.

Вариант, когда показатель эффективности выполнения задачи  $K_{B3}$  окажется больше единицы, будет свидетельствовать о том, что возможности подразделений выше требуемых в рассматриваемых условиях. В этом случае можно считать, что надежность выполнения задачи увеличивается. Показатель  $K_{B3}$  часто называют коэффициентом выполнения задачи [1]. Ориентировочно его не следует иметь выше 1,2-1,3. В рассматриваемом примере

$$K_{B3} = \frac{64}{80} = \frac{32}{40} = 0,8. \quad (18)$$

Поставленная задача назначенными силами может быть выполнена.

В ряде задач понятие «выполнение задачи» не имеет столь определенного смысла, как в примере. Поэтому выделяют [1] два класса задач инженерного обеспечения:

первый – задачи, для которых результат может быть оценен двумя состояниями: задача выполнена, задача не выполнена (путь подготовлен, мост построен и др.);

второй – задачи, для которых результат может быть оценен более, чем двумя состояниями: задача не выполнена, выполнена частично, выполнена полностью (количество переправленных людей, количество переправленной или восстановленной техники, проделанных проходов в завалах и др.).

Для задач первого класса критерий эффективности может быть определен как в приведенном примере, или в качестве критерия эффективности принимается вероятность выполнения задачи:

$$K_{B3} = P(A), \quad (19)$$

где  $A$  – событие, состоящее в том, что задача выполнена.



Для задач второго класса вводится градация степени их выполнения: выполнена, выполнена частично, не выполнена. Степень выполнения требуемого объема задачи  $Q_{mp}$  для большинства задач выражается следующим образом:

$$\begin{aligned} Q_{PC} &\leq (0,2 - 0,3) \cdot Q_{TP} && \text{– задача не выполнена;} \\ 0,3 \cdot Q_{TP} &< Q_{PC} < 0,8 \cdot Q_{TP} && \text{– задача выполнена частично;} \\ Q_{PC} &\geq 0,8 \cdot Q_{TP} && \text{– задача выполнена.} \end{aligned}$$

В этом случае эффективность выполнения задачи предлагается [1] выражать вероятностями соответствующих событий, например, вероятность выполнения задачи равна

$$P(A) = P(Q_{PC} \geq 0,8 \cdot Q_{MP}). \quad (20)$$

В общем случае, полагая случайными величинами объем задачи  $Q_{PC}$ , который может быть выполнен имеющимися силами в заданное время, и требуемый объем  $Q_{MP}$ , в качестве критерия эффективности выполнения задачи можно принять вероятность события, что  $Q_{PC} \geq Q_{MP}$ :

$$K_{B3} = P(Q_{PC} \geq Q_{MP}). \quad (21)$$

Вычисление показателя эффективности выполнения задачи по этой формуле трудоемко и требует знания законов распределения величин  $Q_{PC}$  и  $Q_{MP}$ .

Оценки такого вида, как правило, нужны при проведении исследований, а определенные критерии вида (17) – в штабных задачах (моделях).

При оценке эффективности инженерного обеспечения действий спасательных формирований возникает необходимость рассмотрения, как правило, нескольких критериев. В этом случае требуется принятие одного из них в качестве *главного*, либо получение некоторого *обобщенного критерия*, который использовался бы при решении оптимизационных задач.

В случае выбора *главного критерия* остальные критерии, как правило, рассматриваются в качестве ограничений.

Введение обобщенного критерия эффективности также должно соответствовать главной цели действий, характеризовать конечный результат. Задачу построения обобщенного критерия эффективности по частным критериям эффективности можно сформулировать как задачу построения функции

$$K = \varphi(K_1, K_2, K_3, \dots, K_n), \quad (22)$$

где  $K_1, \dots, K_n$  - частные критерии.

Наиболее распространены случаи построения этой функции на основе аддитивных (суммирование) и мультипликативных (умножение) преобразований:

$$K = \sum_{i=1}^N b_i \cdot K_i; \quad (23)$$

$$K = \prod_{i=1}^N K_i^{\lambda_i}; \quad (24)$$

$$K = \left( \prod_{i=1}^N b_i \cdot K_i \right)^{1/N}. \quad (25)$$

Применительно к процессам инженерного обеспечения действий спасательных формирований наибольшее распространение имеет соотношение (23).

Так, если вероятность сохранения сооружения  $i$ -го типа обозначить через  $q_i$ , а через  $K_i$  – их количество, то математическое ожидание числа сохранившихся сооружений может быть определено по формуле вида (23)

$$Q = \sum_{i=1}^N K_i q_i . \quad (26)$$

Значения  $q_i$  в этом случае следует рассматривать как частные критерии, а величину  $Q$ , как обобщенный критерий эффективности.

Живучесть спасательных формирований, оцениваемая по величине сохраняющегося их потенциала, также вычисляется по формуле вида (23).

Соотношение (24) чаще применяется для получения обобщенного показателя надежности технических средств и систем при последовательном (без дублирования) соединении элементов.

Построение обобщенного критерия эффективности осуществляется на основе оценки «расстояния» между показателями эффективности оптимальных  $K_i^o, i = 1, n$  и оцениваемых  $K_i$  решений:

а) на основе суммы абсолютных отклонений

$$K = \sum_{i=1}^N |K_i^o - K_i| ; \quad (27)$$

б) на основе суммы относительных отклонений

$$K = \sum_{i=1}^N \left| \frac{K_i^o - K_i}{K_i^o} \right| ; \quad (28)$$

в) на основе среднеквадратического отклонения

$$K = \left[ \sum_{i=1}^N \left( \frac{K_i^o - K_i}{K_i^o} \right)^2 \right]^{1/2} . \quad (29)$$

В формулах вида (27-29) величина  $K_i^o$  может рассматриваться также как требуемое значение частного критерия эффективности. Это может быть требуемый темп подготовки пути, требуемая живучесть спасательных подразделений, объектов;

г) на основе наибольшего абсолютного отклонения от оптимального

$$K = \max_i |K_i^o - K_i| ; \quad (30)$$

д) на основе наибольшего относительного отклонения от оптимального

$$K = \max_i \left| \frac{K_i^o - K_i}{K_i^o} \right| ; \quad (31)$$

е) на основе наибольшего «расстояния» между оптимальным и оцениваемым решением с учетом коэффициента тактической значимости частной задачи

$$K = \max_i \left| \frac{K_i^o - K_i}{K_i^o} \cdot \omega_i \right|, \quad (32)$$

где  $\omega_i$  – коэффициент тактической значимости  $i$ -й задачи, а, если в качестве показателя эффективности частной задачи выступает время ее выполнения  $T_i$ , то, по аналогии с формулой (32), в качестве обобщенного критерия эффективности может быть принята величина

$$K = \max_i \left( \frac{T_i - T_i^o}{T_i^o} \cdot \omega_i \right), \quad (33)$$

где  $T_i^o$  - требуемое время выполнения  $i$ -той задачи.

Один из таких методов - метод оценки эффективности по эффективности «системы-эталона», использующий обобщенный критерий на основе относительных отклонений частных критериев различной размерности.

В этом случае обобщенный критерий может быть сформулирован в виде:

суммы относительных отклонений для частных критериев различной размерности

$$K = \sum_{i=1}^m \frac{y_i^{(0)} - y_i}{y_i^{(0)} - y_i^{\min}} + \sum_{i=m+1}^n \frac{y_i - y_i^{(0)}}{y_i^{\max} - y_i^{(0)}}, \quad (34)$$

где:  $y_i$  ( $i=1...m$ ) – параметры системы, подлежащие максимизации;  $y_i$  ( $i=m+1...n$ ) – параметры системы, подлежащие минимизации;  $y_i^{\min}$ ,  $y_i^{\max}$  - наименьшие значения для максимизируемых и наибольшее для минимизируемых параметров оптимальности по всему множеству вариантов;

наибольшего абсолютного отклонения от идеального для каждого из параметров

$$K = \max \left( \frac{y_i^{(0)} - y_i}{y_i^{(0)} - y_i^{\min}}, \frac{y_j - y_j^{(0)}}{y_j^{\max} - y_j^{(0)}} \right), \quad (35)$$

где  $i=1...m$ ,  $j=m+1...n$ .

Основным недостатком подхода является невозможность учитывать ценность (полезность) параметров оптимизации  $y_i$ , используемых при решении задачи выбора варианта, а также сложность выбора системы-эталона, т.е. лучшей из функционирующих систем.

Обобщенные критерии эффективности в оптимизационных задачах, как правило, принимаются в качестве целевых функций.

Наряду с (23-33) возможно построение и других соотношений для определения обобщенных критериев эффективности. Такая необходимость может возникнуть на основе анализа физической сущности рассматриваемых задач.

Для примера применения формул (23) и (32) с целью вычисления обобщенного критерия эффективности инженерного обеспечения переправы через водную преграду предположим, что в составе первого эшелона переправляются три спасательных подразделения.

В качестве частных критериев эффективности примем показатели вида

$$K_i^\phi = \frac{V_i^\phi}{V_H^o}, \quad (36)$$

где  $V_i^\phi$  - возможный (расчетный) темп переправы через водную преграду  $i$ -тым спасательным подразделением;  $V_H^o$  - темп переправы или требуемый темп.

Полагая в формуле (23) число спасательных подразделений  $n = 3$ ,  $b_i = 1/3$ , получим

$$K^\phi = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 K_i^\phi = \frac{1}{3} \cdot \frac{\sum_{i=1}^3 V_i^\phi}{V_H^o} = \frac{V_{CP}}{V_H^o}.$$

Следовательно, обобщенным показателем эффективности может быть отношение среднего темпа переправы к требуемому темпу переправы -  $V_H^o$ .

Недостатком критерия является «осреднение» его по частным критериям.

Если расчет выполнить по (32), то

$$K^\phi = \max \left( \frac{V_H^o - V_i^\phi}{V_H^o} \cdot \omega_i, 0 \right), \quad (37)$$

где  $\omega_i$  – коэффициент, учитывающий, на каком направлении – главном или другом, – осуществляет переправу через водную преграду  $i$ -тое спасательное подразделение; ноль в скобках показывает, что нецелесообразно рассматривать варианты, при которых  $V_i^\phi > V_H^o$ .

При решении оптимизационных задач с целевой функцией вида (32) в качестве оптимального принимается такой вариант распределения сил (средств), при котором наибольшее отклонение по частным критериям будет минимальным. Для большинства задач используют критерии вида (23-33).

Подготовка, ход и исход действий спасательных формирований, их инженерное обеспечение характеризуются определенными параметрами или показателями. При выполнении задач инженерного обеспечения их действий часто приходится оперировать такими понятиями, как объем задачи, темп выполнения задачи, время, применяемые силы и средства, их состояние и др.

В связи с этим и критерии эффективности должны включать соответствующие показатели, отражающие содержание параметров, характеризующих процессы выполнения задач инженерного обеспечения и действий спасательных формирований. Остановимся на основных из этих параметров [1]:

«боеспособность спасательных формирований», «живучесть спасательных формирований», «потери», - наиболее общие и важные показатели, определяющие процесс спасательных и аварийных действий и их исход. Эти параметры могут являться показателями, характеризующими в обобщенном виде эффективность различных задач, в том числе и задач инженерного обеспечения;

*«темп выполнения задачи»*, - этот показатель является достаточно общим как применительно к процессу спасательных и аварийных действий, так и к выполнению задач инженерного обеспечения. Критерий, характеризующий степень соответствия достигаемого (расчетного) темпа выполнения задачи требуемому, может полно отражать успех достижения поставленных целей;

*«время выполнения задачи»*, - фактор времени является одним из важнейших, обуславливающих успех, и эффективность выполнения задач. Этот показатель в той или иной мере должен учитываться при выборе критериев эффективности инженерного обеспечения спасательных формирований;

*«объем задачи»*, - этот показатель, как и фактор времени, отражает существенную сторону процесса выполнения задач инженерного обеспечения. Объем задачи может характеризоваться: глубиной задачи, количеством переправляемых людей, техники, других материальных ценностей, количеством возводимых сооружений и т.п. Показатели объемов задач как требуемых, так и выполняемых в определенных условиях за имеющееся время, могут являться важным фактором, характеризующим успех достижения поставленных целей;

*«силы и средства»*, - эти параметры являются существенными с точки зрения влияния на успех выполнения задач. Они рассматриваются как параметры функции для вычисления показателей эффективности. Целесообразное распределение сил и средств, выбор рациональных способов спасательных и аварийных действий является важнейшей задачей большинства оптимизационных задач и входит в компетенцию лица, принимающего решение;

*«эффективность – стоимость (затраты)»*. Под затратами в общем плане можно понимать затраты сил, средств, времени, экономические затраты [1, 6]. Соотношение «эффективность – стоимость» является важным в вопросах обоснования требований к средствам и системам, применяемым при спасательных и аварийных действиях. Чем выше эффективность, достигаемая на единицу стоимости, тем более рациональным будет и соответствующее решение.

Процесс выполнения задач спасательным формированием подвержен влиянию случайных факторов. Это относится как к параметрам используемых средств, так и к условиям выполнения задач.

При этом *целесообразно применение следующих характеристик:*

математическое ожидание случайных величин, характеризующих процесс или результат действий (эффект), например, достигаемая очередь инженерного оборудования безопасного района, пункта временного размещения пострадавшего населения за имеющееся время; достигаемый темп подготовки путей, переправы через водную преграду; достигаемая эффективность скрытия и имитации спасательных формирований и объектов;

вероятности случайных событий, например, вероятность сохранения живучести пункта управления при расчетном воздействии, вероятность сохранения боевого потенциала спасательного формирования, вероятность выполнения задачи за определенное время, вероятность обнаружения объекта и др.;

математические ожидания случайных величин и вероятности случайных событий как функции времени. В качестве примера можно рассмотреть: зависимости вероятности обнаружения (необнаружения) объектов, живучести спасательных формирований, объема выполняемой задачи и др. от времени.

Ввиду сложности и многофакторности инженерного обеспечения для его оценки применяются главные (обобщенные) и частные (дополнительные) критерии эффективности.

*Главные или обобщенные критерии должны отражать* наиболее существенные стороны процесса подготовки и ведения спасательных и аварийных действий, конечный результат влияния инженерного обеспечения на действия спасательных формирований. К таким критериям можно отнести: сохранение боевого потенциала спасательного формирования (обобщенной числовой характеристики его возможностей), изменение темпа выдвигания и т.п.)

К числу частных или дополнительных критериев можно отнести время задержки спасательных формирований, уменьшение (увеличение) их потерь, изменение возможностей средств и др.

Количественно степень влияния инженерного обеспечения, как подсистемы действий спасательного формирования, на сохранение боевого потенциала или темп выполнения задачи, следует оценивать приращением соответствующих показателей. Такой критерий характеризует «вклад» инженерного обеспечения в достижение конечного результата, определяющего выполнение задач.

Исходя из этого, задачи инженерного обеспечения по влиянию на боевой потенциал можно оценивать по формуле [1]

$$K_{\text{Э}}^{\text{БП}} = \frac{B_{\text{п}}^{(\text{ИО})} - B_{\text{п}}^{(\text{ОИО})}}{B_{\text{п}}^{(\text{О})}}, \quad (38)$$

где  $B_{\text{п}}^{(\text{ИО})}$  - боевой потенциал спасательного формирования, вычисленный при условии выполнения задач инженерного обеспечения;  $B_{\text{п}}^{(\text{ОИО})}$  - то же, но при условии, что задачи инженерного обеспечения не выполняются;  $B_{\text{п}}^{(\text{О})}$  - начальное значение боевого потенциала (без учета возможного воздействия).

Эффективность инженерного обеспечения по влиянию на снижение возможного темпа развития чрезвычайной ситуации предлагается оценивать по зависимости

$$K_{\text{Э}}^{\text{V}} = \frac{V_n^{(\text{ОИО})} - V_n^{(\text{ИО})}}{V_n^{(\text{ОИО})}} = 1 - \frac{V_n^{(\text{ИО})}}{V_n^{(\text{ОИО})}}. \quad (39)$$

где  $V_n^{(\text{ОИО})}$  - возможный темп развития чрезвычайной ситуации в предположении, что задачи инженерного обеспечения не выполняются;  $V_n^{(\text{ИО})}$  - то же при выполнении задач инженерного обеспечения действий спасательных формирований.

В качестве дополнительного критерия эффективности функционирования системы инженерного обеспечения может быть время задержки темпа развития чрезвычайной ситуации на определенных рубежах и другие.

Эффективность инженерного обеспечения по влиянию на темп выдвижения спасательных формирований в зону чрезвычайной ситуации можно оценить величиной

$$K_{\text{Э}}^{\text{V}} = \frac{V_C^{(\text{ИО})} - V_C^{(\text{ОИО})}}{V_{\text{мп}}}, \quad (40)$$

где  $V_C^{(\text{ИО})}$  - возможный темп выдвижения спасательных формирований в зону чрезвычайной ситуации или предполагаемый район выполнения работ при осуществлении инженерного обеспечения;  $V_C^{(\text{ОИО})}$  - то же при отсутствии инженерного обеспечения действий спасательных формирований;  $V_{\text{мп}}$  - планируемый темп в соответствии с решением.

Показатели вида (38-40) определяются применительно к определенным этапам действий спасательных формирований. Рассмотрим основные соотношения для оценки эффективности основных задач инженерного обеспечения.

*Инженерная разведка.* Под эффективностью инженерной разведки понимается степень влияния данных разведки на действия и потери спасательных формирований, рациональное распределение инженерных сил и средств при выполнении задач инженерного обеспечения в условиях конкретной оперативной и инженерной обстановки. Эффективность

инженерной разведки, в первую очередь, зависит от времени, количества, типов разведанных объектов, места их расположения в соответствующих районах. Количественно эффективность выполнения задачи целесообразно оценивать критериями вида (17) [1]

$$K_{B3} = \frac{Q_{PC}}{Q_{TP}}, \quad (41)$$

т.е. отношением числа обнаруженных объектов (с учетом их типов) к общему их числу, а эффективность задачи – недопущением потерь людей, личного состава спасательных подразделений, более рациональным использованием сил и средств. Для этого целесообразно использовать соотношения вида (38) и (40).

При этом  $Q_{TP}$  – требуемый объем задачи,  $Q_{PC}$  - объем задачи, который может быть выполнен имеющимися силами за заданное время.

*Инженерное (фортификационное) оборудование районов, занимаемых спасательными формированиями и пострадавшим в чрезвычайной ситуации населением.* Под эффективностью инженерного (фортификационного) оборудования районов, занимаемых спасательными формированиями и пострадавшим в чрезвычайной ситуации населением, понимается степень его влияния на живучесть (защищенность, жизнеобеспечение) людей или сохранение боевого потенциала спасательных формирований в условиях конкретной обстановки.

Количественно эффективность инженерного (фортификационного) оборудования по влиянию на живучесть (защищенность, жизнеобеспечение) людей или на сохранение боевого потенциала спасательных формирований может быть оценена по формуле вида (38) [1]

$$K_{\Phi O}^{B\Pi} = \frac{B_{\Pi}^{(\Phi O)} - B_{\Pi}^{(O\Phi O)}}{B_{\Pi}^{(O)}}, \quad (42)$$

где  $B_{\Pi}^{(\Phi O)}$  – живучесть (защищенность, жизнеобеспечение) людей или боевой потенциал спасательных формирований при выполнении инженерного (фортификационного) оборудования;  $B_{\Pi}^{(O\Phi O)}$  – то же при его отсутствии;  $B_{\Pi}^{(O)}$  - начальное значение живучести или боевого потенциала. Вычисление величин должно проводиться с учетом выполнения других задач инженерного обеспечения, например, скрытия и имитации.

Пример: оценить эффективность инженерного (фортификационного) оборудования безопасного района, пункта временного размещения пострадавшего населения, пункта временной дислокации спасательного формирования, при этом живучесть может быть оценена по формуле

$$B = Q = 1 - P_{об} \cdot P_{пор}, \quad (43)$$

где  $P_{об}$  - вероятность обнаружения района (воздействия поражающих факторов чрезвычайной ситуации);  $P_{пор}$  - вероятность поражения людей или личного состава при расчетном воздействии.

Пусть для первого варианта  $P_{об} = 1$ , а вероятности поражения при инженерном (фортификационном) оборудовании и без него, соответственно, равны  $P_{пор}^{(\Phi O)} = 0,2$ ,  $P_{пор}^{(O\Phi O)} = 1$ .

Тогда

$$K_{\Phi O}^{(1)} = \frac{(1 - 1 \cdot 0,2) - (1 - 1 \cdot 1)}{1} = 0,8,$$

то есть приращение живучести на 80% достигается за счет инженерного (фортификационного) оборудования.

Если при тех же значениях  $P_{нор}^{(фo)}$  и  $P_{нор}^{(офo)}$  вероятность обнаружения равна 0,5, то эффективность инженерного (фортификационного) оборудования

$$K_{фo}^{(2)} = \frac{(1 - 0,5 \cdot 0,2) - (1 - 0,5 \cdot 1)}{1} = 0,4,$$

то есть приращение живучести в два раза ниже, чем для первого случая, так как вероятность обнаружения тоже снижается в два раза.

*Преодоление разрушений.* Под эффективностью инженерного обеспечения преодоления разрушений понимается, как вариант, степень его влияния на темп выдвижения (маневра) спасательных формирований в условиях конкретной обстановки. Количественно эффективность задачи можно оценить по соотношению вида

$$K_{пз} = \frac{V_c^{(пз)} - V_c^{(опз)}}{V_{тр}}, \quad (44)$$

где  $V_c^{(пз)}$  - расчетный темп выдвижения;  $V_c^{(опз)}$  - темп выдвижения в предположении, что инженерное обеспечение не выполняется;  $V_{тр}$  - требуемый (заданный) темп выдвижения.

В качестве дополнительных критериев эффективности инженерного обеспечения преодоления разрушений могут быть приняты показатели, характеризующие снижение потерь спасательных формирований, времени задержки и др.

*Подготовка и содержание путей.* Под эффективностью подготовки и содержания путей понимается степень влияния выполняемой задачи на обеспечение темпа выдвижения, маневра и развертывания спасательных формирований в условиях конкретной оперативной и инженерной обстановки.

Количественно эффективность подготовки путей может быть оценена показателем

$$K_{пп} = \frac{V_c^{(пп)} - V_c^{(опп)}}{V_{тр}}, \quad (45)$$

где  $V_c^{(пп)}$  - расчетный темп выдвижения спасательных формирований при выполнении задачи подготовки и содержания путей;  $V_c^{(опп)}$  - расчетный темп выдвижения в предположении, что подсистема подготовки путей не функционирует;  $V_{тр}$  - требуемый темп выдвижения.

В качестве дополнительных критериев могут приниматься показатели снижения потерь спасательных формирований и времени их задержки на определенных рубежах, этапах и др.

*Инженерное обеспечение переправы через водную преграду.* Под эффективностью инженерного обеспечения переправы через водную преграду понимается степень соответствия достигаемого темпа переправы через водную преграду заданному темпу переправы в условиях конкретной обстановки.

Показатель эффективности инженерного обеспечения переправы через водную преграду может быть вычислен по формуле [1]

$$K_{ф} = \frac{V_c^{(иоф)} - V_c^{(оиоф)}}{V_{тр}}, \quad (46)$$

где  $V_c^{(иоф)}$  - расчетный темп переправы через водную преграду при его инженерном обеспечении;  $V_c^{(оиоф)}$  - то же при условии, что инженерное обеспечение переправы через водную преграду не осуществляется;  $V_{тр}$  - заданный темп переправы через водную преграду (преодоления водной преграды).



Если переправа через водную преграду без инженерного обеспечения невозможна, величина  $V_c^{(ДИОФ)}$  принимается равной нулю.

В качестве дополнительных критериев эффективности могут быть приняты показатели снижения потерь пострадавшего населения, личного состава спасательных формирований, переправочных средств и др.

*Создание системы заграждений.* Под эффективностью системы заграждений (инженерных сооружений) понимается ее влияние на снижение темпа развития чрезвычайной ситуации. Количественный показатель эффективности может быть получен по формуле, аналогичной (39),

$$K_{\text{ЭСЗ}} = \frac{V_{\Pi}^{(ОСЗ)} - V_{\Pi}^{(СЗ)}}{V_{\Pi}^{(ОСЗ)}} = 1 - \frac{V_{\Pi}^{(СЗ)}}{V_{\Pi}^{(ОСЗ)}},$$

где  $V_n^{(ОСЗ)}$  - возможный темп развития чрезвычайной ситуации в предположении, что система заграждений (инженерных сооружений) не создается;  $V_n^{(СЗ)}$  - то же при ее создании.

Дополнительным показателем эффективности системы заграждений (инженерных сооружений) может быть время задержки темпа развития чрезвычайной ситуации, снижение потерь пострадавшего населения и др.

Оценку эффективности системы заграждений целесообразно проводить применительно к отдельным рубежам, районам или задачам.

Задача вычисления показателей эффективности инженерного обеспечения требует моделирования процесса спасательных и аварийных действий спасательных формирований с учетом инженерного обеспечения.

*Для исследования процессов и явлений используются различные методы, среди которых наиболее применимыми можно считать [1, 3, 6]:*

*экспериментальный*, - суть его состоит в проведении исследований на объекте исследования, либо на его реальной физической модели;

*логико-аналитический метод* – суть его состоит в изучении объекта на основе качественного анализа изучаемых процессов и явлений с применением на отдельных этапах математических расчетов и соотношений;

*математического моделирования* – суть его составляет взаимосвязь: модель – алгоритм – программа. Цель моделирования - изучение и прогнозирование хода и исхода реальных процессов и выработка решений, направленных на достижение поставленных целей наиболее рациональными методами.

Особую значимость это имеет при моделировании действий спасательных формирований и, как составной их части, инженерного обеспечения.

*Под математической моделью действий спасательных формирований понимается система математических зависимостей и логических правил, позволяющих с достаточной полнотой и точностью описывать их наиболее существенные процессы, прогнозировать их ход и исход, а также оценивать эффективность вариантов решений и планов.*

Определение содержит основные цели математического моделирования действий спасательных формирований. Поэтому *в математической модели должны присутствовать:*

*параметры, характеризующие* ход действий спасательных формирований, выполнения задач, позволяющие судить об успешности достижения поставленных целей. Такими параметрами могут являться: положение, состояние, возможный темп перемещения, потери, время выполнения задач и др.;

*данные или параметры*, которые можно изменять до и в ходе действий спасательных формирований с целью выбора наиболее целесообразных решений: силы и средства, распределение их по задачам, сроки выполнения задач и другие. Такие параметры называют

управляющими параметрами. Задача моделирования состоит в том, чтобы определить такие значения этих параметров, при которых обеспечивается максимальное достижение целей;

*показатели*, которые не зависят от должностных лиц, принимающих решения, но их необходимо учитывать: местность, время года, нормативные данные и др. Примеры математических моделей: математическая модель действий спасательных формирований; математическая модель инженерного обеспечения действий; математическая модель выполнения задачи инженерного обеспечения.

При этом, как правило, исходные данные подразделяются [1] на:

переменные, - величины, отражающие (учитывающие) конкретные условия обстановки: время года, погоду, состав и состояние подразделений и т. п.;

постоянные или условно-постоянные, - к ним относятся данные об организационно-штатной структуре, возможностях подразделений, параметры, характеризующие местность, и др.

Любая математическая модель или задача должна формулироваться и разрабатываться при определенных ограничениях и допущениях, которые должны определяться, главным образом, на этапах разработки, постановки и формализации процесса.

Простейшие модели инженерного обеспечения, в которых рассматриваемые величины можно считать постоянными в течение определенного интервала времени (одно из допущений), часто можно строить на соотношениях вида

$$Q = q \cdot t, \quad (47)$$

где  $Q$  - объем задачи инженерного обеспечения;  $q$  - норматив (скорость, производительность, интенсивность) при выполнении задачи определенным составом сил;  $t$  - время выполнения задачи.

Например, если рассмотреть задачу подготовки пути подразделением как циклический процесс «движение – восстановление», то время выполнения задачи может быть определено по формуле

$$T = \sum_{i=1}^n \left( \frac{l_i}{V_i} + \frac{Q_i}{g_i} \right), \quad (48)$$

где  $l_i$  - протяженность  $i$ -го участка пути;  $V_i$  - скорость движения на  $i$ -м участке;  $Q_i$  - объем задачи на  $i$ -м объекте;  $g_i$  - возможности подразделения при выполнении задачи на  $i$ -м объекте.

Тогда средний темп выполнения задачи

$$V_{CP} = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{T}. \quad (49)$$

Это простейшая модель и в ней не учитываются существенные факторы: отказы техники; детализация работ и другие. Величины, входящие в формулы (47), (48), полагаются постоянными. В более детальных моделях может учитываться вероятность снижения возможностей подразделений при выполнении задачи во времени в результате потерь от какого-либо воздействия.

Рассмотрим вариант, когда в соотношении (47) возможности подразделений по выполнению задачи зависят от времени  $q = q(t)$ .

Тогда объем выполняемой задачи  $Q$  за время  $T$ :

$$Q = \sum_{I=1}^N q(t_i) dt_i = \int_0^T q(t) dt, \quad (50)$$

то есть получаем более сложную модель, в которой можно учесть изменение возможностей подразделений по выполнению задачи во времени.

Если требуется определить время  $T$ , за которое будет выполнена задача в объеме  $Q$ , то необходимо решить уравнение вида

$$Q = \int_0^T q(x) dx \quad (51)$$

относительно неизвестной величины  $T$ .

Рассмотрим пример: пусть возможности подразделения меняются во времени в соответствии с соотношением вида

$$q(t) = q_0 e^{-at}, \quad (52)$$

где  $q_0$  - начальное значение норматива по выполнению задачи;  $a$  - коэффициент, характеризующий интенсивность снижения производительности во времени.

Тогда объем задачи, выполняемый за время  $T$ , в соответствии с (51), будет определяться по соотношению

$$Q(T) = \int_0^T q_0 \cdot e^{-at} dt = \frac{q_0}{a} (1 - e^{-aT}). \quad (53)$$

При постоянной производительности, равной начальной, т.е.  $q_0$ ,

$$Q(T) = q_0 T. \quad (54)$$

Модель, описываемая формулой (53), является более общей, чем (47), так как позволяет учесть изменение возможностей подразделения во времени. Если зависимость (53) решить относительно  $T$ , можно получить формулу для определения времени выполнения задачи при заданном объеме  $Q$

$$T = -\frac{1}{a} \ln\left(1 - a \frac{Q}{q_0}\right). \quad (55)$$

Широкое применение при моделировании процессов, протекающих во времени, находят также дифференциальные уравнения, методы статистического моделирования (статистических испытаний), теории марковских цепей, уравнений динамики средних, методов линейного, нелинейного и динамического программирования и другие.

*В общем плане математические модели могут быть классифицированы по следующим признакам [1]:*

*по методам реализации:* аналитические; статистические; ситуационные;

*по применению:* штабные, учебные и исследовательские;

*по целевому назначению:* расчетные и оптимизационные модели.

Возрастание масштабов последствий чрезвычайных ситуаций и сложности задач, к решению которых должны быть готовы спасательные формирования, требует прогнозирования результатов планируемых действий и применения для обоснования решений методов математического моделирования.

Применение методов исследования операций для моделирования действий подразделений может служить основой для совершенствования работы органов управления всех уровней и обоснования комплекса средств обеспечения выполнения спасательных и аварийных работ.

### **Литература**

1. Егоров Л.А., Зеленцов С.Г., Колибернов Е.С., Лимно А.Н. и др. Исследование операций: учебник / под ред. Юркова Б.Н. – М.: Военно-инженерная академия. - 1990. – 529 с.
2. Седнев В.А. Информационно-аналитическое обеспечение территориальных органов исполнительной власти в кризисных ситуациях: монография / под общ. ред. В. А. Седнева; В. А. Седнев, В. М. Клецов, А. В. Седнев. – М.: Академия ГПС МЧС России. - 2019. – 166 с.
3. Чуев Ю.В. Исследование операций в военном деле. - М.: Воениздат. - 1970. – 256 с.
4. Седнев В.А., Седнев А.В., Онов В.А. Системный подход к оценке эффективности инженерного обеспечения действий спасательных формирований // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. №1. - 2020. 177 с. С. 111-121.
5. Седнев В.А., Клецов В.М., Хаустов С.Н., Шимон Н.С. Технология повышения эффективности управления территориями на основе интеграции автоматизированных систем и информационных ресурсов // Экономика и менеджмент систем управления. - 2013. Т.8. №2. С. 68–78.
6. Седнев В.А., Седнев А.В. Оценка эффективности применения программно-аппаратных платформ // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. №6. 2019. С. 46-52.
7. Наставление по организации и технологии ведения АСДНР при чрезвычайных ситуациях. Часть 3. Организация и технология ведения АСДНР при наводнениях и катастрофических затоплениях местности. - М.: ВНИИ ГОЧС. - 2001. - 166 с.

### **Сведения об авторах**

***Седнев Владимир Анатольевич*** – профессор кафедры защиты населения и территорий Академии государственной противопожарной службы МЧС России (129366, г. Москва, ул. Б. Галушкина, д.4, тел. (495) 617-26-83, (926) 531-29-24) профессор; заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники; e-mail: sednev70@yandex.ru.

***Седнев Анатолий Владимирович*** – студент федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1); e-mail: stolya2000@mail.ru.