

А. Д. ИЩЕНКО, канд. техн. наук, доцент, начальник учебно-научного комплекса пожаротушения, Академия Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: adinko@mail.ru)

А. Л. ХОЛОСТОВ, д-р техн. наук, доцент, заместитель начальника кафедры специальной электротехники, автоматизированных систем и связи, Академия Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: holostov@mail.ru)

А. А. ТАРАНЦЕВ, преподаватель кафедры пожарной тактики и службы, Академия Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: dask_cradle@mail.ru)

А. О. ЖУКОВ, адъюнкт, Академия Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: flubbermanlive@yandex.ru)

УДК 614.8.084,614.843,656.09

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЛОГИСТИКИ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ НА ТРУДНОДОСТУПНЫХ ОБЪЕКТАХ

Рассмотрена проблема своевременной доставки необходимых грузов на удаленные объекты в Арктической зоне и Сибири. Предложена технология двухэтапной доставки грузов на такие объекты, предполагающая создание промежуточной грузовой площадки, на которую наземным путем доставляются контейнеры со стационарных складов, а уже с этой площадки — вертолетами на объекты. Приведена математическая модель двухэтапной доставки на основе положений теории массового обслуживания, позволяющая решать задачи анализа и синтеза для такой системы доставки. При разработке модели использованы общепринятые допущения теории массового обслуживания. Получены аналитические решения для нахождения вероятностных состояний предложенной модели. Приведен пример решения частного случая задачи анализа описываемой системы.

Ключевые слова: Арктическая зона; аварийные объекты; пожарная безопасность; система доставки грузов: удаленные объекты; модель двухэтапной доставки грузов.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.41-49

Актуальность доставки грузов на удаленные объекты

Современный исторический этап развития Российской Федерации характеризуется интенсивной реализацией планов освоения Арктической зоны (АЗ), Сибири и Дальнего Востока [1–5] — регионов с огромными запасами природных ресурсов, имеющих стратегическое значение. В нашей стране и за рубежом ведется масштабная деятельность по созданию и модернизации АЗ объектов с высокой степенью автономности — геолого-разведочных баз, добывающих платформ, метеостанций, объектов военной инфраструктуры и др., а также объектов, обеспечивающих работу Северного морского пути.

Функционирование таких объектов предполагает их материальное обеспечение (доставку энергоснабжителей, оборудования, продовольствия, медикаментов и т. п.), а также своевременную ликвидацию нештатных ситуаций, в том числе пожаров и аварий

[6–11]. Удаленность объектов, их автономность, сложные климатические и метеорологические условия обуславливают актуальность решения вопросов, связанных с разработкой специальных технологий доставки необходимых грузов на эти объекты.

Одним из таких вопросов является своевременная доставка средств локализации и ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС), так как опоздание может повлечь за собой тяжелые последствия. К таким чрезвычайным ситуациям, в первую очередь, следует отнести: аварийную обстановку с теплоснабжением объектов и населенных пунктов; пожары и аварии, связанные с выбросом (розливом) химически опасных веществ и нефтепродуктов; эпидемии и др. Такие потребности могут возникнуть также при поддержании функционирования военной инфраструктуры.

Для того чтобы минимизировать время доставки в целом, разрабатываются приемы и технические средства, использование которых в различных со-

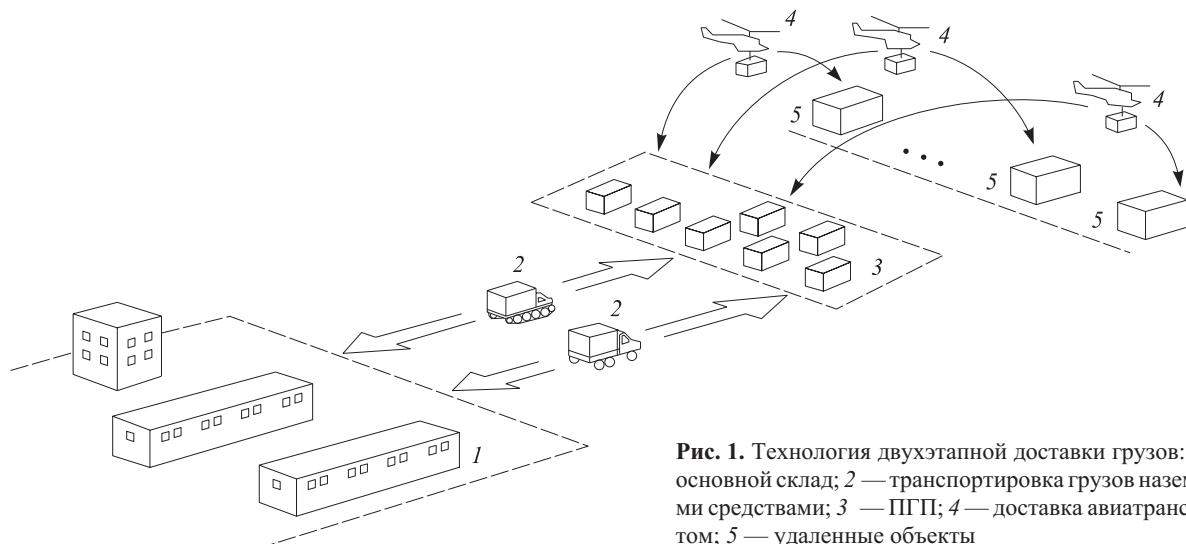


Рис. 1. Технология двухэтапной доставки грузов: 1 — основной склад; 2 — транспортировка грузов наземными средствами; 3 — ПГП; 4 — доставка авиатранспортом; 5 — удаленные объекты

чтаниях позволяет сократить время логистических и транспортных операций. Совокупность этих факторов создает предпосылки к выделению решения этой задачи в отдельное понятие — *аварийная логистика*. В общем, ее можно охарактеризовать как набор технологий и совокупность технических средств, позволяющих обеспечить своевременное сосредоточение сил и средств для локализации и ликвидации аварий и ЧС, в случае если они не могут быть доставлены заранее либо их доставка экономически нецелесообразна.

В данной статье будет рассмотрено моделирование процесса доставки необходимых грузов применительно к труднодоступным районам, например, Арктической зоне Российской Федерации, Сибири и Дальнего Востока.

В настоящее время используются несколько технологий доставки — караванная, авиатранспортом, морским путем (специальными судами и ледоколами). Однако наиболее перспективной представляется технология двухэтапной доставки грузов [12], хорошо зарекомендовавшая себя в Архангельской области. Сущность ее заключается в том, что оборудуется специальная промежуточная грузовая площадка (ПГП), на которую с баз и основных складов наземным транспортом перемещаются контейнеры с необходимыми грузами, а затем из ПГП авиатранспортом (как правило, вертолетами) грузы доставляются на удаленные объекты АЗ (рис. 1). При этом протяженность дорогостоящих и метеозависимых челночных вертолетных маршрутов сводится к минимуму.

Таким образом, представляется целесообразным разработать математическую модель двухэтапной доставки для решения задач анализа и синтеза системы доставки грузов на аварийные удаленные объекты.

Постановка задачи моделирования двухэтапной доставки грузов

В качестве математического аппарата для разработки такой модели, по мнению авторов, может быть использована теория массового обслуживания (ТМО) [13], адаптирование методов которой [14] позволит с достаточной адекватностью описать процесс двухэтапной доставки грузов.

Для базовой модели процесса доставки используем следующие общепринятые в ТМО допущения:

а) одна ПГП вместимостью E (т. е. рассчитанная на максимальное количество единиц грузов E) обеспечивает снабжение N удаленных объектов;

б) со стационарного склада на ПГП с интенсивностью μ доставляются контейнеры со средней периодичностью $t_{cp} = \mu^{-1}$, а от каждого i -го из N объектов с интенсивностью λ_i поступают заявки на контейнеры со средней периодичностью $t_i = \lambda_i^{-1}$ ($i = 1, \dots, N$);

в) среднее время поступления контейнеров на ПГП ввиду погодных условий и других факторов может носить случайный характер и подчинено экспоненциальному закону [15] с параметром μ ; периодичность заявок с объектов также случайна (помимо плановых потребностей, может возникать экстренная необходимость в грузах из-за нештатных ситуаций) и подчинена экспоненциальному закону с параметрами $\{\lambda_i\}$. Ряд исследований показывает, что может быть использовано показательное распределение, т. е. распределение Эрланга нулевого порядка [16, 17];

г) процесс приема-обслуживания заявок с объектов (доставки вертолетами контейнеров на удаленные объекты) установлен вшийся.

Тогда двухэтапная доставка грузов может быть представлена в виде системы массового обслуживания (СМО), пребывающей в $\{S\}$ состояниях с соответствующими вероятностями $\{p\}$. Из вероятностей

$\{p\}$ могут быть сформированы обобщенные вероятности состояний СМО: $p_{ш}$ — на объектах штатный режим работы, никаких заявок от них не поступает; $p_{п}$ — хотя бы на одном объекте возникла потребность в получении груза, но ПГП пуста; $p_{к}$ — возникла кризисная ситуация: со всех N объектов поступили заявки на грузы, но ПГП пуста, поэтому возможен полный останов функционирования всего комплекса удаленных объектов.

Задача анализа СМО формулируется следующим образом: известны величины N, E, μ и $\{\lambda_i\}$. Требуется оценить вероятности $p_{ш}, p_{п}$ и $p_{к}$. Задача синтеза в одном варианте может формулироваться так: известны величины $N, E, \{\lambda_i\}$ и заданы ограничения на допустимые значения вероятностей $\{p_{ш}, p_{п}, p_{к}\}^{доп}$. Требуется определить такую интенсивность μ подвоза грузов (на ПГП), при которой будут соблюдаться условия:

$$p_{ш} > p_{ш}^{доп}; \quad p_{п} < p_{п}^{доп}; \quad p_{к} < p_{к}^{доп}. \quad (1)$$

В другом варианте задача синтеза может формулироваться следующим образом: известны величины $N, \mu, \{\lambda_i\}$ и заданы ограничения (1). Требуется определить необходимую емкость ПГП E . Возможны и другие формулировки задачи синтеза.

Математические модели двухэтапной доставки грузов для двух и трех объектов

Случай 1 (общий)

Рассмотрим модели двухэтапного подвоза грузов на два ($N = 2$) и три ($N = 3$) объекта. Графы пере-

ходов для соответствующих им СМО приведены на рис. 2, а и 2, б, описания состояний данных СМО — в табл. 1, выражения для оценки вероятностей $\{p\}$ — в табл. 2.

В частности, для двухобъектной СМО ($N = 2$) обобщенные вероятности $p_{ш}, p_{п}$ и $p_{к}$ могут быть определены по выражениям:

$$p_{ш} = p_0 + p_1 + p_2 + p_3 = \\ = 1 - \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + 2\alpha_1\alpha_2}{1 + \alpha_1 + \alpha_2 + 2\alpha_1\alpha_2 + \sum_{i=1}^E (\alpha_1 + \alpha_2)^{-i}}; \quad (2)$$

$$p_{п} = 1 - p_{ш} = \\ = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + 2\alpha_1\alpha_2}{1 + \alpha_1 + \alpha_2 + 2\alpha_1\alpha_2 + \sum_{i=1}^E (\alpha_1 + \alpha_2)^{-i}}; \quad (3)$$

$$p_{к} = p_3 = \\ = \frac{2\alpha_1\alpha_2}{1 + \alpha_1 + \alpha_2 + 2\alpha_1\alpha_2 + \sum_{i=1}^E (\alpha_1 + \alpha_2)^{-i}}, \quad (4)$$

где α_1, α_2 — приведенные нагрузки для 1-го и 2-го объектов; $\alpha_1 = \lambda_1/\mu, \alpha_2 = \lambda_2/\mu$.

Для трехобъектной СМО ($N = 3$) обобщенные вероятности $p_{ш}, p_{п}$ и $p_{к}$ могут быть определены по выражениям:

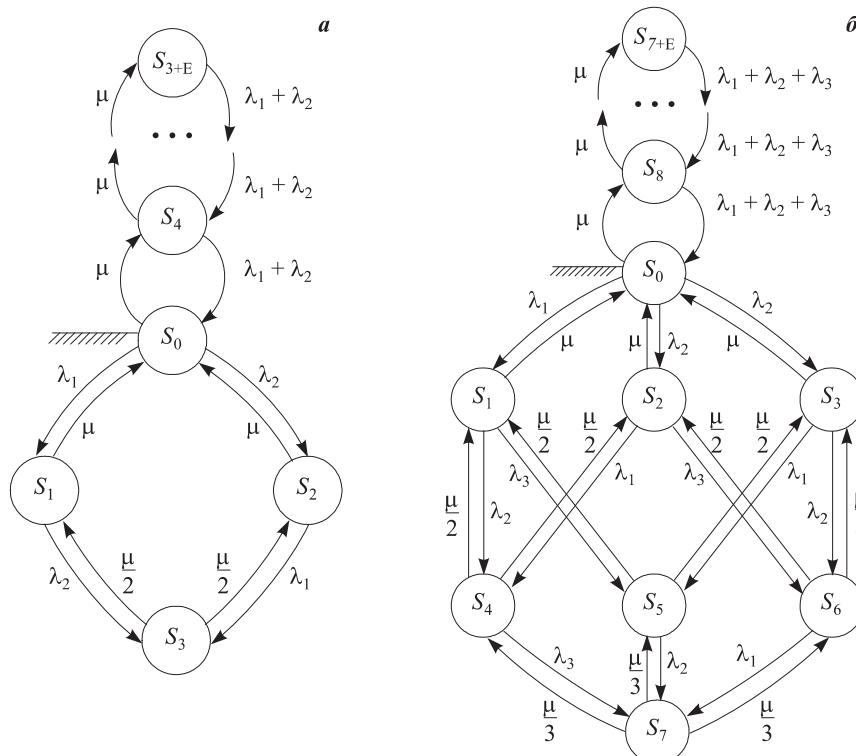


Рис. 2. Графы переходов для двухобъектной ($N = 2$) (а) и трехобъектной ($N = 3$) (б) СМО

Таблица 1. Состояния системы двухэтапного обслуживания заявок от двух и трех объектов

Граф	$\{S\}$	Состояние		
Рис. 2, а $N = 2$	S_0	Заявок от объектов не поступило	на ПГП контейнеров нет	
	S_1	Поступила заявка от 1-го объекта		
	S_2	Поступила заявка от 2-го объекта		
	S_3	Поступили заявки от обоих объектов		S_k
	S_4	Заявок от объектов не поступило, на ПГП 1 контейнер		
	S_5	Заявок от объектов не поступило, на ПГП 2 контейнера		
		
	S_{3+E}	Заявок от объектов не поступило, на ПГП E контейнеров		
Рис. 2, б $N = 3$	S_0	Заявок от объектов не поступило	на ПГП контейнеров нет	
	S_1	Поступила заявка от 1-го объекта		
	S_2	Поступила заявка от 2-го объекта		
	S_3	Поступила заявка от 3-го объекта		
	S_4	Поступили заявки от 1-го и 2-го объектов		
	S_5	Поступили заявки от 1-го и 3-го объектов		
	S_6	Поступили заявки от 2-го и 3-го объектов		
	S_7	Поступили заявки от всех трех объектов		S_k
	S_8	Заявок от объектов не поступило, на ПГП 1 контейнер		
	S_9	Заявок от объектов не поступило, на ПГП 2 контейнера		
		
	S_{7+E}	Заявок от объектов не поступило, на ПГП E контейнеров		

Таблица 2. Выражения для определения вероятностей состояний СМО

N	Исходные уравнения	Явные выражения
2	$0 = -p_0(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu) + \mu(p_1 + p_2) + (\lambda_1 + \lambda_2)p_4;$ $0 = \lambda_1 p_0 - (\lambda_2 + \mu)p_1 + 0,5\mu p_3;$ $0 = \lambda_2 p_0 - (\lambda_1 + \mu)p_2 + 0,5\mu p_3;$ $0 = \lambda_2 p_1 + \lambda_1 p_2 - \mu p_3;$ $0 = \mu p_0 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu)p_4 + (\lambda_1 + \lambda_2)p_5;$ $0 = \mu p_4 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu)p_5 + (\lambda_1 + \lambda_2)p_6;$ $...$ $0 = \mu p_{N+E} - (\lambda_1 + \lambda_2)p_{N+1+E}$	$p_0^{-1} = 1 + \alpha_1 + \alpha_2 + 2\alpha_1\alpha_2 + \sum_{i=1}^E (\alpha_1 + \alpha_2)^{-i};$ $p_1 = \alpha_1 p_0; \quad p_2 = \alpha_2 p_0; \quad p_3 = 2\alpha_1\alpha_2 p_0;$ $p_{i+3} = \sum_{i=1}^E (\alpha_1 + \alpha_2)^{-i}; \quad i = 1, \dots, E$
3	$0 = -p_0(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \mu) +$ $+ \mu(p_1 + p_2 + p_3) + (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)p_8;$ $0 = \lambda_1 p_0 - (\lambda_2 + \lambda_3 + \mu)p_1 + 0,5\mu(p_4 + p_5);$ $0 = \lambda_2 p_0 - (\lambda_1 + \lambda_3 + \mu)p_2 + 0,5\mu(p_4 + p_6);$ $0 = \lambda_3 p_0 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu)p_3 + 0,5\mu(p_5 + p_6);$ $0 = \lambda_2 p_1 + \lambda_1 p_2 - (\lambda_3 + \mu)p_4 + \mu p_7/3;$ $0 = \lambda_3 p_1 + \lambda_1 p_3 - (\lambda_2 + \mu)p_5 + \mu p_7/3;$ $0 = \lambda_3 p_2 + \lambda_2 p_3 - (\lambda_1 + \mu)p_6 + \mu p_7/3;$ $0 = \lambda_3 p_4 + \lambda_2 p_5 + \lambda_1 p_6 - \mu p_7;$ $0 = \mu p_0 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \mu)p_8 + (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)p_9;$ $0 = \mu p_8 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \mu)p_9 + (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)p_{10};$ $...$ $0 = \mu p_{N+3+E} - (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)p_{N+4+E}$	$p_0^{-1} = 1 + \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + 2\alpha_1\alpha_2 + 2\alpha_1\alpha_3 +$ $+ 2\alpha_2\alpha_3 + 6\alpha_1\alpha_2\alpha_3 + \sum_{i=1}^E (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)^{-i};$ $p_1 = \alpha_1 p_0; \quad p_2 = \alpha_2 p_0; \quad p_3 = \alpha_3 p_0; \quad p_4 = 2\alpha_1\alpha_2 p_0;$ $p_5 = 2\alpha_1\alpha_3 p_0; \quad p_6 = 2\alpha_2\alpha_3 p_0; \quad p_7 = 6\alpha_1\alpha_2\alpha_3 p_0;$ $p_{i+7} = \sum_{i=1}^E (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)^{-i}; \quad i = 1, \dots, E$

Примечание. $\alpha_i = \lambda_i/\mu$, $i = 1, \dots, N$; $p_0 + p_1 + p_2 + p_3 + \dots = 1$.

$$p_{\text{ш}} = p_0 + \sum_{i=8}^{7+E} p_i = \frac{1 + \sum_{i=1}^E (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)^{-i}}{1 + \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + 2(\alpha_1 \alpha_2 + \alpha_1 \alpha_3 + \alpha_2 \alpha_3) + 6\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 + \sum_{i=1}^E (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)^{-i}}; \quad (5)$$

$$p_{\text{n}} = 1 - p_{\text{ш}}; \quad (6)$$

$$p_{\text{k}} = p_7 = \frac{6\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3}{1 + \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + 2(\alpha_1 \alpha_2 + \alpha_1 \alpha_3 + \alpha_2 \alpha_3) + 6\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 + \sum_{i=1}^E (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)^{-i}}, \quad (7)$$

где α_3 — приведенная нагрузка для 3-го объекта;
 $\alpha_3 = \lambda_3/\mu$.

Задача анализа для данных СМО решается прямым вычислением обобщенных вероятностей $p_{\text{ш}}$, p_{n} и p_{k} по выражениям (2)–(7). Задача синтеза несколько сложнее и решается путем подбора параметров μ или E , исходя из условий (1).

Аналогичным образом могут быть построены графы переходов и решаться задачи анализа и синтеза для большего числа N объектов.

Случай 2 (частный)

Если же все N объектов одинаковы и генерируют заявки с одинаковой интенсивностью λ , задача построения моделей СМО несколько упрощается. В табл. 3 приведены перечни состояний $\{S\}$ для N -объектной СМО с вместимостью ПГП E , график которой представлен на рис. 3, а, а соответствующие им вероятности $\{p\}$ — в табл. 4. Обобщенные вероятности $p_{\text{ш}}$, p_{n} и p_{k} для этого универсального графа,

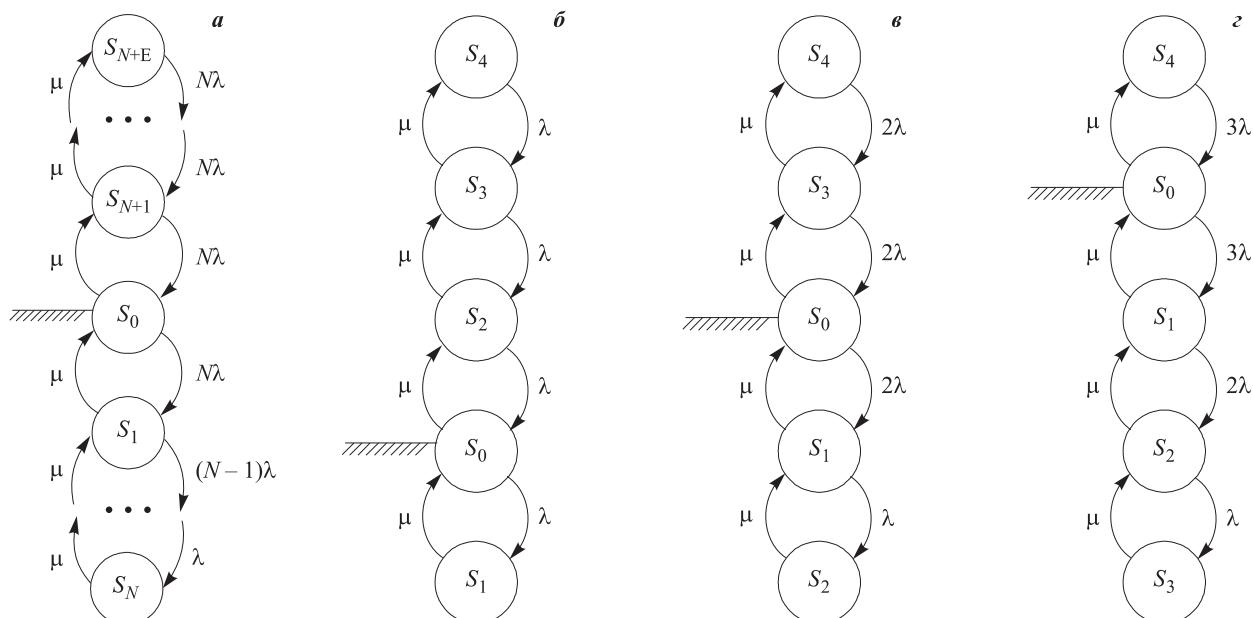


Рис. 3. Графы переходов для СМО с однородными объектами: а — общий случай; б — $N = 1, E = 3$; в — $N = 2, E = 2$; г — $N = 3, E = 1$

Таблица 3. Состояния системы двухэтапного обслуживания заявок от N однородных объектов

Граф	$\{S\}$	Состояние					
		на ПГП контейнеров нет		S_{n}	S_{k}		
Рис. 3, а	S_0	Заявок от объектов не поступало					
	S_1	Поступила заявка от одного объекта					
					
	S_N	Поступили заявки от всех N объектов					
	S_{N+1}	Заявок от объектов не поступало, на ПГП 1 контейнер					
	S_{N+2}	Заявок от объектов не поступало, на ПГП 2 контейнера					
					
	S_{N+E}	Заявок от объектов не поступало, на ПГП E контейнеров					

Таблица 4. Выражения для определения вероятностей состояний СМО на рис. 3,а

Исходные уравнения	Явные выражения
$0 = -p_0(N\alpha + 1) + p_1 + N\alpha p_{N+1};$	$p_0^{-1} = 1 + \sum_{i=1}^N \frac{N! \alpha^i}{(N-i)!} + \sum_{i=N+1}^{N+E} \frac{1}{(N\alpha)^{i-N}};$
$0 = (N-i+1) \alpha p_{i-1} - [(N-i) \alpha + 1] p_i + p_{i+1}; i = 1, \dots, N-1;$	$p_i = \frac{N! \alpha^i}{(N-i)!} p_0, i = 1, \dots, N;$
$0 = \alpha p_{N-1} - p_N;$	$p_i = \frac{p_0}{(N\alpha)^{i-N}}, i = N+1, \dots, N+E$
$0 = p_0 - (N\alpha + 1) p_{N+1} + N\alpha p_{N+2};$	
$0 = p_{N+1} - (N\alpha + 1) p_{N+2} + N\alpha p_{N+3};$	
...	
$0 = p_{N+E-1} - (N\alpha + 1) p_{N+E}$	
Примечание. $\alpha = \lambda/\mu, p_0 + p_1 + p_2 + \dots + p_{N+E} = 1.$	

Таблица 5. Примеры определения вероятностей для различных СМО

Граф	N	E	p_0^{-1}	$p_{ш}/p_0$	$p_{к}/p_0$
Рис. 3,б	1	3	$1 + \alpha + 1/(3\alpha) + 1/(9\alpha^2) + 1/(27\alpha^3)$	$1 + 1/(3\alpha) + 1/(9\alpha^2) + 1/(27\alpha^3)$	α
Рис. 3,в	2	2	$1 + 2\alpha + 2\alpha^2 + 1/(2\alpha) + 1/(4\alpha^2)$	$1 + 1/(2\alpha) + 1/(4\alpha^2)$	$2\alpha^2$
Рис. 3,г	3	1	$1 + 3\alpha + 6\alpha^2 + 6\alpha^3 + 1/\alpha$	$1 + 1/\alpha$	$6\alpha^3$

пригодные для решения задач анализа и синтеза, могут быть определены по выражениям:

$$p_{ш} = p_0 + \sum_{i=N+1}^{N+E} p_i = p_0 \left[1 + \sum_{j=1}^E (N\alpha)^{-j} \right]; \quad (8)$$

$$p_{к} = p_0 N! \alpha^N, \quad (9)$$

где α — приведенная нагрузка, генерируемая каждым из N объектов; $\alpha = \lambda/\mu$;

p_0 — вероятность того, что ни один из N объектов заявок не подал, а на ПГП контейнеров нет.

Вероятность $p_{ш}$ может быть найдена из выражения (6), а вероятность p_0 — из выражения

$$p_0^{-1} = 1 + \sum_{i=1}^N \frac{N! \alpha^i}{(N-i)!} + \sum_{j=1}^E (N\alpha)^{-j}. \quad (10)$$

Для частных случаев (рис. 3,б–3,г) вероятности, рассчитанные по выражениям (8)–(10), приведены в табл. 5. Например, при $\alpha = 0,1$ согласно рис. 3,б–3,г и табл. 5 получаем:

$N = 1, E = 3: p_0 = 1,902 \%, p_{ш} = 99,82 \%, p_{к} = 0,190 \%$;

$N = 2, E = 2: p_0 = 3,203 \%, p_{ш} = 99,29 \%, p_{к} = 0,064 \%$;

$N = 3, E = 1: p_0 = 8,798 \%, p_{ш} = 96,78 \%, p_{к} = 0,053 \%$.

Полученные оценки вполне согласуются с логикой: действительно, чем больше объектов, тем меньше вероятность, что все они подадут заявки и будут ожидать доставки грузов.

Выводы

1. Полученные выражения для базовых СМО заявок с объектов могут быть использованы в прикладных задачах аварийной логистики для решения задач анализа и синтеза как для штатного режима работы, так и при возникновении на объектах нештатных ситуаций — пожаров, отказов оборудования на труднодоступных объектах и в населенных пунктах, доставку в которые наземным транспортом невозможно осуществить вообще или своевременно.

2. В дальнейшем представляется целесообразным учесть разнообразие грузов (аварийный инструмент, продовольствие, топливо и др.) и заявок по ним при двухэтапной доставке для обеспечения функционирования труднодоступных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу : утв. приказом Президента РФ от 18.09.2008 № Пр-1069. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902149373> (дата обращения: 07.02.2017).
- О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации : указ Президента Российской Федерации от 02.05.2014 № 296. URL: <http://kremlin.ru/acts/bank/38377> (дата обращения: 07.02.2017).
- Об утверждении Положения о Государственной комиссии по вопросам развития Арктики : постановление Правительства Российской Федерации от 14.03.2015 № 228. URL: <http://government.ru/media/files/Cozw5FAxCGc.pdf> (дата обращения: 07.02.2017).

4. Akimov V. A., Sokolov Yu. I. Risks of emergencies in Russia's Arctic zone // Issues of Risk Analysis. Scientific and Practical Journal. — 2010. — Vol. 7, No. 4. — 21 p. URL: https://www.dex.ru/par_en/abstracts_of_journal/pdf/PAR_7_4_en.pdf (дата обращения: 07.02.2017).
5. Opportunities and challenges for Arctic oil and gas development / Eurasian Group report for the Wilson Center, Washington, D. C. // OTC Arctic Technology Conference, 10–12 February 2014, Houston, Texas. DOI: 10.4043/24586-MS.
6. Ищенко А. Д. Комплексная готовность персонала аварийно-спасательных формирований в условиях севера // Проблемы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в Арктике, включая вопросы подготовки профильных кадров для работы в северных условиях : материалы международной конференции. — СПб. : Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2014. — С. 86–98.
7. Алешиков М. В., Безбородько М. Д. Применение мобильных средств пожаротушения для защиты объектов атомной энергетики от крупных пожаров в условиях экстремально низких температур // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2014. — № 3. — С. 37–45.
8. Алешиков М. В. Особенности тушения крупных пожаров на территории Российской Федерации при внешнем воздействии опасных природных явлений // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 5. — С. 59–64.
9. Алешиков М. В. От концепции создания до разработки основного пожарного автомобиля северного исполнения // Пожарная безопасность. — 2012. — № 3. — С. 131–135.
10. Душкин А. Л., Повчинский С. Е., Рязанцев Н. Н. Первичные средства пожаротушения для Арктики // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 5. — С. 66–74. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.66-74.
11. Makhutov N. A., Moskvichev V. V., Fomin V. M. Designing machinery for the Arctic: A problem of socioeconomic development of Russia's eastern regions // Herald of the Russian Academy of Sciences. — 2015. — Vol. 85, No. 1 — P. 79–86. DOI: 10.1134/s1019331615010104.
12. Дагиров Ш. Ш., Алешиков М. В., Ищенко А. Д., Роенко В. В. Перспективы применения отдельных технических достижений для предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в арктическом регионе // Проблемы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в арктическом регионе. Безопасный город в Арктике : материалы Международной научно-практической конференции, 6–8 апреля 2016 г., г. Звенигород. — М. : ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2016. — С. 146–155.
13. Вентцель Е. С. Исследование операций. — М. : Советское радио, 1972. — 552 с.
14. Таранцев А. А. Инженерные методы теории массового обслуживания. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — СПб. : Наука, 2007. — 175 с.
15. Таранцев А. А. Случайные величины и работа с ними. — СПб. : Изд. дом "Петрополис", 2011. — 158 с.
16. Алексин Е. М., Брушинский Н. Н., Соколов С. В. О распределении Эрланга и некоторых его приложениях // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 6. — С. 11–17.
17. Брушинский Н. Н., Соколов С. В., Алексин Е. М., Вагнер П., Коломиец Ю. И. Безопасность городов. Имитационное моделирование городских процессов и систем. — М. : ФАЗИС, 2004. — 172 с.

Материал поступил в редакцию 13 февраля 2017 г.

Для цитирования: Ищенко А. Д., Холостов А. Л., Таранцев А. А., Жуков А. О. Моделирование элементов логистики в чрезвычайных ситуациях на труднодоступных объектах // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26, № 4. — С. 41–49. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.41-49.

English

MODELING OF THE ELEMENTS OF LOGISTICS IN EMERGENCY SITUATIONS ON THE DISTANT OBJECTS

ISHCHENKO A. D., Candidate of Technical Sciences, Head of Fire Fighting Science and Training Centre Fire Fighting Service, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: adinko@mail.ru)

KHOLOSTOV A. L., Doctor of Technical Sciences, Deputy Head of Electrical Engineering, Automated Systems and Communication Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: holostov@mail.ru)

TARANTSEV A. A., Lecturer of Fire Tactics and Service Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: dask_cradle@mail.ru)

ZHUKOV A. O., Graduate Student, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: flubbermanlive@yandex.ru)

ABSTRACT

The problem of timely delivery of needed goods to remote objects in the Arctic region and Siberia is shown here. Distance of objects, their autonomy functioning, complex climate and weather conditions determine the relevance of solving problems related to the development of special technologies in the delivery of needed goods to these objects. A two-stage technology for delivering goods is proposed in order to minimize delivery time of the goods which are required to extinguish a fire or emergency response. It involves the creation of intermediate goods platforms (IGP). The containers from the stationary stores move there, and from these platforms they move to the objects by helicopters.

The queuing theory is used as a mathematical apparatus. Common assumptions are used for the development of the model: goods area has a capacity E , the number of the supplied objects N , container shipping from warehouses to the goods platform is carried out with intensity μ , requests for containers of objects N comes with an intensity λ , the values λ and μ are the parameters of the exponential distribution laws. The average time of the receipt of the containers to platforms and requests from objects N is random. The process of receiving applications and sending containers to distant objects is steady. The model of the two-stage delivery of goods is presented in the form of a queuing system (QS), abiding in $\{S\}$ states with the corresponding probabilities $\{p\}$.

QS analysis problem is formulated as follows: the values N, E, μ and $\{\lambda_i\}$ are known. It is required to assess the probabilities p_{staff} , p_{demand} and p_{crisis} . The problem of synthesis in one variant may be formulated as follows: the values $N, E, \{\lambda_i\}$ are known, the limits on the allowable values of probabilities are set $\{p_{staff}, p_{demand}, p_{crisis}\}^{add}$. It is required to determine the intensity μ of the transportation of goods, to observe the conditions:

$$p_{staff} > p_{staff}^{add}; p_{demand} < p_{demand}^{add}; p_{crisis} < p_{crisis}^{add}, \quad (1)$$

In another variant, the synthesis problem can be formulated as follows: the values $N, \mu, \{\lambda_i\}$ are known and the limits are set (1). It is required to determine the necessary capacity IGP E . There are other possible formulations of the synthesis problem.

Models of delivery of goods for two or three distant objects are shown. Expressions to determine the probabilities of conditions of two-stage goods delivery system are presented for these cases. A special case when all N of the objects are the same and can generate applications with the same intensity λ is also shown here. These expressions can be used to deliver goods to distant objects to solve the problems of analysis and synthesis, both for normal operation and also for the appearance of abnormal situations — fires, accidents, equipment failures, inaccessible objects, where it is impossible or untimely to deliver the goods.

Keywords: Arctic zone; emergency facilities; fire safety; goods delivery system; distant objects; two-stage model of delivery.

REFERENCES

1. *The foundations of state policy of the Russian Federation in the Arctic for the period till 2020 and further prospect*. Presidential order on 18.09.2008 No. Pr-1069 (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902149373> (Accessed 7 February 2017).
2. *About land territories of the Arctic zone of the Russian Federation*. Presidential Decree on 02.05.2014 No. 296 (in Russian). Available at: <http://kremlin.ru/acts/bank/38377> (Accessed 7 February 2017).
3. *On approval of the Regulations on the State Commission on development of the Arctic*. Resolution of the RF Government on 14.03.2015 No. 228 (in Russian). Available at: <http://government.ru/media/files/Cozw5FAxCGc.pdf> (Accessed 7 February 2017).

4. Akimov V. A., Sokolov Yu. I. Risks of emergencies in Russia's Arctic zone. *Issues of Risk Analysis. Scientific and Practical Journal*, 2010, vol. 7, no. 4. 21 p. Available at: https://www.dex.ru/par_en/abstracts_of_journal/pdf/PAR_7_4_en.pdf (Accessed 7 February 2017).
5. Opportunities and challenges for Arctic oil and gas development. Eurasian Group report for the Wilson Center, Washington, D. C. In: *OTC Arctic Technology Conference, 10–12 February 2014, Houston, Texas*. DOI: 10.4043/24586-MS.
6. Ishchenko A. D. Integrated preparedness of SAR personnel for operations in the northern areas. In: *Problemy preduprezhdeniya i likvidatsii chrezvychaynykh situatsiy v Arktike, vklyuchaya voprosy podgotovki profilnykh kadrov dlya raboty v severnykh usloviyakh: materialy mezhdunarodnoy konferentsii* [Proceedings of International Conference “Challenges in Emergency Preparedness and Response in the Arctic. Staffing Issues”]. Saint Petersburg, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia Publ., 2014, pp. 86–98 (in Russian).
7. Aleshkov M. V., Bezborodko M. D. Application of movable fire extinguishment means for protecting nuclear power plants from large fires under extremely low temperature conditions. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvratsheniye, likvidatsiya / Fire and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2014, no. 3, pp. 37–45 (in Russian).
8. Aleshkov M. V. Peculiarities extinguishing large-scale fires on the territory on the Russian Federation under the external effect of hazardous natural phenomena. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 5, pp. 59–64 (in Russian).
9. Aleshkov M. V. From designing concept to development of the basic fire appliance (version for the north). *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2012, no. 3, pp. 131–135 (in Russian).
10. Dushkin A. L., Lovchinskiy S. Ye., Ryazantsev N. N. Fist-aid fire equipment for Arctic Region. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 5, pp. 66–74 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.66-74.
11. Makhutov N. A., Moskvichev V. V., Fomin V. M., Designing machinery for the Arctic: A problem of socioeconomic development of Russia's eastern regions. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2015, vol. 85, no. 1, pp. 79–86. DOI: 10.1134/s1019331615010104.
12. Dagirov Sh. Sh., Aleshkov M. V., Ishchenko A. D., Roenko V. V. Prospects of application of certain technical advances for the prevention and liquidation of emergency situations in the Arctic region. In: *Problemy preduprezhdeniya i likvidatsii chrezvychaynykh situatsiy v arkticheskem regione. Bezopasnyy gorod v Arktike: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Problems of prevention and liquidation of emergency situations in the Arctic region. Safe city in the Arctic. Proceedings of International Scientific and Practical Conference]. Moscow, FGBU VNII GOChS (FTs) Publ., 2016, pp. 146–155 (in Russian).
13. Ventsel E. S. *Issledovaniye operatsiy* [Operations research]. Moscow, Sovetskoye radio Publ., 1972. 552 p. (in Russian).
14. Tarantsev A. A. *Inzhenernyye metody teorii massovogo obsluzhivaniya* [Engineering methods of theory of mass service]. Saint Petersburg, Nauka Publ., 2007. 175 p. (in Russian).
15. Tarantsev A. A. *Sluchaynyye velichiny i rabota s nimi* [Random variables and work with them]. Saint Petersburg, Petropolis Publ., 2011. 158 p. (in Russian).
16. Alekhin E. M., Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V. About Erlang's distribution and some its applications. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 6, pp. 11–17 (in Russian).
17. Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V., Alekhin E. M., Wagner P., Kolomiyets Yu. I. *Bezopasnost gorodov. Imitatsionnoye modelirovaniye gorodskikh protsessov i sistem* [City safety. Simulation modeling of city processes and systems]. Moscow, FASIS Publ., 2004. 172 p. (in Russian).

For citation: Ishchenko A. D., Kholostov A. L., Tarantsev A. A., Zhukov A. O. Modeling of the elements of logistics in emergency situations on the distant objects. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 4, pp. 41–49 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.41-49.