

*А.П. Сатин, Д.В. Псарев, А.В. Стависский*  
(Академия ГПС МЧС России; e-mail: satin32@yandex.ru)

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОСТАВКИ ПОЖАРНЫХ РУКАВОВ СО СКЛАДОВ К БОЕВЫМ УЧАСТКАМ**

*Предлагается алгоритм решения задачи по обеспечению минимальной длительности доставки пожарных рукавов к боевым участкам.*

*Ключевые слова: производственно-технический центр, пожарный рукав, боевой участок, длительность доставки.*

*A.P. Satin, D.V. Psarev, A.V. Stavissky*

## **SIMULATION OF DELIVERY OF FIRE HOSES FROM THE WAREHOUSES TO COMBAT AREA**

*An algorithm for solving problem to ensure a minimum duration of delivery of fire hoses to combat area is proposed.*

*Key words: industrial-technical center, fire hose, a combat area, duration of delivery.*

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 1 декабря 2013 г.

Как известно [1, 2], на **производственно-технические центры (ПТЦ)**, обслуживающие гарнизоны противопожарной службы МЧС России, возлагаются задачи доставки личного состава гарнизона пожарной охраны автобусами к месту крупных пожаров и ЧС, а также доставки грузовым транспортом к местам пожаров необходимых предметов снабжения, а в зимнее время – подвоз и вывоз пожарных рукавов.

Так как в производственно-технических центрах часто оборудуются гарнизонные рукавные базы, где в зимнее время производится обслуживание пожарных напорных рукавов, их размораживание, мойка и сушка, то представляется целесообразным исследовать процесс доставки и распределения пожарных рукавов в зимнее время.

Очевидно, что в условиях низких температур для тушения крупных пожаров потребуется большое количество пожарных рукавов. Длительность замены рукавов  $t_{\text{смен}}$  практически равна длительности замерзания воды в рукавных линиях  $t_{\text{замерз}}$ :  $t_{\text{смен}} = t_{\text{замерз}}$ . Следовательно, чем выше продолжительность пожара  $t_{\text{пож}}$ , тем чаще подразделениям ПТЦ необходимо осуществлять замену пожарных рукавов:  $K_{\text{замены}} = t_{\text{пож}} / t_{\text{замены}}$ .

В условиях пожара требуется оперативная замена замерзших рукавных линий. Следует учитывать, что для обеспечения требуемой оперативности локализации и тушения пожара следует производить замену линии целиком (всех рукавов), что исключает дробную (частями) доставку рукавов к месту пожара.

Рассмотрим процесс замены пожарных рукавов при возникновении в населенном пункте одновременно двух пожаров в зимнее время.

Пусть гарнизон пожарной охраны состоит из 5 пожарных частей, опорного пункта по тушению крупных пожаров и производственно-технического центра, на котором размещена гарнизонная рукавная база.

Предлагается следующий **алгоритм оперативной замены пожарных рукавов** ( $K_{замены}$ ) в условиях тушения пожаров.

1. Исходя из погодных условий, используя существующие методики по определению продолжительности работы рукавной линии в условиях низких температур [3, 4], определить длительность тушения пожара и момент времени, когда следует начать замену рукавной линии, вышедшей из строя после воздействия отрицательных температур.

2. Разработать план доставки пожарных рукавов при условии минимальной длительности всех перевозок.

Полагаем, что оба крупных пожара возникли в одно и то же время. На пожарах организованы боевые участки, на которых развернуты рукавные линии. Следует произвести замену пожарных рукавов, так как рукавные линии начали замерзать и не обеспечивается требуемая интенсивность тушения пожаров.

3. Если время начала замены рукавных линий не совпадает, то следует увеличить расчётное время доставки рукавов к боевым участкам на время задержки.

Дальнейшая последовательность замены пожарных рукавов в условиях тушения пожаров показана на примере.

Запишем время, требуемое на перемещение автомобиля-полуприцепа между боевыми участками и подразделениями гарнизона пожарной охраны, в виде матрицы (табл. 1).

Таблица 1

**Матрица времени доставки и потребности пожарных рукавов на 1 этапе тушения пожаров**

	Расчётное время доставки рукавов, мин								Запасы на складе
	Пожар 1			Пополнение запасов опорного пункта	Пожар 2				
	Боевой участок 1	Боевой участок 2	Боевой участок 3		Боевой участок 1	Боевой участок 2	Боевой участок 3	Боевой участок 4	
Со склада ПТЦ	15	14	16	20	11	10	8	9	50
Из ПЧ-1	22	21	23	8	18	16	17	18	10
Из ПЧ-2	5	5	6	15	12	13	12	14	10
Из ПЧ-3	7	8	9	18	10	9	11	10	10
Из ПЧ-4	16	15	17	12	5	5	6	7	10
Из ПЧ-5	18	20	19	5	14	12	12	11	10
Из опорного пункта	14	13	12	0	7	8	7	9	50
Потребность	5	7	4		6	8	10	12	150

Модель линейного программирования включает три основных элемента [5]:

1. Переменные, которые следует определить.
2. Целевая функция, подлежащая оптимизации.
3. Ограничения, которым должны удовлетворять переменные.

В рассматриваемом случае необходимо определить объёмы доставки пожарных рукавов на боевые участки из различных складов (ПЧ, ПТЦ, опорного пункта):

$x_{11}, \dots, x_{78}$  – объём доставки пожарных рукавов на боевой участок (табл. 1).

4. Используя переменные, строим целевую функцию. Обозначим данную функцию через  $F(x)$ .

$$F(x) = 15x_{11} + 14x_{12} + 16x_{13} + 20x_{14} + 11x_{15} + 10x_{16} + 8x_{17} + 9x_{18} + 22x_{21} + 21x_{22} + 23x_{23} + 8x_{24} + 18x_{25} + 16x_{26} + 17x_{27} + 18x_{28} + 5x_{31} + 5x_{32} + 6x_{33} + 15x_{34} + 12x_{35} + 13x_{36} + 12x_{37} + 14x_{38} + 7x_{41} + 8x_{42} + 9x_{43} + 18x_{44} + 10x_{45} + 9x_{46} + 11x_{47} + 10x_{48} + 16x_{51} + 15x_{52} + 17x_{53} + 12x_{54} + 5x_{55} + 5x_{56} + 6x_{57} + 7x_{58} + 18x_{61} + 20x_{62} + 19x_{63} + 5x_{64} + 14x_{65} + 12x_{66} + 12x_{67} + 11x_{68} + 14x_{71} + 13x_{72} + 12x_{73} + 7x_{75} + 8x_{76} + 7x_{77} + 9x_{78} \rightarrow \min.$$

Согласно цели – минимизация длительности тушения пожара в условиях низких температур – ставим задачу минимизировать длительность доставки пожарных рукавов на боевые участки.

Определим ограничения, которые должны учитывать потребности пожарных рукавов на боевых участках.

1.  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Потребность} \\ \text{боевого участка} \end{array} \right\} \leq \left\{ \begin{array}{l} \text{Запасы рукавов на складах} \\ \text{гарнизона пожарной охраны} \end{array} \right\}$ .
2.  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Потребность} \\ \text{боевого участка} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Объём поставки рукавов} \\ \text{на боевой участок} \end{array} \right\}$ .
3.  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Количество поставляемых} \\ \text{пожарных рукавов} \end{array} \right\} \geq \left\{ \begin{array}{l} 0, \text{ количество поставляемых} \\ \text{пожарных рукавов} \\ \text{положительная величина} \end{array} \right\}$ .

Так как запасы пожарных рукавов на складе значительно превышают потребности подразделений на боевых участках, приведенная целевая функция представляет транспортную задачу с открытой моделью.

5. Решить задачу (например, с использованием табличного процессора MS Excel).

На начальном этапе мы не планируем пополнять запасы опорного пункта по тушению крупных пожаров, в связи с чем пишем, что потребность данного потребителя равна 0.

Рассмотрим возможность использования табличного процессора MS Excel в качестве информационной системы поддержки принятия решений для решения задачи доставки пожарных рукавов.

В табличном процессоре MS Excel на рабочем листе программы располагаем две таблицы: расчётная длительность доставки рукавов и план доставки рукавов к боевым участкам на первом этапе тушения. В таблице "План доставки рукавов к боевым участкам" (рис. 1) добавлены: столбец "использовано"; строка "объём доставки"; ячейка "сумма" и строка "целевая функция".

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		Расчетное время доставки рукавов, мин.								
2		Пожар 1				Пожар 2				
3		Боевой участок 1	Боевой участок 2	Боевой участок 3	Пополнение запасов опорного пункта	Боевой участок 1	Боевой участок 2	Боевой участок 3	Боевой участок 4	Запасы на складе
4	Склад ППЦ	15	14	16	20	11	10	8	9	50
5	Из ПЧ-1	22	21	23	8	18	16	17	18	10
6	Из ПЧ-2	5	5	6	15	12	13	12	14	10
7	Из ПЧ-3	7	8	9	18	10	9	11	10	10
8	Из ПЧ-4	16	15	17	12	5	5	6	7	10
9	Из ПЧ-5	18	20	19	5	14	12	12	11	10
10	Из опорного пункта по тушению крупных пожаров	14	13	12	0	7	8	7	9	50
11	Потребность	5	7	4	0	6	8	10	12	150

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
13		План доставки рукавов к боевым участкам на 1 этапе тушения									
14		Пожар 1				Пожар 2					
15		Боевой участок 1	Боевой участок 2	Боевой участок 3	Пополнение запасов опорного пункта	Боевой участок 1*	Боевой участок 2*	Боевой участок 3*	Боевой участок 4*	Использовано	Запасы на складе
16	Склад ППЦ									0	50
17	Из ПЧ-1									0	10
18	Из ПЧ-2									0	10
19	Из ПЧ-3									0	10
20	Из ПЧ-4									0	10
21	Из ПЧ-5									0	10
22	Из опорного пункта по тушению крупных пожаров,									0	50
23	Объем доставки	0	0	0	0	0	0	0	0	суммы	150
24	Потребность	5	7	4	0	6	8	10	12	52	
25	Целевая функция (минимальное время доставки рукавов), мин.										0

Рис. 1. Исходные данные для расчёта в MS Excel

Так как потребности боевых участков и запасы на складах подразделений и производственно-технического центра ограничены, в табл. 1 "Матрица времени доставки и потребности пожарных рукавов по боевым участкам на 1 этапе тушения" добавлены следующие ограничения:

- ограничения на запасы (столбец J), в ячейку J16 столбца "Использовано" вводим формулу = СУММ (B16:I16) и копируем эту формулу в ячейки J17, J18, J19, J20, J21, J22.

- ограничения на потребности боевых участков (строка объем доставки) в ячейку B23 вводим формулу B23 = СУММ(B16:B22) и копируем данную формулу в ячейки C23, D23, E23, F23, G23, H23, I23.

Подсчитываем потребности боевых участков и складские запасы:

- в ячейку K23 по столбцу "Запасы на складе" вводим формулу  $K23 = \text{СУММ}(K16:K22)$ ;

- в ячейку J24 по строке "Потребность" вводим формулу  $J24 = \text{СУММ}(B24:I24)$ .

В ячейке целевой функции содержится формула суммы произведений ячеек ЦФ =  $\text{СУММПРОИЗВ}(B4:I10; B16:I22)$ .

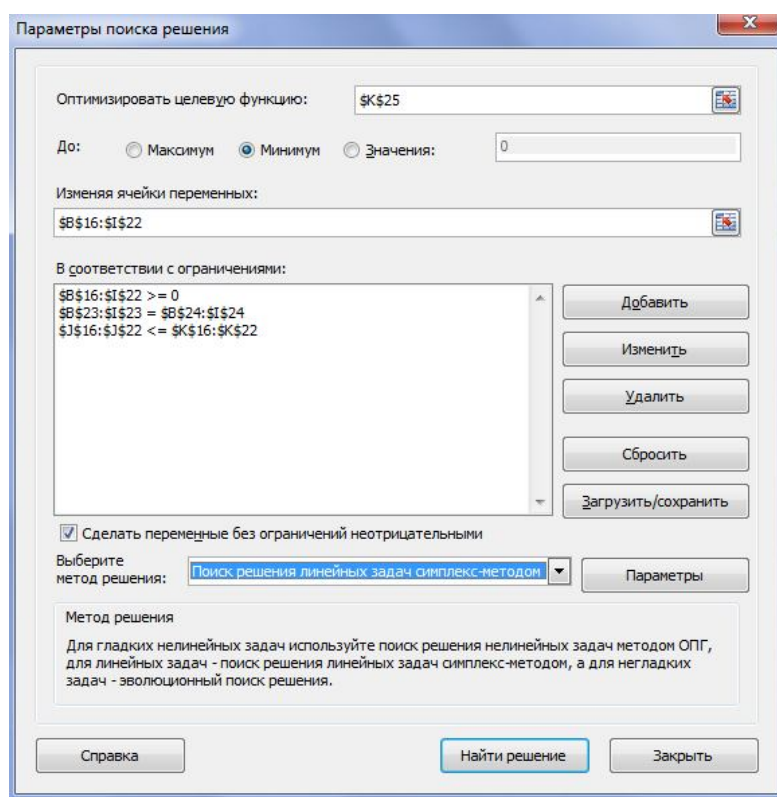
Для использования аппарата поиска решений выделяем ограничения (табл. 2).

Таблица 2

**Ограничения целевой функции**

Поле "Ссылка на ячейку"	Тип ограничения	Поле "Ограничение"	Примечания
\$J16:\$J22	=<	\$K16:\$K22	Ограничение на неполное распределение рукавов со склада
\$B23:\$I23	=	\$B24:\$I24	Потребности всех боевых участков должны быть удовлетворены
\$B16:\$I22	>=	0	Количество пожарных рукавов не может быть отрицательным

Исследуем полученную модель с использованием надстройки "поиск решения" в MS Excel.



**Рис. 2.** Вид формы для настройки параметров поиска решения в MS Excel

Итоговый план доставки пожарных рукавов к боевым участкам представлен в виде табл. (рис. 3).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
13	План доставки рукавов к боевым участкам на 1 этапе тушения									Использовано	Запасы на складе
14	Пожар 1			Пополнение запасов опорного пункта	Пожар 2						
15	Боевой участок 1	Боевой участок 2	Боевой участок 3		Боевой участок 1*	Боевой участок 2*	Боевой участок 3*	Боевой участок 4*			
16	Склад ПТЦ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50
17	Из ПЧ-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
18	Из ПЧ-2	0	7	3	0	0	0	0	0	10	10
19	Из ПЧ-3	5	0	1	0	0	0	0	0	6	10
20	Из ПЧ-4	0	0	0	0	2	8	0	0	10	10
21	Из ПЧ-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
22	Из опорного пункта по тушению крупных пожаров,	0	0	0	0	4	0	10	12	26	50
23	Объем доставки	5	7	4	0	6	8	10	12	суммы	150
24	Потребность	5	7	4	0	6	8	10	12	52	
25	Целевая функция (минимальное время доставки рукавов), мин.										353

Рис. 3. Итоговый план доставки пожарных рукавов

Рукавные линии, которые уже отработали на пожаре и замерзли, следует увозить на склад ПТЦ, для чего целесообразно использовать модель объезда боевых участков.

На основании полученного решения строим диаграмму доставки пожарных рукавов к боевым участкам (рис. 4).

Если оба пожара на всех боевых участках потушить не удалось, тогда выполняем вторую итерацию по замене рукавов с учетом осатков на складе и необходимости пополнения запасов на опорном пункте по тушению крупных пожаров – 26 рукавов. Получим следующее распределение пожарных рукавов во время пожаров (рис. 5).

На второй итерации все рукава в пожарных частях и в ПТЦ уже выбраны, при этом из ПТЦ пополнены запасы рукавов опорного пункта, которые были израсходованы при первоначальном распределении.

Рассматриваемый пример позволяет обосновать управленческое решение по доставке и распределению пожарных рукавов по боевым участкам. Показана возможность осуществления информационной поддержки принятия решения по минимизации времени доставки пожарных рукавов в условиях крупного пожара на требуемое количество боевых участков.

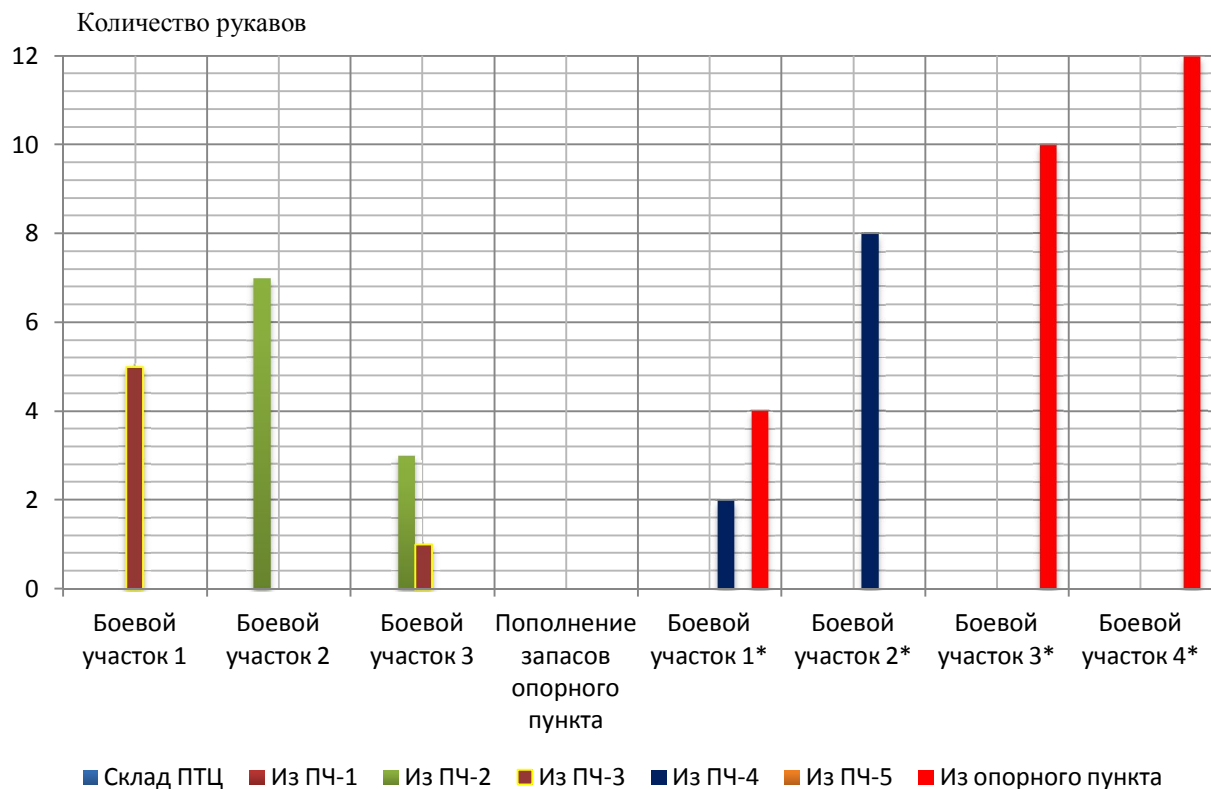
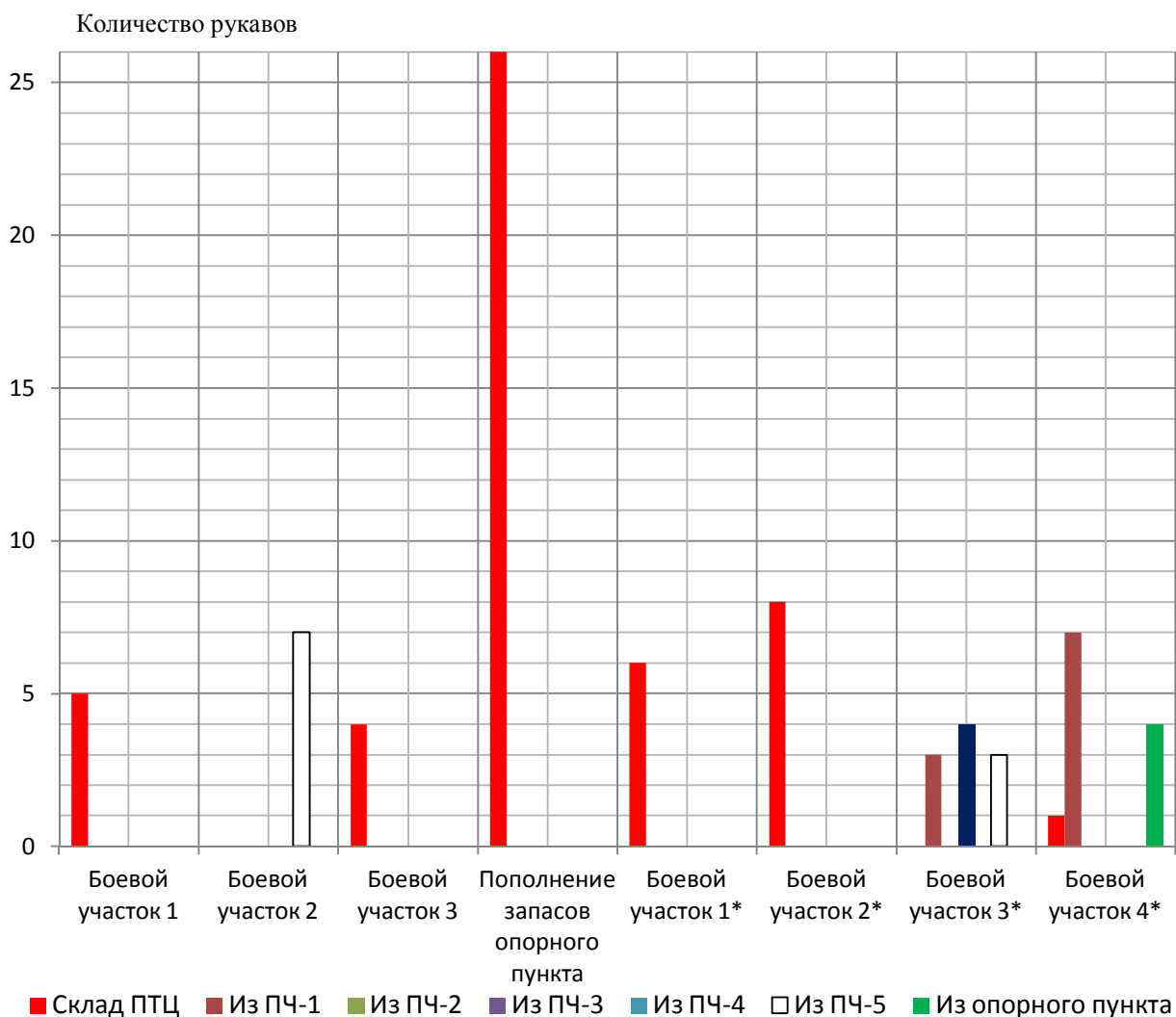


Рис. 4. Диаграмма доставки пожарных рукавов к боевым участкам

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
13	План доставки рукавов к боевым участкам на 1 этапе тушения										
14	Пожар 1					Пожар 2					
15	Боевой участок 1	Боевой участок 2	Боевой участок 3	Пополнение запасов опорного пункта	Боевой участок 1*	Боевой участок 2*	Боевой участок 3*	Боевой участок 4*	Использовано	Запасы на складе	
16	Склад ПТЦ	5	0	4	26	6	8	0	1	50	50
17	Из ПЧ-1	0	0	0	0	0	0	3	7	10	10
18	Из ПЧ-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	Из ПЧ-3	0	0	0	0	0	0	4	0	4	4
20	Из ПЧ-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	Из ПЧ-5	0	7	0	0	0	0	3	0	10	10
22	Из опорного пункта	0	0	0	0	0	0	0	4	4	24
23	Объем доставки	5	7	4	26	6	8	10	12	суммы	98
24	Потребность	5	7	4	26	6	8	10	12	78	
25	Целевая функция (минимальное время доставки рукавов), мин.										1247

Рис. 5. Распределение пожарных рукавов во время пожаров



**Рис. 6.** Диаграмма доставки пожарных рукавов к боевым участкам по итогам второй замены рукавов

### Литература

1. *Приказ МЧС № 555* от 18 сентября 2012 г. "Об организации материально-технического обеспечения системы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий".
2. *Приказ МВД № 366* от 25 сентября 1995 г. "Об утверждении нормативов трудоёмкости технического обслуживания и ремонта пожарных автомобилей".
3. *Алешков М.В.* Повышение работоспособности напорных рукавных линий при тушении пожаров в условиях низких температур. Дис. канд. тех. наук, М.: ВИПТШ МВД СССР, 1990.
4. *Алешков М.В., Пушкин Д.С.* Коэффициенты сопротивления пожарных напорных рукавов // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2009. № 4. С. 47-52.
5. *Хемди А. Таха.* Введение в исследование операций. 7-е изд.: Пер. с англ. М.: Изд. дом "Вильямс", 2005. 912 с.