

Е.В. Павлов, А.Ю. Баранник, А.В. Лагутина, В.И. Ершов

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА МНОГОРЕЖИМНОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ В ЧС

Целью исследования является оценка технико-экономической эффективности робототехнического комплекса, предназначенного для ликвидации чрезвычайных ситуаций техногенного характера, связанных с необходимостью ликвидации возгораний. Данные ЧС могут возникать, прежде всего при радиационных и химических авариях, а также при авариях на взрывопожароопасных объектах. Ликвидация таких ЧС, как правило связана с повышенным риском для пожарных и спасателей и требует применения тяжелой техники. Предлагается разработать и использовать робототехнический комплекс многорежимного пожаротушения (РТК-ПМ) в следующем составе; шесть специализированных робототехнических средств с возможностью экипажного и дистанционного управления, в том числе: разграждения (РТС-РЗ), пожарное (РТС-П), высотное (РТС-ВС), рукавное (РТС-РК), насосное (РТС-НС) и заправки (РТС-ЗВ); подвижный пункт управления; машины обеспечения. При этом актуальной проблемой является разработка подходов к оценке технико-экономической эффективности робототехнических средств и комплексов применяемых для ликвидации чрезвычайных ситуаций. Предлагается методика проведения таких исследований на основе двухуровневой количественно-качественной сравнительной оценки по показателям технической и экономической эффективности выполнения задачи. Для оценки технической эффективности в качестве основных показателей предлагается рассматривать время развертывания, время тушения пожара, время на выполнение задачи, количество огнетушащих веществ. В качестве критериев технической эффективности предлагается оценивать коэффициент оперативности выполнения задачи, коэффициент мобильности развертывания; коэффициент оперативности тушения пожара; степень эффективности роботизации РТК. Качественное сравнение заключается в выявлении видов работ, доступных одному из сравниваемых комплексов и недоступных другому. Оценка экономической эффективности РТК осуществляется по величине годового экономического эффекта от производства и использования единицы комплекса. Как и оценка технической эффективности рассматриваемая оценка также является сравнительной – показывает преимущество (или недостаток) над заменяемым (базовым) комплексом. Также представлены результаты применения данной методики при расчете эффективности перспективного робототехнического комплекса многорежимного пожаротушения, которые показывают, что применение одного робототехнического комплекса многорежимного пожаротушения позволит получать экономический эффект в размере 1,39 млн руб. в год.

Робототехнический комплекс; техническая эффективность; тушение пожара; экономическая эффективность; методика; дистанционный режим.

E.V. Pavlov, A.Yu. Barannik, A.V. Lagutina, V.I. Ershov

TECHNICAL AND ECONOMIC EFFICIENCY OF APPLICATION OF ROBOTIC COMPLEX OF MULTI-MODE FIRE EXTINGUISHING IN EMERGENCIES

The aim of the study is to evaluate the technical and economic efficiency of a robotic complex designed to eliminate man-made emergencies associated with the need to eliminate fires. These emergencies can occur, first of all, in radiation and chemical accidents, as well as in accidents at fire and explosion hazardous facilities. The elimination of such emergencies, as a rule, is associated with an increased risk for firefighters and rescuers and requires the use of heavy equipment. It is proposed to develop and use a robotic complex for multi-mode fire extinguishing (RTK-PM) in the following composition; six specialized robotic means with the possibility of crew and remote control, including: barriers (RTS-RZ), fire (RTS-P), high-rise (RTS-VS), sleeve (RTS-RK), pumping (RTS-NS) and gas stations (RTS-ZV); mobile control point; supply machines. At the same time, the actual problem is the development of approaches to as-

sessing the technical and economic efficiency of robotic tools and complexes used to eliminate emergency situations. A technique for conducting such studies is proposed on the basis of a two-level quantitative-qualitative comparative assessment in terms of technical and economic efficiency of the task. To assess the technical efficiency, it is proposed to consider the deployment time, the time to extinguish the fire, the time to complete the task, the amount of fire extinguishing agents as the main indicators. As criteria for technical efficiency, it is proposed to evaluate the coefficient of efficiency of the task, the coefficient of deployment mobility; coefficient of fire extinguishing efficiency; the degree of efficiency of RTC robotization. Qualitative comparison consists in identifying the types of work available to one of the compared complexes and inaccessible to another. The evaluation of the economic efficiency of the RTK is carried out by the value of the annual economic effect from the production and use of a unit of the complex. Like the assessment of technical efficiency, the assessment under consideration is also comparative - it shows an advantage (or disadvantage) over the replaced (basic) complex. Also presented are the results of applying this technique when calculating the effectiveness of a promising robotic complex for multi-mode fire extinguishing, which show that the use of one robotic complex for multi-mode fire extinguishing will provide an economic effect in the amount of 1.39 million rubles. in year.

Robotic complex; technical efficiency; fire extinguishing; economic efficiency; methodology; remote mode.

Введение. Угроза возникновения техногенных крупномасштабных чрезвычайных ситуаций (ЧС), ликвидация последствий которых, как правило, связана с наличием условий особого риска, при которых существует реальная угроза для жизни человека, продолжает оставаться весьма актуальным фактором [1–5]. К таким ЧС относятся радиационные аварии, химические аварии, аварии на взрывопожароопасных объектах, при тушении пожаров, на которых потребуются применение робототехнических средств (РТС) и особых технологий, в основе которых лежит использование защищенной передвижной пожарной техники.

Специализированное РТС должно иметь следующее конструктивное построение: базовое шасси танка Т-72; рабочее оборудование модульного или встроенного типа; специальные системы защиты и жизнеобеспечения; систему управления, включающую бортовую аппаратуру управления и индивидуальный пульт управления [6–10].

Режимы тушения пожаров, которые предусматривается реализовать в РТК-ПМ, условно объединяются в две группы: режимы разового цикла пожаротушения возимым запасом воды и режимы длительного пожаротушения с использованием водоемов.

Эффективность применения РТК-ПМ предлагается оценивать его возможностями по площадному темпу пожаротушения объекта при обеспечении нормируемой интенсивности подачи воды на цели пожаротушения [11, 12]. С помощью этой величины, в свою очередь, определяются и возможности по продолжительности тушения пожара. Кроме того, важной величиной, определяющей возможности комплекса при реализации режимов разового цикла, является площадь пожаротушения.

Формальная постановка задачи. В общем случае основными параметрами, используемыми для оценки эффективности средств пожаротушения, являются время развертывания T и количество подаваемых огнетушащих веществ Q . Таким образом оценка технико-экономической эффективности производится на основе сравнения данных показателей и стоимости образцов.

Однако для оценки технико-экономической эффективности средств ЧС техногенного характера, сопровождаемых пожарами, в том числе радиационных, химических, аварии на взрывопожароопасных объектах, требуются специальные технологии, а, следовательно, и другие подходы к оценке применяемых средств.

В основу технико-экономической оценки эффективности применения робототехнического комплекса многорежимного пожаротушения (РТК-ПМ) положена двухуровневая количественно-качественная сравнительная оценка предлагаемой к разработке и традиционной, принятой в качестве лучшей, техники по основным по-

казателям эффективности выполнения задач пожаротушения. В настоящей работе предлагаемый к разработке РТК-ПМ сравнивается с робототехническим комплексом «Кедр» (РТК «Кедр»). Используемая модель оценки, структура которой представлена на рис. 1, разработана на основе систематизации определяющих положений, обоснованных в научных работах [13–15] под руководством д.т.н. Северова Н.В.

Двухуровневая оценка включает сравнение комплексов отдельно по показателям технической и экономической эффективности выполнения задачи тушения пожара.

Подзадача оценка технической эффективности. Оценка технической эффективности применения РТК-ПМ осуществляется по количественным критериям и качественным сравнением.

При количественной оценке учитываются времена разворачивания t_p, t_p (соответственно для РТК-ПМ и РТК «Кедр») и тушения пожара t_T, t_T , а также затрачиваемое на выполнение задачи количество огнетушащих веществ Q_v . В качестве критериев технической эффективности РТК-ПМ выступают:

$$K_{вз} = \frac{\tau_{вз}}{t_{вз}} - \text{коэффициент оперативности выполнения задачи, где } \tau_{вз} = \tau_p + t_T,$$

$t_{вз} = t_p + t$ – времена выполнения задачи;

$$K_m = \frac{\tau_p}{t_p} - \text{коэффициент мобильности разворачивания};$$

$$K_T = \frac{\tau_T}{t_T} - \text{коэффициент оперативности тушения пожара};$$

$S_{п РТК}$ – степень эффективности роботизации РТК по показателю П, где П – $\tau_{вз}, t_{вз}, \tau_p, t_p, \tau_T, t_T$.

Степень эффективности роботизации РТС или РТК $S_{п}$ по сравниваемому показателю П определяется в соответствии с математическим выражением [16, 17]:

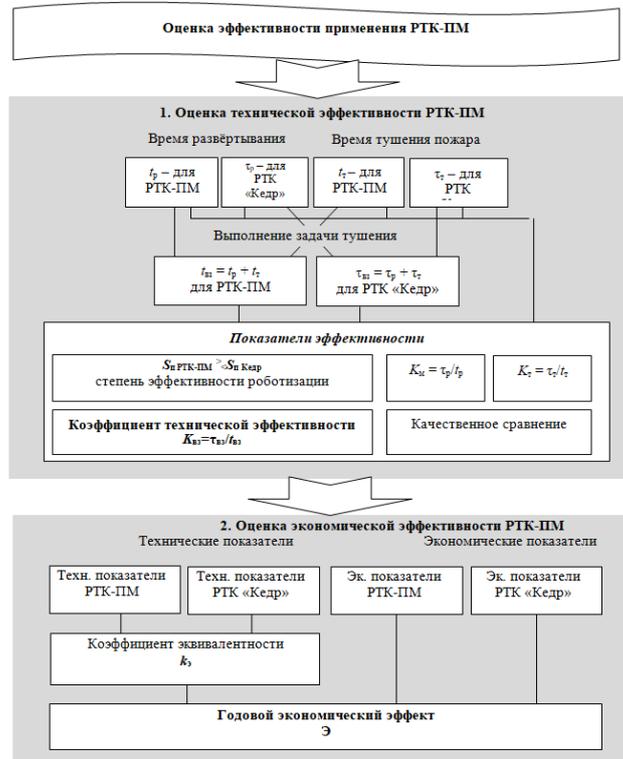


Рис. 1. Структура модели оценки эффективности применения пожарного РТК-ПМ в ЧС

$$S_{\text{п РТК}} = \frac{\Pi_{\text{ДУ}}^{\text{ЧС}} - \Pi_{\text{ЭК}}^{\text{ЧС}}}{\Pi_{\text{ЭК}}^{\text{НУ}}}, \quad (1)$$

где $\Pi_{\text{ДУ}}^{\text{ЧС}}$ – значение, принимаемое показателем П в условиях ЧС при дистанционном управлении РТК;

$\Pi_{\text{ЭК}}^{\text{ЧС}}$ – значение, принимаемое показателем П в условиях ЧС при экипажном режиме управления РТС;

$\Pi_{\text{ЭК}}^{\text{НУ}}$ – значение, принимаемое показателем П в нормальных условиях при отсутствии поражающего действия при экипажном режиме управления РТК.

В качестве показателей П, по которым оценивается степень эффективности роботизации, принимаются: время развёртывания, тушения пожара, выполнения задачи РТС (или РТК). Сравнение эффективности роботизации можно также производить по объёму $Q_{\text{вз РТК-ПМ}}$ ($Q_{\text{вз Кедр}}$), производительности $V_{\text{вз РТК-ПМ}} = \frac{Q_{\text{вз}}}{t_{\text{вз}}}$ ($V_{\text{вз Кедр}} = \frac{Q_{\text{вз}}}{\tau_{\text{вз}}}$) и вероятности $P_{\text{вз РТК-ПМ}}$ ($P_{\text{вз Кедр}}$) выполнения задачи.

Качественное сравнение заключается в выявлении видов работ, доступных одному из сравниваемых комплексов и недоступных другому.

Подзадача оценка экономической эффективности. Оценка экономической эффективности РТК-ПМ осуществляется по величине годового экономического эффекта от производства и использования единицы комплекса, установленного инструкцией [6, 7]. При оценке экономической эффективности РТК-ПМ по годовому экономическому эффекту наряду с экономическими показателями (себестоимостью, капиталовложениями и текущими эксплуатационными затратами) посредством использования коэффициента эквивалентности k_3 могут учитываться:

- ◆ технические преимущества (энерговооруженность, габаритные размеры, динамические характеристики и т.д.);
- ◆ результаты эксплуатации (долговечность, надежность, точность действий и т.д.);
- ◆ уровень механизации и автоматизации, простота и безопасность эксплуатации, удобство ремонта и технического обслуживания.

Как и оценка технической эффективности рассматриваемая оценка также является сравнительной – показывает преимущество (или недостаток) над заменяемым (базовым) комплексом.

Годовой экономической эффект от производства и использования РТК-ПМ определяем по формуле:

$$\Theta = \left[3_1 k_3 \cdot \frac{P_1 + E_n}{P_2 + E_n} + \frac{(I_1 \cdot k_3 - I_2) - E_n \cdot (K_2^1 - K_1^1)}{P_2 + E_n} - 3_2 \right] k_n, \quad (2)$$

где 3_1 и 3_2 – приведенные затраты единицы, соответственно, базовой и новой модели техники, руб.;

k_3 – коэффициент эквивалентности;

$\frac{P_1 + E_n}{P_2 + E_n}$ – коэффициент учета изменения срока службы новой техники по сравнению с базовой;

P_1 и P_2 – доли отчислений от балансовой стоимости на полное восстановление базовой и новой техники. Устанавливаются с учетом срока службы t_c . Для $t_c = 5$ лет $P = 0,1638$;

E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, установлен $E_n = 0,15$;

$\frac{(I_1 \cdot k_3 - I_2) - E_n \cdot (K_2^1 - K_1^1)}{P_2 + E_n}$ – экономия потребителя на текущих издержках эксплуатации и отчислениях от сопутствующих капитальных вложений за весь срок службы нового технического решения по сравнению с базовым, руб.;

K_2^1 и K_1^1 – сопутствующие капитальные вложения потребителя по сравниваемым вариантам, руб.;

I_1 и I_2 – годовые эксплуатационные издержки потребителя при использовании сравниваемых вариантов, руб.;

k_n – коэффициент годового использования внедряемой техники. Для РТК-ПМ $k_n = 0,02$.

Коэффициент эквивалентности $k_э$, определяется по формуле:

$$k_э = \alpha_1 q_1 + \alpha_2 q_2 + \dots + \alpha_N q_N, \quad (3)$$

где α_i – коэффициент значимости i -того относительного показателя, $\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_N = 1$;

$q_i = \Pi_{i2} / \Pi_{i1}$ – i -ый относительный показатель;

Π_{i1} и Π_{i2} – i -ый показатель базового и внедряемого комплекса (энерговооруженность, емкость цистерны, производительность насоса и т.д.);

N – количество учитываемых показателей.

Результаты расчетов. В соответствии с представленной выше методикой исходным материалом для оценки технической эффективности РТК-ПМ являются величины времени развертывания и тушения пожаров данного комплекса и взятого для сравнения РТК «Кедр».

В ходе настоящей оценки указанные величины определялись посредством статистической обработки данных, полученных:

- ♦ в ходе натурных экспериментов, проводимых при отсутствии поражающего действия при экипажном режиме управления РТК ($t_{рЭК}^{НУ}$, $t_{тЭК}^{НУ}$, $t_{рЭК}^{НУ}$, $t_{тЭК}^{НУ}$);

- ♦ путем пересчета с использованием коэффициентов, обоснованных и представленных в отчетах о проведенных научных исследованиях [18, 19].

Параметры, полученные в ходе проведения натурных экспериментов, представлены в табл. 1. Время тушения пожара определялось для условий, при которых для тушения пожара потребуется 300000 л воды. При этом учитывалось, что производительность системы пожаротушения РТК «Кедр» составляет 40 л/с, а РТК-ПМ – 100 л/с.

Таблица 1

Значения времени развертывания РТК и тушения пожара при отсутствии поражающего действия при экипажном режиме управления

Последовательно выполняемые операции	РТК	
	РТК «Кедр»	РТК-ПМ
Общее время развертывания, мин.	$t_{рЭК}^{НУ} = 56$	$t_{рЭК}^{НУ} = 37$
Подготовка РТС-НР к спуску на воду, с	720	–
Подготовка РТС-П к движению, с	300	–
Сцеп РТС-НР с РТС-Р, с	–	60
Спуск РТС-НР на воду, с	95	100
Движение РТС-П к объекту пож., с	2160	–
Раскладка рукавов при движении РТС-Р от водоёма к объекту пожара, с	–	1800
Сцеп РТС-Р с РТС-П, с	–	60
Подача воды от РТС-НР к РТС-П, с	40	200
Общее время тушения пожара, мин	$t_{тЭК}^{НУ} = 125$	$t_{тЭК}^{НУ} = 50$

С учетом изложенного время тушения пожара составляет:
для РТК «Кедр»:

$$\tau_{тЭК}^{ну} = \frac{300000}{40} = 7500 \text{ с} = 125 \text{ мин.};$$

для РТК-ПМ:

$$t_{тЭК}^{ну} = \frac{300000}{100} = 3000 \text{ с} = 50 \text{ мин.}$$

В соответствии с исследованиями [18, 19] в условиях ЧС время операций разворачивания РТК увеличивается:

а) в 1,15 раза, если эти операции выполняются при дистанционном режиме управления;

б) в 1,3 раза, если операции выполняются экипажами в средствах химической защиты.

Время тушения пожара в условиях ЧС по сравнению с условиями отсутствия поражающих воздействий не изменяется, так как потребное количество огнетушащих веществ и производительность системы остается прежней. В табл. 2 представлены значения времени разворачивания РТК и тушения пожара в условиях ЧС, определенные с учетом принятых допущений.

Таблица 2

Значения времени разворачивания РТК и тушения пожара в условиях ЧС

Режим управления	РТК	
	РТК «Кедр»	РТК-ПМ
Экипажный	$\tau_{рЭК}^{ЧС} = 1,3 * 56 = 72,8 \text{ мин.}$ $\tau_{тЭК}^{ЧС} = 125 \text{ мин.}$	$t_{рЭК}^{ЧС} = 1,3 * 37 = 48,1 \text{ мин.}$ $t_{тЭК}^{ЧС} = 50 \text{ мин.}$
Дистанционный	$\tau_{рДу}^{ЧС} = 1,15 * 2295 + 1,3 * 1020 = 3965,25 \text{ с} = 66,1 \text{ мин.}$ $\tau_{тДу}^{ЧС} = 125 \text{ мин.}$	$t_{рДу}^{ЧС} = 1,15 * 37 = 42,55 \text{ мин.}$ $t_{тДу}^{ЧС} = 50 \text{ мин.}$

Эффективность применения РТК-ПМ по суммарному коэффициенту

$$K_{вз} = \frac{\tau_{вз}}{t_{вз}} = \frac{66,1 + 125}{42,55 + 50} = 2,065.$$

Эффективность применения РТК-ПМ по частным показателям:

а) по коэффициенту мобильности разворачивания:

$$K_{м} = \frac{\tau_{р}}{t_{р}} = \frac{66,1}{42,55} = 1,553;$$

б) по коэффициенту оперативности тушения пожара

$$K_{т} = \frac{\tau_{т}}{t_{т}} = \frac{125}{50} = 2,5;$$

в) по степени эффективности роботизации (табл. 3).

Таблица 3

Степень эффективности роботизации $S_{п}$ РТК-ПМ и РТК «Кедр»

Параметр сравнения	РТК		$S_{РТК-ПМ}/S_{Кедр}$
	РТК «Кедр»	РТК-ПМ	
Время разворачивания	-0,12	-0,15	1,25
Время выполнения задачи	-0,037	-0,064	1,73

г) качественной характеристике эффективности РТК-ПМ следует отнести возможность выполнять при использовании этого комплекса работ, не доступные для РТК «Кедр»:

- ◆ разграждение загрязненных территорий при ликвидации последствий ЧС;
- ◆ подвоз к месту пожара огнетушащих веществ при помощи специальных машин-водозовов, в случае отсутствия или невозможности использования водоемов;
- ◆ проведение высотного пожаротушения с использованием высотного пожарного РТК.

Для оценки годового экономического эффекта от производства и использования единицы робототехнического комплекса РТК-ПМ для тушения пожара в ЧС определялись коэффициенты значимости относительных показателей и коэффициент эквивалентности.

В табл. 4 приведены технические и экономические показатели базового РТК «Кедр» и внедряемого РТК-ПМ, являющиеся исходными данными для осуществляемой оценки.

Таблица 4

Технико-экономические показатели сравниваемых робототехнических комплексов

Наименование показателей	Обозначение	РТК	
		«Кедр»	РТК-ПМ
Технические показатели			
Шасси		МТЛБУ	Т-72
Полная масса 1 ед., кг	G	16000	40000
Мощность двигателя, кВт	N	228	574
Емкость цистерны ОТВ, л	V	3200	18000
Производительность подачи ОТВ пожарным насосом, л/с	$Q_{пн}$	40	200
Производительность подачи насосной станции, л/с	$Q_{нс}$	120	300
Дальность подачи ОТВ лафетным столом, м	L_c	60	100
Дальность подачи ОТВ по рукавной линии, м	L_p	1000	2000
Дальность управления по радиоканалу, км		1,5	3
Время тушения, мин.		125	50
Срок службы, лет		5	5
Экономические показатели			
Себестоимость техники, млн. руб.	C	83,5	153,6
Удельные капитальные вложения в производственные фонды, млн. руб.	K	25,3	47,3
Эксплуатационные издержки, млн. руб.	I	10,4	19,2
Приведенные затраты, млн. руб.	Z	87,3	160,7
Стоимость техники, млн. руб.		89,2	164,2

Принимаем, что сопутствующие капитальные вложения потребителя по сравниваемым вариантам равны $K_1^1 = K_2^1$.

Приведенные затраты определены в соответствии с формулой:

$$Z = C + E_H * K, \quad (4)$$

тогда:

$$Z_1 = 83,5 + 0,15 * 25,3 = 87,3 \text{ млн. руб.};$$

$$Z_2 = 153,6 + 0,15 * 47,3 = 160,7 \text{ млн. руб.}$$

Определение коэффициентов значимости относительных показателей

В качестве относительных показателей, по которым формируется коэффициент эквивалентности, взяты отношения значений следующих шести параметров (параметров РТС-ПМ к параметрам РТК «Кедр») сравниваемых комплексов: энерговооруженностей (N/G), емкостей цистерн ОТВ (V), производительностей подачи ОТВ пожарными насосами ($Q_{пн}$), производительностей подачи насосными станциями ($Q_{нс}$), дальностей подачи ОТВ лафетными столами (L_c) и дальностей подачи ОТВ по рукавным линиям (L_p). Коэффициенты значимости указанных относительных показателей определялись путем обработки экспертных матриц попарных сравнений значимости относительных параметров РТК «Кедр» и РТК-ПМ. Усредненная матрица попарных сравнений значимости относительных показателей, полученная методом медиан Кемени [20], представлена в табл. 5.

Таблица 5

Усредненная матрица попарных сравнений значимости относительных показателей сравниваемых робототехнических комплексов

	N/G	V	$Q_{пн}$	$Q_{нс}$	L_c	L_p	Σ	α
N/G	0,5	1	1	0	1	0,5	4,0	0,23
V	0	0,5	0,5	0	0,5	0	1,5	0,08
$Q_{пн}$	0	0,5	0,5	0	0,5	0	1,5	0,08
$Q_{нс}$	1	1	1	0,5	1	0	4,5	0,25
L_c	0	0,5	0,5	0	0,5	0,5	2,0	0,11
L_p	0,5	1	1	1	0,5	0,5	4,5	0,25

В таблице также представлены значения искомым коэффициентов, как нормированные суммы баллов показателей (по каждой строке).

Расчет коэффициента эквивалентности

С учетом полученных значений коэффициентов значимости с использованием формулы (3) определяется эквивалентности:

$$\begin{aligned}
 K_3 &= 0,23 \frac{N_2/G_2}{N_1/G_1} + 0,08 \frac{V_2}{V_1} + 0,08 \frac{Q_{пн2}}{Q_{пн1}} + 0,25 \frac{Q_{нс2}}{Q_{нс1}} + 0,11 \frac{L_{c2}}{L_{c1}} + 0,25 \frac{L_{p2}}{L_{p1}} = \\
 &= 0,23 \frac{576/40000}{228/16000} + 0,08 \frac{18000}{3200} + 0,08 \frac{200}{40} + 0,25 \frac{300}{120} + 0,11 \frac{100}{60} + 0,25 \frac{2000}{1000} = \\
 &= 0,23242 + 0,45 + 0,4 + 0,625 + 0,18333 + 0,5 = 2,39075.
 \end{aligned}$$

Расчет годового экономического эффекта от производства и использования РТК-ПМ

Годовой экономический эффект от производства и использования одной единицы РТК-ПМ вместо единицы РТК «Кедр» рассчитывается с использованием формулы (2):

$$\begin{aligned}
 \mathcal{E} &= \left[3_1 K_3 \frac{P_1 + E_n}{P_2 + E_n} + \frac{(I_1 \cdot K_3 - I_2) - E_n \cdot (K_2^1 - K_1^1)}{P_2 + E_n} - 3_2 \right] K_n = \\
 &= \left[87,3 * 2,39 * 1 + \frac{(10,4 * 2,39 - 19,2) - 0,15 * 0}{0,1638 + 0,15} - 160,7 \right] * 0,02 = \\
 &= \left(208,647 + \frac{5,656}{0,3138} - 160,7 \right) * 0,02 = 65,9712 * 0,02 = 1,319 \text{ млн руб.}
 \end{aligned}$$

Результат расчета показывает, что экономический эффект от производства предлагаемого комплекса многорежимного пожаротушения РТК-ПМ и его использования при тушении пожаров на особо опасных объектах существует и составляет 1,319 млн. рублей в год при внедрении одного комплекса.

Таким образом, результаты оценки технико-экономической эффективности указывают на целесообразность производства и внедрения в практику тушения пожаров на особо опасных объектах предлагаемого робототехнического комплекса многорежимного пожаротушения РТК-ПМ.

Техническая эффективность применения РТК-ПМ составляет:

- ◆ по коэффициенту мобильности развертывания – 1,553;
- ◆ по коэффициенту оперативности тушения пожара – 2,5;
- ◆ по суммарному коэффициенту – 2,065.
- ◆ по степени эффективности роботизации – 1,25 для времени развертывания и 1,73 для времени выполнения задачи.

Годовой экономический эффект от производства и использования одной единицы РТК-ПМ составляет 1,319 млн. рублей.

Заключение. Представленный методический аппарат позволяет достаточно надежно проводить оценку технико-экономической эффективности образцов и комплексов робототехнических средств применяемых для ликвидации ЧС. Необходимость его разработки была определена тем, что обычно применяющаяся оценка подходов к достижению базовых параметров, характеризующих выполнение задачи, в данном случае время развертывания и количество подаваемых огнетушащих веществ, не учитывает стоимостные показатели, рассматриваемых технических средств и комплексов. Для решения данной проблемы предлагается, кроме сравнения параметров, характеризующих техническую эффективность, производить оценку экономической эффективности по величине годового экономического эффекта от производства и использования единицы рассматриваемого технического средства. При этом предлагается расчет экономической эффективности осуществлять на основе таких показателей, как приведенные затраты на содержание базовой и новой модели техники; эквивалентность сравниваемых образцов; продолжительность срока службы техники; доли отчислений от балансовой стоимости на полное восстановление техники.

Проведенные расчеты подтверждают возможность использования данного подхода и достоверность полученных результатов. В перспективе он может быть использован при разработке технических заданий на создание и закупку РТК для оснащения реагирующих подразделений МЧС России, а также аналогичной по задачам техники для других федеральных органов исполнительной власти.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Мошков В.Б., Баранник А.Ю.* Перспективы развития системы робототехники МЧС России в интересах повышения эффективности ведения аварийно-спасательных работ // Технологии гражданской безопасности. Спецвыпуск. – 2021. – С. 124-126.
2. A Roadmap for US Robotics – From Internet to Robotics. – 2020 ed. – <https://www.semanticscholar.org>.
3. Unmanned Systems Roadmap: 2007-2032. – <https://www.globalsecurity.org>.
4. Firefighting Robots Go Autonomous. – <https://www.scientificamerican.com>.
5. Global Robot Firefighter Market 2021 Analysis by Sales, Industry Assessment, Industry, Trends and Forecast 2027. – <https://www.bignewsnetwork.com>.
6. *Асхадеев А.И., Павлов Е.В., Баранник А.Ю., Лагутина А.В., Козлов В.И., Пеньков И.А., Чирко О.В.* Система робототехники МЧС России. Состояние и перспективы развития // Технологии гражданской безопасности. – 2022. – № 2 (72). – С. 41-47.
7. *Павлов Е.В.* Условия эффективного пожаротушения и возможности группировки робототехнических комплексов по его выполнению при крупномасштабных авариях // Пожарная безопасность. – 2020. – № 4 (101). – С. 130-136.
8. *Павлов Е.В.* Технический состав робототехнического комплекса тяжелого класса многорежимного тушения пожара // Пожарная безопасность. – 2015. – № 1. – С. 109-110.
9. *Лагутина А.В., Баранник А.Ю.* Робототехнические комплексы МЧС России // Школа молодых ученых и специалистов МЧС России: Матер. юбилейного X форума. Санкт-Петербург, 15 октября 2020 г. – С. 207-212.

10. Павлов Е.В. Робототехнический комплекс тяжёлого класса многорежимного пожаротушения // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации: Сб. тезисов докладов международной научно-практической конференции: в 2 ч. Ч. 2. – М.: Академия ГПС МЧС России, 015. – С. 221-226.
11. Развитие, технология и эффективность применения робототехники в чрезвычайных ситуациях: монография. Ч. 1–4 / под научным руководством и общ. ред. д.т.н. Северова Н.В. – Химки: АГЗ МЧС РФ, 2010. – 702 с.
12. Конструктивное построение и эффективность применения робототехнического комплекса тушения пожара в крупномасштабных авариях: монография / под научным руководством д.т.н. Северова Н.В. – Химки: АГЗ МЧС РФ и ВНИИПО МЧС России, 2014. – 145 с.
13. Северов Н.В., Волик О.А. Применение робототехники в чрезвычайных ситуациях и при ликвидации последствий террористических актов. – Новогорск: АГЗ МЧС России, 2002. – 163 с.
14. Северов Н.В. Применение робототехники в чрезвычайных ситуациях: теория и практика: монография. – Новогорск: АГЗ МЧС России, 2003. – 241 с.
15. Северов Н.В. Применение робототехники в чрезвычайных ситуациях: теория и практика: монография. – М.: АГЗ, 2011. – 233 с.
16. Спасательные робототехнические системы и технологии: учебник / под науч. рук. и общ. ред. Н.В. Северова. – Химки: ФГБОУ ВПО «АГЗ МЧС России», 2012. – 728 с.
17. Северов Н.В., Байков А.В. Сетевая система управления и контроля применения робототехники в чрезвычайных ситуациях // Транспорт: наука, техника, управление. – 2014. – № 3. – С. 30-31.
18. Анализ химических аварий и оценка применения в них аварийно-спасательного инструмента. Отчет о НИР, шифр «Спас – 2». – Новогорск: АГЗ МЧС РФ, 2004. – 62 с.
19. Северов Н.В., Желтов В.Г. Технический облик многофункционального робототехнического комплекса тяжёлого класса и технология его применения в крупномасштабных авариях: монография. – Химки, АГЗ МЧС России, 2011. – 168 с.
20. Орлов А.И. Средние величины и законы больших чисел в пространствах произвольной природы // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – № 89 (05). – <http://ej.kubagro.ru/2013/05/pdf/38.pdf> (дата обращения: 19.05.2019).

REFERENCES

1. Moshkov V.B., Barannik A.Yu. Perspektivy razvitiya sistemy robototekhniki MCHS Rossii v interesakh povysheniya effektivnosti vedeniya avariynno-spatatel'nykh robot [Prospects for the development of the robotics system of the Ministry of Emergency Situations of Russia in the interests of improving the efficiency of emergency rescue operations], *Tekhnologii grazhdanskoy bezopasnosti. Spetsvypusk* [Civil Security Technologies. Special issue], 2021, pp.124-126.
2. A Roadmap for US Robotics – From Internet to Robotics, 2020 ed. Available at: <https://www.semanticscholar.org>.
3. Unmanned Systems Roadmap: 2007-2032. Available at: <https://www.globalsecurity.org>.
4. Firefighting Robots Go Autonomous. Available at: <https://www.scientificamerican.com>.
5. Global Robot Firefighter Market 2021 Analysis by Sales, Industry Assessment, Industry, Trends and Forecast 2027. Available at: <https://www.bignewsnetwork.com>.
6. Askhadeev A.I., Pavlov E.V., Barannik A.Yu., Lagutina A.V., Kozlov V.I., Pen'kov I.A., Chirko O.V. Sistema robototekhniki MCHS Rossii. Sostoyanie i perspektivy razvitiya [The robotics system of the Ministry of Emergency Situations of Russia. State and development prospects], *Tekhnologii grazhdanskoy bezopasnosti* [Civil Security Technologies], 2022, No. 2 (72), pp 41-47.
7. Pavlov E.V. Usloviya effektivnogo pozharotusheniya i vozmozhnosti gruppirovki robototekhnicheskikh kompleksov po ego vypolneniyu pri krupnomasshtabnykh avariyaх [Conditions for effective fire extinguishing and the possibility of grouping robotic systems for its implementation in case of large-scale accidents], *Pozharnaya bezopasnost'* [Fire Safety], 2020, No. 4 (101), pp. 130-136.
8. Pavlov E.V. Tekhnicheskii sostav robototekhnicheskogo kompleksa tyazhelogo klassa mnogorezhimnogo tusheniya pozhara [The technical composition of the heavy class robotic complex for multi-mode fire extinguishing], *Pozharnaya bezopasnost'* [Fire Safety], 2015, No. 1, pp. 109-110.

9. *Lagutina A.V., Barannik A.Yu.* Robototekhnicheskie komplekсы MChS Rossii [Robotic complexes of the Ministry of Emergency Situations of Russia], *Shkola molodykh uchenykh i spetsialistov MChS Rossii: Mater. yubileynogo X foruma. Sankt-Peterburg, 15 oktyabrya 2020 g.* [School of Young Scientists and specialists of the Ministry of Emergency Situations of Russia: Materials of the jubilee X Forum. St. Petersburg, October 15, 2020], pp. 207-212.
10. *Pavlov E.V.* Robototekhnicheskiy kompleks tyazhelogo klassa mnogorezhimnogo pozharotusheniya [Robotic complex of a heavy class of multi-mode fire extinguishing], *Pozharotushenie: problemy, tekhnologii, innovatsii: Sb. tezisov dokladov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Firefighting: problems, technologies, innovations: Collection of abstracts of reports of the international scientific and practical conference]: In 2 part. Part 2. Moscow: Akademiya GPS MChS Rossii, 015, pp. 221-226.
11. *Razvitie, tekhnologiya i effektivnost' primeneniya robototekhniki v chrezvychaynykh situatsiyakh: monografiya* [Development, technology and effectiveness of the use of robotics in emergency situations: monograph]. Part 1–4. / under the scientific supervision and general editorship of N. V. Severov, dr. of eng. sc. Khimki: AGZ MChS RF, 2010, 702 p.
12. *Konstruktivnoe postroenie i effektivnost' primeneniya robototekhnicheskogo kompleksa tusheniya pozhara v krupnomasshtabnykh aviaryakh: monografiya* [Structural construction and efficiency of the use of a robotic complex for extinguishing a fire in large-scale accidents. monograph], / under the scientific supervision of N.V. Severov, dr. of eng. sc. Khimki: AGZ MChS RF i VNIPO MChS Rossii, 2014, 145 p.
13. *Severov N.V., Volik O.A.* Primenenie robototekhniki v chrezvychaynykh situatsiyakh i pri likvidatsii posledstviy terroristicheskikh aktov [The use of robotics in emergency situations and in the aftermath of terrorist acts]. Novogorsk: AGZ MChS Rossii, 2002, 163 p.
14. *Severov N.V.* Primenenie robototekhniki v chrezvychaynykh situatsiyakh: teoriya i praktika. Monografiya [Application of robotics in emergency situations: theory and practice: monograph]. Novogorsk: AGZ MChS Rossii, 2003, 241 p.
15. *Severov N.V.* Primenenie robototekhniki v chrezvychaynykh situatsiyakh: teoriya i praktika: monografiya [Application of robotics in emergency situations: theory and practice: monograph]. Moscow: AGZ, 2011, 233 p.
16. *Spasatel'nye robototekhnicheskie sistemy i tekhnologii: uchebnik* [Rescue Robotic Systems and Technologies: textbook], under scientific. hands and general. ed. N.V. Severova. Khimki: FGBOU VPO «AGZ MChS Rossii», 2012, 728 p.
17. *Severov N.V., Baykov A.V.* Settsentrichnaya sistema upravleniya i kontrolya primeneniya robototekhniki v chrezvychaynykh situatsiyakh [Network-centric system of control and control of the use of robotics in emergency situations], *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie* [Transport: Science, Technology, Management], 2014, No. 3, pp. 30-31.
18. *Analiz khimicheskikh aviariy i otsenka primeneniya v nikh aviarno-spasatel'nogo instrumenta. Otchet o NIR, shifr «Spas – 2»* [Analysis of chemical accidents and assessment of the use of emergency rescue tools in them. Research report, code "Spas - 2"]. Novogorsk: AGZ MChS RF, 2004, 62 p.
19. *Severov N.V., Zheltov V.G.* Tekhnicheskiy oblik mnogofunktional'nogo robototekhnicheskogo kompleksa tyazhelogo klassa i tekhnologiya ego primeneniya v krupnomasshtabnykh aviaryakh: monografiya [The technical appearance of a multifunctional robotic complex of a heavy class and the technology of its application in large-scale accidents: monograph]. Khimki, AGZ MChS Rossii, 2011, 168 p.
20. *Orlov A.I.* Srednie velichiny i zakony bol'shikh chisel v prostranstvakh proizvol'noy prirody [Mean values and laws of large numbers in spaces of arbitrary nature], *Politematicheskii setevoj elektromyuy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University], 2013, No. 89 (05). Available at: <http://ej/kubagro.ru/2013/05/pdf/38.pdf> (data obrashcheniya: 19.05.2019).

Статью рекомендовал к опубликованию к.т.н. С.С. Носков.

Павлов Евгений Владимирович – ФГБУ «Всероссийский ордена «Знак Почёта» научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России»; e-mail: pavlov-yr@mail.ru; г. Балашиха, Россия; тел.: 89167850002; старший научный сотрудник научно-исследовательского центра пожарной техники и пожарной автоматизации.

Ершов Владимир Иванович – e-mail: evi-monino@mail.ru; тел.: 89690301515; к.в.н.; профессор; ведущий научный сотрудник научно-исследовательского центра пожарной техники и пожарной автоматики.

Баранник Александр Юрьевич – Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, федеральный центр науки и высоких технологий; e-mail: auba@yandex.ru; г. Москва, Россия; тел.: 89166951214; к.т.н.; с.н.с.; ведущий научный сотрудник 6 научно-исследовательского центра «Развития технических средств и технологий».

Лагутина Анна Викторовна – e-mail: anya-lagutina@yandex.ru; тел.: 89057118834; старший научный сотрудник 6 научно-исследовательского центра «Развития технических средств и технологий».

Pavlov Evgeny Vladimirovich – Federal State Budgetary Institution "All-Russian Order" Badge of Honor "Research Institute of Fire Defense of the Ministry of Emergency Situations of Russia", e-mail: pavlov-vp@mail.ru; Balashikha, Russia; phone: +79167850002; senior researcher at the Research Center for Fire Engineering and Fire Automation.

Ershov Vladimir Ivanovich – e-mail: evi-monino@mail.ru; phone: +79690301515; cand. of mil. sc.; professor; leading researcher of the Research Center for Fire Engineering and Fire Automation.

Barannik Alexander Yuryevich – All-Russian Scientific Research Institute for Civil Defense and Emergency of the EMERCOM of Russia, Federal Science and High Technologies Center; e-mail: auba@yandex.ru; Moscow, Russia; phone: +79166951214; cand. of eng. sc.; senior researcher; leading researcher of the 6th Research Center Development of technical means and technologies.

Lagutina Anna Viktorovna – e-mail: anya-lagutina@yandex.ru; phone: +79057118834; senior researcher of the 6th Research Center Development of technical means and technologies.

УДК 65.012.122

DOI 10.18522/2311-3103-2023-2-53-66

А.М. Грузликов

ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫЧИСЛЕНИЙ И ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ БОРТОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЕЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ*

Целью исследования является повышение эффективности высокоуровневого проектирования робототехнических комплексов в части организации вычислений и диагностирования программного обеспечения бортовых вычислителей. Рассматриваются три проблемы: назначения, планирования и диагностирования. Первая проблема, задача назначения, определение необходимых ресурсов и построения назначения программных модулей по процессорам бортовых вычислителей согласно заданному критерию. В работе дана математическая постановка задачи, приведены алгоритмы, показано наличие областей эффективного доминирования алгоритмов в зависимости от выбранного критерия. Вторая проблема, задача планирования, определение последовательности выполнения заданий в многоканальных системах согласно заданному критерию. Дана математическая постановка задачи, приведены алгоритмы и результаты их исследований. Особенностью рассматриваемых алгоритмов планирования является использование единого подхода, а именно понятия отношения доминирования между процессорами и построение разрешимых классов систем. Третья проблема, диагностирование программного обеспечения. Сложность проблемы диагностирования вычислительных систем определяется не только их высокой размерностью, но и множественностью причин возникновения нарушений. Источником нарушений вычислительного процесса

* Работа проводилась при поддержке гранта РФФИ № 22-29-00339.