

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

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ
К РОБОТОТЕХНИЧЕСКОМУ КОМПЛЕКСУ МНОГОРЕЖИМНОГО
ПОЖАРОТУШЕНИЯ**

Целью исследования является обоснование технических требований к робототехническому комплексу, предназначенному 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. В статье предложен подход, который предполагает рассмотрение двух возможных вариантов применения комплекса: при тушении пожара по площади в режимах разового цикла возимым запасом воды и при тушении пожаров в режиме длительного пожаротушения. При этом в качестве основных показателей для оценки эффективности комплекса предлагается рассматривать площадной темп пожаротушения и расход воды. Под площадным темпом пожаротушения предлагается понимать, как отношение площади тушения пожара к времени. Расход воды при пожаротушении является единой величиной для всех звеньев последовательной цепочки, в виде которой может быть представлена схема подачи воды к очагу пожара. Для первого варианта последовательно рассматривается величина расхода воды, которая зависит от напора, который создается перед водяным стволом. Данный показатель прежде всего зависит от таких факторов как напор воды, создаваемый насосом, потери напора в рукавной линии, превышения или понижения водяного ствола по отношению к насосу. По итогам расчетов для каждого звена полученные показатели суммируются. Для второго варианта, возможности робототехнического комплекса по длительному пожаротушению, предполагают использование в качестве источника пожаротушающего вещества, имеющийся водоем природного или искусственного происхождения. При этом количество факторов, влияющих на площадной темп пожаротушения и расход воды существенно возрастает. Для упрощения проведения расчетов разработана номограмма, которая позволяет рассчитать не только вышеуказанные показатели, но определить прогнозные значения времени необходимого для тушения пожара. Получаемые в результате вышеуказанных расчетов данные позволяют в итоге реализовать основную задачу, рассматриваемых исследований, т.е. оценки возможностей перспективного комплекса робототехнического комплекса по тушению пожаров на радиационно-, химически- и взрывоопасных объектах. Данную проблему предлагается решать путем формирования технических обликов РТК, которые могут быть созданы для решения пожаров на вышеуказанных объектах, и затем сравнительной оценкой их качества.

Робототехническое средство; робототехнический комплекс; пожаротушение; рукавная линия; номограмма.

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

**SUBSTANTIATION OF TECHNICAL REQUIREMENTS FOR ROBOTIC
COMPLEX OF MULTI-MODE FIRE EXTINGUISHING**

The purpose of the study is to substantiate the technical requirements for 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. The article proposes a campaign that involves considering two possible options for using the complex: when extinguishing a fire over an area in the modes of a single cycle with a transportable supply of water and when extinguishing fires in a long-term fire extinguishing mode. At the same time, it is proposed to consider the areal fire extinguishing rate and water consumption as the

main indicators for assessing the effectiveness of the complex. Under the areal rate of fire extinguishing, it is proposed to understand as the ratio of the fire extinguishing area to the time. Water consumption during fire extinguishing is a single value for all links in a serial chain, in the form of which a scheme for supplying water to a fire source can be represented. For the first option, the amount of water flow is sequentially calculated, which depends on the pressure that is created in front of the water shaft. This indicator primarily depends on such factors as the water pressure generated by the pump, the pressure loss in the hose line, the excess or decrease of the water barrel in relation to the pump. According to the results of calculations for each link, the obtained indicators are summarized. For the second option, the capabilities of the robotic complex for long-term fire extinguishing involve the use of an existing reservoir of natural or artificial origin as a source of fire extinguishing agent. At the same time, the number of factors affecting the areal rate of fire extinguishing and water consumption increases significantly. To simplify the calculations, a nomogram has been developed that allows you to calculate not only the above indicators, but also determine the predicted values of the time required to extinguish the fire. The data obtained as a result of the above calculations make it possible to finally realize the main task of the studies under consideration, that is assessment of the capabilities of a promising complex of a robotic complex for extinguishing fires at radiation-, chemical- and explosive objects. This problem is proposed to be solved by forming the technical forms of the RTK, which can be created to solve fires at the above objects, and then by a comparative assessment of their qualities.

Robotic tool; robotic complex; firefighting; hose line; nomogram.

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 потребуется применение робототехнических средств (РТС) и особых технологий, в основе которых лежит использование защищенной передвижной пожарной техники.

Из проведенного анализа созданной в МЧС России группировки РТС наземного применения и условий эффективного пожаротушения при крупномасштабных авариях не может быть сформирована эффективная многоэлементная система мобильных средств, действующих как единый взаимосвязанный пожарный комплекс [6]. Таким образом, становится очевидной необходимость создания нового специального пожарного робототехнического комплекса [7].

Предлагается разработать и использовать робототехнический комплекс многорежимного пожаротушения (РТК-ПМ) в следующем составе [8]:

- ◆ шесть специализированных РТС с возможностью экипажного и дистанционного управления: разграждения (РТС-РЗ), пожарное (РТС-П), высотное (РТС-ВС), рукавное (РТС-РК), насосное (РТС-НС) и заправки (РТС-ЗВ).

- ◆ подвижный пункт управления группового применения РТС, включающий беспилотное авиационное средство (ретранслятор);

- ◆ машины обеспечения: техобслуживания и ремонта, вспомогательный автомобиль, тягачи с трейлерами [9, 10].

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.

Формальная постановка задачи. 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 [11–13].

Эффективность применения РТК-ПМ предлагается оценивать его возможностями по площадному темпу пожаротушения объекта при обеспечении нормируемой интенсивности подачи воды на цели пожаротушения [14, 15]. 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.

Площадь тушения пожара S_T (м²) – площадь участка пожара, к которой обеспечивается подача требуемого объема воды робототехническим средством пожаротушения (РТС-П) и робототехническим средством высотного пожаротушения (РТС-ВС) с использованием возимого запаса воды или комплексом РТК-ПМ с использованием водоема за установленное время [16].

Площадной темп пожаротушения S_T' (м²/с) – величина, измеряемая площадью участка пожара, к которой обеспечивается подача необходимого количества воды за единицу времени.

Площадь тушения пожара в соответствии с моделью гидродинамики, принятой в теоретических разработках научных и учебных организаций МЧС России [17–19], определяется по формулам:

а) при автономном применении РТС-П (РТС-ВС) с использованием возимого запаса воды:

$$S_T = \frac{V_{ц} - V_{ст}}{J_T \tau_T}, \text{ м}^2, \quad (1)$$

где $V_{ц}$ – объем воды в цистерне РТС-П, л;

J_T – требуемая интенсивность подачи воды, л/(м² с). Значения данной характеристики нормируются для различных объектов пожаротушения;

$\tau_T = 600$ с – нормативное время подачи воды на элемент объекта тушения;

$V_{ст}$ – объем воды в линии водяного ствола, л;

б) при применении комплекса РТК-ПМ с использованием водоема:

$$S_T = \frac{60 Q}{J_T \tau_T} t, \text{ м}^2, \quad (2)$$

где Q – расход воды при пожаротушении, измеряемый объемом воды, подача которого к очагу пожара обеспечивается средством, за единицу времени, л/с;

t – время тушения пожара, мин.

Площадной темп пожаротушения определяется как отношение площади тушения пожара к времени:

$$S_T' = \frac{S_T}{t} = \frac{Q}{J_T \tau_T}, \frac{\text{м}^2}{\text{с}}. \quad (3)$$

Расход воды при пожаротушении является единой величиной для всех звеньев последовательной цепочки, в виде которой может быть представлена схема подачи воды к очагу пожара, определяемая одним из режимов пожаротушения с применением РТК-МП. При этом каждое звено этой цепочки включает (рис. 1):

- ♦ водяной насос, создающий напор воды P_1 , МПа. Регулируемая величина этого напора ограничивается некоторым максимальным значением, установленным для этого насоса. Кроме того, существует максимальное значение расхода воды, которое может обеспечить насос;

- ♦ рукавную линию длиной L , м, конечная часть которой имеет относительно насоса некоторое превышение или принижение H_p , м. Рукавная линия может быть создана как с использованием рукавов робототехнического средства насосной станции (РТС-НС), так и робототехнического средства рукавного комплекса (РТС-РК). Ввиду того, что установка насосов на РТС-РК не предусмотрена, то соединение РТС-НС и РТС-РК рассматривается как одно звено схемы;

- ♦ сливной патрубков, являющийся источником воды для следующего элемента, или окончательный водяной ствол. Перед ними имеет место напор воды P_2 , МПа.

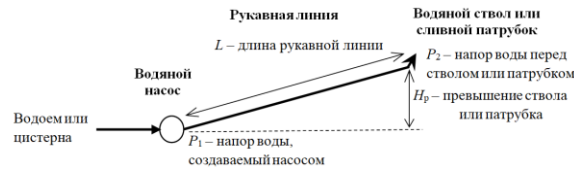


Рис. 1. Элемент схемы подачи воды к очагу пожара

Величина расхода, обеспечиваемая каждым звеном схемы подачи воды к очагу пожара, определяется математическим выражением [7]

$$Q = \sqrt{\frac{P_1 - 0,01 H_2}{\sigma L + s}}, \quad (4)$$

где σ – удельные потери напора в рукавной линии, $\frac{\text{МПа} \cdot \text{с}^2}{\text{л}^2 \cdot \text{м}}$. Значения этой величины зависят от диаметра d рукавов и определяются в соответствии с результатами исследований, представленными в [14];

L – длина рукавной линии или линии водяного ствола, м;

s – сопротивление насадки лафетного ствола (патрубка), $\frac{\text{МПа} \cdot \text{с}^2}{\text{л}^2}$. Эта величина зависит от диаметра ствола или патрубка и рассчитывается в соответствии с материалами, представленными в [7].

Если $P_1 < 0,01 H_p$, то $Q = 0$.

Выражение (4) получено следующим образом. Величина расхода, обеспечиваемая каждым звеном схемы, зависит от напора, который создается перед сливным патрубком или водяным стволом $Q = Q(P_2)$.

В свою очередь, на напор воды P_2 влияют [12, 13]:

- ♦ напор воды P_1 , создаваемый насосом;
- ♦ потери напора воды $\Delta P_p(Q)$ в рукавной линии или линии водяного ствола за счет сопротивления ее движению, в свою очередь зависящие от самого расхода, МПа;
- ♦ изменение напора воды $\Delta P_H(H_p)$ в рукавной линии или линии водяного ствола за счет превышения или понижения H_p водяного ствола или сливного патрубка по отношению к насосу РТС-НС или РТС-П (РТС-ВС), МПа.

С учетом указанных факторов максимальный расход воды в каждом звене схемы определяется как решение следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} Q = Q(P_2); \\ P_2 = P_1 - \Delta P_p(Q) - \Delta P_H(H_p). \end{cases} \quad (5)$$

Содержащиеся в данной системе зависимости имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} 1) \Delta P_p &= \sigma L Q^2 \\ 2) \Delta P_H &= 0,01 \cdot H_p \\ 3) \Delta P_2 &= s Q^2 \end{aligned} \quad (6)$$

С учетом (6) решением системы уравнений (5) и является выражение (4).

Подзадача оценка эффективности тушения пожара по площади в режимах разового цикла возимым запасом воды. Схема подачи воды к очагу пожара в данном случае включает только одно звено, включающее РТС-П или РТС-ВС. В этом случае возможности комплекса оцениваются с использованием выражений (1), (3) и (4).

Расчеты выполнены с учетом следующих факторов: максимальный напор, создаваемый существующим насосом – 1.0 МПа; максимальная производительность насоса – 200 л/с; диаметр водовода внутри лафетного ствола – 100 мм; диаметр насадка лафетного ствола – 84 мм; превышении насадка над уровнем насоса, равным 70 м (высота сооружения реактора электростанции).

Результаты расчетов представлены в табл. 1 и на рис. 2.

Таблица 1

Площадь тушения пожара возимым запасом воды

$J_T, \text{л}/(\text{м}^2\text{с})$	0,06	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$S_T, \text{м}^2$	555,6	333,3	166,7	111,1	83,3	66,7

Анализ представленных результатов показывает, что при тушении, к примеру, реактора электростанции ($J_T = 0.1 \text{ л}/(\text{м}^2\text{с})$) с автономным применением РТС-ВС обеспечивается площадь пожаротушения – $333,3 \text{ м}^2$ ($\sim 18 \times 18 \text{ м}$) при площадном темпе пожаротушения, равном $1,67 \text{ м}^2/\text{с}$. Время тушения пожара указанной площади составит 3 минуты 20 секунд ($t = S_T/S_T'$).

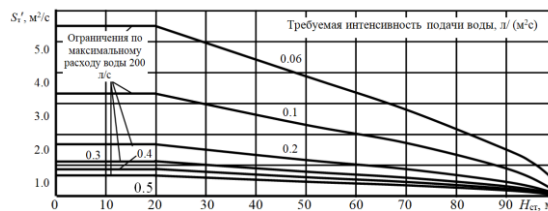


Рис. 2. Зависимость площадного темпа тушения пожара возимым запасом воды от высоты ствола РТС-ВС (РТС-П) и требуемой интенсивности подачи воды

Подзадача по оценке возможностей комплекса по площади тушения пожаров в режиме длительного пожаротушения. При данном режиме пожаротушения схема подачи воды к очагу пожара включает два звена (рис. 3):

- 1) РТС-НС с расположенной на ней гибкой рукавной линией, длина которой может быть увеличена за счет использования РТС РК;
- 2) РТС-П или РТС-ВС.

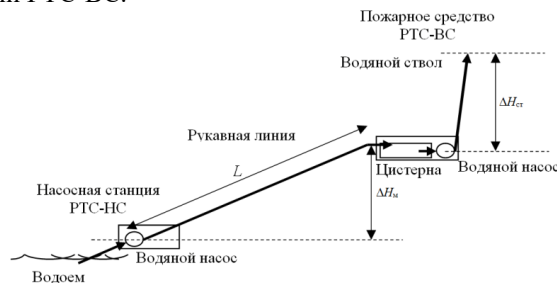


Рис. 3. Схема подачи воды к очагу пожара

В этом случае возможности комплекса оцениваются с использованием выражений (2), (3) и (4).

Выражение (4) применяется для расчета максимального расхода воды (при максимальном напоре, создаваемом насосом) отдельно для каждого звена. Результирующим расходом воды является меньший из двух полученных значений. Насос звена, обеспечивающего больший расход воды, регулирующим устройством будет переведен на меньшую производительность, достигая этим единый расход. Полученный результат используется в выражениях (2) и (3) для получения величин S_T и S_T' .

Возможности РТК-ПМ по длительному пожаротушению с использованием водоема зависят от многих факторов (параметров), поэтому результаты выполненных расчетов в целях обеспечения большей их обзорности целесообразно представить в виде номограммы, один из вариантов которой показан на рис. 4 [9].

Расчеты выполнены для следующих планируемых условий: диаметр рукавной линии – 300 мм, диаметр патрубков – 80 мм, напор воды, создаваемый насосом РТС-НС – 1.4 МПа.

Такую номограмму можно использовать в качестве инструмента для графоаналитической оценки возможностей РТК-ПМ по площадному пожаротушению.

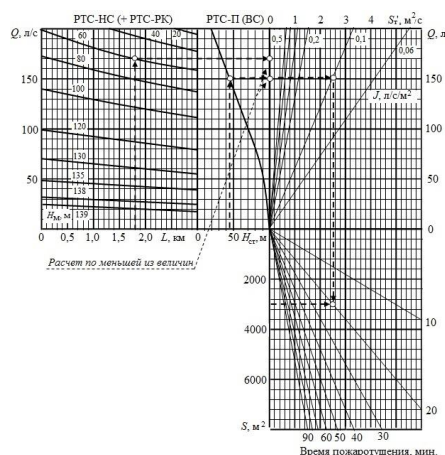


Рис. 4. Номограмма оценки возможностей комплекса РТК-ПМ

Пунктирными линиями на номограмме показана оценка времени тушения объекта реактора электростанции ($J_T = 0.1$ л/(м²с)) площадью 3000 м² для следующих условий:

- ◆ пожаротушение производится с помощью лафетного ствола РТС-ВС высотой 45 м при подаче воды из водоема с помощью рукавной линии РТС-НС;
- ◆ расстояние между РТС-НС и РТС-ВС составляет 1800 м;
- ◆ превышение патрубка РТС-ВС над насосом РТС-НС равно 60 м.

В ходе оценки выявлено, что РТС-НС обеспечивает расход воды 170 л/с, в то время как РТС-ВС – 150 л/с. Дальнейший расчет ведется по меньшему расходу 150 л/с, который создается РТС-ВС, а насос РТС-НС регулирующим устройством будет переведен на пониженный режим работы. Далее визирная точка горизонтально перемещается по номограмме до линии со значением $J_T = 0.1$ (точка пересечения соответствует площадной интенсивности пожаротушения 2.5 м²/с), после чего – вертикально вниз до уровня, соответствующего площади 3000 м². По изолиниям времени определяется время тушения объекта, которое для рассматриваемых условий равно 20 минутам.

Анализ информации, содержащейся в номограмме, показывает, что на производство расчета возможностей РТК-ПМ по площадному пожаротушению может влиять учет характеристик РТС-ВС (РТС-П) и РТС-НС в случаях, если: превышение РТС-ВС (РТС-П) над РТС-НС в пределах длины рукавной линии 2000 м (при большей длине подача воды обычно осуществляется посредством применения заправщиков РТС-ЗВ) составляет более 30 м; высота лафетного ствола более 20 м.

Если ни одно из этих условий не выполняется, то обеспечивается расход воды, равный 200 л/с, и дальнейший расчет ведется по этому значению.

Для выполнения расчетов по формированию тактико-технических требований к РТК при различных вариантах его применения разработан «Программный модуль расчета подачи огнетушащих веществ в очаг пожара» (рис. 5) в соответствии с методами, теоретическое обоснование которых представлено в данной статье.

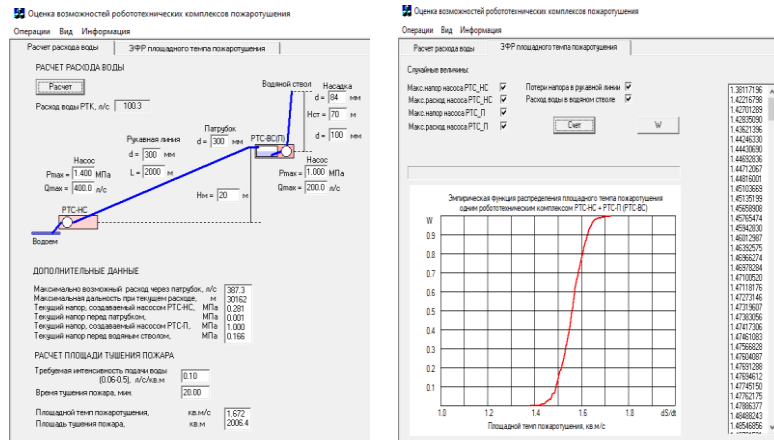


Рис. 5. Информационные окна программного модуля с диалоговой страницей, предназначенной для оценки возможностей РТК-ПМ по расходу огнетушащих веществ и площади пожаротушению

Подзадача оценки возможностей робототехнического комплекса по тушению пожаров на радиационно-, химически- и взрывоопасных объектах. Данную проблему предлагается решать путем формирования технических обликов РТК, которые могут быть созданы для решения пожаров на вышеуказанных объектах, и затем сравнительной оценкой их качеств.

Под оценкой качества технического облика РТК по техническим характеристикам понимаются способы установления значимости вариантов РТК, составляющих некоторое множество альтернатив, на основе сравнения их тактико-технических характеристик. При этом варианты РТК должны различаться соотношением значений технических показателей, каждое из которых должно пройти проверку на непротиворечивость с использованием доступных математических методов.

В качестве оценки качества технического облика РТК предусматривается операция выбора из некоторого множества тех вариантов комплексов, которые являются рациональными для применения в процессе пожаротушения. В качестве результата данной оценки принимается получение ранжировок вариантов соотношений значений технических характеристик РТК, на которые накладываются тактико-технические требования [20].

Рациональный подход к созданию РТК-ПМ предлагается представить последовательностью ниже приведенных процедур и функционалом аппарата поддержки их выполнения (рис. б):

- 1) формирование основ технического облика РТК, включающее:
 - ◆ формирование вариантов пожаротушения (анализ набора процессов, составляющих варианты пожаротушения);
 - ◆ определение состава, типа и компоновки элементов РТК;
 - ◆ представление элементов РТК наиболее существенными характеристиками, показывающими место и роль элементов в системе (формирование системы основных характеристик РТК);
- 2) выбор методов получения значений существенных характеристик;
- 3) формирование системы оценки качества технического облика РТК:
 - ◆ разработка системы критериев;
 - ◆ выбор методов расчета каждого частного критерия;
 - ◆ выбор методов многокритериальной оценки технического облика РТК;

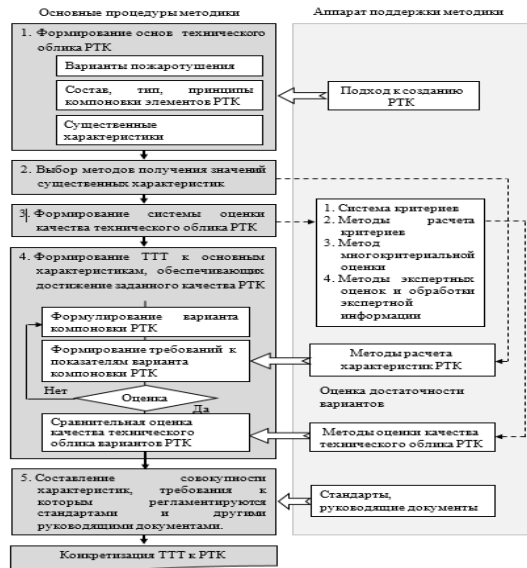


Рис. 6. Система процедур обоснования тактико-технических требований к РТК-ПМ

4) формирование ТТТ к основным характеристикам, обеспечивающих достижение заданного качества РТК путем комплексного применения методов получения значений показателей и системы оценки качества технического облика РТК;

5) составление совокупности характеристик, требования к которым регламентируются стандартами и другими руководящими документами. Конкретизация ТТТ к ним [21, 22].

В аппарат поддержки выполнения процедур предлагается включить методы (рис. 7):

- ◆ формирования основ технического облика РТК;
- ◆ получения значений характеристик;
- ◆ оценки качества технического облика РТК.

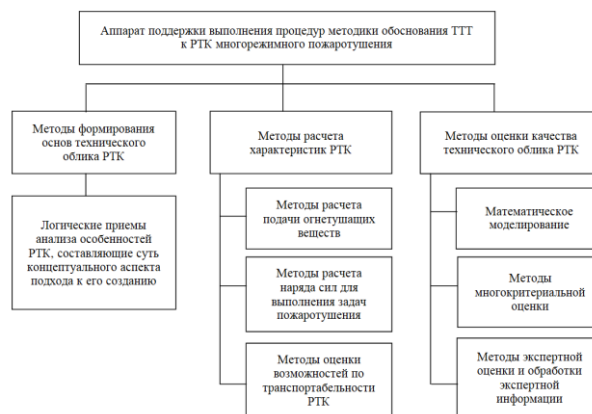


Рис. 7. Схема аппарата поддержки выполнения процедур обоснования ТТТ к РТК-ПМ

Рассматриваемая задача представляет собой инструмент поддержки трудоемкой процедуры сравнительной оценки качества технического облика РТК для различных вариантов его компоновки и выбора из них наилучшего, характеристики которого предполагается положить в основу тактико-технических требований к РТК. Эта процедура связана с многокритериальной оценкой указанных вариантов, при осуществлении которой учитывается мнение лиц, принимающих решение, посредством экспертного оценивания и обработки экспертной информации.

Представленный подход позволил произвести сравнительную многокритериальную оценку эффективности различных вариантов компоновки РТК многорежимного пожаротушения, с возможностью сформировать следующие основные тактико-технические требования к разрабатываемому комплексу:

- ◆ полная масса специализированных РТС – до 40 т;
- ◆ объём ёмкости для воды на пожарном РТС-П и заправщике РТС-ЗВ – не менее 18 000 л;
- ◆ длина рукавной линии РТС-РК – не менее 2000 м. (2000 × 2);
- ◆ производительность водяного насоса РТС-НС – не менее 300 л/с;
- ◆ производительность пожарного насоса на РТС-П – не менее 200 л/с;
- ◆ высота подъёма лафетного ствола на РТС-ВС – не менее 70 м;
- ◆ дальность управления РТС:
- ◆ в приземном режиме на среднепересечённой местности – не менее 2 км;
- ◆ в режиме ретрансляции в условиях ЧС – не менее 30 км;
- ◆ вид сопряжения РТС – автоматизированное сцепное устройство.

Заключение. Представленный в статье методический подход к формированию технических требований к робототехническому комплексу пожаротушения и аппаратно-программный комплекс выбора рационального варианта робототехнического комплекса, а также технология его применения при ликвидации чрезвычайных ситуаций прошли апробацию в научно-исследовательских и образовательных организациях МЧС России и в настоящее время рассматривается в качестве инструментария обоснования требований к РТК при разработке технических заданий на создание перспективных образцов средств технического обеспечения реагирующих подразделений МЧС России.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

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. *Иванов Е.Н.* Расчет и проектирование систем пожарной защиты. – М.: Химия, 1977. – 376 с.
8. *Павлов Е.В.* Технический состав робототехнического комплекса тяжелого класса многорежимного тушения пожара // Пожарная безопасность. – 2015. – № 1. – С. 109-110.
9. *Баранник А.Ю., Лагутина А.В.* 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 тяжелого класса многорежимного пожаротушения // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации: Сб. тезисов докладов международной научно-практической конференции: в 2 ч. Ч. 2. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. – С. 221-226.

11. Павлов Е.В. Разработка робототехнического комплекса многорежимного пожаротушения тяжёлого класса // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций: Сб. статей по материалам всерос. науч.-практ. конф. с междунар. уч. – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский институт ГПС МЧС России, 2014. – С. 244-247.
12. Павлов Е.В. Условия эффективного пожаротушения и возможности группировки робототехнических комплексов по его выполнению при крупномасштабных авариях // Пожарная безопасность. – 2020. – № 4. – С. 130-136.
13. Павлов Е.В., Лукацкий И.М., Осипов Ю.Н., Ершов В.И. Технологические особенности применения робототехнического комплекса многорежимного пожаротушения в условиях крупномасштабных чрезвычайных ситуаций // Пожарная безопасность. – 2022. – № 3 (108). – С. 86-93.
14. Павлов Е.В., Ершов В.И., Осипов Ю.Н. Оценка эффективности применения робототехнического комплекса многорежимного пожаротушения в чрезвычайных ситуациях // Пожарная безопасность. – 2018. – № 4. – С. 22-27. – eLIBRARY ID: 36615627.
15. Павлов Е.В. Разработка методики обоснования тактико-технических требований к робототехническому комплексу многорежимного пожаротушения // Технологии гражданской безопасности. – 2020. – Т. 17, № 2 (64). – С. 61-67.
16. Чистяков Н.Н., Коган Ю.Ш., Кирюханцев Е.Е. Противопожарное водоснабжение зданий. – М.: Стройиздат, 1990. – 176 с.
17. Повзик Я.С. Справочник. – М.: ЗАО “Спецтехника”, 2004. – 416 с.
18. Филин Д.Г. Методика проведения пожарно-тактических расчетов. Тактика тушения пожаров: учеб.-метод. пособие. – Н. Новгород: Нижегородский учебный центр ФПС, 2008.
19. Воротынцев Ю.П., Качалов А.А., Абросимов Ю.Г. и др. Гидравлика и противопожарное водоснабжение. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1985. – 383 с.
20. Павлов Е.В. Требования к робототехническому комплексу многорежимного пожаротушения на базовом шасси // Актуальные проблемы пожарной безопасности: Матер. XXVII Междунар. научн.-практ. конф., посвящённой 25-летию МЧС России: В 3 ч. Ч. 2. – М.: ВНИИПО МЧС России, 2015. – С. 336-345.
21. Носков С.С., Байков А.В., Найденов Д.С. Пути расширения возможностей робототехнических средств при ликвидации ЧС // Применение робототехнических комплексов специального назначения: Сб. трудов секции № 5 XXIX Международной научно-практической конференции «Предотвращение. Спасение. Помощь», 21 марта 2019 г. ФГБВОУ ВО АГЗ МЧС России. – 2019. – С. 103-111.
22. Формуляр 006-TIPSA-2010. Рукава пожарные напорные OROFLEX20. – Балашиха: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2010. – 11 с.

REFERENCES

1. Moshkov V.B., Barannik A.Yu. Perspektivy razvitiya sistemy robototekhniki MChS Rossii v interesakh povysheniya effektivnosti vedeniya avariyno-spatatel'nykh работ [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 grazhdanskoj bezopasnosti. Spetsvyпуск* [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 grazhdanskoj bezopasnosti* [Civil Security Technologies], 2022, No. 2 (72), pp. 41-47.
7. Ivanov E.N. Raschet i proektirovanie sistem pozharной zashchity [Calculation and design of fire protection systems]. Moscow: Khimiya, 1977, 376 p.
8. Pavlov E.V. Tekhnicheskij 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. Barannik A.Yu., Lagutina A.V. 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* [Fire fighting: problems, technologies, innovations: collection of abstracts of the international scientific and practical conference]: In 2 part. Part 2. Moscow: Akademiya GPS MChS Rossii, 2015, pp. 221-226.
11. Pavlov E.V. Razrabotka robototekhnicheskogo kompleksa mnogorezhimnogo pozharotusheniya tyazhelogo klassa [Development of a heavy class multi-mode fire extinguishing robotic complex], *Problemy obespecheniya bezopasnosti pri likvidatsii posledstviy chrezvychaynykh situatsiy: Sb. statey po materialam vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uch.* [Problems of ensuring safety in the aftermath of emergencies: A collection of articles based on the materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation]. Voronezh: FGBOU VPO Voronezhskiy institut GPS MChS Rossii, 2014, pp. 244-247.
12. 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 large-scale accidents], *Pozharnaya bezopasnost'* [Fire Safety], 2020, No. 4, pp. 130-136.
13. Pavlov E.V., Lukatskiy I.M., Osipov Yu.N., Ershov V.I. Tekhnologicheskie osobennosti primeneniya robototekhnicheskogo kompleksa mnogorezhimnogo pozharotusheniya v usloviyakh krupnomasshtabnykh chrezvychaynykh situatsiy [Technological features of the use of a robotic complex for multi-mode fire extinguishing in large-scale emergency situations], *Pozharnaya bezopasnost'* [Fire Safety], 2022, No. 3 (108), pp. 86-93.
14. Pavlov E.V., Ershov V.I., Osipov Yu.N. Otsenka effektivnosti primeneniya robototekhnicheskogo kompleksa mnogorezhimnogo pozharotusheniya v chrezvychaynykh situatsiyakh [Evaluation of the effectiveness of the use of a robotic complex for multi-mode fire extinguishing in emergency situations], *Pozharnaya bezopasnost'* [Fire Safety], 2018, No. 4, pp. 22-27. eLIBRARY ID: 36615627.
15. Pavlov E.V. Razrabotka metodiki obosnovaniya taktiko-tekhnicheskikh trebovaniy k robototekhnicheskomu kompleksu mnogorezhimnogo pozharotusheniya [Development of a methodology for substantiating tactical and technical requirements for a robotic complex for multi-mode fire extinguishing], *Tekhnologii grazhdanskoy bezopasnosti* [Civil Security Technologies], 2020, Vol. 17, No. 2 (64), pp. 61-67.
16. Chistyakov N.N., Kogan Yu.Sh., Kiryukhantsev E.E. Protivopozharnoe vodosnabzhenie zdaniy [Fire water supply of buildings]. Moscow: Stroyizdat, 1990, 176 p.
17. Povzik Ya.S. Spravochnik [Reference book]. Moscow: ZAO "Spetstekhnika", 2004, 416 p.
18. Filin D.G. Metodika provedeniya pozharno-takticheskikh raschetov. Taktika tusheniya pozharov: ucheb.-metod. posobie [The methodology of fire-tactical calculations. Fire extinguishing tactics: educational and methodical manual]. Nizhny Novgorod: Nizhegorodskiy uchebnyy tsentr FPS, 2008.
19. Vorotyntsev Yu.P., Kachalov A.A., Abrosimov Yu.G. i dr. Gidravlika i protivopozharnoe vodosnabzhenie [Hydraulics and fire water supply]. Moscow: VIPTSh MVD SSSR, 1985, 383 p.
20. Pavlov E.V. Trebovaniya k robototekhnicheskomu kompleksu mnogorezhimnogo pozharotusheniya na bazovom shassi [Requirements for the robotic complex of multi-mode fire extinguishing on the base chassis], *Aktual'nye problemy pozharnoy bezopasnosti: Mater. XXVII Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf., posvyashchennoy 25-letiyu MChS Rossii* [Actual problems of fire safety: materials of the XXVII International Scientific and Practical. Conf. dedicated to the 25th anniversary of the EMERCOM of Russia]: In 3 part. Part 2. Moscow: VNIPO MChS Rossii, 2015, pp. 336-345.
21. Noskov S.S., Baykov A.V., Naydenov D.S. Puti rasshireniya vozmozhnostey robototekhnicheskikh sredstv pri likvidatsii ChS [Ways to expand the capabilities of robotic means in the elimination of emergencies], *Primenenie robototekhnicheskikh kompleksov spetsial'nogo naznacheniya: Sb. trudov sektsii № 5 XXIX Mezhdunarodnoy nauchno-*

- prakticheskoy konferentsii «Predotvrashchenie. Spasenie. Pomoshch'», 21 marta 2019 g. [The use of robotic systems for special purposes: Proceedings of section No. 5 of the XXIX International scientific and practical conference "Prevention. The rescue. Help", March 21, 2019]. FGBVOU VO AGZ EMERCOM of Russia, 2019, pp. 103-111.
22. Formul'yar 006-TIPSA-2010. Rukava pozhamnye napornye OROFLEX20 [Form 006-TIPSA-2010. Pressure fire hoses OROFLEX20]. Balashikha: FGU VNIPO MCHS Rossii, 2010, 11 p.

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

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».

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

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.

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.

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.; sprofessor; leading researcher of the Research Center for Fire Engineering and Fire Automation.

УДК 681.5

DOI 10.18522/2311-3103-2023-1-88-100

Е.Ю. Пушкарева, И.В. Пискулин

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ РТК ВН В РЕЖИМЕ АВТОНОМНОГО НАВЕДЕНИЯ

Целью исследования является повышение точности системы управления движением наземных робототехнических комплексов военного назначения (РТК ВН) гусеничного типа на основе применения метода построения двухконтурных систем автоматического управления, эквивалентных комбинированным системам. Использование систем автоматического управления, эквивалентных комбинированным системам позволяет добиться повышения точности систем автоматического управления за счет уменьшения значения динамической ошибки, то есть достижения инвариантности ошибки, без нарушения устойчивости системы. Задачей исследования явля-