

ЗОННЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНИВАНИЮ ХАРАКТЕРИСТИК РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И КОМПЛЕКСОВ ЛИКВИДАЦИИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ И ПРОВЕДЕНИИ ПУСКОВ РАКЕТ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Минаков

Евгений Петрович,

д.т.н., профессор, профессор кафедры управления организационно-техническими системами космического назначения Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, ер.minakov12345@mail.ru

Тарасов

Анатолий Геннадьевич,

к.т.н., докторант Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, Atol-77@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Высокие риски, обусловленные угрозами возникновения техногенных экстремальных ситуаций и катастроф, вызывают необходимость поиска наиболее эффективных путей улучшения работы по предупреждению, выявлению, локализации экстремальных ситуаций и ликвидации их последствий. Экстремальная ситуация при подготовке и пуске ракет космического назначения – обстановка, складывающаяся на техническом и стартовом комплексах и прилегающих к ним территориях, характеризуемая возникновением факторов непосредственной угрозы для здоровья и жизни людей или угрозы срыва их деятельности по решению задач своевременной подготовки и пуска ракет космического назначения. Предотвращение экстремальных ситуаций и их локализация в самой начальной стадии развития является наиболее важной задачей при разработке новых ракетно-космических комплексов, в связи с чем актуальной является задача обоснования необходимого состава и оптимального размещения средств ликвидации экстремальных ситуаций в позиционном районе части запуска, в качестве которых с позиций безопасности и оперативности целесообразно применять робототехнические системы. Применение робототехнических систем ликвидации экстремальных ситуаций – организованное на требуемом уровне по целям, задачам, функциям, месту и времени использование органами управления имеющихся на их вооружении робототехнических систем и определение взаимодействия, обеспечивающих оперативную и безопасную ликвидацию экстремальных ситуаций. В работе предлагается зонный подход к применению робототехнических систем для ликвидации экстремальных ситуаций, в рамках которого разработаны необходимые условия применимости робототехнических систем в условиях конкретной экстремальной ситуации. Новизна подхода заключается в определении пространственно-временных характеристик развития экстремальных ситуаций и формировании такого состава робототехнической системы, который позволит воздействовать максимально эффективно на факторы экстремальной ситуации для их ликвидации с заданной вероятностью. В рамках данного подхода предлагается на основе минимаксного критерия перекрытия зон действия робототехнических систем определять наиболее эффективный из возможных (фронтальный, круговой, комбинированный) вариант построения робототехнического комплекса.

Ключевые слова:

робототехническая система; экстремальная ситуация; безопасность; зонный подход; операционная характеристика.

Необходимые условия применимости робототехнических систем и комплексов для ликвидации экстремальных ситуаций

Возрастающие темпы роста количества и масштабов последствий аварий, катастроф и стихийных бедствий, связанные в том числе с ракетно-космической деятельностью, заставляют искать новые решения проблемы защиты населения и территории от чрезвычайных ситуаций, развивать методы и средства их прогноза и предупреждения [5-6]. Решение задачи обоснования состава и рубежей развертывания и применения робототехнических систем (РТС) и комплексов (РТК) для обеспечения ликвидации экстремальных ситуаций (ЭС) с заданной вероятностью возможно применением теоретико-множественного подхода, суть которого заключается в следующем.

Любой j -й точке области ЭС $\beta_j(t)$ в любой момент времени t может быть поставлен в соответствие вектор фазовых характеристик ЭС $S(t) = \langle \alpha_1(t), \alpha_2(t), \dots, \alpha_n(t) \rangle$, задаваемый в пространстве $\{S\} : \{S(t), t\} \subset \{S\}$. Множество всех точек $\{\beta_j(t)\} = B(t)$ образует область ЭС в момент времени t .

Любой точке положения РТС в любой момент времени t может быть поставлен в соответствие вектор кинематических параметров движения РТС:

$D(t) = \langle x(t), y(t), z(t), V_x(t), V_y(t), V_z(t), \dots \rangle$ в системе координат $O_{CK}X_{CK}Y_{CK}Z_{CK}$, связанной со СК.

Возникает задача, условно называемая прямой, в которой для любого вектора $D(t)$ при заданном векторе обобщенных тактико-технических характеристик РТС $T_x(t)$ требуется определить вектор операционных характеристик воздействий РТС на характеристики ЭС в некоторой точке ее области – $S_B(t) = \langle \alpha_{1T}(t), \alpha_{2T}(t), \dots, \alpha_{nT}(t) \rangle$:

$F_T : \{D(t), T_x(t)\} \rightarrow S_B(t)$,
и оценить меру близости векторов $S(t)$ и $S_B(t)$:
 $\rho(t) = abs(S(t) - S_B(t))$.

Существует обратная задача: при заданных векторах $S(t)$ и $T_x(t)$ необходимо определить область (рубеж применения (РП)), откуда может быть обеспечено воздействие РТС на характеристики ЭС в некоторой точке ее области существования в момент времени t , т.е. построить функцию:

$$G_T(t) = \Phi_T(S(t), T_x(t)),$$

где $\{G_T(t)\} = \{(x_T(t), y_T(t), z_T(t))\}$ – множество точек РП РТС.

Для всей области существования ЭС РП РТС в момент времени t

$$\{G_T(t; V)\} = \int_V \Phi_T(t) dv.$$

Для решения данных задач предлагается зонный подход, основные задачи которого представлены на рис. 1.

Если необходимо обеспечить одномоментное воздействие на характеристики ЭС и если из любой точки множества $\{G_T(t; V)\}$ возможно воздействие в этот момент t на

всю область ЭС, то достаточно одного РТС. В противном случае необходимо применение РТК в составе определенного количества РТС.

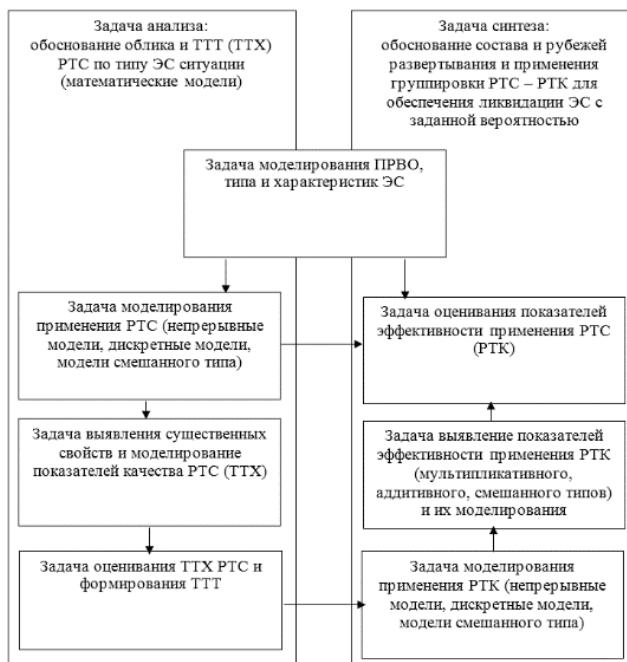


Рис.1. Зонный подход к решению задачи синтеза РТКС
ликвидации ЭС

Для всего интервала времени Δt существования ЭС в точке ее области

$$\{G_T(t; \Delta t)\} = \int_{\Delta t} \Phi_T(t) dt.$$

Если временной ресурс применения РТС Δt_p больше времени Δt , то достаточно одного РТС. В противном случае необходимо применение РТК в составе определенного количества РТС.

Для всей области при непрерывном интервале времени существования ЭС множество точек РП определяется по формуле

$$\{G_T(t; V; \Delta t)\} = \int_{\Delta t} \int_V \Phi_T(t) dv dt.$$

Под необходимыми условиями применимости РТК в ЭС понимаются условия, без соблюдения которых применение РТК невозможно либо нецелесообразно. Их можно разделить на две группы:

- условия соответствия состава операционных характеристик РТС (РТК) составу характеристик ЭС;
- условия соответствия параметров операционных характеристик РТС (РТК) пространственно-временным характеристикам ЭС.

Под операционной характеристикой РТС (РТК) понимается заложенная при разработке РТС (РТК) способность, проявляющаяся в ее возможности осуществлять опреде-

AVIATION, SPASE-ROCKET HARDWARE

ленные операции (контроль окружающей обстановки, горизонтальное и вертикальное перемещение, возможность воздействия водой, пеной и т.д.).

Под параметром операционной характеристики РТС (РТК) понимается количественное или качественное значение способности РТС (РТК) выполнять предусмотренные конструкцией операции (разрешающая способность средств контроля, дальность (радиус) действия датчика, скорость перемещения двигателя, радиус действия манипулятора и др.).

Под эффектом воздействия РТС (РТК) на ЭС понимается результат, проявляющийся в таком влиянии операционной характеристики РТС (РТК) на характеристику ЭС, при котором происходит понижение ее количественного уровня или ее устранение.

Допущения: если операционная характеристика РТС (РТК) соответствует характеристике ЭС, то обязательно существует эффект от ее воздействия по этой характеристике.

Необходимые условия соответствия состава операционных характеристик РТК составу характеристик ЭС.

Пусть $\alpha_i = \langle \alpha_i^{(1)}, \alpha_i^{(2)}, \dots, \alpha_i^{(ki)} \rangle$ – вектор характеристик i -й ЭС, задаваемый в пространстве B_{ki} , задачами устраниния которых является применение РТК;

$\omega_j = \langle \omega_j^{(1)}, \omega_j^{(2)}, \dots, \omega_j^{(kj)} \rangle$ – вектор операционных характеристик j -й РТС, задаваемый в пространстве B_{kj} : возможно $\cap B^{kj} \neq \emptyset$;

$\Omega_m = \langle \Omega_m^{(1)}, \Omega_m^{(2)}, \dots, \Omega_m^{(km)} \rangle$ – вектор операционных характеристик m -го РТК, задаваемый в пространстве B_{km} ,

где k_i, k_j, k_m – размерности соответствующих пространств.

Необходимым условием связи картежей операционных характеристик m -го РТК и операционных характеристик входящих в его состав РТС является

$$B^{km} = \bigcup_{ki} B^{kj}.$$

Критерий пригодности m -го РТК для применения в i -й ЭС по показателю соответствия состава его операционных характеристик составу характеристик ЭС имеет вид

$$B^{ki} \subset B^{km}.$$

Для установления соответствия характеристик i -й ЭС операционным характеристикам m -го РТК может быть построена матрица инцидентности M (выделена цветом) (рис.2).

	α_i^1	α_i^2	...	α_i^q	...	α_i^{ki}	F_{km}^{ki}
Ω_m^1	1	0	...	1	...	1	F_{km}^1
Ω_m^2	0	0	...	0	...	1	F_{km}^2
...	-
Ω_m^n	0	0	...	p_n^q	...	0	F_{km}^n
...	-
Ω_m^{km}	1	0	...	0	...	1	F_{km}^{km}
f_{km}^{ki}	f_{km}^1	f_{km}^2	...	f_{km}^q	...	f_{km}^{ki}	

Рис.2. Матрица инцидентности M и показатели соответствия характеристик i -й ЭС операционным характеристикам m -го РТК

На рис. 2 через p_n^q обозначен идентификатор соответствия q -й характеристики i -й ЭС n -й операционной характеристике m -го РТК:

$$p_n^q = \begin{cases} 1, & \text{если имеется воздействие } n\text{-й операционной характеристики } m\text{-го РТК по } q\text{-й характеристике } i\text{-й ЭС;} \\ 0, & \text{если воздействие } n\text{-й операционной характеристики } m\text{-го РТК по } q\text{-й характеристике } i\text{-й ЭС отсутствует.} \end{cases}$$

Аддитивный показатель (рис. 2) возможности воздействия по q -й характеристике i -й ЭС по всем операционным характеристикам РТК имеет вид:

$$f_{km}^q = \sum_{n=1}^{km} p_n^q$$

По данному показателю может быть сформирован критерий потенциальной (априорной) пригодности m -го РТК для воздействия по q -й характеристике i -й ЭС

$$f_{km}^q \geq 1.$$

Минимальное значение f_{km}^{\min} характеризует наиболее уязвимые места с позиций защиты и ликвидации поражающих факторов ЭС

$$f_{km}^{\min} = \min_{ki} f_{km}^{ki}.$$

Аддитивный показатель (рис.2) возможности применения в i -й ЭС m -го РТК имеет вид:

$$F_{km}^n = \sum_{k=1}^{ki} p_n^q.$$

По данному показателю может быть сформулирован критерий потенциальной (априорной) пригодности состава операционных характеристик m -го РТК составу характеристик i -й ЭС:

$$F_{km}^{ki} \neq 0.$$

Максимальное значение F_{km}^{\max} характеризует наибольшую эффективность n -й операционной характеристики m -го РТК для устранения характеристик ЭС

$$F_{km}^{\max} = \max_{ki} F_{km}^{ki}$$

Ранжирование по эффективности операционных характеристик РТК для устранения характеристик ЭС позволит определить наиболее эффективные РТС из состава РТК для устранения данной ЭС и определить начальное расположение РТС при зонном подходе к ликвидации ЭС.

Основными операционными характеристиками для каждой j -й РТС являются размеры и конфигурация области действия манипуляционной подсистемы (ОДМП) – множество точек Q_j , задаваемое в связанной с РТС системе координат, которую можно считать постоянной (рис.3).

Если обозначить через $Q_{jn}(t)$ множество точек Q_j в момент времени t в связанной с i -й ЭС системе координат $OXYZ$ (рис. 3), то ОДМП j -й РТС в ЭС – Q_j определиться из соотношения

$$Q_{j\Pi} = \int_{T_{ji}} Q_{j\Pi}(t) dt,$$

где $T_{ji} \subset T_i$ – время применения j -й РТС в i -й ЭС;
 T_i – время существования ЭС.

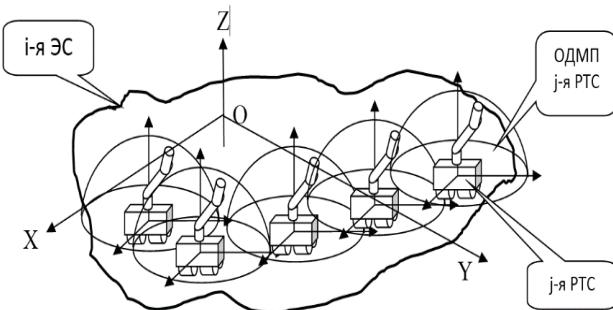


Рис.3. Области действия манипуляционных подсистем РТС в составе РТК

Область применения манипуляционных подсистем РТС m -го РТК в i -й ЭС тогда является объединением множеств Q_{jn} :

$$Q_j = \bigcup_j Q_{jn}. \quad (1)$$

Возможны три варианта пересечения областей, покрываемых j -й и k -й РТС, представленные на рис. 4.

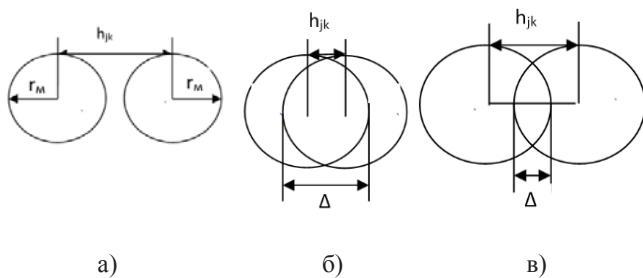


Рис.4. Возможные зоны пересечения РТС

Первый вариант возникает, когда расстояния между центрами манипуляционных подсистем j -й и k -й РТС h_{jk} превышает двойной радиус действия манипуляционной подсистемы $h_{jk} \geq 2r_M$. В этом случае области, покрываемые РТС, вообще не пересекаются, поэтому величина пересечения областей $\Delta = 0$ (рис. 4а).

Второй вариант возникает, когда $r_M \leq h_{jk} < 2r_M$. При этом значение величины Δ будет равно $\Delta = h_{jk} - 2(h_{jk} - r_M) = h_{jk} - 2h_{jk} + 2r_M = 2r_M - h_{jk}$ (рис. 4б).

В третьем варианте $h_{jk} < r_M$. При этом значение величины Δ будет равно $\Delta = 2(r_M - h_{jk}) + h_{jk} = 2r_M - 2h_{jk} + h_{jk} = 2r_M - h_{jk}$ (рис. 4в).

Таким образом, величина пересечения областей, покрываемых j -й и k -й РТС будет равна

$$\Delta = \begin{cases} 0, & \text{если } h_{jk} \geq 2r_M, \\ 2r_M - h_{jk}, & \text{если } h_{jk} < r_M. \end{cases} \quad (2)$$

В зависимости от решаемой задачи и способа применения РТК существует два типа необходимых условий применимости РТК:

– условие минимального пересечения областей покрытия РТС, характерное для граничных зон экстремальных ситуаций, такое, что в любой момент времени $t \in T_i$

$$\Delta > 0 \text{ и } \Delta \rightarrow \min.$$

– условие максимального пересечения областей покрытия РТС, характерное для эпицентра экстремальных ситуаций, такое, что в любой момент времени $t \in T_i$

$$\Delta > 0 \text{ и } \Delta \rightarrow \max.$$

Предлагаемые необходимые условия и критерии могут быть использованы для априорного оценивания возможностей применения РТК для ликвидации ЭС.

Методика формирования характеристик РТК ликвидации ЭС

Одной из характеристик применения РТК, состоящего из совокупности РТС, в ЭС является количество РТС с заданными операционными характеристиками.

На первом этапе с помощью средств мониторинга окружающей обстановки определяется вектор характеристик ЭС $\alpha_i = \langle \alpha_i^{(1)}, \alpha_i^{(2)}, \dots, \alpha_i^{(ki)} \rangle$.

В качестве множества пространственно-временных характеристик ЭС в позиционном районе (ПР) части запуска космических аппаратов (ЧЗ КА) могут выступать (рис. 5):

– пространственное положение эпицентра (точка), возможно изменяющееся во времени (линия, траектория движения, трасса эпицентра ЭС), задаваемое в некоторой системе координат;

– скорость перемещения эпицентра, возможно изменяющаяся во времени (например, $V(t) = \langle V_x(t), V_y(t), V_z(t), t \rangle$);

– пространственные характеристики и размеры, возможно изменяющиеся во времени (например, поверхность (линия) фронта ЭС $\{R(t)\} = \langle a_1(t), a_2(t), \dots, a_k(t), t \rangle$);

– времена существования – Δt .

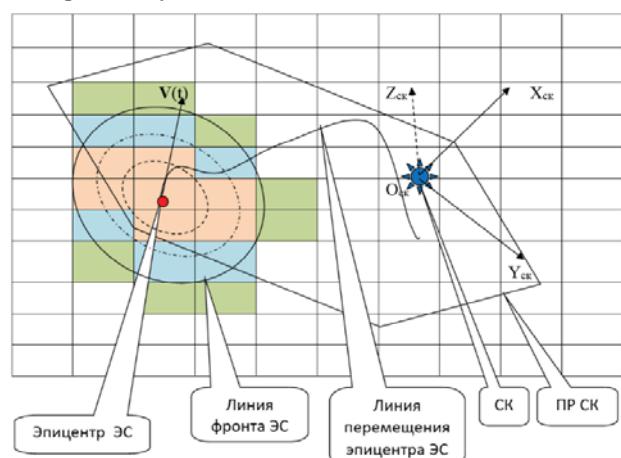


Рис.5. Отображение ЭС с привязкой к ПР ЧЗ КА

На втором этапе область ЭС, которая представляет собой неправильную геометрическую форму, аппроксимируется геометрическими фигурами, параметры которых определяются характеристиками РТС, а именно областью действия манипуляционной подсистемы, которые целесообразно представлять прямоугольными «кубами» или «параллелепипедами», задаваемыми в системе координат $OskXskYskZsk$ (рис. 6).

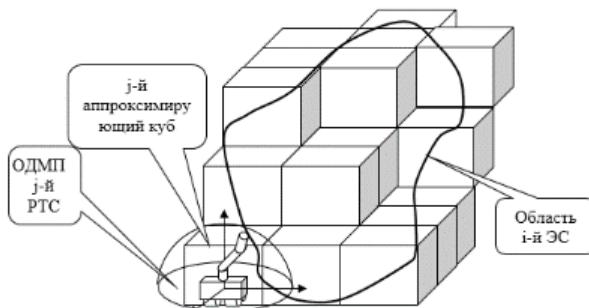


Рис.6. Аппроксимация области ЭС ОДМП РТС

При этом требуется обеспечить сплошное покрытие области ЭС и минимальную разницу между аппроксимирующей областью и областью ЭС – $S_A - S_{\text{ЭС}} \rightarrow \min$.

На третьем этапе определяется вариант построения РТС по воздействию операционных характеристик РТС (РТК) на характеристики ЭС. В качестве вариантов построения РТС могут использоваться фронтальное, круговое и комбинированное построение РТС.

Пусть области воздействия манипуляционных подсистем РТС, составляющих РТК, имеют форму шара. Для построения области сплошного воздействия РТС должно выполняться соотношение (1), т.е. области воздействия манипуляционных подсистем РТС должны пересекаться, образуя объем ограниченный цилиндрической поверхностью.

Для равноразмерных областей воздействия манипуляционных подсистем РТС шаровой формы радиуса r_m радиус цилиндрической поверхности r_c как функция расстояния между центрами манипуляционных подсистем h_{jk} при фронтальном построении РТС относительно эпицентра ЭС определяется зависимостью (рис. 7)

$$r_c = \sqrt{r_m^2 - \left(\frac{h_{jk}}{2}\right)^2}.$$

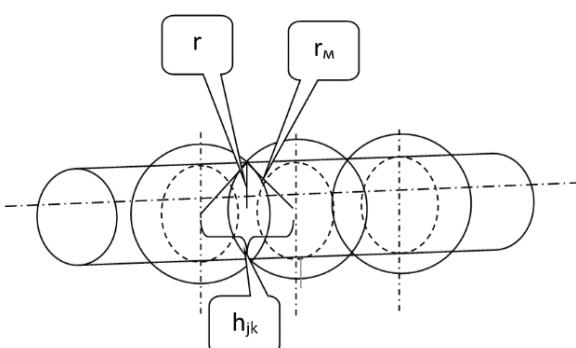


Рис.7. Область воздействия при фронтальном построении РТС

Для равноразмерных областей воздействия манипуляционных подсистем РТС шаровой формы радиуса r_m радиус цилиндрической поверхности r как функция расстояния между центрами манипуляционных подсистем – h_{jk} при круговом построении РТС на расстоянии R от эпицентра ЭС определяется зависимостью (рис.8)

$$r_c = \sqrt{r_m^2 - \left(\frac{h_{jk}}{2}\right)^2} + \sqrt{R^2 - \left(\frac{h_{jk}}{2}\right)^2} - R.$$

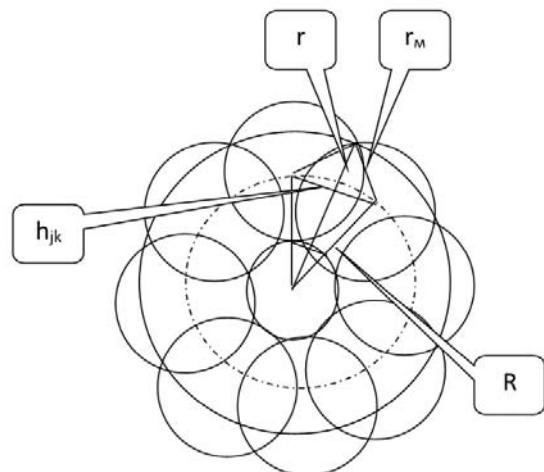


Рис.8. Область воздействия при круговом построении РТС

На четвертом этапе рассчитывается вероятность ликвидации ЭС как произведение вероятности ликвидации РТК опасных факторов в области действия манипуляционной подсистемы (ОДМП) на коэффициент покрытия пространственной области ЭС:

$$P_{\text{ликвЭС}} = K_V P_{PTK} = \frac{\sum_{j=1}^n V_{PTCj}^{\text{ОДМП}}}{V_{\text{ЭС}}} P_{PTK},$$

где K_V – коэффициент покрытия пространственной области ЭС ОДМП РТК;

$V_{\text{ОДМП}_{PTCj}}$ – ОДМП j -й РТС;

$V_{\text{ЭС}}$ – пространственная область ЭС;

P_{PTK} – вероятность ликвидации РТК опасных факторов.

Для точного расчета вероятности ликвидации ЭС следует учесть, что в результате сплошного покрытия области ЭС образуются области пересечения действий манипуляционных подсистем соседних РТС. Вероятность ликвидации РТК опасных факторов для непересекающихся областей определяется как произведение вероятностей ликвидации опасных факторов входящих в его состав РТС:

$$P_{PTK} = P_{PTC1} P_{PTC2} \dots P_{PTCn}.$$

Для пересекающихся областей вероятность ликвидации РТК опасных факторов для области пересечения j -й и k -й РТС будет равна

$$P_{PTK} = 1 - (1 - P_{PTCj})(1 - P_{PTCk}).$$

АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

По вычисленным по выражению (2) величинам областей пересечения рассчитывается вероятность ликвидации ЭС по следующему выражению:

$$P_{PTK} = \frac{\sum_{j=1}^n V_{PTCj}^{\text{ОДМП}} \prod_{j=1}^n P_{PTCj} + \sum_{j=1}^k V_{PTCj}^{\Delta\text{ДМП}} (1 - (1 - P_{PTCj})^k)}{V_{\text{ЭС}}},$$

где $V_{PTCj}^{\text{ОДМП}}$ – непересекающиеся ОДМП РТС;
 $V_{PTCj}^{\Delta\text{ДМП}}$ – пересекающиеся ОДМП РТС;
 P_{PTC} – вероятность ликвидации опасных факторов РТС.

На пятом этапе в соответствии с выбранным критерием эффективности по рассчитанному значению вероятности ликвидации ЭС определяется пригодность выбранного способа построения РТС для ликвидации ЭС. Если выбранный способ построения РТС для ликвидации ЭС не удовлетворяет критериям эффективности, то определяется другой способ построения РТС и повторяются этапы 3-4.

На шестом этапе для наиболее эффективного способа построения РТС по воздействию операционных характеристик РТК на характеристики ЭС определяется минимально потребное количество РТС комплексно применяемых по области ЭС.

Минимально избыточное число «слоев» параллельных основной плоскости $OskXskYsk$ (горизонтальных слоев) определяется зависимостью

$$M_z = E[(Z_{\max} - Z_{\min})/a] + 1, \quad (3)$$

где Z_{\max} , Z_{\min} – максимальная и минимальная координата области ЭС по оси Z_{sk} ;

a – сторона квадрата сечения зоны сплошного воздействия МП РТС.

Для каждого i -го слоя число рядов зон сплошного воздействия МП РТК вдоль оси Y_{sk} вычисляется по формуле

$$M_{zyi} = E[(Y_{zi\max} - Y_{zi\min})/a] + 1, \quad (4)$$

где Y_{\max} , Y_{\min} – максимальная и минимальная координата z -го слоя области ЭС по оси Y_{sk} .

Для каждого j -го ряда i -го слоя число рядов зон сплошного воздействия МП РТК вдоль оси X_{sk} вычисляется по формуле

$$M_{zyxj} = E[(X_{zyj\max} - X_{zyj\min})/a] + 1,$$

где $X_{zyj\max}$, $X_{zyj\min}$ – максимальная и минимальная координата области ЭС для zy -го ряда.

Общее число РТС, обеспечивающих зону сплошного воздействия МП РТК можно оценить по формуле

$$N = \sum_{i=1}^{M_z} \sum_{j=1}^{M_{zyi}} M_{zyxj}.$$

Если область ЭС задается
координатами нижней и верхней граней ПРВО –
 $Z_{\text{ПРВОmax}}, Z_{\text{ПРВОmin}}$;
размером прямоугольного параллелепипеда:

– длиной – b ($(X_{\text{ПРВОmax}} - X_{\text{ПРВОmin}})/b = M_{\text{ПРВОx}}$ – целое число);

– шириной – c ($(Y_{\text{ПРВОmax}} - Y_{\text{ПРВОmin}})/c = M_{\text{ПРВОy}}$ – целое число);

– высотой – d ($(Z_{\text{ПРВОmax}} - Z_{\text{ПРВОmin}})/d = M_{\text{ПРВОz}}$ – целое число);

координатами нижней и верхней граней каждого z -го слоя ПРВО ЭС по оси $OskYsk - Y_{\text{ПРВОzmax}}, Y_{\text{ПРВОzmin}}$;

координатами нижней и верхней граней каждого zy -го ряда ПРВО ЭС по оси $OskXsk - X_{\text{ПРВОzymax}}, X_{\text{ПРВОzymin}}$, то возможны три ситуации:

- 1) $a = c = d$ и их боковые грани совпадают;
- 2) $a = c = d$, но их боковые грани не совпадают;
- 3) $a \neq c \neq d$.

В первом случае

$$\begin{aligned} M_z &= (Z_{\text{ПРВОmax}} - Z_{\text{ПРВОmin}})/a, \\ M_{zy} &= (Y_{\text{ПРВОmax}} - Y_{\text{ПРВОmin}})/a, \\ M_{zyx} &= \begin{cases} E[b/a] + 1, & \text{если } a < b \\ 1, & \text{если } a \geq b. \end{cases} \end{aligned}$$

где $[\cdot]$ – символ операции выделения целой части числа, и

$$N = M_z \sum_{x=1}^{M_{zy}} M_{zyx}.$$

Во втором и третьем случае M_z и M_{zy} определяются по выражениям (3) и (4),

$$M_{zyx} = \begin{cases} E[b_m/a] + 1, & \text{если } a < b \\ 1, & \text{если } a \geq b. \end{cases}$$

где $b_m = \max X_{\text{ПРВОzym}} - \min X_{\text{ПРВОzym}}$,

j – индексы всех рядов ПРВО ЭС, пересечение которых с zy -м рядом зоны сплошного воздействия МП РТК вдоль оси X_{sk} не пусто, и

$$N = M_z \sum_{x=1}^{M_{zy}} M_{zyx}.$$

В табл. 1 приведены промежуточные результаты численного оценивания минимально потребного числа РТС в составе РТК для области ЭС в виде шара радиуса $R_{\mathcal{E}C}$ в зависимости от расстояния между центрами однотипных ЗВ МП – $L = 0(0,01)0,4$ км РТС с $R = 0,20; 0,25; 0,30$ км. В этой таблице приведены значения радиуса окружности зоны сплошного воздействия РТС – r , стороны квадрата сечения зоны сплошного воздействия МП РТК – a и минимально избыточного числа «слоев», параллельных основной плоскости $OskXskYsk$ (горизонтальных слоев) – M_z . В ней же приведены зависимости количества РТС в составе РТК, обеспечивающих их сплошное хотя бы однократное воздействие по всей области ЭС, в функции от L .

Соответствующие графики, полученные интерполяцией данных табл. 1 для любых значений L из указанного диапазона приведены на рис. 2.

На рис. 2 график синего цвета соответствует $R = 0,20$ км, красного цвета – $R = 0,25$ км, зеленого цвета – $R = 0,30$ км.

Таблица 1

Результаты численного оценивания минимально потребного числа РТС в составе РТК для области ЭС в виде шара радиуса $R_{\text{ЭС}}$

$R_{\text{ЭС}}$	L	r	a	Mz	M		
					R=0,2 км	R=0,25 км	R=0,3 км
0,3	0	0,2	0,2828427	3			
0,3	0,01	0,19993	0,2827543	3	88	58	46
0,3	0,02	0,199749	0,2824889	3	44	29	23
0,3	0,03	0,199436	0,2820461	3	32	20	16
0,3	0,04	0,198997	0,2814249	3	26	15	12
0,3	0,05	0,198431	0,2806243	3	21	12	10
0,3	0,06	0,197737	0,2796426	3	18	10	8
0,3	0,07	0,196913	0,278478	3	17	9	7
0,3	0,08	0,195959	0,2771281	3	15	8	6
0,3	0,09	0,194871	0,2755903	3	14	7	6
0,3	0,1	0,193649	0,2738613	3	13	6	5
0,3	0,11	0,192288	0,2719375	3	13	6	5
0,3	0,12	0,19078	0,2698148	3	11	5	4
0,3	0,13	0,189142	0,2674883	3	11	5	4
0,3	0,14	0,18734	0,2649528	3	11	5	4
0,3	0,15	0,185404	0,2622022	3	10	4	4
0,3	0,16	0,183303	0,2592296	3	10	4	4
0,3	0,17	0,18103	0,2560273	3	10	4	3
0,3	0,18	0,178605	0,2525866	3	10	4	3
0,3	0,19	0,175997	0,2488976	3	10	4	3
0,3	0,2	0,173205	0,244949	3	9	3	3
0,3	0,21	0,170220	0,2407281	3	9	3	3
0,3	0,22	0,167032	0,2362202	3	10	3	3
0,3	0,23	0,163630	0,2314087	3	11	3	3
0,3	0,24	0,16	0,2262742	3	11	3	3
0,3	0,25	0,15612	0,220794	3	10	3	3
0,3	0,26	0,15198	0,2149419	3	10	3	3
0,3	0,27	0,14756	0,2086864	3	9	4	3
0,3	0,28	0,142828	0,2019901	3	8	4	2
0,3	0,29	0,137749	0,1948076	4	8	4	2
0,3	0,3	0,132287	0,1870829	4	10	3	2
0,3	0,31	0,126392	0,1787456	4	14	5	2
0,3	0,32	0,12	0,1697056	4	15	5	2
0,3	0,33	0,113026	0,1598437	4	16	6	2
0,3	0,34	0,105356	0,1489966	5	19	6	2
0,3	0,35	0,096824	0,1369306	5	22	6	2
0,3	0,36	0,087177	0,1232883	5	28	6	2
0,3	0,37	0,075993	0,1074709	6	37	7	2
0,3	0,38	0,06244	0,0883176	7	49	7	2
0,3	0,39	0,044440	0,062849	10	63	7	2

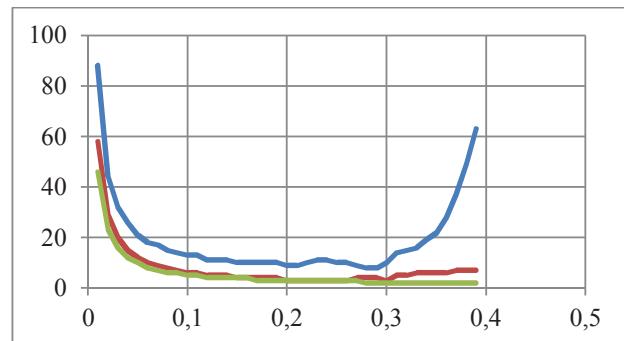


Рис. 9. Зависимость количества РТС от расстояния между центрами однотипных ЗВ МП

Приведенные математические модели демонстрируют необходимость использования зонного подхода к планированию и оцениванию эффективности применения РТС и РТК в ЭС, требующего своего развития в рамках соответствующей теории.

Заключение

Рассмотрены необходимые условия применимости РТК для ликвидации ЭС с позиций соответствия операционных характеристик РТК пространственно-временным характеристикам ЭС, а также описаны этапы методики формирования характеристик РТК ликвидации ЭС для обеспечения максимального воздействия на характеристики ЭС. Зонный подход к ликвидации ЭС позволяет определить наиболее эффективный вариант построения РТС по воздействию операционных характеристик $\omega_j = <\omega_j^{(1)}, \omega_j^{(2)}, \dots, \omega_j^{(k)}>$ имеющихся РТС на характеристики ЭС $\alpha_i = <\alpha_i^{(1)}, \alpha_i^{(2)}, \dots, \alpha_i^{(kl)}>$, или сформировать требования к операционным характеристикам разрабатываемых РТС (РТК) для эффективного воздействия на характеристики ЭС.

Литература

1. Тараков А.Г. Перспективы создания робототехнических средств и комплексов подготовки и пуска ракет космического назначения // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2014. № 6. С. 72-75.
2. Тараков А.Г., Минаков Е.П. Робототехнические комплексы автоматизированных систем управления подготовкой и пуском ракет космического назначения и показатели эффективности их применения // Промышленные АСУ и контроллеры. 2015. № 6. С. 19-24.
3. Тараков А.Г., Минаков Е.П., Боровской Е.П. Развитие структуры автоматизированной системы управления подготовкой и пуском ракет космического назначения с целью автоматизации процессов устранения нештатных ситуаций // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2015. Т. 7. № 6. С. 16-21.
4. Тараков А.Г. Системная согласованность управления безопасностью и живучестью в автоматизированной системе подготовки и пуска ракет космического назначения // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2015. № 1. С.-42-47.

5. Мотиенко А.И., Тарасов А.Г., Дорожко И.В., Басов О.О. Проактивное управление робототехническими системами спасения пострадавших // Труды СПИИРАН. 2016. Вып. 3 (46). С. 169-189.

6. Minakov E.P., Tarasov A.G. Problems and models of measurement the characteristics of robotics system use for emergency recovery at a missile deployment area of a space-vehicle launching unit // H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 3. Pp. 88–95.

Для цитирования:

Минаков Е.П., Тарасов А.Г. Зонный подход к оцениванию характеристик робототехнических систем и комплексов ликвидации экстремальных ситуаций при подготовке и проведении пусков ракет космического назначения // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 4. С. 17–24.

ZONE APPROACH TO THE EVALUATION OF THE CHARACTERISTICS OF ROBOTIC SYSTEMS AND COMPLEXES LIQUIDATION OF EXTREME SITUATIONS IN THE PREPARATION AND LAUNCH A SPACE ROCKETS

Minakov Evgeny Petrovich,

St. Petersburg, Russia, ep.minakov12345@mail.ru

Tarasov Anatoly Gennadevich,

St. Petersburg, Russia, Atol-77@mail.ru

Abstract

High risks associated with the threat of man-made emergency situations and disasters, causing the need to find the most effective ways to improve the prevention, detection, localization of extreme situations and liquidation of their consequences. The extreme situation in the preparation and launching of space rockets - environment, down at the technical and launch complexes and the surrounding areas, characterized by the occurrence of factors an immediate threat to human health and life or the threat of disruption of their activities to the challenges of timely preparation and launch of space rockets. Prevention of extreme situations and their localization in the initial stage of development is the most important task in the development of new space-rocket complexes. A very urgent task is substantiation required number and optimal placement of liquidation robotic tools of extreme situations in the positional area of the launch, which are mainly from positions of safety and efficiency appropriate to apply robotic systems. The use of robotic systems liquidation of extreme situations – organized at the required level of goals, objectives, functions, place and time use of the existing controls on their arms robotic systems and defining the interaction of providing prompt and safe elimination of extreme situations. The paper proposes a zone approach to the use of robotic systems for the elimination of extreme situations in which developed the necessary conditions for the applicability of robotic systems in a particular emergency situation. The novelty of the approach lies in determining spatial and temporal characteristics of extreme situations and the formation of the composition of the robotic system, which will work as efficiently as pos-

sible to the factors an emergency to eliminate them with a given probability. This approach is proposed based on the minimax criterion overlapping coverage of robotic systems to determine the most efficient possible (front, circular, combined) variant of construction of the robotic system.

Keywords: robotic system; an extreme situation; safety; the zone approach; the operating characteristics.

References

1. Tarasov A.G. Prospects of creation of robotic tools and systems training and startup space rockets. H&ES Research. 2014. Vol.6. No. 6. Pp. 72-75. (In Russian).
2. Minakov E.P., Tarasov A.G. Robotic systems of automated control systems preparation and launching of a space rocket and indicators of efficiency of their application. Industrial automation and controllers. 2015. No. 6. Pp. 19-24. (In Russian).
3. Minakov E.P., Tarasov A.G., Borovskoi E.P. The development of the structure of automated control system for preparation and launch of space rocts to automate processes of removing emergency situations. H&ES Research. 2015. Vol. 7. No. 6. Pp. 16-21. (In Russian).
4. Tarasov A.G. The system consistency management safety and survivability in the automated system preparation and launch of space rocket. H&ES Research. 2015. Vol. 7. No. 1. Pp. 42-47. (In Russian).
5. Motienko A.I., Tarasov A.G., Dorozhko I.V., Basov O.O. Proactive control of robotic systems for rescue operations. Trudy SPIIRAN — SPIIRAS Proceedings. 2016. Vol. 3 (46). Pp. 169-189. (In Russian).
6. Minakov E.P., Tarasov A.G. Problems and models of measurement the characteristics of robotics system use for emergency recovery at a missile deployment area of a space-vehicle launching unit. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 3. Pp. 88–95.

Information about authors:

Minakov E.P., Ph.D., professor in department of organizational-technical systems for space purposes, Military Space Academy;
Tarasov A.G., Ph.D., doctoral student, Military Space Academy.

For citation:

Minakov E.P., Tarasov A.G. Zone approach to the evalution of the characteristics of robotic systems and complexes liquidation of extreme situations in the preparation and launch a space rockets. H&ES Research. 2016. Vol. 8. No. 4. Pp. 17–24. (In Russian).