

# МЕТОД СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СИНТЕЗА СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ГРУППИРОВКОЙ МЧС ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

**Мистров Л.Е.**, д-р техн. наук, доц., профессор кафедры ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» и Центрального филиала ФГБОУВО «РГУП»

**Белоусов Р.А.**, преподаватель ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

*Предлагается метод структурно-функционального синтеза систем оперативного управления (СОУ) группировкой МЧС при решении задач ликвидации различного вида чрезвычайных ситуаций (ЧС). Метод структурно основывается на решении задач анализа и синтеза облика СОУ. Задача анализа СОУ является адаптивной условиям, характеристикам и аддитивности проявления ЧС и решается методом динамического программирования на основе распределения ограниченного ресурса элементов исполнения по интегральному показателю ликвидации ЧС с учетом важности ее элементов. Метод же синтеза СОУ, разработанный с использованием положений теорий эффективности сложных систем и оптимального распределения ресурса, обеспечивает по критерию вероятности выполнения группировкой МЧС поставленных задач по ликвидации элементов и ЧС в целом с максимальной (заданной) эффективностью решение задач формирования и выбора по результатам анализа рационального облика СОУ.*

*Реализация метода позволяет обосновать рациональный для заданных условий и характеристик конкретной ЧС вариант облика СОУ в виде совокупности объединенных целью элементов и совокупности связей между ними, обеспечивающих решение группировкой МЧС задачи ликвидации ЧС с заданной (максимальной) эффективностью.*

**Ключевые слова:** формирование быстрого реагирования, система оперативного управления, чрезвычайная ситуация, ликвидация, группировка, исполнительный элемент, метод, структурно-функциональный синтез, анализ, критерий, показатель эффективности, распределение ресурса.

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Современный этап развития общества характеризуется возросшим количеством различного рода чрезвычайных ситуаций (пожаров, затоплений, эпидемий и т.д.), характеризующихся внезапностью и случайностью возникновения, хаотичностью и интенсивностью развития, множественностью проявления в отдельных (локальных) местах и районах, а также большими социально-экономическими последствиями. Их ликвидация требует оперативного принятия решений на применение группировок МЧС для ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС). Группировка МЧС для ликвидации ЧС на основе проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ, создается из подразделений общей группировки субъекта Российской Федерации, состав которой определен исходя из штатов и укомплектованности организаций, дислоцированных на территории данного субъекта [1].

Формирование рационального состава группировки МЧС для ликвидации ЧС осуществляется на основе обоснования, в первую очередь, облика (состава управляющих элементов, элементов информационного обеспечения и исполнения (специалистов и специальных технических средств), основных характеристик и способов (алгоритмов) ее применения) применительно к конкретным характеристикам ЧС на основе использования методов функционального, структурного и параметрического синтеза [2].

Для группировки МЧС для ликвидации ЧС, исходя из анализа условий (характеризуются последовательным и / или параллельным проявлением в локальных и / нескольких местах (районах)) и характеристик развития ЧС, определяющими являются свойства адекватности, аддитивности и взаимообусловленности выполнения специальных задач различного уровня и типа элементами с заданной

эффективностью, наличие централизованной структуры и адаптивное управление ограниченным ресурсом, как правило, элементов исполнения (ЭИ). Функционирование группировки МЧС основывается на проведении специализированных операций на основе сбора, обработки и получения информации выделенным ресурсом элементов информационного обеспечения (ЭИО) о ЧС и ее характеристиках, распознавания ЧС – вида, уровня сложности, наиболее опасных локальных очагов (элементов), интенсивности развития, определения ее управляющими элементами (УЭ) качественно-количественных характеристик, оценки степени угрозы, а также разработки предложений по использованию выделенного ресурса сил и средств ЭИ для ее ликвидации (снижения до некоторого минимального уровня). Ее применение осуществляется в условиях, которые в общем случае разделяются на внешние и внутренние [2, 3]. Внешние условия применения группировки МЧС для ликвидации ЧС связаны с выполнением ею поставленных задач на основе достижения заданной (максимальной) эффективности за минимальные (директивные) сроки. Внутренние же условия направлены на реализацию группировкой МЧС поставленных задач по ликвидации ЧС за счет проведения функционально-структурного синтеза его облика на основе разрешения совокупности различного рода информационных, технических и организационных противоречий (ограничений) для поиска оптимальных способов (алгоритмов) применения (распределения) выделенного (ограниченного) разнотипного ресурса элементов.

По совокупности системоопределяющих свойств элементов группировка МЧС для ликвидации ЧС структурно представляет собой сложную организационно-техническую систему, предназначенную для оперативного решения задач ликвидации ЧС (в обобщенном виде, систему оперативного управления – СОУ) за минимальное (директивное) время. В обобщенном виде СОУ представляет объединенную единством цели многоуровневую иерархическую совокупность элементов (организационных систем, систем информационного обеспечения и исполнения) с определенными взаимосвязями по управлению (подчиненности), информационному обеспечению, взаимодействию и исполнению.

Произошедшие за последние годы в России ряд ЧС выявил множество дискуссионных и актуальных вопросов их ликвидации, носящих теоретический и практический характер, объективно обуславливающий необходимость поиска и проверки на практике новых методов построения, организации и управления СОУ на основе анализа не зарекомендовавших себя организационных форм их деятельности и детального обоснования и внедрения новых. Тенденция их разработки основывается на методах синтеза структурно-устойчивых СОУ, адаптивных к случайным факторам возникновения, множественности проявления, стохастическим условиям изменения ситуа-

ционной обстановки и интенсивности развития различного вида ЧС, за счет переосмысления и теоретического обоснования их облика (в том числе и динамических взаимосвязей) к конкретным, требующим разрешения, конфликтным ситуациям.

Теория и практика синтеза различного типа СОУ характеризуется существенным влиянием характеристик их облика на эффективность непосредственного применения группировки МЧС для ликвидации ЧС, обуславливая необходимость проведения анализа соответствия функций и структуры формирования реальным процессам ликвидации ЧС. Результаты анализа действий оперативных расчетов систем управления показывают, что 50–70% ошибок при ликвидации ЧС связаны, в основном, с просчетами в проектно-конструкторских решениях облика СОУ, при этом до 70% которых приходится на ошибочные решения при обосновании их структуры [4].

В настоящее время задача синтеза СОУ основывается на дескриптивном (эмпирическом) методе. Его основу составляют модели построения облика СОУ на основе совокупности информационных показателей оценки их качества. Метод базируется на установлении эмпирических зависимостей, связывающих характеристики облика СОУ с технико-экономическими возможностями ее технических средств и характеристиками условий ЧС. На основе обобщения опыта их использования определены принципы синтеза различного типа СОУ, выражающие устойчивые и повсеместно распространенные правила их построения.

Как элемент дескриптивной методологии каждый принцип отражает определенные положения (правила) и тенденции, указывая лишь общее направление синтеза СОУ. Как правило, в принципах синтеза находят отражение объективные закономерности, главным образом, общего характера построения сложных систем. Они относятся к желательной направленности действий при формировании облика СОУ (например, принципы централизации управления и специализации) и указывают лишь конкретные границы изменения значений ее характеристик (принцип диапазона контроля) [4]. Вместе с тем, целый ряд принципов, таких как принципы функциональной замкнутости и ответственности, ориентированы на функциональные и линейно-штабные структуры построения СОУ. Анализ принципов соответствия, ответственности, обязанностей, прав и единоличной ответственности, максимальной децентрализации управления и усиления, координации, лежащих в основе эмпирического метода построения СОУ, позволяет выделить некоторые противоречия, приводящие к существенному нарушению их логической структуры и ограничению функциональных возможностей группировки МЧС для ликвидации ЧС, имеющих, в основном, матричную структуру построения. Возникающее при этом противоречие между ограни-

ченностью эмпирического метода и требуемой широтой функционального пространства представления СОУ на практике разрешается методом проб и ошибок. Практики, исходя из условий конкретных ЧС, стремятся сбалансировать используемые принципы, составить из них структуру группировки для ликвидации ЧС ценой отступления от типичного соблюдения некоторых из них в каждом конкретном случае. В результате находятся приемлемые компромиссы, совершенствуются и выявляются новые принципы.

В рамках эмпирического метода положительный опыт синтеза отдельных типов СОУ часто фиксируется в виде характеристик корреляционной зависимости их облика от различных факторов развития ЧС. Основываясь на явлении, а не на сущности механизмов этих зависимостей, метод является индуктивным и не обеспечивает возможность обратного перехода от общего к частному. При этом копируются формы формирования, полученные на основе индуктивного поиска без соответствующего научного обоснования, отсутствия критериев отбора таких форм, способов их синтеза в единую структуру. Исходя из этого, эмпирический метод не содержит моделей обоснования рационального облика СОУ, а используемые в его рамках модели обеспечивают лишь перенос положительного опыта внутри выделенных группировок МЧС для ликвидации ЧС.

Для СОУ область применения эмпирического метода ограничена, так как в своем множестве им могут быть предложен изоморфный всем остальным вариант облика, принятый за соответствующий эталон. Для вновь разрабатываемых СОУ эти условия, как правило, не удовлетворяются, поэтому в интересах синтеза их облика, наиболее приемлемым является нормативный (теоретический) метод.

В рамках теоретического метода синтеза СОУ решение можно получить на основе:

построения моделей формирования характеристик облика СОУ по информационным показателям оценки их качества, например, минимизации взаимодействия структурных подразделений группировки МЧС в процессе функционирования, максимизации однородности элементов (операторов технических средств) в составе отдельных подразделений, максимизации скорости решения оперативно-тактических задач и т.д., концептуальные основы подхода которого к обоснованию структур в части функционального построения правильны, как в практическом, так и теоретическом плане. Вместе с тем, метод не решает задачу полностью, так как используемые в нем методики, в основном направлены на построение одноуровневых СОУ в предположении априорного формирования (задания) ее подсистем различного функционального назначения;

построения оптимизационных моделей, устанавливающих зависимости между показателями результирующего интегрального эффекта применения вариантов облика (состава элементов, структуры и совокупностей их характеристик), что составляет основу нормативного метода синтеза СОУ.

Недостатки, принципиально свойственные используемым на практике методам синтеза СОУ, не могут быть преодолены на основе традиционных направлений их совершенствования. Господствующий в практике синтеза облика СОУ эмпирический метод не обеспечивает возможности их совершенствования, обуславливая актуальность применения теоретического (нормативного) метода их синтеза. Он основывается на построении формализованной модели в интересах исследования свойств и характеристик СОУ и выдачи предложений по оптимальному варианту их облика. Трудности, возникающие при установлении данных формальных зависимостей, обусловили, с одной стороны наличие немногочисленных публикаций по данному вопросу, а с другой – ограничились результаты исследований постановками, которые при сложности решаемой задачи позволяют определить лишь ограниченное число, как правило, не существенных характеристик. Это предопределило на основе дальнейшего развития теоретического метода, цель и содержание статьи, направленной на разработку по интегральным показателям эффективности группировки сил и средств МЧС для ликвидации ЧС метода (включающего постановку задачи, методы выбора оптимального варианта и оценки эффективности) синтеза СОУ.

## 2. ОСНОВЫ МЕТОДА СИНТЕЗА СОУ ГРУППИРОВКИ МЧС

Исследования по обоснованию облика СОУ в рамках теоретического метода осуществляются на основе двух диалектически дополняющих друг друга методов анализа и синтеза. Научное обоснование цели, критерия, функций, структуры, способов целевого применения и основных требований к облику СОУ представляет собой синтез и предполагает наличие соответствующей методологии [2–5]. Основными факторами, затрудняющими решение задачи синтеза облика СОУ являются стохастические и динамические условия развития ЧС в локальном (нескольких) месте и / или районе на некотором конечном интервале времени. Также на это оказывают существенное влияние особенности применения СОУ, состоящие в уникальности принимаемых ею решений в условиях жестких ограничений по выделенным ресурсам различного типа элементов и выборе стратегий управления в условиях неопределенности, связанных как со случайным характером возникновения и развития ЧС, так и неоднозначностью целей, задач, критериев и результатов последствий применения.

В общем случае функционирование СОУ зависит от взаимодействия множества временных распределений различных дискретных событий, носящих стохастический характер. Для них характерны наличие большого числа элементов и объема перерабатываемой информации, слабая формализуемость процесса выработки управляющих решений, множество ограничений, часть из которых носит, в том числе сложный логический характер, и необходимость разрешения информационной неопределенности условий принятия решений на различных уровнях СОУ при реализации задачи ликвидации ЧС. Также для решения данной задачи необходимо учитывать нелинейный характер задачи управления применением разнотипных ЭИ / ЭИО на каждом уровне иерархической структуры СОУ. В теории синтеза сложных систем достаточно полно развита методология исследования двухуровневых систем. Рассматриваемую задачу можно свести к классу задач «СОУ – ЭИ / ЭИО». Но такое ее представление не является полным и достаточным для исследования облика СОУ, так как в соответствии с системным подходом, определяющую важность представляет исследование системоопределяющих свойств элементов, т.е. тех свойств, которые определяют результирующую интегральную эффективность применения группировки МЧС для ликвидации ЧС. Это приводит к необходимости анализа и оптимизации облика СОУ применительно к целям, критериям, функциям и способам применения на множестве факторов, условий и вариантов развития конкретных ЧС путем выбора и реализации адаптивных алгоритмов целераспределения (ЦР) ресурса ЭИ [2].

Основой для выбора предпочтительного варианта облика СОУ служат методы и критерии эффективности (оптимальности), а мерой предпочтения – показатели качества. В большинстве случаев абсолютно предпочтительное решение получить невозможно, так как при переходе от одного варианта облика СОУ к другому могут улучшаться одни показатели, приводя к одновременному ухудшению других. Состав таких показателей является противоречивым и окончательно выбранный вариант является рациональным, так как результаты решения оптимизационных задач получаются с некоторой неопределенной ошибкой или неточностью, обусловленной [6]:

- компромиссным по существу подходом к решению многокритериальных задач любым методом, когда невозможно практически исключить влияние субъективных факторов;
- локальным по отношению к облику СОУ характером принятого в данной оптимизационной задаче показателя;
- неполным соответствием используемой оптимизационной модели реальному процессу применения группировки МЧС для ликвидации ЧС;
- наличием ряда определяющих факторов ЧС с неопределенными законами распределения вероятностей;

- сложностью адекватного моделирования существенных факторов и условий развития ЧС, связанных с соответствующим распределением ресурсов между элементами СОУ.

Решение задачи определения рационального облика СОУ обладает спецификой, обусловленной информативностью, степенью доступности и неопределенностью состава, структуры и характеристик элементов, направленностью исследований на поиск рациональных вариантов ее облика.

Разработка метода обеспечения эффективного применения СОУ проводится на основе разрешения совокупности внешнесистемных и внутрисистемных факторов, составляющих цель и содержание метода ее синтеза. Внешнесистемные факторы (*W*) определяют структуру СОУ: состав и взаимосвязи между ее элементами по управлению (*U*), информационному обеспечению (*I*), взаимодействию (*B*) и исполнению (*P*) к прогнозируемым стохастическим условиям и способам развития ЧС. Внутренние же факторы характеризуют состав образующих СОУ элементов, характеристики, способы их взаимосвязи и функционирования во времени и пространстве, обеспечивая тем самым реализацию внешнесистемных требований к ее применению.

Основу внешнесистемных факторов обоснования облика СОУ составляет анализ состава элементов (отдельных локальных очагов, районов и т.п.), характеристик и способов развития ЧС на множестве прогнозируемых факторов и условий.

Цель применения СОУ состоит в выполнении задач по ликвидации (снижению до некоторого минимального уровня) элементов и ЧС в целом на основе способов (алгоритмов) оптимального распределения ограниченного ресурса ЭИ группировки МЧС. При этом в качестве целевой функции синтеза СОУ принимается максимальное значение среднего числа задач, выполненных группировкой МЧС для ликвидации ЧС как функции варианта характеристик его облика.

В условиях априорной неопределенности о виде, месте (районе), уровне сложности и способах развития ЧС синтез СОУ должен проводиться применительно к возможным вариантам ее состава, взаимосвязям и способам применения по оптимальным, заранее определенным характеристикам составляющих УЭ, ЭИО и ЭИ. Это позволяет задачу синтеза облика СОУ представить в следующем виде.

Требуется при **заданных**:

- отношениях элементов в структуре СОУ по управлению (*U*), информационному обеспечению (*I*), взаимодействию (*B*) и исполнению (*P*);

- номенклатуре, характеристиках и эффективности ( $U_m^*$ )  $m$ -го типа ЭИО применения отдельных элементов СОУ;
- массогабаритных ограничениях по размещению  $m$ -го типа ЭИО на элементах СОУ;
- составе, структуре ( $A_g$ ) и эффективности ( $U_g^*$ )  $g$ -го типа элементов информационного обеспечения применения групп элементов СОУ;
- составе, характеристиках и пространственном расположении элементов ЧС

из множества возможных вариантов  $\Omega$  **определить** множество допустимых  $k$ -ых вариантов  $\Omega_k \{A_k = \{\bar{A}_k, \hat{A}_k, \tilde{A}_k\}\}$  (состав ( $A_k$ ), характеристики ( $A_k$ ) и способы динамической взаимосвязи ( $A_k$ )) облика СОУ, которые обеспечивают максимальное значение среднего числа выполненных задач ( $U_k$ ) группировкой МЧС для ликвидации ЧС по ликвидации ЧС, не менее заданного  $U_{mp}$ , и выбрать из него предпочтительный  $k^*$ -й вариант, обладающий минимальной стоимостью ( $C_k^*$ ).

То есть, из множества  $\Omega$  возможных вариантов облика СОУ при заданных внешнесистемных взаимосвязях по управлению ( $Y$ ), информации ( $I$ ), взаимодействию ( $B$ ) и исполнению ( $P$ ) ( $Y, I, B, P \in W$ ) требуется определить множество допустимых  $\Omega_k, \Omega_k \in \Omega$  вариантов облика, обеспечивающих заданную эффективность применения ( $U_{mp}$ ) группировки МЧС для ликвидации ЧС в виде

$$\Omega_k = \{k : k = \text{Arg max}_{A_k \in \Omega_k} U_k(A_k, A_m, A_g, U_g^*, U_m^*, B_k) \geq U_{mp}\} \quad (1)$$

и из него **выбрать** в соответствии с [8] предпочтительный вариант ( $k^*$ ), обладающий минимальной стоимостью

$$k^* = \text{Arg min}_{k \in \Omega_k} C_k, \quad (2)$$

при

$$\Omega_A^k = \{\bar{\Omega}_A^k, \hat{\Omega}_A^k, \tilde{\Omega}_A^k\}; \quad (3)$$

$$\bar{\Omega}_A^k = \{M_{kl} : \sum_{l=1}^{L_k} M_{kl} q_{kl} \leq Q_k\}; \quad (4)$$

$$\hat{\Omega}_A^k \in \hat{\Omega}_I^{k*}; \quad \tilde{\Omega}_A^k \in \Omega_A^{k*}; \quad (5)$$

$$\Omega_B^k = \{\bar{\Omega}_B^k, \hat{\Omega}_B^k, \tilde{\Omega}_B^k\}; \quad (6)$$

$$\bar{\Omega}_B^k = \|\bar{B}_k^i\|_{KT}; \quad \hat{\Omega}_B^k = \|\hat{B}_k^i\|_{KT}; \quad (7)$$

$$\tilde{\Omega}_B^k = \{v_{njis}^k : \sum_{n=1}^{N_0} \sum_{j=1}^{J_s} v_{njis}^k \leq V_s^k\}; \quad (8)$$

$$k = \bar{1}, \bar{K}; \quad g = \bar{1}, \bar{G}; \quad m = \bar{1}, \bar{M}; \quad n = \bar{1}, \bar{N}; \quad t = \bar{1}, \bar{T}; \quad j = \bar{1}, \bar{J}; \quad s = \bar{1}, \bar{S},$$

где  $U_k(A_k, A_g, A_m, U_g^*, U_m^*, B_k)$  – среднее число  $n$ -х задач, выполненных СОУ группировкой МЧС с  $k$ -ым вариантом облика при определенном  $B_k = \{\bar{B}_k, \hat{B}_k, \tilde{B}_k\}$ -м составе элементов ( $\bar{B}_k$ ), характеристиках ( $\hat{B}_k$ ) и способах развития ( $\tilde{B}_k$ ) ЧС, равное

$$U_k(\bullet) = \sum_{n=1}^{N_0} P_{njis}^k(A_k, v_{njis}^k);$$

$U_{mp}$  – требуемое количество задач, подлежащих выполнению СОУ группировкой МЧС для ликвидации ЧС;

$\bar{\Omega}_A^k, \hat{\Omega}_A^k, \tilde{\Omega}_A^k$  – множество составов, характеристик и взаимосвязей элементов группировки МЧС для ликвидации ЧС (ЭГ)  $k$ -го варианта облика СОУ, соответственно;

$\bar{\Omega}_B^k, \hat{\Omega}_B^k, \tilde{\Omega}_B^k$  – множество характеристик, определяющих изменение состава элементов, их характеристик и способов развития ЧС как функции  $k$ -го варианта облика СОУ, соответственно;

$\bar{B}_k^i, \hat{B}_k^i$  – множества, определяющие временные характеристики и взаимосвязи элементов ЧС, как функции  $k$ -го варианта облика СОУ;

$M_{kl}$  – количество  $l$ -го типа ЭГ в составе  $k$ -го варианта облика СОУ;

$q_{kl}$  – массогабаритные характеристики  $m$ -го и/или  $g$ -го типа ЭИО  $l$ -го элемента  $k$ -го варианта облика СОУ;

$Q_k$  – массогабаритные ограничения на размещение  $m$ -го и/или  $g$ -го типа ЭИО применения отдельных и / или групп ЭИ в  $k$ -ом варианте облика СОУ;

$\hat{\Omega}_A^{k*}$  – множество характеристик  $l$ -х ЭГ, включаемых в состав  $k$ -го варианта облика СОУ;

$\Omega_A^{k*} = \|\bar{t}_l^{k*}, \bar{d}_l^{k*}\|$  – множество характеристик, характеризующий временные ( $\bar{t}_l^{k*}$ ) и пространственные ( $\bar{d}_l^{k*}$ ) ограничения на применение  $l$ -х ЭГ  $k$ -го варианта облика СОУ;

$J_s$  – общее количество  $s$ -го типа элементов в структуре ЧС;  $j$  – номер элемента в структуре ЧС;

$v_{njis}^k$  – число воздействий  $i$ -го ЭИ  $k$ -го варианта облика СОУ при решении  $n$ -ой задачи на  $j$ -ый  $s$ -го типа элемент ЧС, равное 1, если  $i$ -ый ЭИ  $k$ -го варианта облика СОУ может обслужить  $j$ -ый  $s$ -го типа элемент ЧС и 0 – в противном случае;

$P_{njis}^k(A_k, v_{njis}^k)$  – средняя вероятность воздействия  $i$ -го элемента на  $j$ -ый  $s$ -го типа элемент ЧС;  $M$  – число формируемых вариантов облика СОУ;

$C_k$  – стоимость  $k$ -го варианта облика СОУ.

Если для определенных характеристик облика СОУ множество  $\Omega_k = \emptyset$ , то осуществляется корректировка задачи (1)–(8) на основе перераспределения ресурса группировки МЧС ликвидации ЧС для воздействия на наиболее важные элементы ЧС с эффективностью, не ниже требуемой.

Сформулированная задача (1)–(8) является многопараметрической оптимизационной задачей, решение которой может быть получено на основе ее декомпозиции на част-

ные задачи допустимой сложности. При этом задача анализа в (1) представляется совокупностью частных задач дискретного программирования, соответствующих многоуровневости принятия решений в структуре СОУ [7]. Задача же поиска максимума в (1) решается отдельно для каждого варианта облика СОУ с последовательным наращиванием группировки МЧС для ликвидации ЧС для обеспечения решения задач с заданной (максимальной) эффективностью, а также обеспечения устойчивости рассматриваемой системы в целом при возникновении возможных угроз и факторов предопределяющих возникновение / развитие ЧС [8].

### 3. ОСНОВЫ МЕТОДА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОУ

СОУ представляет многоуровневую иерархическую структуру, для которой характерно наличие координирующего и нескольких управляющих уровней с определенным порядком соподчинения ЭИО и ЭИ – элементов нижнего уровня СОУ, право вмешательства координирующего УЭ и зависимость его решений от решений, принимаемых УЭ нижестоящих уровней. Принятие решений по управлению силами и средствами группировки МЧС для ликвидации ЧС осуществляется на уровне координирующего УЭ, согласующего его действия с задачами, поставленными с уровня СОУ. Непосредственное управление ЭИ осуществляется на уровне УЭ в рамках прав, определенных координирующим УЭ.

Существо применения СОУ состоит, исходя из имеющейся информации от ЭИО о составе, структуре, характеристиках и способах развития ЧС, в оптимальном выборе группировкой МЧС действий для ее ликвидации распределением выделенного ресурса ЭИ. Вследствие этого оценка эффективности  $A_k$  вариантов облика СОУ осуществляется по результатам ЦР ограниченного ресурса ЭИ в структуре группировки МЧС для ликвидации ЧС по ее элементам с учетом их пространственно-временного распределения [6].

В качестве интегрального показателя эффективности СОУ применяется математическое ожидание числа  $u(A_k, B_k)$  задач, выполненных группировкой МЧС для ликвидации (снижения эффективности) ЧС, взаимосвязанное с показателями качества отдельных УЭ и ЭИ, и получающееся преобразованием последних.

Для выявления функциональной зависимости  $u(A_k, B_k)$  от различных вариантов облика СОУ процесс применения группировки МЧС для ликвидации ЧС представим в виде дискретной иерархической игры с анализом результатов, в которой координирующий УЭ, обладая правом первого хода, первым выбирает и доводит до УЭ нижнего уровня иерархии (уровень 2) свою стратегию: какие элементы ЧС, за счет применения ЭИО и ЭИ, ликвидировать (снизить эффективность).

Процесс ЦР в структуре СОУ производится последовательно, начиная с УЭ 1-го уровня (УЭ<sub>1</sub>) принятия решения с учетом возможностей УЭ 2-го уровня (УЭ<sub>2</sub>) по ликвидации (снижению эффективности) элементов ЧС. На последнем, 3-ем уровне – уровне ЭИ по информации от ЭИО с УЭ<sub>2</sub>, осуществляющих дальнейшее уточнение элементов ЧС и прогноза способов их развития, производится непосредственное выполнение задач на основе выбора наиболее эффективных способов применения ЭИ.

Задача оценки эффективности  $k$ -ых вариантов облика СОУ является многопараметрической с нелинейной целевой функцией и связанными переменными. Ее решения базируется на введении бинарных переменных назначения, обеспечивая переход от целевой функции, имеющей сложный мультипликативный вид, к ее аддитивному виду.

Тогда математическая постановка задачи оценки эффективности  $k$ -го варианта облика СОУ группировки МЧС для ликвидации ЧС в соответствии с [3] может быть представлена в виде:

$$U_n(A_k, A_g, A_m, U_g^*, U_m^*, B_k) = \max_{x_{nijr}} \sum_{r=1}^R \sum_{i=1}^I \sum_{j=\overline{j_{n-1}+1}}^I C_{nij} (t_o + r\Delta t) x_{nijr} \quad (9)$$

при ограничениях:

$$\sum_{i=1}^I x_{nijr} \leq q_{ir}(A_k); \quad n = \overline{1, 2}; \quad j = \overline{j_{n-1}+1, j_n}; \quad (10)$$

$$\sum_{r=1}^R q_{ir}(A_k) \leq Q_i(A_k); \quad j = \overline{j_1+1, j_3}; \quad (11)$$

$$\sum_{r=1}^R \sum_{i=1}^I a_{ijr}(A_k) x_{nijr} \leq b_j(A_k); \quad j = \overline{j_1+1, j_3}; \quad (12)$$

$$x_{nij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-ый элемент ЧС распределен } j\text{-му УЭ;} \\ 0, & \text{в противном случае;} \end{cases} \quad (13)$$

$$a_{ijr}(A_k) = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-ый элемент ЧС может быть обслужен } j\text{-ым УУЭ;} \\ 0, & \text{в противном случае;} \end{cases} \quad (14)$$

$$R = E\left[\frac{T - t_0(A_k)}{\Delta t}\right], \quad (15)$$

где  $T$  – продолжительность процесса ликвидации ЧС силами и средствами группировки МЧС;

$t_0 = t_0(A_k)$  – начальный момент ЦР ресурса ЭИ в структуре СОУ;

$\Delta t$  – шаг ЦР, определяемый на каждом уровне принятия решения СОУ из условия возможности ликвидации (снижения эффективности) элементов ЧС, скорости обмена требуемым объемом информацией и количества выделенных ЭИО и ЭИ;

$I$  – общее число элементов ЧС на  $r$ -ый момент ЦР ресурса ЭИО и ЭИ в  $j$ -ом УЭ;  $J$  – общее число УЭ, привлекае-

мых СОУ для ликвидации ЧС ( $j = j_0 + 1$  – УЭ 1-го уровня,  $n=0$ );  $j = j_0 + 1, j_1$  – номера подчиненных УЭ<sub>1</sub> 2-го уровня,  $n=1$ ;  $j = j_1 + 1, j_2$  – номера подчиненных УЭ<sub>2</sub>,  $n=2$ ;  $j = j_2 + 1, j_3$  – номера подчиненных УЭ 3-го уровня, соответствующих уровню ЭИО и ЭИ,  $n=3$ ;

$E[a]$  – целая часть числа  $a$ ;

$C_{nij}(t_0 + r\Delta t) = C_{nijr}$  – прогнозируемая важность  $i$ -го элемента ЧС с учетом возможности его ликвидации (снижения эффективности)  $j$ -ым УЭ на  $r$ -ый момент ЦР ( $C_{nijr} \geq 0$  для  $r = \overline{1, R}$ );

$x_{ijr}$  – переменная ЦР на  $r$ -ый момент принятия решения в  $j$ -ом УЭ по  $i$ -му элементу ЧС;

$q_{ij}(A_k)$  – ресурс ЭИ ( $j = \overline{j_1 + 1, j_3}$ ) на  $r$ -ый момент ЦР, определяемый  $k$ -ым вариантом облика СОУ;

$Q_i(A_k)$  – общий ресурс ЭИ  $k$ -го варианта облика СОУ,  $j = \overline{j_1 + 1, j_3}$ ;

$b_j(A_k)$  – количество элементов ЧС, которое может ликвидировать (снизить эффективность)  $j$ -ый УЭ на начальный и последующие моменты ЦР при  $k$ -ом варианте облика СОУ;

$a_{ijr}(A_k)$  – параметр, характеризующий возможности ликвидации (снижения эффективности)  $i$ -го элемента ЧС  $j$ -ым УЭ к  $r$ -му моменту ЦР  $k$ -го варианта облика СОУ.

Такое представление решения задачи в виде (9)–(15) позволяет провести анализ эффективности  $k$ -ых вари-

антов облика СОУ на множестве способов применения группировки МЧС для ликвидации ЧС как функции воздействия УЭ нижних уровней иерархии на элементы ЧС.

Основным методом, позволяющим адекватно поставленной задаче исследовать эффективность вариантов облика СОУ при решении задачи группировки МЧС для ликвидации (снижению эффективности) ЧС, сопровождающимся, как правило, оптимальным распределением ограниченных ресурсов ЭИ, является метод динамического программирования [9]. При этом оценка эффективности применения  $k$ -го варианта облика СОУ осуществляется по результатам оптимизации алгоритмов ЦР ограниченного ресурса ЭИ, направленного на снижение эффективности ЧС.

В заключение следует отметить, что метод позволяет структурировать задачу на систему частных задач, решаемых различного уровня и типа УЭ, ЭИО и ЭИ, сформировать адаптивные факторам, условиям и способам развития ЧС варианты облика, осуществить их оценку эффективности и обосновать рациональный вариант облика СОУ по критерию заданной (максимальной) эффективности выполнения группировкой МЧС определенных задач по ликвидации (снижению эффективности) ЧС. Данное направление исследований непосредственно связано с направлением обеспечения устойчивости, в частности, городов и населенных пунктов, к ЧС, на что направлены серии стандартов [8] ISO 22326 (управление чрезвычайными ситуациями), ISO 22395 (руководство для поддержки уязвимых слоев населения в ЧС), ISO 37123 (показатели устойчивых городов).

#### Список использованных источников и литературы

1. Мазаник А.И., Стрельников А.А., Малека Ю.Н. Формализованная постановка задачи обоснования состава группировки, привлекаемой для ликвидации последствий чрезвычайной ситуации // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2021. № 2 (49). С. 61–66.
2. Мистров Л.Е., Белоусов Р.А. Основы синтеза структуры систем оперативного управления // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2020. № 2 (54). С. 7–15.
3. Мистров Л.Е., Литвинов О.В. Критерий и показатели эффективности систем пожарной безопасности // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2013. № 2. С. 38–47.
4. Багрецов С.А., Везиров В.Н., Львов В.М., Фадеев В.В., Шлаен П.Я. Технология синтеза организационных структур сложных систем управления. М.: ГУП «ВИМИ», 1998. 224 с.
5. Мистров Л.Е., Мишин А.В., Плотников С.Н. Категории синтеза информационных систем обеспечения конфликтной устойчивости взаимодействия организационно-технических систем // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2018. № 4 (4). С. 18.
6. Мистров Л.Е. Метод оценки эффективности организационно-технических систем информационной безопасности // Динамика сложных систем – XXI век. 2014. № 1. Т. 8. С. 62–70.
7. Жук С.Н. Оценка эффективности функционирования сложных систем по иерархической системе показателей // Труды СПИИРАН. 2013. № 3 (26). С. 194–203.
8. Ломакин М.И., Докукин А.В. Стандарты в парадигме устойчивого развития: потенциал в предотвращении и ликвидации чрезвычайных ситуаций // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2021. № 4 (62). С. 18–20.
9. Карпов Д.А., Струченков В.И. Динамическое программирование в прикладных задачах, допускающих сокращение перебора вариантов // Российский технологический журнал. 2020. № 8 (4). С. 96–111.

# METHOD OF STRUCTURAL AND FUNCTIONAL SYNTHESIS OF OPERATIONAL CONTROL SYSTEMS OF MES GROUPING FOR EMERGENCY RELIEF

**Mistrov L.E.**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Specialist of the Department VUNTS Air Force VVA named after prof. N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin, Specialist of the Department Central branch of RGUP

**Belousov R.A.**, teacher of VUNTS Air Force VVA named after prof. N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin

*A method of structural-functional synthesis of operational control systems by a group of the Ministry of Emergency Situations is proposed for solving problems of liquidating various types of emergency situations (ES). The method is structurally based on solving problems of analysis and synthesis of the appearance of operational control systems. The task of analyzing operational control systems is adaptive to the conditions, characteristics and additivity of the manifestation of emergencies and is solved by the method of dynamic programming based on the distribution of a limited resource of execution elements according to the integral indicator of the elimination of emergencies, taking into account the importance of its elements. The method of synthesis of operational control systems, developed using the provisions of the theories of the efficiency of complex systems and the optimal distribution of the resource, provides, according to the criterion of probability, the fulfillment by the group of the Ministry of Emergency Situations of the tasks set for the elimination of elements and emergencies as a whole with maximum (given) efficiency, the solution of the problems of formation and selection based on the results of the analysis of the rational appearance of operational control systems.*

*The implementation of the method makes it possible to substantiate a rational for the given conditions and characteristics of a particular emergency situation in the form of a set of elements united by the goal and a set of links between them, which ensure that the grouping of the Ministry of Emergency Situations solves the problem of eliminating emergency situations with a given (maximum) efficiency.*

**Keywords:** rapid response formation, operational control system, emergency, liquidation, grouping, actuating element, method, structural-functional synthesis, analysis, criterion, performance indicator, resource allocation.

## References

1. Mazanik A.I., Strelnikov A.A., Maleka Yu.N. Formalized statement of the problem of substantiating the composition of the group involved in the elimination of the consequences of an emergency // Scientific and educational problems of civil protection. 2021. № 2 (49). Pp. 61–66.
2. Mistrov L.E., Belousov R.A. Fundamentals of synthesizing the structure of operational control systems // Information and economic aspects of standardization and technical regulation. 2020. № 2 (54). Pp. 7–16.
3. Mistrov L.E., Litvinov O.V. Criteria and performance indicators of fire safety systems // Science-intensive technologies. 2013. № 2. Pp. 38–47.
4. Bagretsov S.A., Vezirov V.N., Lvov V.M., Fadeev V.V., Schlaen P.Ya. Technology of synthesis of organizational structures of complex control systems. M.: GUP "VIMI", 1998. 224 p.
5. Mistrov L.E., Mishin A.V., Plotnikov S.N. Categories of synthesis of information systems to ensure conflict stability of interaction between organizational and technical systems // Information and economic aspects of standardization and technical regulation. 2018. № 4 (4). P. 18.
6. Mistrov L.E. Method for evaluating the effectiveness of organizational and technical systems of information security // Dynamics of complex systems – XXI century. 2014. № 1. T. 8. Pp. 62–70.
7. Zhuk S.N. Evaluation of the effectiveness of the functioning of complex systems according to the hierarchical system of indicators // Tr. SPIIRAN. 2013. № 3 (26). Pp. 194–203.
8. Lomakin M.I., Dokukin A.V. Standards in the paradigm of sustainable development: potential to prevent and relate emergencies of damage during the liquidation of emergency situations // Information and economic aspects of standardization and technical regulation. 2021. № 4 (62). Pp. 18–20.
9. Karpov D.A., Struchenkov V.I. Dynamic Programming in Applied Problems Allowing Reduction in the Search of Variants // Russian technological journal. 2020. № 8 (4). Pp. 96–111.